

아토미움을 이용한 정밀절대측위

유동희*

Precise Point Positioning using Atomium

Dong-Hui Yu*

Department of Software, Catholic University of Pusan, Busan 46252, Korea

요 약

미국의 GPS, 러시아의 GLONASS, 유럽의 Galileo, 중국의 Beidou 등과 같은 GNSS(Global Navigation Satellite System)의 핵심요소인 정밀 시각은 전 세계에서 다양한 경제적 활동의 중요한 근간이 되어 있다. 통신시스템, 전력 그리드, 금융 네트워크 등은 기본적인 작동 원리의 근간뿐만 아니라 작업들 간의 동기화 운영적 효율을 위해 정밀 시각을 기반으로 동작한다. 본 논문에서는 GNSS 신호 관측을 통해 클럭의 오류(클럭 솔루션)를 계산하는 방법인 정밀 절대측위 기법을 구현한 벨기에의 아토미움을 국내에서 처음으로 소개하고 한국표준과학연구원 관측 데이터를 적용하여 클럭 솔루션을 추출한 결과를 제시한다.

ABSTRACT

The precise time, which is an essential element of the Global Navigation Satellite System (GNSS), such as US GPS, GLONASS in Russia, Galileo in Europe, and Beidou in China, is an important foundation for various economic activities around the world. Communication systems, power grids, IoT, Cloud computing and financial networks operate based on the precise time not only for the operating principles, but also for the synchronization and operational efficiency between tasks. In this paper, we introduce the Atomium software for the first time in South Korea. Atomium was developed by ORB in Belgium to calculate the clock error(clock solution) with GNSS signal observation data based on PPP method. The observation data is provided by Korea Research Institute of Standards and Science(KRISS). The results of MJD57106 with Atomium software are presented.

키워드 : 위성항법시스템, 정밀시각, 정밀절대측위, 시각동기, 아토미움

Key word : GNSS, precise time, precise point positioning, time synchronization, Atomium

Received 23 May 2018, Revised 4 June 2018, Accepted 5 June 2018

* Corresponding Author Dong-Hui Yu(E-mail:dhyu@cup.ac.kr, Tel:+82-51-510-0643)

Department of Software, Catholic University of Pusan, Busan 46252, Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2018.22.6.910>

pISSN:2234-4772

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

미국의 GPS, 러시아의 GLONASS, 유럽의 Galileo, 중국의 Beidou 등과 같은 GNSS(Global Navigation Satellite System)의 핵심요소인 정밀 시각은 전 세계에서 다양한 경제적 활동의 중요한 근간이 되어 있다. 통신시스템, 전력 그리드, 금융 네트워크 등은 초 단위에서 나노초 단위의 다양한 정밀도의 시각원을 기준으로 동작한다. 또한, IoT, 클라우드 기반의 다양한 산업기술들이 등장하면서 정밀 시각원에 대한 연구가 더욱 요구되고 있다. 한 예로, 유럽 ESMA(European Securities and markets Authority)의 새로운 규정 초안은 2018년 1월 3일부터 모든 자동화된 모든 금융 거래에 100마이크로초 이하의 정밀도로 UTC(Universal Time Coordinated) 기준의 시각소인을 설정하도록 명시하고 있다[1-3]. UTC는 세계협정시로 1972년 1월1일부터 시행된 국제표준시이다. BIPM(International Bureau of Weights and Measures)에서 전 세계 78개(2017년 3월 기준)의 시각 관련 기관에서 전달된 시각 정보(Time and Frequency Transfer data)를 이용해서 결정되는 표준시이다.

아토미움(Atomium)은 GNSS를 기반으로 한 시각 정보를 전송(Time and Frequency Transfer)하기 위한 스테이션의 클럭 오류를 계산하는 소프트웨어로 벨기에 ROB (Royal Observatory of Belgium)에서 개발했다. 아토미움은 정밀절대측위(PPP : Precise Point Positioning) 방식을 사용하여 스테이션의 위치와 클럭 오류를 결정하기 위해 GNSS 코드 신호와 반송파 위상 측정을 입력하고 최소 제곱 분석을 사용한다[4-5].

