

중국의 BeiDou 위성항법시스템의 항법신호 분석에 관한 연구

고광섭^{1*} · 최창목²

A Study on the Navigation Signal Characteristics of China Beidou Satellite Navigation System

Kwang-Soob Ko^{1*} · Chang-Mook Choi²

^{1*}Division of Maritime Transportation System, Mokpo Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

²Department of Navigation, Naval Academy, Changwon 645-797, Korea

요 약

본 논문은 2012년 12월에 항법서비스 시작, 2020년 개발완료 예정인 중국의 BeiDou 글로벌위성항법시스템에 대한 특성분석과 항법신호의 실험 및 실측 데이터의 통계적 분석에 중점을 둔 연구이다. 정상 운영 중인 14개의 BeiDou 항법위성 중 한반도 서남지역에서 사용 가능한 위성 수는 6~7개 정도로 3차원 위치정보를 얻기 위한 최소 위성수인 4개 이상임을 확인하였다. 그럼에도 불구하고 가용위성이 일부구역으로 편중되고 있고, 신호강도는 아직 안정적이지 못한 것으로 나타났다. 항법신호가 안정적인 경우, 실험 및 실측 기간에 확인 된 BeiDou 위성항법시스템의 항법정밀도는 5m 수준으로 매우 양호하게 나타났다. 위치분포는 정규분포에 근사한 것으로 나타나 향후 항법위성의 증가와 함께 BeiDou 위성항법시스템이 더욱 안정적인 항법정보를 제공하게 될 것으로 전망된다.

ABSTRACT

The paper is focused on not only the system characteristics of BeiDou, China GNSS, but also the statistic analysis based on its real data received from the BeiDou's satellite navigation messages. The 6-7 satellites, which are more than minimum number of 4 satellites to obtain 3-D position, are available for receiving navigation signal in stable case. It was also verified that the available satellites are deviated to specific coordinate and their signals are still unstable. Only as long as the received signal with the high stability, the precision of the BeiDou navigation satellite navigation system was identified with 5m level in deviation. The Beidou system is expected to be rising as a darkhorse in the future of the global satellite navigation area.

키워드 : BeiDou, 글로벌위성항법시스템, 항법신호, 정밀도, 통계적 분석.

Key word : BeiDou, GNSS, Navigation signal, Precision, Statistic analysis.

Received 17 May 2015, Revised 09 June 2015, Accepted 23 June 2015

* Corresponding Author Kwang-Soob Ko(E-mail:kwangsoob@hanmail.net, Tel:+82-61-240-7154)
Division of Maritime Transportation System, Mokpo Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.8.1951>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©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. 서론

중국의 경제 발전과 군사력 강화와 함께 국가의 위상이 날로 높아지고 있는 상황에서 2012년 12월 27일 중국의 위성항법시스템 BeiDou(일명 BDS; BeiDou Navigation Satellite System 또는 COMPASS)의 공개적인 신호서비스[1]는 글로벌위성항법시스템(GNSS; Global Navigation Satellite System)의 역사를 새롭게 쓰고 있다.

최근 2014년 11월 27일 영국 런던에서 개최된 94차 국제해사기구(IMO; International Maritime Organization) 안전위원회에서 중국의 BeiDou 위성항법시스템을 글로벌전파항법시스템의 일원으로 승인하는 역사적 사건이 있었다[1]. 이는 중국이 2년 전 자국의 BeiDou 시스템 서비스를 선언한 후 미국의 GPS(Global Positioning System), 러시아의 GLONASS(GLObal NAVigation Satellite System)에 이어 세계 세번째로 위성항법시스템에 대하여 국제기구로부터 합법적인 지위를 얻었음을 의미한다. 이에 앞서 2014년 5월 19일에는 미국 정부와 중국 정부는 양국의 민간용 글로벌위성항법에 대하여 상호주의 원칙에 따라, 시스템의 양립성, 호환성 및 투명성 등에 대하여 상호협력을 강화하기로 성명서를 발표한 바 있다. 더욱이 최근 중국 정부는 위성항법 서비스를 개시한 이래 처음으로 해외 마케팅 전략의 일환으로 태국 지리정보시스템 구축지원 및 BeiDou 지상국 구축 등에 대하여 태국정부와 협정을 한 바 있다[2].

