JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 21, No. 8 : 1619~1625 Aug. 2017

일본의 DGNSS인 MSAS 항법파라미터 분석

고광섭[1] · 최창묵[2*]

An Analysis of the Navigation Parameters of Japanese DGNSS-MSAS

Kwang-Soob Ko[1] · Chang-Mook Choi[2*]

[1]Division of Maritime Transportation System, Mokpo Maritime University, Mokpo 58628, Korea
[2*]Department of Navigation, Naval Academy, Changwon 51704, Korea

요 약

민간에 상용화된 GNSS (Global Navigation Satellite System) 시스템은 정밀 PNT 서비스가 요구되는 분야에 적용하기 위한 요구 성능을 충족시키지 못한다. 따라서 일반적으로 위치 정밀도와 무결성 등을 향상시키기 위한 보정 시스템들이 다양하게 이용되고 있다. MSAS는 일본의 SBAS형 보정시스템이다. 본 논문에서는 일본의 MSAS 시스템이 한반도 영역에서 어떤 특성을 보이는지 분석하였다. 먼저, 시뮬레이션과 실험을 바탕으로 DGNSS 항법신호 및 항법파라미터 분석에 목적을 두고 수행하였다. 분석결과, MSAS 지상감시국과 한반도 남해안 수신점에서 3차원 위치 결정에 필요한 충분한 수의 항법위성이 동시에 관측되었으며, 수신점에서 MSAS 위성의 신호가 안정적으로 유지됨을 확인하였다. 또한 MSAS 3차원 위치 정밀도는 2m (2drms) 수준으로 세계적으로 사용되고 있는 범용의 DGNSS 수준과 유사함을 확인하였다.

ABSTRACT

Civil global navigation satellite system (GNSS) does not meet user performance requirements for specific PNT (Positioning, Navigation, and Time) applications. Therefore, various differential systems are used to augment GNSS for improving positioning accuracy and integrity. The MTSAT satellite augmentation system (MSAS) is the Japanese satellite based augmentation system. This paper is for analyzing the characteristics of Japanese MSAS in Korean peninsula. First of all, it was done for analyzing not only DGNSS navigation signal but also the navigation parameter through simulation and experimental tests. As a result of data analyses, the sufficient navigation satellites to determine 3-D position based on DGNSS are simultaneously available at MSAS monitering station and the southern region of Korean peninsula. It was verified that the carrier to noise signals are stable to maintain the reliable 3-D position and that the level of 2m (2drms) accuracy is very similar to the ordinary worldwide DGNSS as well.

키워드 : 정밀도, 무결성, 항법파라미터, DGNSS, MSAS

Key word : Accuracy, Integrity, Navigation Parameter, DGNSS, MSAS

Received 31 March 2017, **Revised** 06 April 2017, **Accepted** 20 April 2017

* **Corresponding Author** Chang-Mook Choi(E-mail:navsun@naver.com, Tel:+82-55-549-1483)
Department of Navigation, Naval Academy, Changwon 51704, Korea

Open Access https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.8.1619 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/li-censes/ 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

위성항법시스템은 광역서비스가 가능하여 전세계적인 규모의 측위 시스템이라 GNSS (Global Navigation Satellite System) 라 불리고, 세계적으로 미국의 GPS (Global Positioning System), 러시아의 GLONASS (GLObal NAvigation Satellite System), 유럽의 GALILEO, 중국의 COMPASS 등이 구축되었거나 구축 중에 있다[1].

GNSS 시스템들은 민간 응용분야에서 활발하게 운용되고 있으나 위성신호에 포함된 위성시계오차, 위성궤도오차, 전리층 지연, 대류권 지연 등의 오차로 인하여 아직까지 선박의 협수로 항해나 항만내의 운항, 항공기의 이착륙, 도심에서의 차량항법 및 정밀 측위가 필요한 많은 분야에서 요구되는 정확도, 지속성 등을 충족시키기에는 다소 부족하다. 따라서 각국에서는 DGNSS(Differential GNSS) 시스템들을 개발하여 운용하고 있다[2].