국내 정밀절대측위를 통한 시각정보 분석에는 집시, 베니즈 등 상용 소프트웨어 프로그램들이 주로 사용되고 있다. 아토미움은 상업적 목적이 아니면 소스코드가 공개되기 때문에 정밀절대측위 기반 기술에 대한 원천적 연구에 도움이 될 수 있다.

이에 이 논문에서는 아토미움의 동작원리와 우리나라 GNSS 데이터를 적용한 결과를 제시하고자 한다. 이 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 정밀절대측위와 아토미움의 동작 원리를 설명하고 3장에서는 우리나라에서 측정된 GPS와 GLONASS 관측 데이터를 적용한 결과를 설명하고 4장에서 향후 연구에 대해 소개하고 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1. GNSS 신호 관측

GNSS 신호 관측식은 코드 신호(P1, P2)와 반송파 위상 신호(L1, L2)에 대해 다음과 같이 구성된다.

$$P_{1,2} = \rho_{1,2} - c\Delta t_{rec} + c\Delta t_{sat} + I_{1,2} + Tr + \delta_{1,2}^P + \epsilon_{1,2}^P \quad (1)$$

$$\Phi_{1,2} = \rho_{1,2} - c\Delta t_{rec} + c\Delta t_{sat} + I_{1,2} + Tr + \lambda_{1,2}N + w_{1,2} + \delta_{1,2}^\Phi + \epsilon_{1,2}^\Phi \quad (2)$$

$P_{1,2}$ 는 P1, P2 코드 각각을 표현하는 것이며, $\Phi_{1,2}$ 는 L1, L2 반송파 위상을 의미한다. ρ 는 위성으로부터 수신기까지의 거리로 항법메시지의 위성 궤도 정보를 이용해서 구할 수 있다. c 는 빛의 속도, Δt_{rec} 는 수신기와 위성간의 시각오프셋이며 시각비교 결과 얻어져야 하는 결과값이다. Δt_{sat} 는 위성시계의 오프셋이고 이를 보정할 수 있도록 항법 메시지에 다항식의 계수들이 제공된다. I 는 이온층 지연, Tr 은 대류층 지연, $\delta_{1,2}^P$ 는 위성 하드웨어 지연이고 $\epsilon_{1,2}^P$ 는 노이즈 값이다. $\lambda_{1,2}$ 는 각각 반송파 주파수를 의미하고 N 는 위상차에 대한 미지정수이며, $w_{1,2}$ 는 안테나의 phase windup 오차이다.

이온층 지연인 I 는 전리층에서의 전파전달지연이 반송파 주파수의 제곱에 역비례하는 현상을 이용해서 제거하는데 이를 이온층 프리조합 P3, Φ_3 라고 하며 다음과 같이 정의된다.

$$P_3 = \rho_3 - c\Delta t_{rec} + c\Delta t_{sat} + Tr + \delta_3^P + \epsilon_3^P \quad (3)$$

$$\Phi_3 = \rho_3 - c\Delta t_{rec} + c\Delta t_{sat} + Tr + \lambda_3N + w_3 + \delta_3^\Phi + \epsilon_3^\Phi \quad (4)$$

위성과 수신기간의 기하학적 거리인 ρ 의 계산은 위성의 궤도를 적용해야 하는데, 코드의 경우 2시간마다 업데이트되어 방송되는 항법 메시지의 위성 궤도 정보와 실측된 수신기 안테나의 좌표를 이용한다. 반송파의 경우는 좀 더 정확한 기하학적 거리를 계산하기 위해 IGS의 정밀궤도를 이용하고 수신기의 정밀한 위치를 보상하기 위해 선형적 모델(a priori model)을 사용하고 ground displacement 보상을 위해 FES2004 모델과 같은 고체지구조석과 해양조석하중 영향 등을 적용할 수 있다. 그리고 위성 안테나의 위상 중심 오프셋, 사냥 효과 등을 이용해서 최종 기하학적 거리인 ρ 를 구하고 Δt_{sat} 값은 항법 메시지내의 위성 시계 관련 정보를 이용해서

보상한다. w_3 의 경우 수십 cm 오차를 보상할 수 있는데, 1994년 이후에는 안테나 제조업체들이 이 phase windup을 보정해서 제공하고 있다. 위성 하드웨어 지연은 L1, L2 주파수에서 P 코드를 전송하는데 바이어스 값으로 역시 항법 메시지에 제공되는 그룹 지연값을 이용해서 보정한다.

