

# 고정밀 중기선 동적측위 분야 응용을 위한 GPS 관측데이터 준실시간 연속 처리절차의 실험적 구현

이흥규

창원대학교 토목환경화학공융합공학부

## Experimental Implementation of Continuous GPS Data Processing Procedure on Near Real-Time Mode for High-Precision of Medium-Range Kinematic Positioning Applications

Hungkyu Lee

School of Civil, Environmental and Chemical Engineering, Changwon National University

**요약** 본 논문은 해상구조물 혹은 지각변동 모니터링 분야에 응용할 수 있는 중기선 GPS 데이터의 준실시간 연속처리를 통한 동적좌표 정밀추정 방안도출과 실험적 구현에 관한 내용을 다루고 있다. GPS 이중주파수 중기선 관측데이터 함수모형, IGS 초신속 해석결과물 제공현황 및 해외 유사사례 조사와 상시관측인프라 현황 조사를 바탕으로 정적 및 동적 처리모드로 이루어진 GPS 연속처리 시스템 설계 그리고 관측데이터 처리절차와 그 전략을 도출하였다. 시스템을 데이터 취득부와 시각화를 포함하는 처리부로 구성 하였으며, 관측소가 Ntrip을 통해 송출하는 GPS 데이터를 최소 지연시간으로 처리하여 모니터링 대상 안테나의 동적좌표를 추정하도록 하였다. 데이터 취득부는 DOS 배치파일, 펄 스크립트 그리고 BKG BNC 프로그램을 통해 그리고 처리부는 슬라이딩 윈도우법에 의한 관측데이터 선택과 BPE에 의해 순차처리 절차를 스크립트 파일로 정의하여 구현하였다. 국내외에 7점의 상시관측소에 의해 구성된 네트워크로부터 GPS 관측데이터를 취득하여 후처리모드에서 시스템 동작실험을 수행하였다. 이를 통하여 본 연구에서 제안한 GPS 데이터 연속처리 절차의 동작 적절성과 신뢰수준 95%에 추정좌표 정밀도가 센티미터 수준 이상이 됨을 확인하였다.

**Abstract** This paper deals with the high precision of GPS measurement reduction and its implementation on near real-time and kinematic mode for those applications requiring centimeter-level precision of the estimated coordinates, even if target stations are a few hundred kilometers away from their references. We designed the system architecture, data streaming and processing scheme. Intensive investigation was performed to determine the characteristics of the GPS medium-range functional model, IGS infrastructure and some exemplary systems. The designed system consisted of streaming and processing units; the former automatically collects GPS data through Ntrip and IGS ultra-rapid products by FTP connection, whereas the latter handles the reduction of GPS observables on static and kinematic mode to a time series of the target stations' 3D coordinates. The data streaming unit was realized by a DOS batch file, perl script and BKG's BNC program, whereas the processing unit was implemented by definition of a process control file of BPE. To assess the functionality and precision of the positional solutions, an experiment was carried out against a network comprising seven GPS stations with baselines ranging from a few hundred up to a thousand kilometers. The results confirmed that the function of the whole system properly operated as designed, with a precision better than  $\pm 1\text{cm}$  in each of the positional component with 95% confidence level.

**Keywords :** GPS, Kinematic Coordinates Estimation, Medium-Range, Near-Real Time, Relative Positioning

---

본 논문은 한국연구재단 이공분야기초연구사업(NRF-2014R1A1A2056133)의 지원으로 연구되었음.

Corresponding Author : Hungkyu Lee (Changwon National University)

Tel: +82-55-213-3777 email: hkyulee@changwon.ac.kr

Received February 1, 2017

Revised February 14, 2017

Accepted March 10, 2017

Published March 31, 2017

## 1. 서론

GPS(Global Positioning System)는 인공위성 전자파 신호로부터 의사거리(pseudo-range)와 반송파(carrier-phase) 관측데이터를 취득하여 수학적 모형화 및 추정절차를 통해 지구공간상 3차원 위치를 정확히 결정할 수 있는 체계이다[1-2]. GPS 측위에 사용하는 다양한 알고리즘(positioning algorithm)들은 위치추정에 사용되는 관측 데이터 종류와 관측오차 보정(correction)방법에 따라 구분할 수 있다.

GPS 관측데이터의 종류에 따라서 의사거리는 수 미터에서 수십 미터 수준 그리고 반송파는 수십에서 수 센티미터 이상 정확도의 요구하는 측위에 주로 사용된다. 관측오차보정은 위성 항법메시지 제공 위성시간 및 전리층 오차 혹은 IGS(International GNSS Services) 관측 네트워크 해석결과물인 정밀케도력, 위성시간오차, 전리층 및 대류권 오차모형을 적용하거나, 센티미터 이상 정확도로 3차원 좌표결정이 이루어진 기지점 설치 GPS 수신기가 취득한 데이터와 차분(differencing)에 의해 이루어질 수 있다. 전자를 절대측위 그리고 후자를 상대측위라 하며, 센티미터 수준 정확도를 요구하는 측위에서는 반송파 기반 상대측위 알고리즘을 사용하는 것이 일반적이다[3].

GPS 반송파 상대측위에서는 동일한 위성으로부터 두 수신기가 동시 취득한 관측데이터를 차분화(단일차분: single-differencing) 후 이들 사이를 다시 차분하는 이중차분(double-differencing)을 사용하며, 이를 통해 위성 및 수신기 시간오차가 소거할 수 있다. GPS 이중차분 관측오차는 수신기 사이 공간적 상관성에 따라 축소 가능한 것과 그렇지 않은 것으로 구분한다[4]. 위성케도, 전리층, 대류권 오차는 전자에 그리고 다중경로와 안테나 위상센터변동은 후자에 해당한다. 특히 공간적상관성이 높은 오차의 잔여영향은 기선장에 따라 좌우되어 기선중속오차 그리고 공간적상관성이 없이 관측지점 주위 장애물과 관측 장비의 영향을 받는 것을 관측지점중속오차라 한다. 따라서 GPS 이중차분 관측데이터는 기선중속오차 총합의 크기에 따라 단기선, 중기선 그리고 장기선으로 구분하여 위치추정에 필요한 수학적모형을 정의한다[4-5]. 여기서 단기선은 기선중속오차의 총합이 관측지점중속오차의 그 것 미만일 때로 우리나라와 같은 중위도 지역에서는 약 20km가 범위이며, 그 이상이 되면 중기선으

로 구분하고 그 한계는 측위 정확도에 측지계가 미치는 영향이 급증하는 약 2,000km 정도이다.