DGNSS 시스템의 핵심은 GNSS 위성신호에 포함된 오차를 DGNSS 사용자의 수신기에서 제거하여 사용함으로써 위치정확도를 개선함은 물론, 지속성이나 무결성 향상에 도움을 주며, 운용방법에 따라 위성을 이용하여 보정해주는 SBAS(Space Based Augmentation System)와 지상기지국을 이용하여 보정해주는 GBAS (Ground Based Augmentation System)로 구분된다[2].

일본은 우주개발 프로그램의 일환으로 SBAS형 DGNSS 시스템인 MSAS(MTSAT Satellite-based Augmentation System)을 추진하였으며, 항법 서비스 범위가 한반도까지 미치고 있다[3,4].

일본의 MSAS 시스템에 대한 연구는 전리층 보정정보 분석, NDGPS(Nationwide DGPS)와 비교 분석 등 일부에서 연구가 수행되었다.

따라서 본 논문은 SBAS형 DGNSS 시스템인 MSAS가 한반도 영역에서 사용 가능한지에 대한 기초연구로써 위성으로부터 수신된 항법파라미터 특성 분석을 통하여 신호사용 가능성에 대해 분석한 결과, GNSS 관측 시뮬레이션 소프트웨어를 통해 MSAS 지상기준국과 한반도 측정지역에서 4개 이상 동일 항법위성이 관측 가능하여 3차원 위치결정이 가능함을 확인하였다.

Ⅱ. DGNSS 시스템 MSAS

2.1. DGNSS 시스템

GNSS 시스템 중에서 대표적으로 사용되는 민간용수신기는 GPS의 C/A 코드 수신기이다. 초기 SA(Selective Availability) 정책으로 인하여 100m 내외의 오차를 보였으나 2000년 5월 1일 SA가 해제된 이후 10m 수준으로 현저히 향상되어 널리 쓰이고 있다. 그러나 아직까지 정밀 측위가 필요한 많은 분야에서 요구되는 정확도 등을 충족시키기에는 다소 부족하여 DGNSS 시스템 들이 개발되어 운용 중이다. 표 1은 미국의 FRP(Federal Radionavigation Plan)에서 해상, 항공, 육상에서 요구하는 위치 정확도 및 지속성을 나타낸 것이다[5].

Table. 1 Maritime, aviation, and land requirements of US Federal Radionavigation Plan

TYPE		ACCURACY	AVAILABILITY
Maritime	EHA	8-20m	0.997-0.999
Aviation	NPA	220m	0.99-0.999
	CAT Ⅰ	Hor. 16m Ver. 4-6m	0.99-0.999
Land	Navigation	1-20m	＞0.95
	Emergency Response	0.1-4m	0.997

DGNSS는 항법위성의 오차 보정치 서비스 전송위치와 플랫폼에 따라 SBAS와 GBAS로 구분한다. SBAS는 우주공간의 정지궤도위성을 이용하여 오차 보정치를 송신해 주며, 미국의 WAAS(Wide Area Augmentation System), 유럽의 EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), 일본의 MSAS(Multifunctional Sallite Augmentation System), 인도의 GAGAN(GPS Aided GEO Augmented Navigation) 등이 있다[6-8]. SBAS는 항공용으로 개발되었으나 수신기만 있으면 육·해·공 어느 곳에서나 사용이 가능하다.

GBAS는 공항이나 항만 또는 특정 지역에 시스템을 구축하여 지상국에서 오차 보정치를 송신해 주며, SBAS 대비 유효 서비스 범위가 좁다. 대표적인 GBAS는 LAAS(Local Area Augmentation System), 해상용

DGPS(RBN/DGPS) 등이 있다.

LAAS는 LDGPS(Local DGPS) 특성을 갖는 시스템으로서 공항같은 특정 지역에 설치하여 운용한다. 미국의 경우 WASS 시스템으로 지원 할 수 없는 CAT II와 CAT III 서비스 지원 및 서비스 범위에 포함되지 않는 미국관할 공항 등에 정밀 항공기 이착륙 시스템을 지원하기 위하여 추진되었으며, 항공기 충돌방지, 공항에서의 항법 및 감시와 같은 지상운용도 지원한다[5].