또한, 2000년 초 계획에 착수하여 단기간에 빠른 속도로 발전해 온 중국의 위성항법에 대해 개발초기 우려의 시각으로 지켜보던 미국 정부와의 협력강화, BeiDou에 대한 국제해사기구의 글로벌전파항법시스템으로서의 승인, 위성항법 시스템의 해외진출 시작 등에서 볼 수 있듯이 향후 글로벌위성항법시스템 세계에 큰 변화가 예상된다.

아직 BeiDou 항법 서비스가 초기 단계이고, 서비스 범위도 전 지구를 대상으로 하기에는 다소 이르지만, 수년 내 전 세계를 영역으로 한 항법서비스가 계획되어 있어서 앞으로 중국의 위성항법시스템이 글로벌위성항법시스템 GNSS 영역에서 차지하는 비중과 영향력을 고려할 때 BeiDou 시스템에 대한 자국의 일부 연구[3]는 있으나 글로벌한 체계적인 연구가 절실히 요구되고 있는 시점이다.

따라서 본 논문은 새로운 글로벌위성항법시스템으로서 GPS와 대등한 성능과 영향력을 발휘할 것으로 예상되는 BeiDou 위성항법시스템 항법파라미터에 대하여 실험 및 실측데이터의 통계적 분석에 중점을 두었다. 2장에서는 BeiDou 위성항법시스템에 대한 특성 분석, 3장에서는 글로벌위성항법시스템의 의사거리 위치결정원리에 대한 이론 검토를 하였으며, 4장에서는 항법 위성 신호를 실 수신기를 이용하여 다양한 데이터를 수집하고 항법파라미터에 대한 통계적 분석을 하였다. 마지막으로 결론에서 결과 요약 및 향후 연구에 대하여 서술하였다.

II. BeiDou 위성항법시스템 특성분석

2.1. 시스템 개발 및 추진

BeiDou 시스템 구축 추진은 미국과 러시아에 이어 2000년 초 유럽연합과 유럽우주국이 공동으로 위성항법 정보 독립을 위해 글로벌위성항법시스템 Galileo 프로젝트추진을 의식한 중국의 우주 인프라 구축을 위한 국가정책이 원동력이 되었다. 또한 유럽연합이 Galileo 글로벌위성항법 프로젝트추진 초기인 2001년 5월 비유럽연합 국가들에 대한 문호개방을 결정한 바 있고, 이어서 암호화된 Galileo 항법서비스에 대하여는 비유럽연합 국가의 참여를 지양하기로 한 결정은 중국정부의 자국 위성항법시스템의 개발을 더욱 가속화시킨 계기가 되었다[4].

강대국이 독자적인 글로벌위성항법시스템을 갖는 것은 경제적 측면 뿐 아니라 국가안보 차원의 전략적으로 큰 의미를 갖는다. 특히, 전략적 가치의 측면에서 보면, GPS와 같은 글로벌위성항법시스템이 현대전의 핵심 전력인 미사일 같은 유도무기와 무인기 등을 비롯한 정밀타격 무기체계와 지휘통제체계 운용에 필요한 정밀한 실시간 3차원 위치정보, 시각정보, 속도정보 등을 제공할 수 있기 때문이다[5]. 미국 국방부에서 개발 당시부터 현재까지 GPS 운용과 관리 책임을 맡고 있는 이 유도 글로벌위성항법시스템이 갖고 있는 국가안보적 가치 때문임을 알 수 있다. 글로벌위성항법시스템의 군사전략적 가치가 입증되고 있는 상황에서 경제대국을 넘어 군사강국으로 발돋움하는 중국의 독자적인 글로벌위성항법시스템 개발과 운영 배경은 자연스러운 시

대적 요청이라 할 수 있다.

중국의 BeiDou 프로젝트는 아래와 같이 3단계 개발 전략에 의해 추진되고 있다[6-8].

1단계(BeiDou-1: 2000 ~ 2003년): 초창기 중국의 위성항법시스템 개발은 3개의 정지위성으로 시작되었다. 2000년 첫 2기의 BeiDou 항법실험 위성이 발사되었으며, 2003년 세 번째 실험위성이 발사되었다.

2단계(BeiDou-2: ~ 2012년): 중국과 주변국을 포함한 지역에 대한 위성항법정보 서비스를 목표로 2004년부터 항법위성을 궤도에 올리기 시작하여 2012년까지 5기의 정지위성과 5기의 IGSO(Inclined Geosynchronous Satellite Orbit) 위성, 4기의 중궤도 위성을 포함한 14기의 항법위성을 궤도상에 성공적으로 배치하여 아시아-태평양 구역에 대하여 2012년 12월부터 공식적인 서비스를 제공하기 시작했다.

