

論文

MSAS 전리층 보정정보 및 적도변이에 의한 영향 분석

정명숙*, 김정래**

Analysis of MSAS Ionosphere Correction Messages
and the Effect of Equatorial Anomaly

MyeongSook Jeong, Jeongrae Kim

ABSTRACT

Japanese MSAS (Multi-functional Satellite Augmentation System) satellites have been transmitting GPS satellite orbit and ionosphere correction information since 2005. MSAS coverage includes Far East Asia, and it can improve the accuracy and integrity of GPS position solutions in Korea. This research analyzed the ionosphere correction information from the MSAS ionosphere correction data. The ionosphere delay data observed by a dual frequency receiver is compared with the MSAS ionosphere correction data. The variation of MSAS GIVE values are analyzed in connection with the equatorial anomaly and ionosphere scintillation.

Key Words : GNSS(위성항법시스템), SBAS(Satellite Based Augmentation System), MSAS(MTSAT Satellite based Augmentation System), IGP(전리층 격자점), Equatorial Anomaly(적도변이)

1. 서 론

SBAS(Satellite based Augmentation System)는 GPS 위성궤도 및 전리층 보정정보를 생성한 후 이를 정지궤도 위성을 통해 전송하는 GPS 보강 시스템이다. SBAS는 위성을 이용하여 보정정보를 전송하므로 GBAS(Ground Based Augmentation System)보다 넓은 지역에 보정정보를 전송할 수 있으며, 항공기 운항/이착륙을 비롯하여 많은 분야에 적용될 수 있다. 일본의 SBAS 위성인 MTSAT (Multi-functional Transport Satellite)은 2005년 2월 (MTSAT-1R)과 2006년 2월 (MTSAT-2) 각각 발사된 후 시험운용을 거쳐 2007년 9월 27부터 정상운영 중에 있다. 일본과 한국의 지리적 인접성으로 인해 MSAS에서 제공하는 GPS 위성궤도와 전리층 보

정 정보는 국내에서도 유용하게 사용할 수 있다. 본 논문에서는 MSAS 신호를 수신하여, 이중 전리층 보정정보에 대한 분석을 수행하였다. MSAS 전리층 지도 영역을 파악하였으며, MSAS 전리층 지연값 보정정보를 자체 개발한 전리층 모델 및 IGS(International GNSS Service) 전리층모델과 비교하여 정확도를 분석하였다. 그리고 국내에서도 간헐적으로 인도의 GAGAN (GPS-aided Geo Augmented Navigation) 위성신호가 수신되고 있는데, 이에 관한 분석을 수행하였다. 또한 MSAS의 전리층 지연값의 추정 오차 값인 GIVE의 연간변화를 분석하여 적도변이(Equatorial Anomaly)가 GIVE값에 미치는 영향에 대해서도 분석해 보았다.

국내에서도 미국의 SBAS 위성인 WAAS의 보정정보를 이용한 GPS 정밀도 향상에 관한 연구가 진행되었으나, 전리층 보정정보에 관한 국내 연구는 미흡하였다[1]. 따라서 이러한 연구를 통해 국내에서 GPS 수신기 운용 시 SBAS의 전

† 2008년 5월 30일 접수 ~ 2008년 6월 23일 심사완료

* 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

** 연락처자, E-mail : jrkim@kau.ac.kr

경기도 고양시 덕양구 화전동 항공대길 100

리층 보정정보 적용방법 및 MSAS 보정신호의 유용성 여부를 판단할 수 있으며, 향후 SBAS 보정정보 생성 알고리즘 개발 시 필요한 기초 정보를 얻을 수 있다.

II. SBAS 전리층 보정정보

GNSS 신호가 전리층을 통과할 때 신호 지연이 일어나게 되는데, 현재 이를 모델링하는 일반적인 방법은 전리층을 일정 고도에 위치한 단일막으로 가정하는 것이다. IPP (Ionosphere Pierce Point)는 GNSS 신호가 단일막을 통과하는 지점으로 GNSS 위성과 수신기 사이의 기하학적인 관계로부터 계산할 수 있다[2]. 전리층 지도는 IPP에서의 전리층 지연값을 위도/경도에 따라 나타낸 것으로, GNSS 신호가 전리층 단일막을 수직으로 입사하였을 때의 값을 나타낸다. 실제 GNSS 신호는 단일막을 비스듬히 지나므로 경사함수 (obliquity function)를 적용하여 실제 의사거리에 적용할 수 있는 보정값으로 변환하게 된다. GPS 항법메시지에서는 IPP에서의 전리층 지연값 분포를 간단한 모델을 사용해서 표현하지만, SBAS에서는 실시간 지연값을 제공한다.