해상용 DGPS는 283.5~325kHz의 중파 비콘을 사용하며, RTCM SC-104 표준 규격으로 송신하여 해상 운용은 물론, 육상까지 확대하여 NDGPS로 운용하고 있다. 우리나라의 DGPS 국가망도 해상용 중파 비콘을 사용하고 해양수산부에서 관리하고 있으며, 해상 및 육상에서 사용이 가능하다[9].

2.2. MSAS 시스템

DGNSS 시스템은 기본적인 GNSS 시스템 구성요소인 위성부문, 지상국부문 및 사용자 부문 3 요소에 DGNSS 기준국(Reference Station/DGNSS Site)이 추가된다. 기준국은 자체적으로 오차 보정치를 측정하고 검출하여 DGNSS 보정정보를 사용자에게 전용 통신체계를 통하여 보낸다.

MSAS는 일본의 다목적 위성, MTSAT를 이용한 SBAS형의 DGNSS로써 2007년부터 서비스를 시작하였다. MSAS 시스템의 경우 기존의 GPS 시스템과 MTSAT-1R 및 MTSAT-2 2개 정지궤도위성과 MSAS 전용 지상국으로 구성된다. 지상국 구성은 사포로(Sapporo), 도쿄(Tokyo), 나하(Naha), 후쿠오카(Fukuoka) 4곳에 GMS(Ground Monitor Station), 미국의 하와이(Hawaii)와 호주의 캔버라(Canberra) 2곳에 MRS(Monitor and Range Station), 고베(Kobe)와 히다치오타(Hitachiota) 2곳에 MCS(Master Control Station) 등 이며, 이들을 정지궤도위성과 네트워크로 연결한다[10,11]. 그림 1은 MSAS 시스템 구성도이다.

MSAS는 거리정보와 보정정보를 제공하며, GPS 위성의 상태를 모니터링하는 무결성 기능뿐만 아니라 MSAS 위성에서 GPS L1 신호를 송출함으로써 또 다른 하나의 GPS 위성 역할을 수행하고 있다.

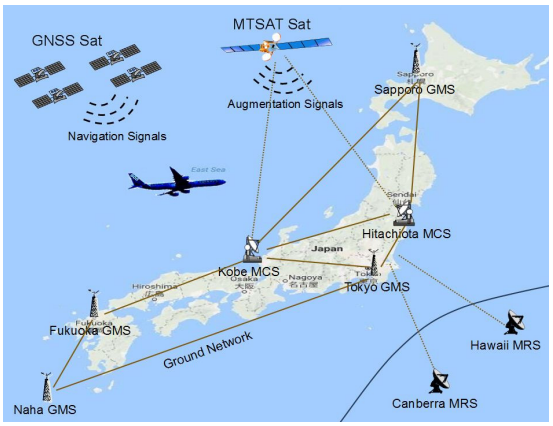


Fig. 1 Overview Of MSAS System

2.3. 위치결정

항법위성과 수신기 사이의 의사거리 측정에 기반을 둔 GNSS 항법방정식을 이용하여 개선된 의사거리를 이용한 DGNSS 위치결정식[12]은 다음과 같이 재정립할 수 있다.

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

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

$$\begin{aligned} x_u &= \hat{x}_u + \triangle x \\ y_u &= \hat{y}_u + \triangle y \\ z_u &= \hat{z}_u + \triangle z \end{aligned} \quad (3)$$