3단계(BeiDou-2: ~ 2020년): BeiDou-2의 확장으로서 전 세계를 서비스영역으로 한 중국의 독자적 글로벌 위성항법시스템 계획의 완성단계이다. 독자적 위성항법시스템 완성 해인 2020년까지 약 35기이상의 BeiDou 항법위성이 궤도상에 배치 될 계획이다.

2.2. 항법시스템 구성 및 구축 현황

BeiDou 위성항법시스템 구성은 우주부분, 지상국부분, 사용자 3요소로 구성되어 있으며 그림 1과 같다.

우주부분은 5개의 정지궤도 위성과 30개의 궤도 위성으로 구성된다. 궤도 위성군은 27개의 중궤도위성과 3개의 IGSO 위성으로 구성되며 그림 2와 같다[1]. 지상국은 주 제어국(MCS; Master Control Station), 시간 동기/업로딩국(TS/US; Time Synchronization/Upload Station), 감시국(MS; Monitor Station)으로 구성된다.

MCS의 주 업무는 각 감시국을 통해 관측된 데이터를 모으고 처리 분석하여 위성항법 메시지를 만들어 업로드 하는 것이다. 시각동기 및 업로딩국의 주업무는 MCS와 공동 작업아래 항법메시지를 업로드하고 MCS와 데이터를 교환하여 시간을 동기화시키고 측정한다. 마지막으로 MS의 주 업무는 항법위성을 계속해서 추적, 감시하는 것이며 항법신호를 받아 관측된 데이터를 MCS에 제공하는 것이다.

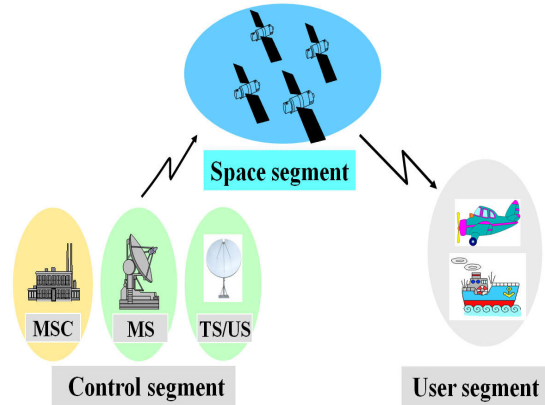


그림 1. BeiDou 시스템 구성
Fig. 1 BeiDou Navigation Satellite System

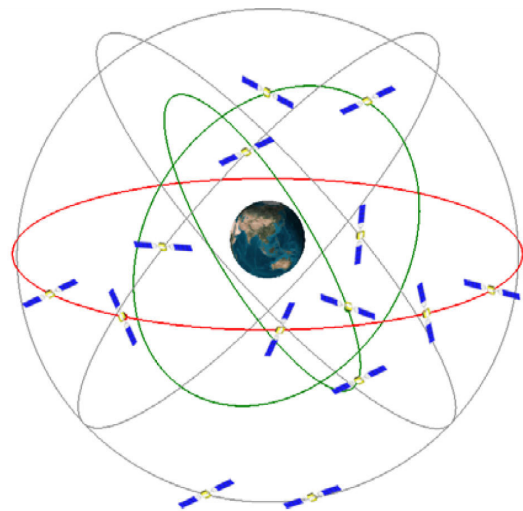


그림 2. BeiDou 위성부분
Fig. 2 BeiDou Space Constellation

중국이 독자적인 글로벌위성항법시스템 구축을 위해 2000년 10월 31일 첫 번째 항법위성 BeiDou-1A를 발사한 이후 2007년 2월까지 4개의 BeiDou-1 항법위성을 발사하며 본격적인 위성항법 개발 및 운용 서비스를 준비하였다. 2007년 4월 첫 번째 BeiDou-2 항법위성 Compass-M1을 궤도에 올린 후 2012년 12월을 기하여 전격적으로 전 세계에 중국의 독자적인 위성항법 개발 선언과 함께 부분적 항법 서비스를 시작하였다. 2014년 9월 기준 14기의 항법위성이 정상 작동 중에 있다[9,10].