현재 SBAS 규격에서는 전 세계 지역을 5도 간격(고위도는 10도)의 격자(IGP)로 나누어, 각 IGP에 대한 전리층 정보를 제공하는 것으로 되어 있다. Fig. 1은 SBAS IGP를 나타내고 있는데, 경도에 따라 9개 band (0 ~ 8)로 구분하였다. 한 개의 SBAS 위성은 최대 3개 band의 전리층 정보를 송신하게 된다. 한국은 7번 band에 위치하는데, 저 경사각 위성신호까지 보정할 경우 인접한 8번 band 정보까지 필요하게 된다. 각 band는 200개 또는 201개의 IGP를 포함하고 있다[2].

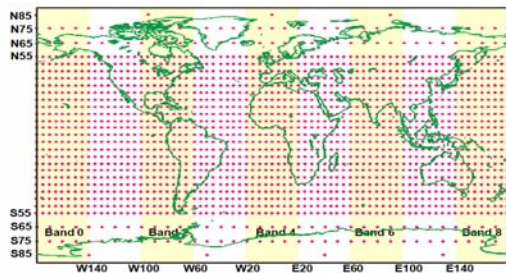


Fig. 1 SBAS Band 및 IGP [2]

SBAS는 250bps의 비교적 느린 속도로 보정정보를 송신하는데, 각 보정정보의 종류는 MT(Message Type)로 구분하며, 1초당 1개의 MT(250bit)를 순차적으로 송신한다. 각 MT는 패리티 및 MT 식별번호 등을 제외하면 212 bit의 데이터를 포함하고 있다. SBAS 전리층보정정보는 MT18과 MT26에 포함되어 있는데, Table 1과 2에 데이터 형식을 정리하였다.

MT18에는 데이터를 전송하는 총 band의 수와 정보를 전송하려는 band 번호 정보가 포함되어 있다. IGP mask 정보는 각 band 별로 전리층 보정정보를 송신하는 IGP를 1과 0으로 표시한다. MT26에서는 각 IGP별 전리층 지연값 및 GIVE (Grid Ionospheric Vertical Error)를 전송하는데, MT18에서 정의된 전리층정보가 제공되는 IGP의 값만 전송한다. 1개의 MT에 모두 전송할 수는 없으므로, 각 band 별로 15개씩 분할하여 전송한다[2,3].

전리층 지연값은 0에서 63.875m까지 0.125m 단위로 표현된다. GIVE는 전리층 보정정보의 오차 추정값을 나타내는 것으로 항공기 접근절차에 필요한 PL (Protection Level)을 계산하는데 사용된다. GIVE는 0에서 14까지 15개 단계로 나누어 송신하는데, 이는 전리층오차 추정 분산값의 0m부터 187.0826m²에 대응된다. 한편, 특정 grid에서 일시적으로 보정정보를 제공하지 않을 경우 'Not monitored'로 표시하게 되는데, 이는 GIVE값을 최대값인 15로 설정함으로써 통보하게 된다.

Table 1. SBAS Message Type 18 [2,3]

Parameter	Bit Position	No. of Bits
Number of Bands	0	4
Band Number	4	4
IODI	8	2
IGP Mask	10	201
Space	221	1

Table 2. SBAS Message Type 26 [2,3]

Parameter	Bit Position	No. of Bits
Band Number	0	4
Block ID	4	4
Vertical Delay (15 x)	8 ...	9
GIVEI(15 x)	17 ...	4
IODI	203	2
Space	205	7

드문 일이지는 하지만 시험운용단계에서 가끔 IGP Mask를 변경하는 경우가 있는데, 이 경우 MT18에 포함된 IODI (Issuance Of Data Ionosphere)의 값을 변경하게 되고, MT26 정보가 MT18의 변경된 IGP mask에 대응하는지 여부는 MT26과 MT18에 포함된 IODI의 일치 여부로 판단하게 된다.

MT26의 IGP 전리층정보의 최대 갱신주기는 5분인데, 항공용 응용 시 (En-Route 또는 Precision Approach) time-out 주기는 10분이다. MT18의 최대 갱신주기는 5분이며, 항공용 응용 시 time-out 주기는 20분이다. 이는 궤도 및 무결성정보 등이 포함된 다른 MT의 갱신주기 1분~2분보다 상당히 긴 편이다. 전리층 지연값이 송신된 후 다음 송신시점까지 시간이 지날수록 보정정보 정확도가 떨어지게 되는데, GIVE값도 이에 맞춰서 증가해야 한다. MT10에서는 degradation factor를 송신하는데, 여기에 포함된 정보 중 C_iono_step, L_iono 및 C_iono_ramp를 사용하여 GIVE값을 시간에 따라 증가시키게 된다.