단,

ρ_i : 기준국에서 전송된 오차 보정치를 이용하여 DGNSS 수신기에서 개선된 의사거리

$\hat{\rho}_i$: DGNSS 수신기에서 추정근사위치 의사거리

x_i, y_i, z_i : DGNSS 수신기 위치에서 관측된 i위성의 ECEF 좌표

x_u, y_u, z_u : DGNSS 수신기의 ECEF 좌표

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

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

c : 전파의 속도

t : 수신기 시계오차

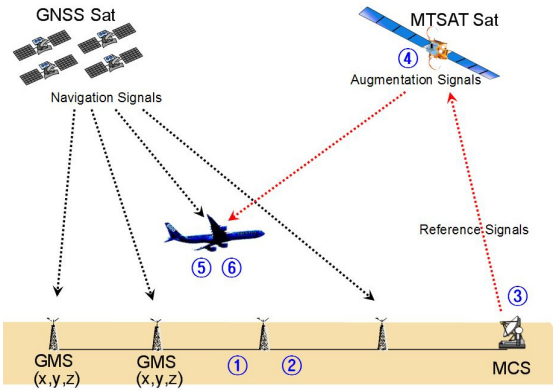


Fig. 2 Procedures of Positioning Based on MSAS

DGNSS 수신기 위치(x_u, y_u, z_u)는 위의 비선형 방정식을 선형화하고 최소자승법이나 칼만 필터 등을 이용하여 추정근사위치에 보상하는 방법으로 구할 수 있다. DGNSS 수신기에서 사용되는 의사거리는 DGNSS 기준국과 사용자 수신기에서 사용되는 GNSS 위성에 포함된 공통오차를 제거한 개선된 의사거리를 사용한다.

그림 2는 MSAS 시스템에서 위치측정 절차를 도시한 그림이다. 지상 기준국부터 DGNSS 사용자까지 위치결정 절차는 아래와 같다.

① 1단계(지상기준국(GMS)) : 기준점과 관측 가능한 GNSS 위성 사이의 기하학적 거리 계산 및 의사거리 측정
② 2단계(지상기준국(GMS)): 관측 가능한 위성에 포함된 의사거리 공통오차 계산, MCS로 전송
③ 3단계(지상기준국(MCS)): MTSAT 위성으로 DGNSS 의사거리 보정치 전송
④ 4단계(MTSAT): 사용자에게 DGNSS 의사거리 보정치 전송
⑤ 5단계(사용자 수신기): 관측 가능한 GNSS 위성의 의사거리 측정 및 MTSAT 위성으로부터 전송된 의사거리 보정치 수신
⑥ 6단계(사용자 수신기): 의사거리 보정치로 관측된 위성 각각의 의사거리 개선 및 최종 개선위치 계산

기준국에서 관측 가능한 위성까지의 거리와 오차 보정치를 계산하기 위해서는 반드시 정밀 측정된 3차원 기준국의 참조점 위치를 알고 있어야 하며, 기준국에서 관측된 동일 위성이 사용자 위치에서 4개 이상 관측되어야만 개선된 3차원 위치결정이 가능하다. 또 GNSS 위성으로부터 기준국과 DGNSS 사용자의 상대위치가 다름으로 정확한 위치결정에는 영향을 줄 수 있다. 이는 상이한 전파 경로에 따른 전리층 지연 및 대류권 지연의 오차가 다르게 나타날 수 있기 때문이다. 한편 기준국에서 사용자에게 오차 보정치 및 필요한 정보를 송신하기 위해서는 시스템 목적에 맞는 통신방식과 주파수를 사용해야 한다. SBAS의 경우 위성에서 DGNSS 보정정보를 송신하기 때문에 GNSS와 동일한 주파수 대역을 사용한다.

Ⅲ. MSAS 항법파라미터 특성 분석

3.1. 평가요소

앞에서 언급한 바와 같이 DGNSS 사용자가 보정신호를 사용하기 위해서는 사용자 위치에서 3차원 위치측정이 가능할 수 있도록 충분한 위성이 관측되어야 하고, 보정신호가 적절한 신호강도로 수신이 되어야한다. 따라서 MSAS의 지상감시국인 사포로, 도쿄, 나하, 후쿠오카 등지에서 관측되는 GPS 위성이 한반도 지역에서 충분히 관측 가능한지의 여부, 관측되는 공통위성들에 의한 DOP(Dilution Of Precision) 및 2개의 정지위성에서 발사되는 보정신호의 크기를 분석할 필요가 있다. 또 사용자 위치에서 MSAS 위성 신호정보를 이용한 위치 정밀도 분석을 토대로 한반도 영역에서의 MSAS 사용에 대한 평가가 이루어져야한다.