2.2. 정밀절대측위

정밀절대측위(PPP)는 국제 지상 표준 시스템 (ITRS, International Terrestrial Reference System)과 같은 동적 전역 참조 프레임워크에서 다른 스테이션의 측정 데이터를 사용하지 않고 단일 스테이션에서 수 센티미터 수준까지 매우 정확한 위치를 계산하는 전역 항법 위성 시스템 (GNSS) 위치 지정 방법이다. 정밀절대측위 방법은 미리 정확한 위치가 결정된 참조 스테이션에서 GNSS 신호를 수신하여 그 신호의 오류를 측정하고 오류를 방송해서 사용자의 위치 정밀도를 높이는 DGNSS (Differential GNSS) 위치 지정 방법과는 다르다.

정밀절대측위 접근 방식은 해당 스테이션에서 관측한 GNSS 관측 데이터를 기반으로 정밀한 시계와 궤도, 측위 커뮤니티인 IGS(International GNSS Service)에서 처리하여 제공된 정확한 천체력 (ephemeris), 조력모델, 해양조력모델 등을 이용하여 단일 수신기로 정확한 위치를 계산할 수 있는 기법으로써 정확한 궤도 및 시계 데이터는 모든 사용자들이 사용할 수 있다. 정확한 궤도와 시계는 항상 동일한 위성을 관측하는 많은 참조 스테이션들의 글로벌 네트워크(전역 참조 프레임워크)에서 계산되기 때문에 개별 참조 스테이션의 오류에도 영향을 받지 않으므로 정밀절대측위 기법은 매우 강건하게 정확한 위치와 시간 정보를 제공할 수 있다[5-7].

정밀절대측위 알고리즘은 정확한 수신기 좌표와 시계를 계산하기 위해 이중 주파수 수신기의 GNSS 코드 신호 및 위상 관측치, 정확한 위성 궤도 및 시계를 사용한다. 위성으로부터 오는 모든 관측치는 수신기 좌표, 수신기 시계, 천정 대류권 지연 및 위상 모호성 등을 해결하는 필터로 함께 처리된다.

위성 시계와 궤도의 정확성은 정밀절대측위의 품질에 영향을 미치는 가장 중요한 요소 중 하나다. 정밀절대측위 결과에 영향을 미치는 또 다른 요소는 관측치의 양과 품질이다. 다른 GNSS 기술과 마찬가지로 정밀절대측위는 시선 전파(line-of-sight) 방해물의 영향을 받

기 때문에 사용자가 특정 위성을 추적 할 수없는 경우 IGS 등에서 제공된 가장 정확한 궤도 및 시계 데이터는 쓸모가 없다. 따라서, GPS 시스템, GLONASS 시스템, Galileo 시스템, Beidou 시스템 등 다양한 GNSS 위성을 모두 활용하여 최상의 서비스를 보장 할 수 있다[8].

정밀절대측위의 활용 범위는 정밀 시각정보 전달, 측량과 측지학, 광산, 농업 및 건설 분야에서도 활용도가 높으며, 최근에는 로봇이나 자율 주행 분야에서도 정밀한 위치정보 획득에 대한 요구가 증대되고 있다.

2.3. 아토미움 동작원리

아토미움의 정밀절대측위 접근법은 하루치의 이중 주파수로 처리된 GPS 전리층 프리(ionosphere-free) 코드 관측 데이터와 반송파 위상 관측에 대해 최소 제곱 (least square adjutment) 기법을 적용하는 것이다. L1과 L2에 기반한 전리층 프리 조합(ionosphere free) L3이 사용된다. 버전 4.0에서는 C1과 P1 모두 L1 용으로 사용할 수 있지만 L2 용으로는 P2만 사용할 수 있다.