BeiDou 위성항법시스템의 사용현황을 보면, 2012년 BeiDou-2 System의 지역적 서비스 개시 이후 중국은 물론 아시아 지역을 중심으로 주변국들의 BeiDou 위성항법시스템의 사용이 증가되고 있다. 중국 내에서는 이미 BeiDou 위성항법을 주 위치기반시스템으로 하는 스마트폰이 출시되었고 교통관제, 기상 및 재난예측 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 또한, 중국의 공식적인 위성항법 첫 사용국인 태국에서는 범 정부차원의 지원 아래 BeiDou가 교통정보 시스템 등에 사용되고 있다[11]. 이 외에 파키스탄을 비롯한 아시아지역에서 BeiDou 위성항법시스템 사용이 늘어나고 있다. 앞으로 수신기의 보급 증가와 2020년을 목표로 빠르게 발전하고 있는 BeiDou 위성항법 사용자 증가는 아시아를 넘어 수년 내 전 세계적으로 급속히 팽창할 것으로 전망된다.

2.3. BeiDou 위성항법시스템 정책 및 기술 특성

1995년 미국의 GPS, 1996년 러시아의 GLONASS에 이어 위성항법 서비스를 제공하고 있는 BeiDou의 빠른 진화와 파급효과를 뒷받침하는 정책 및 기술특성은 다음과 같다.

첫째, 1970년대 중반부터 장기간의 연구 및 개발과정을 거쳐 완성된 미국과 러시아 위성항법 기술의 세계적인 확산에 따른 중국 과학기술의 빠른 적응능력과 경제성장 정부차원의 정책적 후원을 들 수 있다[12].

둘째, BeiDou 항법시스템의 대표적인 기술적 특징으로 위성항법 개발 역사상 GPS에서 처음으로 채택한 CDMA(Code Division Multiple Access) 통신기법을 채택한 점이다. 이와 같이 첨단 항법기술을 자국의 위성항법시스템 개발에 접목시킴으로써 미래에 다른 글로벌 위성항법시스템과의 신호 호환 가능성이 높다.

셋째, 위성항법 위치결정 원리의 가장 핵심인 위성파 수신기간의 거리측정 방식도 GPS에서 사용하고 있는 의사거리 측정방식을 채택 하는 등 기존 위성항법 선진국의 기술력을 최대한 활용한 측면도 있다.

넷째, GPS 및 GLONASS 위성항법시스템이 모두 중궤도위성을 사용한 반면, BeiDou 항법시스템은 중궤도와 정지위성을 혼용해서 사용함으로써 혼합 위성궤도의 기하학적 배열로부터 항법파라미터 성능 향상을 꾀하고 있다. 또한, 중국 정부기관에 의해 공개된 자체 실험을 통해 GPS 성능과 대등하거나 오히려 우수한 정밀

도[13] 10m, 타이밍 50ns, 속도 0.2m/s 로 공개 한 바 있으나 구체적인 실험 및 실측 환경이나 조건 등에 대하여는 알려진 바가 없다.

그림 3은 중국 정부에서 발표한 BeiDou 위성항법시스템의 서비스 범위를 나타내고 있다.



그림 3. BeiDou 시스템의 현재 서비스 범위
Fig. 3 The Current BeiDou Coverage Declared by China

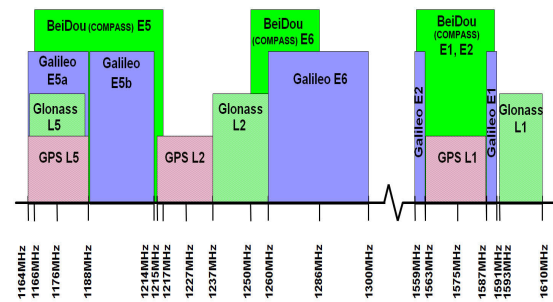


그림 4. 글로벌 위성항법시스템의 주파수 할당
Fig. 4 The Frequency allocation of GNSS

2.4. BeiDou 위성항법시스템의 주파수 특성

그림 4에서 보는 바와 같이 BeiDou 시스템의 주파수는 4개의 대역에 분포하고 있다. E1, E2, E5B, 그리고 E6이다[7]. 4개의 주파수 대역 중 2개 E1, E2가 Galileo 주파수 대역과 겹치고, GPS나 GLONASS 주파수에도 간섭을 야기시킬 가능성이 있어 기존 국가들과 기술적으로나 외교적으로 문제점이 나타날 소지도 있다[14].