3.2. 실험환경 및 방법

일본우주항공국에서 공개하고 있는 전 세계 항법위성 관측 자료를[4] 이용하여 MSAS의 모든 지상 기준국에서 관측되는 GPS 위성정보를 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 다음으로 한반도 남해안 관측지점을 선정하여 관측 가능한 GPS 위성 신호정보를 실제 수신기를 이용하여 수집하고, 이를 동일 시간대에 MSAS 지상감시국에서 관측되는 위성정보와 비교하여 사용 가능한 동일 위성 수를 분석하였으며, DOP를 비교하여 기하학적 배치 정도를 확인하였다. 다음으로는 현재 운용되고 있는 MTSAT 위성에 대한 사용자 위치에서의 적정 신호강도에 대한 실측분석과 MSAS의 DGNSS 기능을 평

가하기 위한 위치정밀도를 분석하였다.

3.3. 실험결과 및 분석

MSAS 시스템의 지상감시국 4곳에서 사용 가능한 GPS 위성과 동일 시간에 한반도 남해안 지역에 위치한 목포와 중부지방 서울에서 관측될 수 있는 GPS 위성들에 대한 시뮬레이션 결과를 그림 3에 나타내었다.

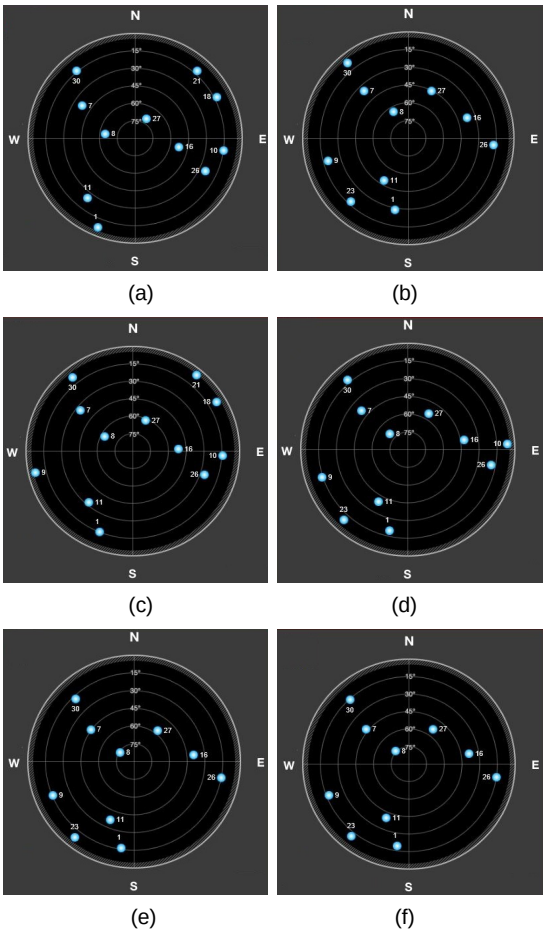


Fig. 3 The Simultaneous Viewed GPS Satellites in MSAS Ground Stations (a) Sapporo (b) Naha (c) Tokyo (d) Fukuoka, and Korea Peninsula (e) Seoul (f) Mokpo

그림 3에서 보는 바와 같이 2016년 4월 28일 17시 21분 기준, 고각 5도 이상의 경우 위성번호 1, 7, 8, 11, 16, 26, 27, 30번 등 8개를 6곳에서 동시 관측될 수 있음을 알 수 있다. 또, 6곳 모두 HDOP는 0.71부터 0.83으로 1 이하의 결과를 보여, 어느 곳에서나 항법위성의 기하학적 배치가 매우 양호함을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 한반도 중부에서도 동시관측 GPS 위성 수는 3차원 위치결정에 필요한 4개 이상을 충족시키지만, 수신점에서 MSAS 위성에서 송신되는 보정정보 신호의 크기, 사용 항법위성의 GDOP 및 수신점과 MSAS 위성간의 이격거리 등에 따라 DGNSS 본연의 위치 개선 정밀도는 달라질 수 있다. 따라서 실질적으로 한반도 영역에서의 MSAS 항법정보 사용에 대한 평가하기 위해서는 실측실험을 통한 항법파라미터 분석을 수행해야 한다.