GPS 상대측위기법을 적용하여 이어도 종합해양과학 기지와 같이 외해에 위치하는 해양구조물 거동을 모니터링 하고자 할 때 가장 근거리 상시관측소는 국립해양측위정보원 마라도(MARA)로 이들 사이 기선장은 약 150km가 되며[6], 중국, 일본, 대만 등에 위치하는 IGS 관측소를 이용해 지진 등으로 인한 우리나라 지각변동 감지 시스템을 구축하는 경우는 기선장이 수백에서 최대 1,000km 이상이 된다[4]. 이와 같은 고정밀 중기선 GPS 측위 응용분야들에서는 미지점이 국내 상시관측망 외부에 위치하고, 수 백 킬로미터 이상인 기선장에 따른 중속오차들이 급격히 증가하여 RTK(Real-Time Kinematic) 혹은 네트워크 RTK 측위기법 적용이 불가능하다.

본 논문에서는 수 백 ~ 약 1,000km 기선을 포함하여 GPS 실시간 동적측위 기법을 적용할 수 없는 경우에 대해 최소지연시간(준실시간: near-real time) 처리로 센티미터 수준의 정밀도를 갖는 동적좌표를 추정하는 시스템 설계와 구현 그리고 실험과 성능평가를 목적으로 연구를 수행하였다. 이를 위해 GPS 중기선 관측모형의 특징 및 국외 유사시스템 그리고 IGS 초신속 해석결과물 현황자료 조사를 기초로 GPS 중기선 준실시간 연속처리 시스템을 설계한 후 윈도우 환경에서 BPE(Bernese Processing Engine)를 기반으로 구현하였다. 시스템 기능과 동작의 적절성 확인 및 추정좌표 정밀성을 평가하기 위해 실시간적으로 취득한 GPS 데이터를 후처리 모드로 처리하는 실험을 수행하고 그 결과를 분석하였다.

## 2. GPS 중기선 관측방정식

GPS 중기선 반송파 이중주파수 이중차분 관측방정식은 식(1)과 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta\nabla\Phi_{L1} = & \frac{f_{L1}}{c} \Delta\nabla\rho + \frac{f_{L1}}{c} \Delta\nabla d\rho + \Delta\nabla N_{L1} \\ & - \Delta\nabla dI_{L1} + \frac{f_{L1}}{c} \Delta\nabla dT + \frac{f_{L1}}{c} \Delta\nabla\epsilon_{L1} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \Delta\nabla\Phi_{L2} = & \frac{f_{L2}}{c} \Delta\nabla\rho + \frac{f_{L2}}{c} \Delta\nabla d\rho + \Delta\nabla N_{L2} \\ & - \Delta\nabla \frac{f_{L1}^2}{f_{L2}^2} dI_{L1} + \frac{f_{L2}}{c} \Delta\nabla dT + \frac{f_{L2}}{c} \Delta\nabla\epsilon_{L2} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $\Delta\nabla$ 는 이중차분 연산자,  $c$ 는 빛의 전파속도,  $f_{L1}$ 와  $f_{L2}$ 는 반송파 주파수,  $\rho$ 는 위성-수신기 기하거리,  $d\rho$ 는 궤도오차,  $N_{L1}$ 과  $N_{L2}$ 는 미지정수,  $dL_{L1}$ 는  $L1$  반송파의 전리층효과,  $dT$ 는 대류권지연 그리고  $\epsilon$ 은 잡음이다.

식(1)과 (2)를 이용해 센티미터 수준 정확도로 3차원 위치 추정은 방정식에 포함된 오차들을 이 수준 이하로 축소될 때 가능하다. 궤도오차는 IGS(International GNSS Services) 해석센터(AC: Analysis Center) 정밀궤도력 사용 그리고 전리층효과는 ionospheric-free ( $L3$ ) 선형결합에 의해 최소화할 수 있다. 따라서 IGS 정밀궤도력을 적용한 GPS 중기선 관측데이터  $L3$  선형결합 관측방정식은 식(3)과 같이 나타낼 수 있다[2].

$$\begin{aligned} \Delta\nabla\phi_{L3} &= \frac{f_{L1}^2}{f_{L1}^2 - f_{L2}^2} \Delta\nabla\phi_{L1} - \frac{f_{L1}f_{L2}}{f_{L1}^2 - f_{L2}^2} \Delta\nabla\phi_{L2} \quad (3) \\ &= \frac{c}{f_{L3}} \Delta\nabla\rho + \frac{f_{L1}^2}{f_{L1}^2 - f_{L2}^2} \Delta\nabla N_{L1} \\ &\quad - \frac{f_{L1}f_{L2}}{f_{L1}^2 - f_{L2}^2} \Delta\nabla N_{L2} + \frac{c}{f_{L3}} \Delta\nabla dT \\ &\quad + \frac{c}{f_{L3}} \Delta\nabla\epsilon_{L3} \end{aligned}$$

여기서  $f_{L3}$ 는 선형결합 반송파 주파수 이다.

식(3)에서 주목할 것은 선형결합을 통해 잡음이 증가한다는 것과 실수의 결합계수 사용으로 미지정수항이 정수 특성을 잃어버린다는 것이다. 따라서  $L3$  선형결합 관측데이터를 사용한 정확한 미지정수 결정은 불가능하여 미지수로 모형화하여 좌표와 함께 추정하거나 광폭결합

등과 같은 선형결합을 통해 각 주파수의 미지정수를 결정한 후  $L3$  선형결합을 형성하는 방법을 사용할 수 있다. 본 연구에서는 전자의 방식을 적용하여 식(3)의 관측데이터에 대해 수신기 안테나 좌표와 실수형 미지정수를 동시 추정하였다.