ITU 정책은 특정 주파수에 대하여 전파발사를 시작하는 첫 번째 국가가 주파수 사용우선권을 갖는다. 따라서 여타의 사용자가 그 주파수를 사용하려면 사전에 허가를 받아야 하거나 반드시 상호 간섭을 해결할 수 있음을 입증해야 한다. 따라서 중국은 유럽에서 개발하고 있는 위성항법 시스템과의 마찰을 피하고 주파수 사용 권한을 확보하기 위하여 실험용 항법위성 2기를 이용하여 광범위한 연구를 진행해 왔다.

위성이 유럽의 갈릴레오 위성보다 앞서 개시하였기 때문에 중국에게 우선권이 있다고 할 수 있다[15].

III. 위성항법시스템의 위치결정 이론

위성항법시스템의 항법신호를 이용한 3차원 위치결정은 아래와 같은 항법위성과 수신기 사이의 의사거리 측정에 기반을 둔 항법 방정식으로부터 구해진다[16, 17].

$$\rho_i = \sqrt{(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2 + (z_i - z_u)^2} + c t \quad (1)$$

$$\hat{\rho}_i = \sqrt{(x_i - \hat{x}_u)^2 + (y_i - \hat{y}_u)^2 + (z_i - \hat{z}_u)^2} + c t \quad (2)$$

단, ρ_i : 수신기 실제위치에 대한 의사거리

$\hat{\rho}_i$: 추정근사위치에 대한 의사거리

x_i, y_i, z_i : i 번 항법위성의 ECEF 좌표

x_u, y_u, z_u : 수신기의 ECEF 좌표

$\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u$: 수신기의 추정근사위치

$\Delta x, \Delta y, \Delta z$: 위치 보정치

$x_u = \hat{x}_u + \Delta x$

$y_u = \hat{y}_u + \Delta y$

$z_u = \hat{z}_u + \Delta z$

c : 전파의 속도

t : 수신기 시계오차

식 (1)은 수신기 실제위치에 대한 의사거리 식이고 식 (2)는 수신기 위치에 대한 추정근사위치에 대한 의사거리 식이다. 3차원의 수신기 위치를 얻기 위해서는 의사거리 식으로부터 만들어지는 비선형 연립방정식을

풀어야 하며, 이를 위해서는 초기치를 추정 근사위치로 한 공학적 접근 방법이 필요하다.

x_u, y_u, z_u 와 위치 보정치 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ 만큼의 차이는 추정근사위치를 $\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u$ 라 할 때, 위치 보정치에 상응하는 선형화 된 의사거리의 차를 아래 식으로부터 얻을 수 있다.

$$\hat{\rho}_i - \rho_i = \frac{x_i - \hat{x}_u}{\hat{r}_i} \Delta x + \frac{y_i - \hat{y}_u}{\hat{r}_i} \Delta y + \frac{z_i - \hat{z}_u}{\hat{r}_i} \Delta z - c \Delta t \quad (3)$$

\hat{r}_i 는 위성과 추정근사위치와의 공간상의 거리를 나타낸다. 상기 선형방정식에서 GPS 위성 4개가 위치결정에 사용 된다고 가정할 때, 미지수는 위치 보정치 ($\Delta x, \Delta y, \Delta z$)와 수신기 시계오차 Δt 이다. 상기 식(3)은 위성 k 개에 대한 각각의 의사거리 차로부터 만들어지는 연립방정식을 상태방정식으로 표현 하면 아래와 같이 간소화할 수 있다.

$$\delta R = (\delta \rho_1 \delta \rho_2 \delta \rho_3 \dots \delta \rho_k)^T \quad (4)$$

$$\delta X = (\Delta X \Delta Y \Delta Z - c \Delta T)^T \quad (5)$$

$$\delta R = G \delta X \quad (6)$$

$$\delta X = G^{-1} \delta R \quad (7)$$

단, δR : 의사거리 오차

δX : 위치 보정치

G : 위성배열 기하학적 행렬

위치 보정치는 추정근사위치에 보상하는 방법으로 실제의 수신기 위치(x_u, y_u, z_u)를 구할 수 있다.