본 논문에서 실측실험은 한반도 남해안 해안 지역에서 실시하였다. 수신기는 SBAS형 DGNSS 수신기 기능을 갖는 U-BLO사의 EVK-7/EVK-M8 모델을, 자료 분석은 전용 u-center 소프트웨어를 사용하였으며, 2016년 4월 29일 1500시부터 3시간 동안 수집하여 분석하였다. 실측 실험 시 수신 지역과 MSAS 시스템의 지상감시국 도쿄지역에서 동시관측이 가능한 가시 GPS 위성 번호는 8, 9, 16, 21, 23, 26, 27, 31 등 이었으며, 이 중 고각이 양호한 40도 이상의 위성 번호는 8, 16, 26, 27로 4개였다. 또 위치 정밀도 척도 중의 하나인 기하학적 요소는 표 2와 같이 평균값으로 HDOP 0.8, VDOP 1.4, PDOP 1.7로 양호한 상태를 유지하였으며, 반송파대잡음비(C/N)는 모두 평균 45dB-Hz 이상 이었다. 한반도에서의 MSAS 유용성에 대한 주요 관건은 MSAS 위성의 반송파대잡음비(C/N) 크기다.

Table. 2 The measured GPS satellite conditions

Title		Result
Satellite No.		8, 9, 16, 21, 23, 26, 27, 31
D O P	HDOP	0.8
	VDOP	1.4
	PDOP	1.7
C/N ratio		Max 41/Min 39/Ave. 40dB-Hz

본 실험에서 사용된 위성은 수신점으로부터 방위 149도 고각 45도에 배치된 위성은 137로써 MSAS 신호의 안정적 수신 상태를 나타내는 반송파대잡음비(C/N)는 최소치 39dB-Hz, 최대치 41dB-Hz, 평균 40.0dB-Hz, 편차 0.3dB-Hz 이며, 이에 대한 통계분포를 그림 4에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 매우 안정적으로 MSAS 위성 신호가 수신되었으며, GPS 항법위성의

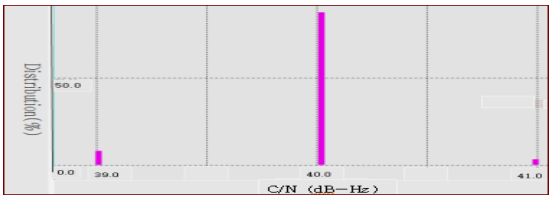
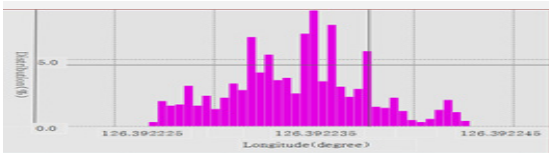
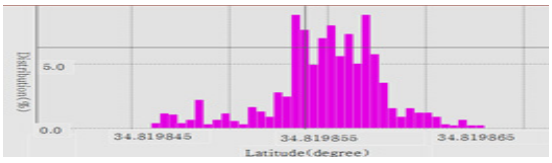


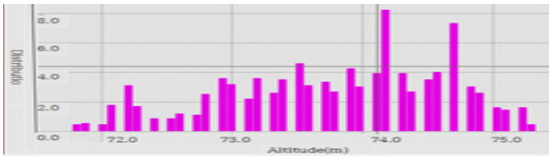
Fig. 4 The Distribution of Carrier to Noise Power Ratio of SV 137



(a)



(b)



(c)

Fig. 5 The Distribution of Real Time Positions of (a) Longitude, (b) Latitude, and (c) Altitude

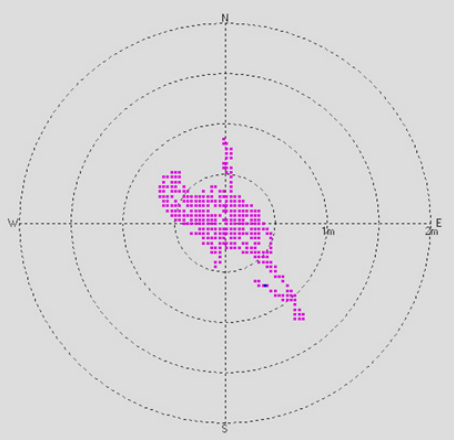


Fig. 6 The Deviation Map of Real Time Positions

반송파대잡음비(C/N) 크기보다 평균 5dB-Hz 낮지만, DGNSS 정보를 수신하기에는 아무런 문제가 없었다.