### 3. GPS 관측데이터 연속처리 절차

#### 3.1 국외사례

GPS 연속데이터 처리 절차와 방법 도출을 위해 미국을 포함하여 총 6개국 7개의 시스템을 조사하여 Table 1에 요약하였다[7-13]. 해당 시스템들은 지각변동해석, 지진감지, 사면 모니터링 등 방재분야에 주로 활용되고 있었으며, 데이터처리 엔진은 절대측위 알고리즘을 사용하는 JPL(Jet Propulsion Laboratory)의 GIPSY-OASIS(GNSS-Inferred Positioning System and Orbit Analysis Simulation Software)와 상대측위 방식에 기반하는 GAMIT(GPS Analysis at MIT)과 스위스 베른공대의 BERNESE 이었다. 미국의 CRTN과 일본 GEONET, 이탈리아 AMAMiR은 단기선에 대해서만 실시간 처리를 그리고 대만 CWB는 지진 등 긴급상황은 준실시간 처리하고 있었다. 뉴질랜드와 스위스 시스템은 일간 혹은 수 시간 관측데이터를 정적 후처리 모드에서 사전설정 주기에 따라 자동해석 하는 방식을 사용하고 있었다.

Table 1. Overseas examples of GPS continuously processing systems.

Country	System	Objective	Engine	Main Features
USA	PBO	Short, medium, long-term crustal deformation	GIPSY GAMIT	<ul style="list-style-type: none"> <li>Integration of two independent solutions</li> <li>Rapid in 24 hrs., Final in two weeks</li> <li>Supplemental (integrated solutions in 12~24 weeks)</li> </ul>
	CRTN	RT crustal deformation & earthquake	GAMIT	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 Hz RT solution for detection of P seismic wave</li> <li>Integrated solution with accelerometers by Kalman filter for high sampling rate solutions (e.g., 100Hz)</li> </ul>
Japan	GEONET	Short, medium, long-term crustal deformation	BERNESE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Regular solution w.r.t. ITRF2005 (Quick - every 3 hrs using 6 hrs., Rapid &amp; Final - daily using 24 hrs.)</li> <li>Emergency: every 1 hr. or RT processing</li> </ul>
New Zealand	GeoNET	Short, medium-term crustal deformation	BERNESE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Daily: 1, 3, 30, 90 days latency</li> <li>Removing offsets caused by abrupt crustal deformation and antenna change and filtering for de-noising</li> </ul>
Swiss	AGNES	Geodesy/Surveying, crustal deformation, meteorology	BERNESE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Daily based automatic processing</li> <li>Daily &amp; weekly solution, velocity vectors</li> <li>Estimation and release of ZPD for meteorological applications</li> </ul>
Italy	AMAMiR	Slop monitoring	GAMIT	<ul style="list-style-type: none"> <li>Baseline lengths are limited to few tens of kilometers</li> <li>RT &amp; final solution with 2 weeks latency</li> </ul>
Taiwan	CWB	Medium & long-term crustal deformation	GAMIT BERNESE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Final integrated solution with 2 weeks latency</li> <li>Emergency (earthquake): NRT solution on kinematic mode at 1 or 30 sec. sampling rate</li> </ul>

Table 2. Overseas examples of data processing strategy for the GPS continuously processing systems.

Systems		PBO-CWU	PBO-NMT	GeoNET	CWB
Measurement model	Observable	UD L3(Iono-free)	DD L3(iono-free)	DD L3(iono-free)	DD L3(iono-free)
	CA-P1 bias	Applied	Applied	Applied	Applied
	Phase center	igs08_www.atx	IGS08	PAHAS_COD.I08	PAHAS_COD.I08
	Troposphere	Hor. gradients	2-h piecewise linear function	Saastamoiene Neil	-
	Ionosphere	1st order only	Iono-free comb.	CODE	Iono-free
	Solid/Pole tide	IERS2000	K1	IERS2000	IERS2000
	Ocean tide	FES2004	FES2004	TPXO.7.1.	FES2004
	EOP Model	IERS2000	IERS Bulletin	IERS2000	IERS2000
Estimation	Adjustment	KF/smood	Wighted LS/KF	LS	LS
	SV clock	Not estimated	Estimated	Estimated	Estimated
	Receiver clock	Est. per 5 min.	Est. from PR	Est. from PR	Est. from PR
	Troposphere	Random walk	Random work 2 hours	Est. per 2h	-
	Ionosphere	Iono-free obs.	Iono-free obs.	Iono-free	Iono-free
	Ambiguity	weekly only	Melbourne-Webena	QIF	QIF

이들과 같은 GNSS 관측데이터 처리방식 차이는 응용분야 특성과 기선장을 반영한 것으로 판단된다.

Table 2는 Table 1에 소개한 GNSS 자동처리 시스템의 관측모형과 추정변수 관련 매개변수를 조사하여 요약한 것으로 전리층효과 최소화를 위해 좌표추정에 모두 L3 선형결합 데이터를 사용하고 있는 것에 주목할 필요가 있다. 또한 L3 데이터의 잔존오차 중 가장 큰 영향인 대류권지연은 좌표와 같이 추정하는 방법이 사용되고 있다. 추정 알고리즘 차이는 데이터 처리엔진의 차이이며, 지구동역학적 운동보정을 위해 IERS 표준을 적용하고 있다[14].