IV. 실험 및 결과 분석

4.1. 실험환경 및 방법

앞에서 언급한 바와 같이 BeiDou 위성항법시스템의 항법서비스 영역은 중국과 태평양지역 영역으로 알려져 있으나 아직 한반도 지역에서의 실측을 통한 항법과

라미터 분석은 거의 전무하다. 또한 현재 운영 중인 항법위성이 14기에 불과해 항법데이터 서비스 범위가 제한적이고, 2년여 전 BeiDou 항법서비스 선언 당시 공개된 시스템의 정밀도에 대한 항법위성 신호의 가용성, 신뢰도 및 지속성에 대한 데이터가 명확하지 않은 상태다. 따라서 본 연구의 실험 및 실측자료는 이러한 제한된 환경에서 수집되었다. 실험 및 실측 장소는 향후 지속적인 연구와 타 글로벌위성항법시스템과의 연계 연구를 위해 특정 장소의 고정된 지점을 선정하였다. 자료수집에 사용된 수신기는 U-BLOX 다중 GNSS 수신기를 사용하였으며, 데이터에 대한 통계분석은 윈도우용 GNSS 평가용 소프트웨어를 사용하였다.

4.2. 결과 분석

실험 및 실측 동안 정지위성 3개, 궤도위성 3~4 개가 사용가능하였다. 현재 정상 운영 중인 12개의 BeiDou 위성 중 사용 가능한 위성 수는 3차원 위치정보를 얻기 위한 최소 위성수인 4개 이상임을 확인 하였다. 그림에도 불구하고 그림 5에서 보듯이 신호 추적이 가능한 위성 중에는 C/N 비 (Carrier-to -Noise Ratio)가 대부분 40dB-Hz 이하로 확인됨으로써 신호사용의 지속성에는 한계가 있음을 알 수 있다. 한편, 가용 항법위성 중 50%에 가까운 위성이 남서방향에 치우쳐 있는 반면, 고각은 거의 45도를 기준하여 거의 대등하게 분포하고 있음을 알 수 있다. 이는 BeiDou 위성항법 서비스 운용 초기단계의 한계로써 시스템 완성 시기인 2020년 까지는 개선될 것으로 전망된다. 그림 5에 실험 및 실측에 사용된 BeiDou 항법위성의 궤도상 위치 및 C/N 크기를 확인할 수 있다. 그림 6에는 위도, 경도, 고도에 대한 실측 데이터를 도시하였다. 그림 7은 2차원 수평위치에 대한 편차를 도시하였다.

그림 7에서 보이는 바와 같이 실험 및 실측 기간에 확인된 BeiDou 위성항법시스템의 항법 정밀도는 5m 수준으로 매우 양호하게 나타났다. 그림에도 불구하고 아직 글로벌 서비스에는 못 미치고, 일부 구역만을 집중 서비스 구역으로 제한한 점 및 항법위성의 신호강도의 문제점 등으로 아직은 위성신호 사용상의 지속성 및 위성 가용성 등에서 상당한 애로 사항이 있음을 확인하였다. 그림 8에서 보이는 바와 같이 신호사용이 가능한 기간 동안의 실시간 측정위치 분포가 정규분포에 근사한 것으로 나타나 향후 항법위성의 증가와 함께 BeiDou

위성항법시스템이 더욱 안정적인 항법정보를 제공하게 될 것으로 보인다.

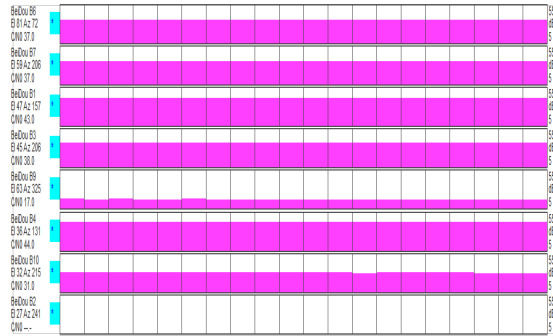


그림 5. 측정에 이용된 BeiDou 위성과 C/N비 값
Fig. 5 The Experimental Result for C/N & Used Beidou Satellites