관측치에 대해 가장 먼저 적용되는 필터는 IERS 협약을 따르는 고체 지구 조석과 해양조석하중 (Solid Earth tide and ocean loading)의 영향에 대한 처리이다.

위성 위치는 선형적 모델로 계산되며 15 분 샘플링 속도로 12 포인트에서 Neville 보간법을 사용한 IGS (International GNSS Service) 궤도에서 얻는다.

위성 시계 보정도 선형적 모델로 계산되며, IGS에서 제공되는 위성 시계 정보인 clock product에서 가져온 것을 사용하고 보간법을 적용하지는 않는다.

위성 안테나와 수신기 안테나 위치는 모두 IGS (파일 igs05.atx)에 의해 제공되는 절대 보정을 통해 각각의 천저 의존(nadir dependent) 및 고도 의존(elevation-dependent) 위상 센터 변형들을 보정한다.

반송파 위상 측정은 위성 자세 및 일식 이벤트를 고려한 phase windup을 이용해서 보정한다.

대류권 지연은 대류권의 굴절에 의해 발생한다. 대류권 굴절은 지구의 대기층의 중간(비전하)부분의 효과이다. 대류권은 약 15 GHz의 주파수대에 이르는 라디오파들에 관한 비 산란매체이다. 대류권 굴절은 주파수의 영향을 받지 않으므로 반송파 L1과 L2에 대하여 동일하게 적용된다. 대류권의 지연오차는 크게 두 가지로 나누는데 건조공기에 의한 건조지연(dry delay)과 습윤공기에 의한 습윤지연(wet delay)으로 구별된다. 건조지연은 유

체 정역학적 평형상태에 있으므로 hydrostatic delay라고도 한다. 지표로부터 11~12km 사이에 수증기가 존재하는 wet층, 그 상층의 40~50km 까지를 Dry 층으로 대류층 지연을 계산한다. 대류권 지연량은 중간 대기층을 통과하는 라디오파에 의하여 여행한 거리에 관계되므로 위성 고도각의 함수이다. 대류권 신호 지연은 천정방향시 가장 작고, 고도각이 낮아질수록 점점 커지는데 임의 고도각에 대한 지연오차는 천정지연(ZPD, Zenith Path Delay)과 mapping function의 곱으로 나타낸다. 건조 부분은 Saastamoinan 모델과 Niell 매핑 함수(NMF)를 사용하여 처리한다. 습윤 부분은 최소 제곱 조정에서 2 시간 샘플링 속도로 추정한다. 또한 5분 간격의 IGS 시간 척도에 대해 하루치의 스테이션 위치뿐만 아니라 스테이션 시계 동기화 오류가 추정된다.

아토미움은 하루 동안의 데이터들을 한번에 처리해서 결과값을 계산한다. 이 결과값에는 위치, 수신기 클럭 및 대류권 천정지연 등이 포함된다. 아토미움은 정적 모드에서만 작동하고 하루 동안 하나의 위치에 대한 결과값을 제공한다. 수신기 클럭 솔루션이라고 명명되는 분석 결과는 각 관측 epoch에서의 수신기 클럭과 위성 클럭들의 기준 클럭 간의 차이로 제공된다. 아토미움은 GPS 위성들에 대해서만 처리한 결과와 GPS와 GLONASS 위성들에 대한 처리 결과를 같이 제공한다.

III. 아토미움 처리 과정 소개

3.1. 입력 데이터

아토미움을 실행시키기 위해 앞 장에서 개괄적으로 제시한 데이터들은 입력 파일들로 제공되어야 한다. 본문에서는 관측 스테이션의 데이터를 적용해서 실행하기 위해 필요한 입력 데이터들이 어떻게 파일로 처리되는지와 어떤 데이터들이 추가되어야 하는지에 대해 한국표준과학연구원 데이터를 적용한 과정으로 제시한다.