### 3.2 IGS 초신속 해석결과물

IGS는 전세계 100여 개국에서 200개 이상의 정부기관, 대학교 및 연구소 연합체로 GNSS를 활용한 지구동역학적 연구와 고품질 관측데이터 및 위성궤도력을 제공하고 있다. 데이터 가공과 제공과 관련 산하조직은 해석센터(AC: Analysis Centers)와 데이터센터(DC: Data Centers)이다. AC는 관측데이터의 주기적 해석을 통해 관측소 절대좌표 추정과 위성 궤도력 및 시계오차, 지구회전요소, 대류권 및 전리층 효과등을 모형화하며, DC는 약 500여개 관측소로 구성된 IGS 네트워크 취득 데이터 보관과 RINEX 형식의 관측데이터 제공역할을 담당한다.

식(3)에서 언급한 바와 같이 GPS 궤도오차 최소화를

위해서는 IGS 정밀궤도력을 해석에 사용할 필요가 있다. 본 연구에서는 준실시간 처리를 고려하여 Table3과 같이 1일 4회 제공하는 SP3 형식의 초신속(ultra-rapid) 궤도력과 지구회전요소를 사용하였다[15]. 해당 궤도력은 샘플링 간격 15분에 대해 총 48시간 위성좌표를 포함하며, UTC 기준으로 1일 4회 제공된다. 예를 들어 2017년 01월 23일(월) 21시에 업데이트된 궤도력 파일명은 "igu19331.sp3\_18"이 된다. 해당 파일은 2017년 01월 23일 18시를 기준으로 01월 22일 18시 ~ 24일 17시 45분 궤도정보를 제공한다. 기준시점 이전 24시간은 관측데이터 해석을 통해 추정된 것이며, 이후는 수학적 모형화를 통해 예측된 것이다. Table 3에 요약한 바와 같이 궤도력 정확도는 전차는  $\pm 2.5\text{cm}$  그리고 후차는 약  $\pm 3.0\text{cm}$  내외이다[15].

Table 3. Summary of IGS ultra-rapid orbit.

Type	Accuracy	Latency	Release	Sampling Interval
Ultra-rapid (predicted half)	Orbit	~5cm	Real time	15 minutes
	Clock	~3ns RMS ~1.5ns SDev		
Ultra-rapid (observed half)	Orbit	~3cm	3~9 hours	
	Clock	~150ps RMS ~50ps SDev		

### 3.3 슬라이딩 윈도우와 데이터 선택·처리

GPS L3 선형결합 관측데이터에 의한 중기선 처리에서 위성신호 취득이 이루어진 순간의 동적모드 안테나 3차원좌표, 실수형미지정수, 대류권지연을 동시 추정은 자유도 부족으로 어려움이 있다. 이 문제의 효율적 해결을 위해 Fig. 1과 같은 슬라이딩 윈도우(sliding-window)를 통해 일정기간 관측데이터를 연속적으로 선택·처리하는 방법을 고려하였다.

본 연구의 응용분야인 대형 건설구조물 변위 혹은 지각변동 해석에서는 안테나 동적거동 범위가 제한되기 때문에 슬라이딩 윈도우가 선택한 GPS 관측데이터를 정적과 동적모드로 구분하여 2단계로 처리가 가능하다[4]. 전자는 이동창 길이에 해당하는 3분 관측데이터 모두에 대한 수학적 모형을 통해 좌표, 실수형 미지정수, 대류권지연을 추정하고, 후자는 이전 단계 결과를 적용하는 관측 순간에 대한 모형화로 1초 간격 동적좌표를 재추정한다. 이 절차를 얻어진 전체 3분에 대한 동적좌표 중 마지막 1분 결과(Fig. 1에서 녹색 부분)만 추출하여 좌표 시계열을 형성한다. 예를 들어 Fig. 1에서 처리시작 후 2~3분 해당 동적좌표는 세 번째 윈도우에 해당하는 0~3분 데이터를 선택·처리하여 2~3분 결과로 얻어진다. 이와 같이 1분 마다 3분간 데이터를 연속적으로 처리하면 Fig. 1의 아래쪽 블록을 연결해 나타낸 부분과 같은 동적좌표 시계열을 얻을 수 있다.

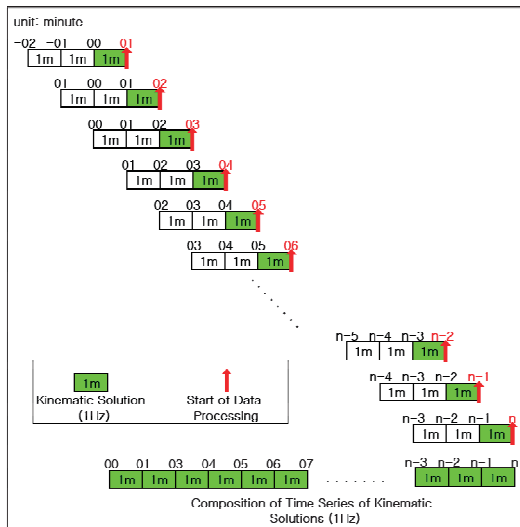


Fig. 1. A sliding-window technique for reconstruction of GPS observables.

### 3.4 시스템 구성 및 자료처리 방안

GPS 중기선 관측방정식 특징과 해외 유사시스템 조사결과에 근거하여 구조물변위 혹은 지각변동 해석 등과 같은 응용분야에 적용 하기위한 준실시간 동적측위 시스템을 Fig. 2와 같이 도출하였다. GPS 관측점은 이중차분 모형을 위한 기준국과 모니터링 대상인 이동국(target)으로 구성했으며, 이들은 인터넷망을 통해 NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) 형식으로 데이터를 송출하는 것으로 고려하였다[17]. 이것은 IGS RTS (Real- Time Service)와 우리나라 GNSS 데이터 통합센터의 실시간 데이터 제공 인프라 현황을 반영한 것이며, 이동국 수신기의 경우에도 인터넷 연결이 가능한 경우 Ntrip caster에 의해 실시간 전송체계 구축이 용이하기 때문이다.