SBAS에서는 전리층 단일막의 높이를 350km로 가정하는데, 지상 GPS 수신기와 GPS 위성 위치로부터 IPP의 위도 및 경도가 계산되면, 주위에 위치한 4개 IGP를 파악하고 MT26에 포함된 각 IGP별 전리층 지연값을 가져오게 된다[2,3]. 이 4개의 지연값을 interpolation하여 IPP에서의 지연값을 계산하고, 위성의 경사각을 적용하여 경사 지연값을 계산하게 된다. 특정 위성신호의 전리층 보정값 오차 역시 GIVE값을 interpolation하여 추정하게 된다.

GPS 항법데이터와 거리관측데이터를 RINEX 형식으로 저장하는 것과 같이 SBAS 메시지도 RINEX 형식이 정의되어 있다. 하지만 10진수로 표현되는 RINEX 거리정보와는 달리 16진수 형태로 표현되므로 처리가 용이하지는 않다. 본 연구에서는 SBAS RINEX 데이터를 처리하는 프로그램을 개발하여 MSAS 전리층 보정정보 현황 및 정확도를 분석하였다.

III. 전리층 보정정보 분석 결과

3.1 MSAS 현황 및 보정정보

MSAS는 4개의 GMS(Ground Monitor Stations)으로 부터 수신한 GPS 신호를 이용하여 2개의

MCS (Master Control Station)에서 GPS 위성궤도와 전리층 보정정보를 생성한 뒤 MTSAT 위성으로 전송한다[4]. MTSAT-1R과 2 위성은 동경 140도와 145도의 정지궤도에 위치하며, 기상 관측과 통신중계 임무도 수행한다. 일본 내 GMS 이외에 신호감시 목적으로 하와이와 오스트레일리아에 MRS (Monitor & Ranging Station)을 운용하고 있다. Fig. 2는 GMS와 MCS 위치를 나타내고 있다. WAAS(Wide Area Augmentation System)의 경우 25개의 WRS (WAAS Reference Station)가 미국 전역에 분포되어 있는데 반해, MSAS는 GMS의 수가 매우 적고 좁은 지역에 몰려 있음을 알 수 있다.

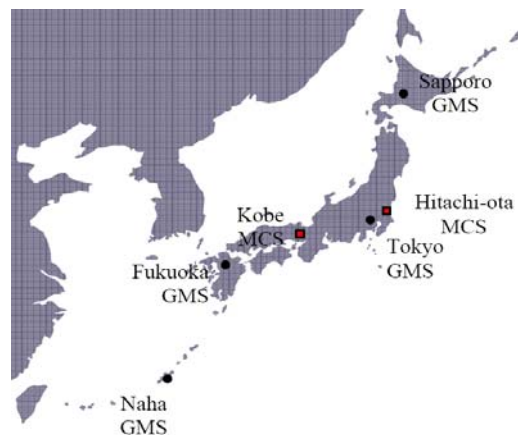


Fig. 2 MSAS 지상수신국 및 관제소 분포 [4]

근래에 출시되는 대부분의 GPS 수신기가 SBAS 신호를 수신할 수 있지만, SBAS 정보를 추출할 수 있는 수신기는 제한적이다. 본 연구에서는 Septentrio에서 출시한 AsteRx1 L1 수신기와 PolaRx2 L1/L2 수신기를 사용하여 SBAS 신호를 수신하였다. AsteRx1 수신기는 단주파 수신기이지만 PolaRx2와 동일한 Septentrio binary 형식을 지원하므로, 변환 프로그램을 통해 SBAS RINEX 파일을 추출할 수 있다. 이들 수신기는 동시에 3개의 SBAS 신호를 수신할 수 있다. SBAS 위성 선택을 자동으로 설정하였을 경우, 대부분 MSAS 위성 2개와 태평양 상공의 WAAS 위성 1개를 추적하게 된다.