- constantes.txt : 지구 회전 속도, WGS84 모델에서 지구타원체 반장경, 지구 평탄화 관련 상수, 진공 속 광속, GPS L1 주파수, GPS L2 주파수, GPS 위성 개수, GLONASS 위성 총 개수 등에 대한 상수 값 정의
- params.txt : 샘플링 속도, 고도 컷오프(도), 대류층 매핑 함수 선택, 대류층 천정 습윤 지연(ZWD) 관련 매개변수들 설정, GPS 와 GLONASS 선택 플래그 등 선

택 옵션 정의

- station.dat : 스테이션의 영문자 이름(ocean loading, IGS clk 파일에서 사용하는 기준 스테이션의 이름). 측정하고자 하는 기준 스테이션의 x,y,z 좌표(미터 기준) 추가. 우리나라의 경우 한국표준과학연구원의 좌표 적용
- oceanload.txt : BLQ 형식으로 분석된 기준 스테이션의 ocean loading 데이터. <http://holt.oso.chalmers.se>에서 기준 스테이션의 좌표 입력 후 메일로 수신
- igsatx.in : 수신기 및 위성 안테나 위상 센터 및 변형을 포함하는 파일로, 해당 기준국의 수신기 안테나 데이터가 포함된 파일을 받아서 파일명 변경해서 처리 (예 : igs08_1645..atx)
- rinex_obs : 측정일의 수신기에서 제공하는 rinex 관측(observation) 파일 (Rinex 2.1)
- gps_orb_m : 측정 전날 궤도 정보를 가진 sp3 형식 파일(마지막 2 시간 정보만 필요함). ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/products/에서 해당 일자의 데이터를 찾아 파일명 변경해서 처리[9]
- gps_orb : 측정일 궤도정보를 가진 sp3 형식 파일. ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/products/에서 해당 일자의 데이터를 찾아 파일명 변경해서 처리
- gps_orb_p : 측정일 다음 날 sp3 형식 궤도 정보 파일. ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/products/에서 해당 일자의 데이터를 찾아 파일명 변경해서 처리
- rinex_clk : 측정일 위성 시계 정보 파일(IGS clk 형식). ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/products/에서 해당 일자의 데이터를 찾아 파일명 변경해서 처리
- erp.dat : 지구 회전 매개 변수 파일 (IGS erp 형식). ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/products/에서 해당 일자의 데이터를 찾아 파일명 변경해서 처리
- CIP1.in : 위성들의 P1, P2 코드 바이어스에 대한 월별 데이터(DCB 형식). ftp://ftp.aiub.unibe.ch/CODE/에서 관측 달 데이터를 찾아 파일명 변경해서 처리
- statusglo : GPS + GLONASS에 대한 정밀절대측위를 수행하는 경우에만 사용됨. 각 GLONASS 위성의 주파수 채널 데이터 제공. ftp://ftp.glonass-iac.ru/MCC/STATUS에서 해당 관측일의 데이터(Const_yyddmm.glo) 찾아 파일명 변경해서 처리

3.2. 출력 결과

아토미움 실행 결과 생성되는 출력 결과들은 다음과 같이 파일 형태로 제공된다. 파일명 중 -는 GPS 또는 GLONASS(GLO)를 의미한다.

- P3L3-.dat : 기하학적 거리, 수신기 시계, 대류권 건조, 상대론적 효과 및 와인드업 등의 보정에 사용된 P3 및 L3 값
- resP3L3-.dat : 각 계산과정에서의 P3 및 L3 residuals
- reject--.dat : 거부 사유가 있는 거부된 관찰 목록
- clock-.out : 클럭 솔루션 (3 열로 구성 : 에포크, 클럭, 시그마)
- clock-diff-IGS.out : IGS clk 파일에 있는 스테이션이 있을 때 아토미움 솔루션과 IGS 클럭 솔루션의 차이 (2 열 : 에포크, 클럭 솔루션 차이)
- clockIGS.out : IGS clk 파일에 스테이션이 있을 때 IGS 클럭 솔루션 (2 열 : 에포크, 클럭)
- posxyz-ARP : 안테나 기준점 (7 열 : mjd, x, y, z, sigma_x, sigma_y, sigma_z)의 위치 솔루션
- posxyz-.PC : 안테나 위상 중심 (7 열 : mjd, x, y, z, sigma_x, sigma_y, sigma_z)에 대한 위치 솔루션
- zpd-.out : 대류권 지연 솔루션 (4 열 : 에포크, 습윤 zpd (추정), sigma_zpd, 건조 zpd (모델링))
- GLO_biases.out : GLONASS 위성 편향 (5 열 : mjd, prn, 주파수 채널, 편향, sigma_bias)