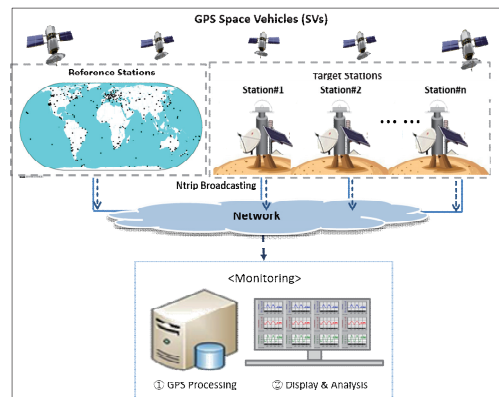


Fig. 2. Architecture of the GPS processing system.

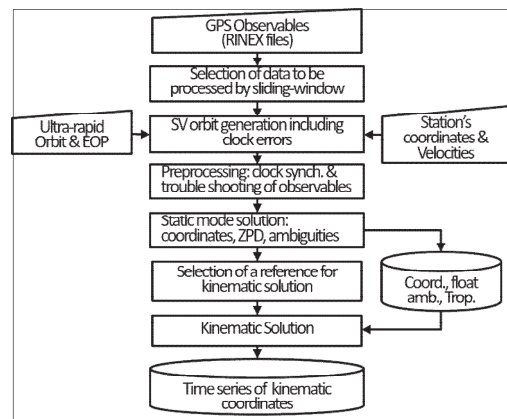


Fig. 3. A procedure of continuous GPS processing.

관측데이터 처리는 Ntrip client가 관측소별로 디코딩한 RINEX 파일을 대상으로 슬라이딩 윈도우가 Fig. 1의 방법으로 선택한 데이터를 Fig. 3의 절차와 Table 4의 모형과 추정법을 사용해 이루어진다. 표에 요약한 처리 전략은 해외사례조사를 바탕으로 목표로 하는 GPS 연속 처리가 가능하도록 도출한 것이다.

Fig. 3의 절차를 살펴보면 우선 IGS 초신속 궤도력과 지구회전요소에 의해 위성궤도를 생성한 후 반송파 사이클 슬립과 과대오차를 점검하여 데이터를 재편집하는 전처리를 수행한다. 이후 식(3)의 선형결합 이중차분 데이터를 형성하여 2 단계 추정을 통해 측위해를 구한다. 정적처리에서는 수신기 3차원 좌표, 실수형 미지정수 그리고 천정방향 대류권지연을 동적모드는 1초 간격 3차원 좌표를 추정한다. 특히 동적모드에서는 정적해석 결과물을 사용해 동적좌표만을 미지수하는 해를 구해 대류권 지연과 실수형미지정수의 정밀도를 높일 수 있도록 하였다. 그러나 이와 같은 방식은 GPS 안테나의 동적위치가 수 센티미터 이내로 제한될 때 적용할 수 있다는 사실에 주목할 필요가 있다.

Table 4. Summary of GPS data processing strategy.

Model	Observable	Double-differencing and ionosphere-free combination (L3)
	Data length	3 minutes using sliding-window Sampling: 1 second
	Antenna PCV Correction	IGS absolute model (i.e., I08.ATX)
	Troposphere	Saastamoinen with Neil mapping function
	Tide	Ocean loading: FES2004
	Orbit & EOP	IGS ultra-rapid products
Estimation	Estimation technique	Least-squares (piece-wise approach for troposphere & sequential estimation for kinematic coordinates)
	Troposphere	Every 3 minutes
	Ionosphere	Using L3 observable to remove Ionospheric effect
	Ambiguity	Float-solution

## 4. 시범구현 및 실험

### 4.1 데이터 취득부 구현

#### 4.1.1 IGS 해석결과물

IGS 초신속궤도력과 지구회전요소를 DC의 FTP 서

버에 자동 접속해 다운로드한 후 처리대상 궤도폴드(drive:\ campaign\ORB)에 저장하는 절차를 DOS 배치파일과 펄 스크립트로 구현하였다. 배치파일은 Fig. 4의 절차에 따라 워크스테이션 날짜와 시간정보로부터 GPS 시간변수 (Julian day, DoY 등)를 계산하여 서버의 다운로드 대상 폴드와 파일명을 정의한 후 펄 스크립트를 구동한다. 이에 반해 스크립트는 IGS DC의 FTP 서버에 접속하여 배치파일이 정의한 파일들을 내려 받아 압축해제와 확장자명 변경 후 GPS 데이터 서버에 저장하는 역할을 담당한다.

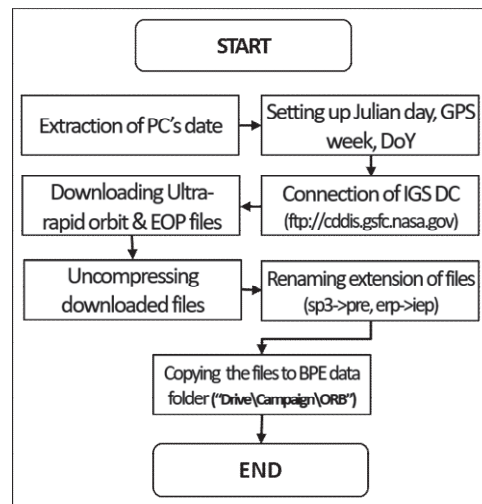


Fig. 4. Implemented procedure for acquiring IGS products

#### 4.1.2 GPS 관측데이터

IAG(International Association of Geodesy) SC1.1 (Regional Reference Frame for Europe)과 IGS 실시간 네트워크 프로젝트 지원을 위해 독일 연방 지도제작 및 측지국(BKG)에서 개발한 BNC (BKG Ntrip Client) 프로그램을 이용해 GPS 데이터 취득부를 구현하였다. BNC는 소스 코드를 포함한 응용 프로그램으로 관측소에서 NTRIP, IP 주소 혹은 시리얼 통신에 의해 실시간으로 송출하는 데이터를 인터넷 망으로 획득하여 디코딩한 후 다양한 파일형식으로 저장할 수 있다[17]. Fig. 5는 GPS 관측소 데이터의 실시간 취득과정을 나타낸 것으로 Ntrip으로 송출되는 RTCM(Radio Technical Commission for Maritime Services) 메시지를 BNC에 의해 디코딩 후 Rinex Version 2.11 형식으로 저장한다.