한편, Fig.3은 일본의 ENRI(Electronic Navigation Research Institute)에서 제공하는 수신기 위치해 계산 프로그램을 이용하여 SUWN의 2007년 8월 11일의 RINEX 데이터를

처리한 결이다. 단일주파수로 얻어진 위치해 오차의 하루 평균은 약 2.41m로 나타났고, 단일주파수에 MSAS 보정정보를 적용하였을 경우 수신기 위치해 오차의 하루 평균은 약 0.86m 로 약 1.6m 가량 향상된 위치해가 얻어지는 것을 확인하였다. 이 결과는 MSAS 보정정보가 위치해 보정효과를 확실하게 가지고 있으며 또한 크게는 SBAS가 수신기 위치해 향상에 도움이 됨을 직접적으로 보여주는 결과이다.

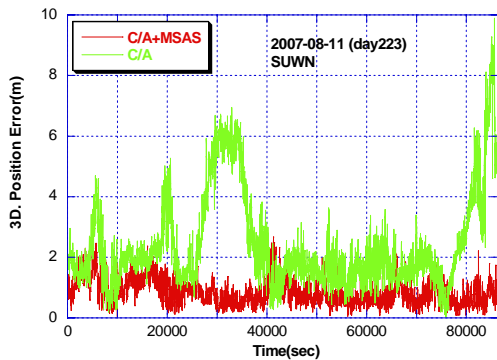


Fig. 3 MSAS 보정정보 적용 전/후 수신기 위치해 오차 변화

3.2 MSAS 전리층 보정정보 분석

Fig. 4는 MSAS IGP 지도인데, 2007년 8월 11일 5 UTC의 전리층 지연값 분포를 나타내고 있다. 각 격자점의 색깔을 통해 전리층 지연값을 미터로 표시하였으며, MTSAT-1R과 2의 보정 정보 차이는 거의 없다. 일본 내에만 수신국이 있으므로 WAAS와 비교할 때 정보제공 영역이 크지 않음을 알 수 있다. 붉은 점으로 표시된 점들은 보정정보 신뢰성이 낮은 "Not monitored" 지역이다. 한편, MRS가 위치한 하와이와 오스트레일리아에도 IGP가 존재하지만 "Not monitored"로 설정되어 있음을 알 수 있다.

Fig. 5는 각각 2007년 8월 11일과 2007년 9월 30일 대전 상공에서 MSAS 전리층 지연값 변화 (MSAS)를 자체 추정한 전리층 지연값(KAU)과 비교하였는데, MSAS의 전리층 지연값 오차 추정값인 GIVE를 같이 나타내었다. 이때 시간은 UTC를 나타낸다. 자체 추정값은 국토지리정보원의 14개 GPS 상시관측소 데이터를 이용하여 계산하였으며, 수신기는 Trimble NetRS로 30초 RINEX 데이터를 제공한다. Grid map 후처리

추정방식을 사용하였으며, 1도×1도 격자점을 사용하였다[5]. 전체적인 경향은 비슷하지만 부분적으로 0.5m 이내의 차이를 나타냄을 알 수 있다.

또한 CODE에서 제공하는 IGS 전리층 모델과도 비교하였는데, IGS 모델은 전리층 높이를 450km로 설정하였기 때문에 직접적인 비교는 곤란하지만 전체적인 경향은 비슷함을 알 수 있다. 현재 태양 및 전리층활동이 활발하지 않을 때이므로 전리층 지연값은 3m 이내의 낮은 값을 가진다. KST12시에 해당하는 UTC3시 근방에서 최대값을 가지며, KST5시에 해당하는 UTC20시 근방에서 최소값을 가짐을 알 수 있다. 이는 일본 ENRI에서 분석한 MSAS의 전리층 지연값 변화와 상당히 유사하다[6].

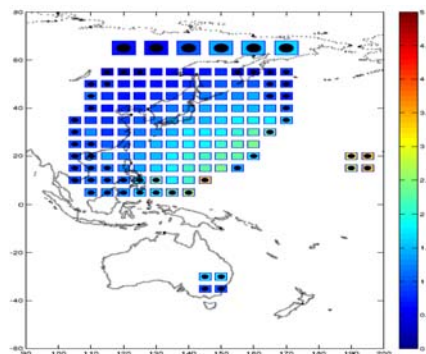


Fig. 4 MSAS IGP 분포 및 전리층 지연값 (2007.08.11 5UTC)