3.3. 데이터 적용 결과

아토미움에 적용할 국내 데이터는 우리나라에서 BIPM에 UTC 계산을 위해 시간 데이터를 전송하는 한국표준과학연구원의 GTR51 수신기의 2015년 3월 25일 (MJD57106) 관측 데이터를 확보하여 적용하였다. 아토미움 실행에 필요한 입력 데이터들은 입력 데이터장에서 제시한 바와 같은 과정을 통해 설정하였다. 한국표준과학연구원의 클럭 솔루션에 해당하는 결과파일은 clockGPS.out과 clockGPSGLO.out 이다. 그림 1에 clockGPSGLO.out 결과를 예로 제시하였다.

57106.00000000	0.26031816E-07	0.90279405E-10
57106.00347222	0.26077798E-07	0.89233880E-10
57106.00694444	0.26067351E-07	0.89157400E-10
57106.01041667	0.26060430E-07	0.89144995E-10
57106.01388889	0.26057410E-07	0.89025915E-10
57106.01736111	0.26073805E-07	0.88967255E-10
57106.02083333	0.26059683E-07	0.88967918E-10
57106.02430556	0.26086415E-07	0.88854843E-10
57106.02777778	0.26089667E-07	0.88799302E-10
57106.03125000	0.26083784E-07	0.88798874E-10
57106.03472222	0.26062216E-07	0.88704333E-10
57106.03819444	0.26077766E-07	0.88648802E-10
57106.04166667	0.26062818E-07	0.88644399E-10
57106.04513889	0.26059956E-07	0.88566149E-10
57106.04861111	0.26065432E-07	0.88526133E-10
57106.05208333	0.26089626E-07	0.88538536E-10
57106.05555556	0.26092523E-07	0.88497750E-10
57106.05902778	0.26085183E-07	0.88483764E-10
57106.06250000	0.26113836E-07	0.88507200E-10
57106.06597222	0.26101093E-07	0.88457386E-10
57106.06944444	0.26119484E-07	0.88439350E-10

Fig. 1 example of clockGPSGLO.out

그림 2와 그림 3은 MJD 57106 하루 동안의 GPS만을 사용한 경우의 클럭 오류 결과와 GPS와 GLONASS를 같이 사용한 경우의 클럭 오류 결과를 그래프로 나타낸 것이다.