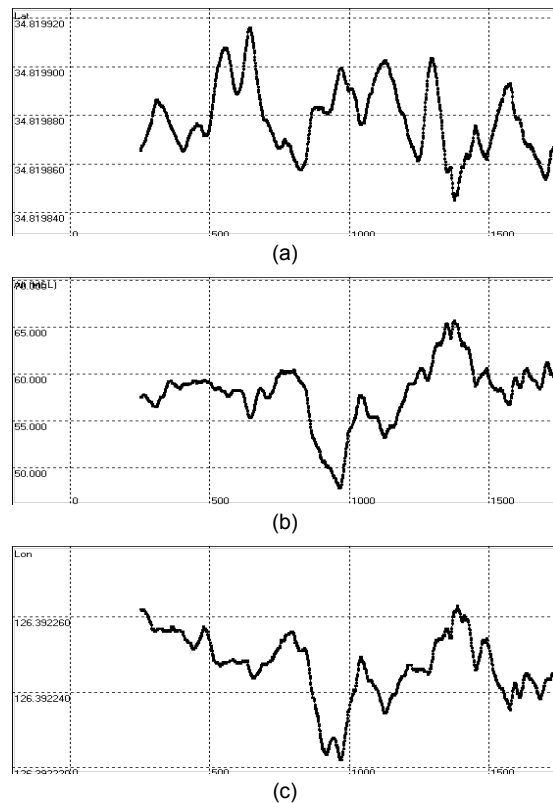


그림 6. 실측 데이터 값 (a) 위도, (b) 경도, (c) 고도
Fig. 6 The Experimental Result in time(sec) (a) Latitude, (b) Longitude, (c) Height

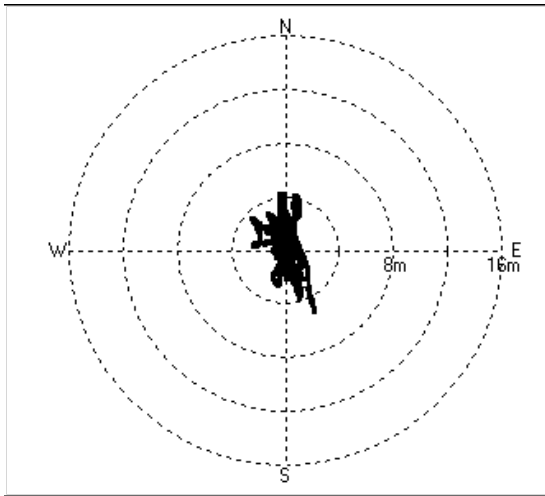


그림 7. 측정된 위치 정밀도
Fig. 7 The Experimental results of positioning precision

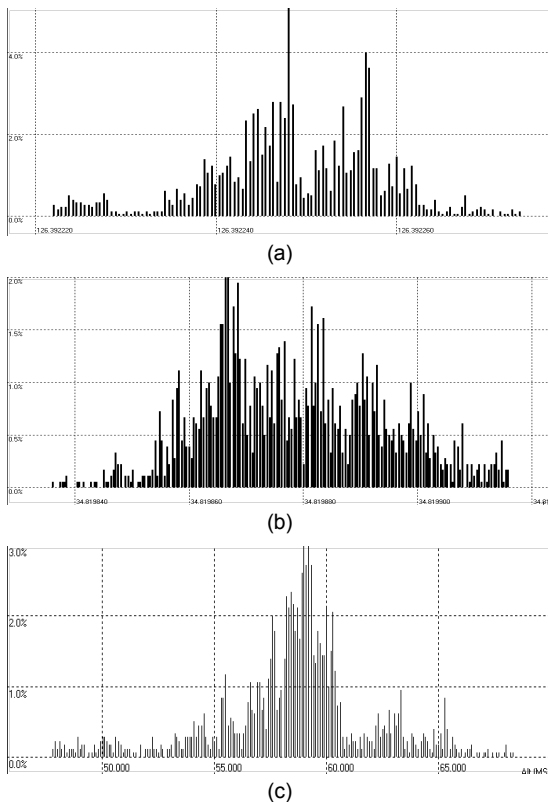


그림 8. 측정 위치 분포도 (a) 위도, (b) 경도, (c) 고도
Fig. 8 The Experimental Distribution Result (a) Latitude, (b) Longitude, (c) Height.

V. 결 론

중국의 BeiDou 위성항법시스템의 항법서비스가 이미 시작되었고, 이 시스템의 최종 개발 완료 시기가 2020년으로 예고 된 가운데, 최근에는 국제해사기구에 서 BeiDou 시스템을 공식적인 항법시스템으로 승인했다. 글로벌위성항법시스템의 새로운 시대가 예고되고 있으나 아직 국내에서의 BeiDou 위성항법시스템에 대한 연구는 미흡한 상태이다. 따라서 본 논문은 중국의 BeiDou 항법위성에 대한 특성분석과 항법신호의 실험 및 실측 데이터의 통계적 분석에 중점을 두었으며, 주요 연구결과는 아래와 같다.

첫째, 현재 정상 운영 중인 12개의 BeiDou 항법위성 중 실측구역인 한반도 서남지역에서 사용 가능한 위성 수는 정지위성 3개, 궤도위성 3~4개 등 대략 6~7개 정도였으며, 3차원 위치정보를 얻기 위한 최소 위성수인 4 개 이상임을 확인하였다. 그럼에도 불구하고 가용위성이 일부구역으로 편중되고 있고, 신호강도는 아직 안정적이지 못한 것으로 나타났다.