GNSS 관측소 RINEX 헤드 파일부 생성에 필요한 하드웨어(안테나, 수신기, 레이돔 종류 등), 관측점명 등 관련 정보는 스�কে레톤(skeleton) 파일, 그리고 캐스트(caster) 연결정보, 입-출력 메시지 형식, 파일생성 단위, 샘플링 간격 등은 제어파일에 정의하여 BNC의 실행과 동시에 데이터 취득절차를 자동수행 하도록 하였다. 저장 RINEX 파일명은 “????{ddd}{h}. {yy}O”으로 저장 간격 1초에 대해 1시간 단위로 생성하도록 하였다. 여기서 ???? 관측소명, ddd는 일짜, h는 세션명, yy는 관측연도 이다.

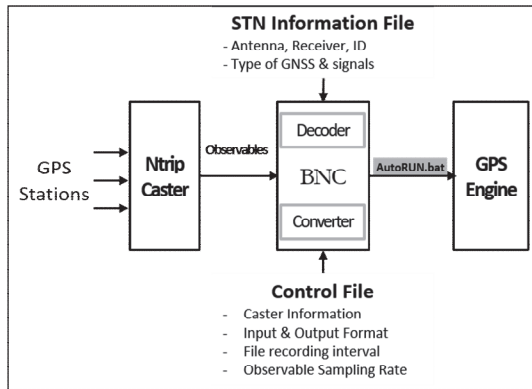


Fig. 5. Architecture of GPS data acquisition through Ntrip.

#### 4.2 데이터 처리부 구현

GPS 관측데이터 연속처리부 구현에는 BPE (Bernese Processing Engine)를 사용하였다. BPE는 GPS 관측데이터의 입-출력, 위성궤도 생성 및 시간오차 보정, 전처리를 통한 과대오차 점검 및 데이터 재편집 그리고 관측소의 좌표, 속도벡터, 전리층 및 대류권오차 등 다양한 매개변수를 추정할 수 있는 포트란(Fortran) 소스코드와 실행파일 그리고 처리절차와 시스템 변수를 정의하여 자동화할 수 있는 환경을 제공한다[18]. 데이터 처리절차는 PCF(Process Control File) 스크립트에 의해 정의되며, 슬라이딩 윈도우에 의해 GPS 관측데이터 자동적으로 선택하는 스크립트를 포함하여 Fig. 3의 절차와 Table 4의 처리전략을 옵션으로 사용하는 PCF를 작성하였다.

BPE 처리의 최종 결과물에 해당하는 동적좌표 파일을 입력하여 3차원 좌표 시계열을 형성한 후 그래프로 시각화할 수 있는 응용 프로그램을 Matlab GUI(Graphic

User Interface) 환경을 이용하여 Fig. 6과 같이 작성하였다. 프로그램은 1분 단위로 BPE가 새로운 동적좌표 파일을 생성할 때 마다 새로운 시계열을 형성하고 그래프로 나타낼 수 있다.

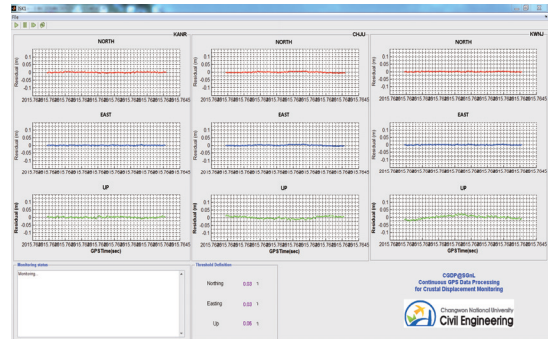


Fig. 6. Visualization software of estimated coordinate time-series.

#### 4.3 실험 및 결과

GPS 관측데이터 연속처리 시스템의 설계기능의 성능 검증과 추정 3차원 동적좌표 시계열의 정밀성을 살펴보기 위한 실험을 수행하였다. 이를 위해 Fig.7과 같이 IGS RTS 4점 그리고 국토지리정보원 3점으로 이루어진 데이터처리 네트워크를 구성하여 인터넷을 통해 실시간적으로 송출하는 GPS 데이터를 저장간격 1초로 하여 획득하였다. 그림에서 사각형 표시 CHAN, DAEJ, JFNG, USUD는 IGS로 기준국 그리고 삼각형으로 나타낸 CHJU, KANR, KWNJ는 국토지리정보원 운영 관측소로 이동국으로 고려하였다. 네트워크 기전장은 최소 200km에서 최대 약 1,000km로 모두 중기선에 해당한다. IGS 초신속 궤도력과 지구회전 파라미터는 DOS 배치파일 구동을 통해 자동 다운로드 하였다.

현재 GPS 중기선 연속처리 시스템은 시범구현 후 안정화 테스트 단계로 실험에서는 실시간적으로 취득한 1시간 GPS 데이터와 IGS 해석 결과물을 이용한 후처리 방식을 사용했다. 특히 앞서 논의한 바와 같이 구조물 모니터 모니터링 등용 등에서는 예상되는 구조물 거동범위를 수확모형에 구속하여 정밀도 향상이 가능하기 때문에 실험에서는 수평성분에  $\pm 1\text{cm}$  그리고 수직방향에  $\pm 3\text{cm}$ 를 적용하였다[4]. 이 때 초기좌표 구속범위는 대상 구조물의 동적특성에 따라 결정 가능하다[19]. Fig. 8은 데이터서버(WD Cloud Mirror)와 워크스테이션(HP Z1)으로

구성한 GPS 데이터 연속처리 시스템의 구동장면을 촬영한 것으로, 화면 우측은 BPE에 의한 처리 그리고 좌측은 모니터링 관측소의 추정좌표 시계열에 대한 시각화 프로그램 그래프를 보여주고 있다.