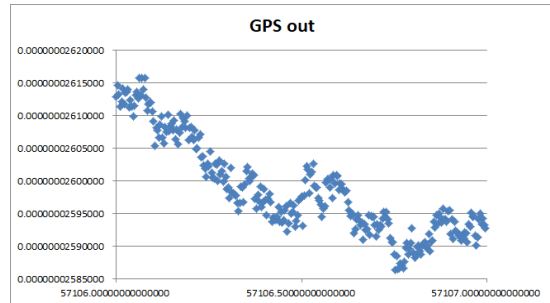


Fig. 2 clockGPS.out of GTR51

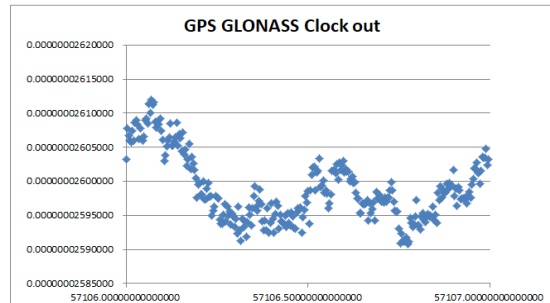


Fig. 3 clockGPSGLO.out of GTR51

우리나라 GNSS 관측 데이터를 사용하여 아토미움을 이용한 클럭 솔루션을 생성한 결과 GPS로만 처리된 클럭 솔루션이 GPS와 GLNASS를 같이 사용한 클럭 솔루션에 비해 다소 안정도가 떨어지는 것을 확인할 수 있다. GPS 만 사용한 경우는 최대 26.16ns에서 25.85ns의 값을 나타내고 있고 GPS와 GLONASS를 결합한 결과는 25.9ns에서 26.12ns사이 값을 나타내고 있으며 GPS의 경우보다는 안정적인 결과를 나타내고 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 GNSS 신호 관측을 이용한 정밀시각 전달체제와 정밀절대측위 방법에 대해 소개하였다. 정밀절대측위를 위한 원천적 기술 이해를 위해 벨기에에서 개발한 아토미움에 대해 소개하고 아토미움을 사용하는 방법에 대해 제시하였다. 또한, 한국표준과학연구원의 GTR51 수신기 관측 데이터와 정밀절대측위에 필요한 데이터들을 확보하여 실제 한국표준과학원의 클럭 오류 솔루션을 획득하였다.

향후 다른 정밀절대측위 상용 프로그램과의 비교를 통해 성능비교를 하고 원천기술에 대한 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper was supported by RESEARCH FUND offered from Catholic University of Pusan



유동희(Dong-Hui Yu)

부산대학교 전자계산학과 이학사
 부산대학교 전자계산학과 이학석사
 부산대학교 전자계산학과 이학박사
 한국전자통신연구원 연구원
 현 부산가톨릭대학교 소프트웨어학과 교수
 ※관심분야 : 정보통신, 시각동기, GNSS 항법 시스템, ICT융합

References

[1] D.H. Yu, Y.K. Lee, S.H. Yang and C.B. Lee, "A Study of Effects on GPS and GLONASS Time offset according to leap seconds in GNSS time transfer," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 18, no. 11, pp. 2628-2633, Nov. 2014.

[2] J. K. Park and K.Y. Jung, "Analysis of Utilization Status about National GNSS Infrastructure Linked to Precise Positioning Service," *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, vol.7, no.2, pp. 401-408, Feb. 2017.

[3] A. Bauch and P. Whibberley. (2017, March/April). Reliable Time From GNSS Signals. *InsideGNSS* [Online]. pp. 38-44. Available: <http://insidegnss.com/auto/marapr17-LAW.pdf>.

[4] P. Defraigne, "Multi GNSS Time and Frequency Transfer," in *Proceedings of the Journées 2013 "Systèmes de référence spatio-temporels": Scientific developments from highly accurate space-time reference systems*, ORB:Pari, pp. 109-114, 2014.

[5] P. Defraigne, N. Guyennet and C. Bryninx, "GPS Time and Frequency Transfer: PPP and Phase only Analysis," *International Journal of Navigation and Observation*, vol. 2008, Article ID 175468, pp.1-7, May. 2008.

[6] X. Li, X. Zang, X. Ren, M. Frische, J. Wicjert and H. Schuh. (2015). Precise positioning with current multi-constellation Global Navigation Satellite Systems:GPS, GLONASS, Galileo and Beidou. *Scientific Reports* 5 [Online]. article no. 8328. Available: <https://www.nature.com/articles/srep08328>.

[7] J. Kouba and P. Heroux, "Precise Point Positioning Using IGS Orbit and Clock Products," *GPS Solutions*, vol. 5, no. 2, pp.12-28, Oct. 2001.

[8] M. Zapella, L.B. Oliveira and R. Hunt, "GPS and GLONASS Constellations for better time synchronizing reliability," in *Proceedings of the 71st Annual Conference for protective Relay Engineers*, College Station: Texas, pp.1-7, 2018.

[9] ESA(European Space Agency) navipedia. Precise Point Positioning [Internet]. Available: http://www.navipedia.net/index.php/Precise_Point_Positioning.