한편 GIVE값이 약 1.5m로 안정적으로 변화하는 Fig. 5의 2007년 8월 11일의 전리층 지연값 변화를 살펴보면, MSAS와 자체개발한 전리층 모델(KAU), 그리고 IGS 전리층 모델이 약 0.5m이내의 편이를 가지고 있지만 전체적인 지연값 변화의 양상이 닮아 있음을 확인할 수 있다. 그리고 Fig. 6의 2007년 9월 30일의 경우 UTC 5시~8시 사이에 GIVE값이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이때 MSAS에서 제공되는 전리층 지연값 변화는 다른 두 모델의 변화와 큰 차이가 있음을 확인할 수 있다. 즉 갑작스런 GIVE값의 향상은 그때 전송된 전리층 지연값의 정확도 및 신뢰도의 감소를 의미한다. 이러한 GIVE값의 급격한 변화는 일반적으로 전리층 폭풍에 의해 발생한 것으로 추측하기 쉬우나 이 경우는 적도변이 또는 이온층 산란 (Ionosphere Scintillation)에 의해 발생한 것이

다. 이에 관한 내용은 3.4절에 기재 하였다. SBAS에서는 전리층 지연값과 더불어 중요한 것이 GIVE인데, 전리층 폭풍 시 GIVE값을 급격히 증가시킴으로써 사용자의 PL(Protection Level)을 증가시키게 된다. GIVE값이 실제 오차범위를 포함하면서도 최소값을 가지도록 계산하는 알고리즘 개발이 전리층폭풍 시 무결성(Integrity)과 가용성(Availability)을 확보할 수 있는 관건이다.

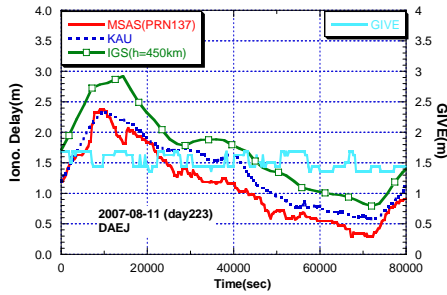


Fig. 5 MSAS 전리층 수직지연값 변화 비교

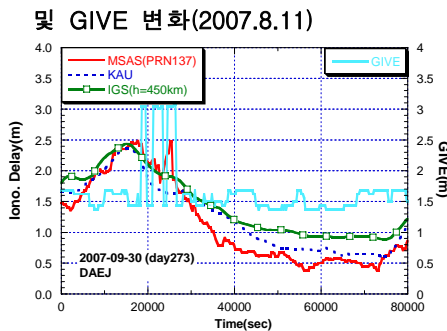


Fig. 6 MSAS 전리층 수직지연값 변화 비교

및 GIVE 변화(2007.9.30)

Fig. 7은 2007년 8월 11일 동일 위도에 위치한 대전 상공과 미국 California Fresno 상공에서 각각 MSAS와 WAAS의 GIVE값을 비교해 본 것이다. MSAS의 GIVE값은 약 1.4m~1.7m 사이에서 변화하고, WAAS는 약 1.0m~1.1m 사이에서 변화한다. 두 시스템 모두 낮과 밤에 따른 GIVE값 차이는 크지 않다. 두 지역의 지리적 위치와 시차가 다르므로 직접적인 비교는 어렵지만 WAAS가 MSAS 보다 GIVE값 변화가 약 0.5m 정도 낮고 그 변화 폭도 작고 안정된 것을 볼 수 있다. 참고로 동일한 날짜의 Fresno

상공에서의 전리층 지연값은 최대 2.5m 정도로 별 차이가 없다. DAEJ과 Fresno가 동일한 위도임에도 불구하고 MSAS가 WAAS보다 GIVE값이 큰 이유는 적도변이가 이동하는 경로인 자기적도(Geomagnetic Equator)에 WAAS보다 더 근접해 있어 GIVE값 계산 시 가중치가 크게 적용되었을 가능성이 높다. 이에 대한 자세한 내용은 3.4절에 나와 있다.

한편 현재는 한반도 근방에서 전리층폭풍 발생 시 SBAS 데이터가 없어서 당시 GIVE값 변화를 확인할 수 없다. 그러나 향후 데이터가 확보되면 전리층폭풍 시 MSAS의 GIVE값 계산 정확도 등을 확인할 수 있을 것이다.