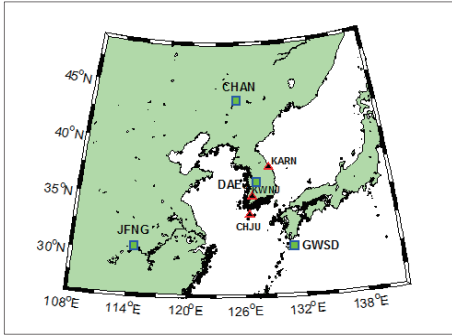


Fig. 7. Testing GPS Network

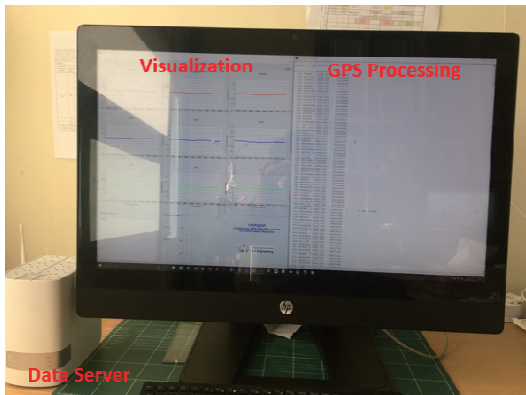


Fig. 8. Implemented continuous GPS processing system.

1분 단위 60회 연속처리를 통해 국토리지정보원 관측소 3점의 좌표를 추정후 Fig. 6의 시각화 프로그램을 통해 총 1시간에 대한 3차원 좌표시계열을 구성하였다. Fig. 9~11은 GPS 데이터 처리결과를 바탕으로 측위해의 정밀도를 살펴보기 위해 좌표시계열을 평균값과 차이를 도시한 것이다. 이는 구조물 혹은 지각변동 모니터링은 절대좌표 추정자체 보다 상대적 변위해석이 목적으로 그 정밀도가 중요하기 때문이다. 그러나 일반적으로 수 시간에서 최대 24시간을 사용하는 정적측위에 비해 실험결과는 3분 관측데이터를 사용했기 때문에 결과에 바이어스가 존재할 수 있음을 밝혀둔다[4].

그림의 시계열들로부터 계산한 3대 이동국 좌표시계

열의 신뢰수준 95%에 대한 RMSE(Route Mean Squares) 범위는 수평방향 3.6~6.2mm와 수직방향 7.9~10.1mm 이었다. 이와 같은 결과는 본 연구의 GPS 중기선 연속처리 시스템이 후처리 모드에서 적절한 동작은 물론 그 정밀도를 고려할 때 육지 상시관측소로부터 수백 킬로미터 이상 떨어진 해상구조물 거동 혹은 지각변동 모니터링 분야에 적용할 수 있음을 의미한다.

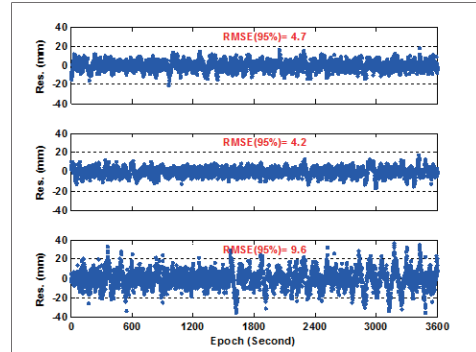


Fig. 9. Time series of estimated residuals at CHJU.

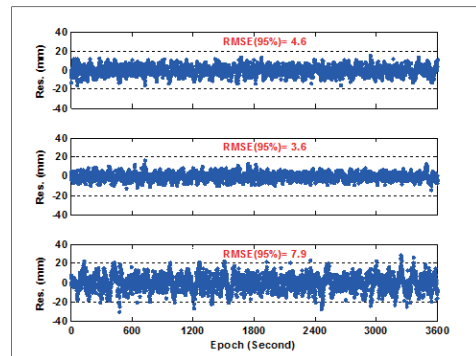


Fig. 10. Time series of estimated residuals at KANR.

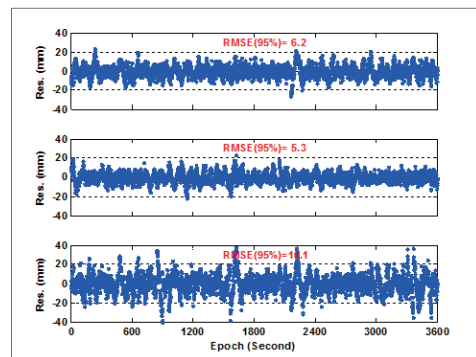


Fig. 11. Time series of estimated residuals at KWNJ.



## 5. 요약 및 결론

본 논문에서는 육지에서 수백 킬로미터 이상 떨어진 외해의 해양구조물 혹은 국외 IGS 관측소에 기준한 우리나라 기각변동 모니터링 등에 적용할 수 있는 GPS 준실시간 연속처리 시스템 개발을 위한 기초연구가 설계와 실험적 구현과 평가를 중심으로 이루어졌으며, 그 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, GPS 중기선 이중차분반송파 관측모형 특성 고찰과 자동처리 시스템에 대한 해외사례 그리고 IGS 초신속 해석결과물 제공현황 조사를 바탕으로 슬라이딩 윈도우 기반의 연속처리 시스템 구성방안이 제시되었다. 시스템은 데이터 취득부와 처리부로 이루어지며, 전자는 Ntrip과 FTP를 이용한 GPS 관측데이터 및 IGS 해석결과물 획득·저장 그리고 후자는 고정밀 연속처리를 통한 3차원 좌표시계열 형성·시각화한다.

둘째, 제안된 시스템의 데이터 취득부는 DOS 배치파일 및 펄 스크립트 작성과 BKG BNC 프로그램 그리고 처리부는 슬라이딩 윈도우 기법에 의한 GPS 관측데이터 선택 스크립트와 BEP PCF 작성을 통해 구현되었다.