그림 5는 위도, 경도 고도에 대한 실시간 히스토그램으로써 정규분포에 근사한 확률 분포도를 보이고 있으며, 위도는 1.2m, 경도는 0.7m, 고도는 3m의 편차를 보인다. 또한 위치 편차는 그림 6에서 보는 바와 같이 2drms 2m 이내로 매우 신뢰성이 높게 나타났다.

Ⅳ. 결 론

일본의 SBAS형 DGNSS 시스템인 MSAS가 한반도 영역에서 사용 가능한지에 대한 연구를 수행하기 위해 한반도 남해안 지역과 MSAS 지상감시국 지역에서의 동시 관측위성 분석 시뮬레이션 결과를 토대로 실측 실험을 통한 신호 및 항법파라미터 분석 결과를 요약하면 아래와 같다.

첫째, MSAS의 대표적 지상감시국인 도쿄국과 실험 수신점에서 고각 5도 이상의 경우 8개, 마스크 각도를 고려한 고각 40도 이상의 경우 4개의 항법위성이 동시 관측되었으며, 위성배치의 기하학적 파라미터도 PDOP 1.7로 양호하게 유지되었다.

둘째, DGNSS 항법정보 전송 역할을 하는 MTSAT 위성은 수신점으로부터 방위 149도 고각 45도에 배치된 위성번호 137로써 반송파대잡음비(C/N)는 최소치 39, 최대치 41, 평균 40.0, 편차 0.3dB-Hz로 안정적으로 신호가 수신되고 있음을 확인하였다.

셋째, MSAS 지상감시국과 한반도 남해안 수신점에서의 동시관측 위성과 MSAS 항법정보를 이용한 3차원 위치 정밀도의 분포는 모두 정규분포에 근사한 안정된 상태로 나타났으며, 정밀도의 경우 2drms 2m 이내로 일반적인 DGNSS 수준으로 확인되었다.

향후 본 연구 결과를 토대로 한반도에서의 MSAS 사용과 신뢰도 및 응용분야 등에 대한 연구를 지속하고자 한다.

REFERENCES

[1] C. M. Choi and K. S. Ko, “A Study on Development Direction of Navigation System for NAVWAR,”

International Journal of Information and Communication Engineering, vol. 19, no. 3, pp. 756-763, Mar. 2015.

[2] M. S. Grewal, A. P. Andrews, and C. G. Bartone, *Global Navigation Satellite Systems, Inertial Navigation, and Integration, 3rd ed.*, NJ: John Wiley & Sons, 2013.

[3] European GNSS Agency. SBAS coverage and status [Internet]. Available: http://egnos-portal.eu/aviation/sbas-coverage-and-status.

[4] QZSS Website[Internet]. Available: http://app.qzss. go.jp.

[5] US DOT, DOD, DHS, "2014 Fedral Radionavigation Plan", National Technical Information Service, Springfield: VA, Technical Report DOT-VNTSC-OST-R-15-01, 2015.

[6] US National Coordination Office. Wide Area Augmentation System (WAAS)[Internet]. Available: http://www.gps.gov/.

[7] The European Space Agency. What is EGNOS? [Internet]. Available: http://esa.int/Our_Activities/Navigation/EGNOS/ What_is_EGNOS.

[8] India ISRO Satellite Center. GAGAN-GPS Aided GEO Augumented Navigation[Internet]. Available: http://www.isac.gov.in/Navigation/gagan.jsp.

[9] Korea National Maritime PNT Office Website[Internet]. Available: http://www.ndgps.go.kr.

[10] Office of Aeronautical Satellite Systems. Overview of MSAS[Internet]. Available: http://www.unoosa.org/pdf/icg/2008/icg3/08-1.pdf.

[11] International GNSS Service Website [Internet]. Available: http://mgex.igs.org/IGS_MGEX_Status_SBAS.htm.

[12] E. Kaplan and C. Heganty, *Introduction to GPS, 2nd ed.*, MA: Artec House, 2006.

고광섭(Kwang-Soob Ko)

1979년 해군사관학교 공학사
1983년 한국해양대학교 공학석사
1991년 미 클락슨대 전자공학과 공학박사
1983년 ~ 2008 해군사관학교 교수
2012년 ~ 현재 목포해양대학교 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