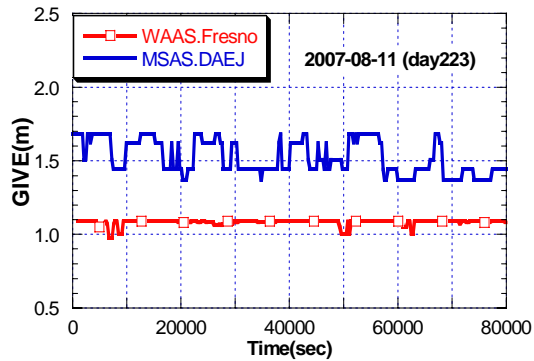


Fig. 7 MSAS와 WAAS의 GIVE 변화 비교

MSAS 전리층 보정정보의 정확성을 분석하기 위하여 전리층 지도 이외에 이중주파수 수신기로 측정된 전리층 지연값과의 비교를 수행하였다. SBAS 전리층 지연값은 수직 지연값 (Vertical Delay)이므로 이를 IPP 궤적에서의 경사함수를 적용하여 경사 지연값으로 변환한 뒤 비교하였다. 한편, 이중주파수 수신기의 P1과 P2 코드 사이의 신호 지연차로 인하여, 측정된 전리층 지연값에 편이(IFB - Inter Frequency Bias)가 존재하게 되는데 이를 별도로 추정하여 보정한 뒤 비교하였다. 각 GPS위성 신호에도 편이가 존재하므로 이 편이값도 추정 후 보정하였다.

Fig. 8은 국토지리정보원 수원수신국(SUWN)에서 수신한 PRN05 위성으로부터의 전리층 경사지연값(Slant Delay)을 MSAS 보정값과 비교한 것이다. 관측된 전리층 지연값과 MSAS 보정값과의 사이에 0.5m 정도의 편이가 있음을 알 수 있다. Fig. 9는 태백수신국(TABK)에서 수신한 PRN10 신호의 전리층 지연값을 비교한 것인데,

매우 잘 일치함을 알 수 있다. 이는 SUWN IFB 추정값에 오차가 TABK 보다 크다는 것을 의미한다. 실제로 연간 데이터 분석 결과 SUWN의 데이터 품질이 TABK보다 약간 낮은 것을 확인할 수 있었다. 한편, 경사각이 낮을수록 전리층을 통과하는 거리가 증가하므로 위성 관측 초기와 말기에 전리층 지연값이 증가함을 알 수 있다. 경사각이 낮으면 대기 산란 등에 의한 변화가 크기 때문에 관측값 분산값이 증가함을 알 수 있다.

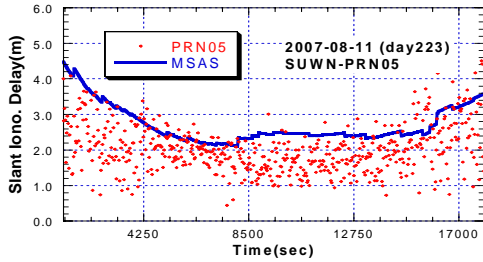


Fig. 8 MSAS 전리층 경사지연값과 관측값 비교 (SUWN-PRN05)

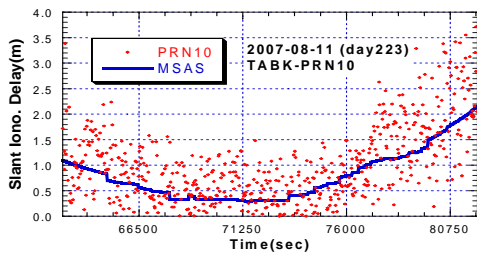


Fig. 9 MSAS 전리층 경사지연값과 관측값 비교 (TABK-PRN10)

한편, MSAS 전리층 보정정보는 일본 내 GMS에서 관측된 데이터를 바탕으로 생성되는 것이기 때문에 일본 상공에서 멀어질수록 MSAS에서 제공하는 전리층 보정정보의 효과는 다소 떨어지게 된다. 즉 우리나라 동쪽지역보다 서쪽 지역에서 MSAS 전리층 보정정보를 적용할 경우 보정효과가 약간 낮을 것으로 예측된다. 하지만 그 영향은 크지 않을 것으로 생각된다.

3.3 GAGAN 전리층 보정정보

2007년 3월 ESA의 Arinane 5 발사체를 이용하여 발사된 인도의 INSAT-4B 위성은 동경 93.5도의 정지궤도에 위치하고 있으며, GAGAN 통

신모듈을 탑재하여 시험 운용 신호를 송신하고 있다. PRN 127로 송신하고 있으며, 국내에서도 간헐적으로 신호가 수신되고 있다.

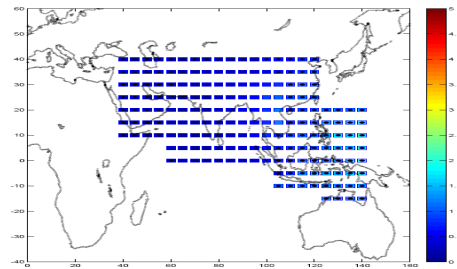


Fig. 10 GAGAN IGP분포 및 전리층 지연값 (2007.08.11 5UTC)

Fig. 10은 2007년 8월 11일 GAGAN 전리층 IGP 지도이다. 인도와 동남아시아 지역 등 넓은 지역을 포함하고 있으나, 한국은 포함하고 있지 않다. 하지만 국내에서 수신되는 서쪽 저경사각 신호의 IPP 영역은 포함하고 있다. 저위도에 위치한 인도 상공은 전리층활동이 매우 활발한 곳으로 전리층 지연값이 크고 변화량이 커서 SBAS 구현에 쉽지 않은 지역이다.