셋째, 구현 시스템의 설계기능 동작여부 점검 및 GPS 관측데이터 처리 정밀도 평가를 위해 7점의 IGS 및 국토지리정보원 상시관측소를 이용한 실시간 데이터취득 및 후처리 실험이 수행되었다. 실험과정 중에 오류수정을 통해 최종 산정 좌표시계열 추정정밀도는 신뢰수준 95%에 대해 모든 좌표성분이  $\pm 1\text{cm}$  이상으로 평가되었다.

끝으로 본 논문에서는 GPS 고정밀 중기선 측위 응용 분야 활용을 위한 관측데이터 연속처리 시스템을 시범적으로 구현한 것으로 향후 실세계 적용을 위한 연산시간 단축 및 시스템 안정화 추가 연구가 필요하다.

## References

- [1] A. Leick, L. Rapoport, D. Tatarnikov, *GPS satellite surveying*. Fourth edition, Wiley, pp. 257-295, 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119018612>
- [2] C. Rizos, *Principles and practice of GPS surveying*, pp. 101-303, University of New South Wales, Australia, 1997.
- [3] B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, J. Collins, *GPS: theory and practice*. Fifth edition, Springer-Verlag, pp. 181-202, 2001.
- [4] I. Cho, H. Lee, "Experimental assessment on accuracy of kinematic coordinate estimation for CORS by GPS medium-range baseline processing technique", *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, vol. 34, no. 1, pp. 79-90, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgepc.2016.34.1.79>
- [5] Y. Bock, H. Cecil, M. Ida, "Medium distance GPS measurements", in: P. Teunissen and A. Kleusberg (eds.) *GPS for Geodesy*, Springer, pp. 483-536, 1998.  
DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-72011-6\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-642-72011-6_12)
- [6] B. Park, T. A. Musa, H. Lee, Y. Choi, H. Yoon, C. Cho, "The first results of analyzing GPS observations at IEODO ocean research station in Korea", *Proceedings of FIG Congress 2014*, Paper no. 7417, 2014.
- [7] Scripps Orbit and Permanent Array Center. CRTN description, Available From: <http://sopac.ucsd.edu/crtndescription.shtml>. (accessed Jan. 2017)
- [8] T. Herring, GPS data analysing plan: GAGA, Available From: [https://www.unavco.org/data/gps-gnss/derived-products/docs/GAGE\\_GPS\\_Analysis\\_ACC\\_20150908.pdf](https://www.unavco.org/data/gps-gnss/derived-products/docs/GAGE_GPS_Analysis_ACC_20150908.pdf). (accessed Dec., 28, 2016).
- [9] T. Imakiire, GNSS CORS and reference frame, Available From: [https://www.fig.net/resources/proceedings/2013/2013\\_reference\\_frame\\_in\\_practice\\_comm5/1.4\\_geonet\\_imakiire.pdf](https://www.fig.net/resources/proceedings/2013/2013_reference_frame_in_practice_comm5/1.4_geonet_imakiire.pdf). (accessed Dec., 28, 2016)
- [10] Land Information New Zealand, GPS processing notes, Available From: <http://info.geonet.org.nz/display/appdata/GPS+Processing+Notes>. (accessed Feb., 15, 2015)
- [11] E. Brockmann, Automated GNSS network Switzerland (AGNES), Available From: [http://www.epncb.oma.be/documentation/papers/eurefsymposium2006/monitoring\\_the\\_automated\\_gps\\_network\\_of\\_switzerland\\_agnes.pdf](http://www.epncb.oma.be/documentation/papers/eurefsymposium2006/monitoring_the_automated_gps_network_of_switzerland_agnes.pdf). (accessed Jan. 2017)
- [12] S. Gabriele, F. Chiaravallotti, G. D'Aquila, C. Tansi, "Distributed real-time monitoring system to natural hazard evaluation and management: the AMAiR system", *Proceedings of 18th World IMACS/MODSIM Congress*, pp. 2672-2678, 2009.
- [13] T. C. Shin, K. W. Kuo, P. L. Leu, C. H. Tsai, J. S. Jian, Continuous CWB GPS array in Taiwan and applications to monitoring seismic activity, *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Science*, vol. 22, no. 5, pp. 521-533, 2011.  
DOI: [https://doi.org/10.3319/TAO.2011.05.18.01\(T\)](https://doi.org/10.3319/TAO.2011.05.18.01(T))
- [14] G. Petit, B. Luzum, IERS conventions (2010), *IERS Technical Note no. 36*, p. 179, 2010.
- [15] International GNSS Services, IGS products, Available From: <http://igs.org/products>. (accessed Jan., 20, 2017).
- [16] Radio Technical Commission for Maritime Services, New standard for networked transfer of RTCM via internet protocol (Ntrip), Available From: <https://igs.bkg.bund.de/rootftp/NTRIP/documentation/NtripPressRelease.pdf>. (accessed Jan. 2017).
- [17] BKG, Open source Ntrip software, Available From: <https://igs.bkg.bund.de/ntrip/download>. (accessed Jan. 2017).
- [18] R. Dach, U. Hugentobler, P. Fridez, M. Meindl, *Bernese*

GPS software version 5.0, Astronomical Institute, University of Bern, pp. 381-424, 2007.

- [19] H. Lee, "An instantaneous integer ambiguity resolution for GPS real-time structural monitoring", *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, vol. 34, no. 1, pp. 341-353, 2014.

DOI: <https://doi.org/10.12652/Ksce.2014.34.1.0341>

---

이 흥 규(Hungkyu Lee)

[정회원]



- 2000년 2월 : 동아대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2004년 10월 : 호주 뉴사우스 웨일즈 대학교 측량정보공학과 (공학박사)
- 2004년 11월 ~ 2005년 2월 : 한국 전자통신연구원 선임연구원
- 2005년 3월 ~ 현재 : 창원대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

GNSS 측위/항법, 측지측량, 공간정보 수치모델링