둘째, 항법신호가 안정적인 경우, 실험 및 실측 기간 에 확인 된 시스템의 항법 정밀도는 5m 수준으로 매우 양호하게 나타났다.

셋째, 실시간 측정 위치분포가 정규분포에 근사한 것 으로 나타나 향후 항법위성의 증가와 함께 시스템이 더욱 안정적인 항법정보를 제공하게 될 것으로 전망된다.

넷째, 이미 중국과 아시아 일부 국가를 중심으로 BeiDou 위성항법 사용이 늘어나고 있는 가운데 정지 위성 5개를 포함한 35개의 항법위성 배치가 완료되는 2020년을 전후하여 GPS 중심의 현재의 글로벌위성항 법 사용개념이 크게 달라 질 것으로 예상되는 바, 보다 체계적이고 집중적인 기술적, 정책적인 연구가 요구 된다.

REFERENCES

- [1] Beidou Navigation Satellite System Website. Available : <http://www.beidou.gov.cn>
- [2] People Daily News, *China's BeiDou system to cover Thailand*, 2013.11.2. Available : <http://en.people.cn>.
- [3] S. Bian, J. Jin, Z. Fang, "The BeiDou Satellite Positioning

- Systems and Its Positioning Accuracy," *J. of the Institute of Navigation*, vol. 52, no. 3, pp. - , Fall 2005.
- [4] Kim, K. S., *The Development Trend of the GNSS and BeiDou Satellite Navigation System*, Thesis of the Dept. of Navigation in Korea Maritime University, 2015.
- [5] Ko, K. S., "Circumstance Change of GNSS & Application Strategy of Navigation Technology for Modern Weapon System", *The Journal of the Korea Institute of Information & Communication Engineering*, vol.14, no.1, pp. 267-275, 2010.
- [6] China National Space Administration, *The construction of BeiDou navigation system steps into important stage "Three Steps" development guideline clear and certain*, 2010.
- [7] China Satellite Navigation Office, Report on the Development of BeiDou(COMPASS) Navigation Satellite System, Version 2.2, 2013.
- [8] China Satellite Navigation Office, *The BDS Service Area(partial enlarged detail), BeiDou Navigation Satellite System Open Service Performance Standard version 1.0*, 2013. BDS-OS-PS-1.0
- [9] Wikipedia, *BeiDou Navigation Satellite System*, 2013.
- [10] Spaceflight Now News, *Chinese navigatin system enters new phase with successful launch*, 2015.3.30. Available : <http://www.spaceflight.com>
- [11] Bangkok Post News, *Thailand to use China's GPS System*, 2013.4.4. Available : <http://www.bangkokpost.com>
- [12] China Daily, *China to invest big to support BeiDou System*, 2013.5.18. Available : <http://usa.chinadaily.com>
- [13] BBC Technology News, *China's Beidou GPS-substitute opens to public in Asia*, 2012.12.27. Available: <http://www.bbc.co.uk/news/technology>
- [14] GPS World, "Galileo, Compass on collision course," *GPS World*, vol. 19, Issue 4, p.27, 2008.
- [15] Levin Dan, *Chinese square off with Europe in space*, The New York Times, 2009.3.23. Available : <http://www.nytimes.com>
- [16] B. W. Parkinson, J. J. Spilker Jr, *Global Positioning System: Theory and Applications Volume I*, Washington, DC: AIAA, 1996.
- [17] E. D. Kaplan, C. J. Hegarty, *Understanding GPS Principles and Applications*, MA: Artec House, 2006.



고광섭(Kwang-Soob Ko)

1979년 해군사관학교 이학사
 1983년 한국해양대학교 공학석사
 1991년 미 클락슨대 전자공학 공학박사
 1983년 ~ 2011 해군사관학교 교수
 2012년 ~ 현재 국립목포해양대학교 항해학부 교수
 ※관심분야 : 전파/위성항법, 해양통신



최창묵(Chang-Mook Choi)

1996년 해군사관학교 기계공학과 공학사
 2001년 군사과학대학원 해양공학과 공학석사
 2008년 한국해양대학교 전파공학과 공학박사
 2008년 ~ 현재 해군사관학교 교수
 ※관심분야 : 전파/위성항법, 전파흡수체 개발