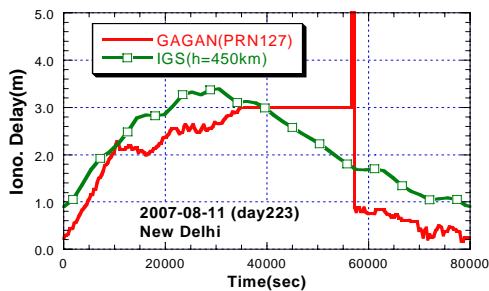


Fig. 11 GAGAN 전리층수직지연값 변화 비교

Fig. 11은 GAGAN에서 제공하는 전리층 지연값과 IGS 전리층 지연값을 뉴델리 상공에서 비교한 것이다. 앞에서 비교한 대전 데이터와 동일한 날짜(2007.8.11)의 데이터를 사용했는데, 최대 지연값의 크기가 3.5m로 대전보다 높음을 알 수 있다. 한편, UTC 11시 ~ 16시 사이에 GAGAN 신호가 일정한 값으로 고정되어 IGS 값과 큰 차이를 나타내는데, 아직 이는 시험운용 중이기 때문으로 생각된다.

3.4 적도변이가 MSAS에 미치는 영향

적도변이는 중력에 의해 플라즈마가 자기력선을 따라 내려오면서 지자기 적도 $\pm 15^\circ$ 내에서 플라즈마 밀도가 최대가 되는 점을 생성하는 현상을 말한다. 적도변이는 지자기 적도를 따라 지구자전 반대방향인 동->서로 이동하며, 이들이 지나가는 주변 지역의 전리층에 영향을 미치게 된다.

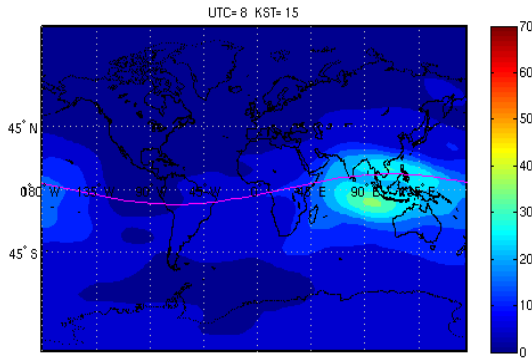


Fig. 12 지자기 적도와 적도변이(2007.08.11)

지자기 적도는 지구의 지리적 적도와는 다소 차이가 있으며, Fig. 12는 지자기적도의 이동경로를 나타낸 것이다. 한반도 및 지자기 적도는 지리적 적도보다 약 5~10도 정도 위에 위치해 있고, 북아메리카 및 지자기 적도는 지리적 적도보다 약 10도 가량 아래에 위치하고 있다. 따라서 한반도의 경우 미국보다 적도변이와 상대적으로 약 15~25도 가량 더 근접해 있음을 알 수 있다.

Fig. 13과 Fig. 14는 2007년 1월 1일부터 2007년 1월 14일까지 2주간 동일한 위도에 위치한 대전과 미국 California Fresno 상공에서 각각 MSAS와 WAAS의 전리층 수직지연값과 GIVE 값 변화를 나타낸 것이다. 두 지역은 시차로 인해 전리층 지연값의 직접적인 비교는 어렵지만 두 지역 모두 매일 일정한 형태의 전리층 지연값 변화를 보이는 것을 볼 수 있다. 최대값 또한 3m 이하이다. GIVE값의 경우 MSAS는 평균 약 1.5m, WAAS는 평균 약 1m이며, WAAS의 GIVE값이 MSAS의 GIVE값 변화 보다 훨씬 안정된 것을 볼 수 있다.

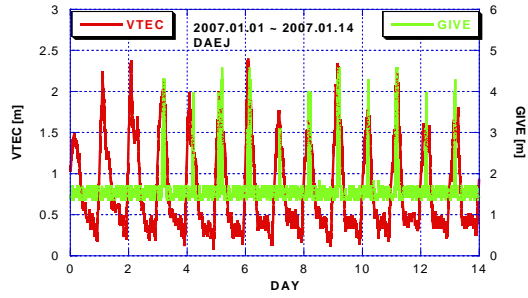


Fig. 13 MSAS VTEC과 GIVE 변화 경향

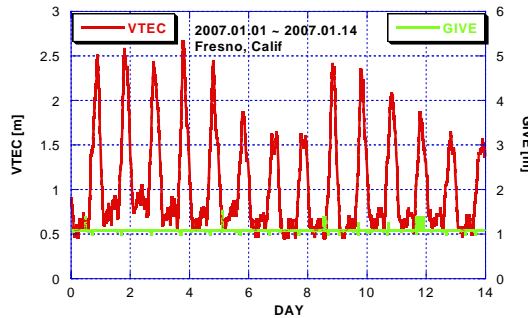


Fig. 14 WAAS VTEC과 GIVE 변화 경향

한편 MSAS의 경우 1월 4일부터 1월 14일까지 약 11일간 매일 UTC 3시~8시 사이에 GIVE값이 3m~4.5m로 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 주기적인 GIVE값의 급격한 변화의 원인을 확인하기 위해 이 기간 동안 전리층 폭풍 연관지수인 Dst와 Kp를 분석해 보았는데, Dst는 약 +20 ~ -20, Kp지수는 0~3의 값을 가졌다. Dst지수는 자기폭풍의 정도를 평가하는데 사용되는 값으로 적도 근처의 4개 관측소에서 얻은 수평 자기장의 값을 평균한 값으로 -100 이하 일 때 전리층 폭풍이 발생할 가능성이 있는 것으로 판별한다. 그리고 Kp는 지구 자기장의 변동 정도를 표시하는 양으로 여러 관측소에서 관측된 지구 자기장의 교란 정도를 미 항공우주 예보센터(U.S. Air Force Space Forecast Center)에서 통합 수치화하여 1~9 사이의 값의 값도록 한 것으로 4이상에서 전리층 폭풍이 발생할 가능성이 있는 것으로 판별한다. 따라서 앞의 두 수치는 이에 훨씬 미치지 못하는 결과로, 즉 전리층 폭풍에 의해 발생한 것은 아닌 것으로 판단되어진다. Fig. 15는 2007년 연간 Dst와 Kp 지수 변화를 나타낸 것인데, 2007년은 태양활동이 감소하는 시점으로 전반적으로 그 값들이 낮음을 알 수 있다[7,8]. 즉 전리층

폭풍발생이 발생할 가능성이 매우 낮다. 따라서 그 원인을 적도변이에 의한 영향적 측면에서 살펴보았다.

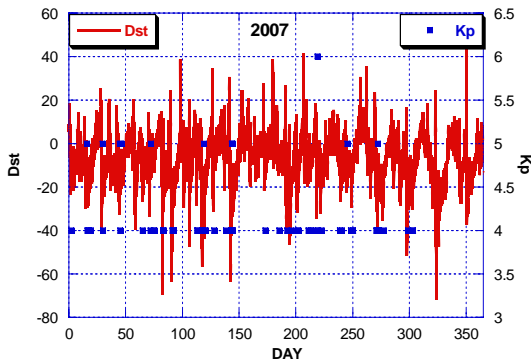


Fig. 15 연중 Dst와 Kp 지수 변화(2007)

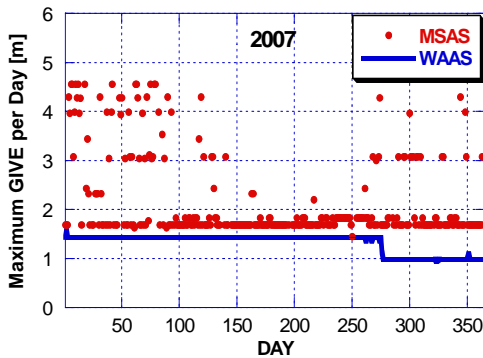


Fig. 16 일일 최대 GIVE값의 연중변화(2007)

Fig. 16은 각각 대전과 Fresno에서의 일일 최대 GIVE값 연중 변화를 나타낸 것이다. WAAS는 최대 GIVE값이 1~1.4m로 거의 변화가 없으며, Fig. 7의 결과와 비교했을 때 큰 값이 아님을 알 수 있다. 그러나 MSAS의 경우 전체적인 평균은 약 1.6m인데, 365일 중 약 69일에서 최대 GIVE값이 3m이상이었다는 것으로 나타났다. 이 원인은 앞에서 말한 것처럼 전리층 폭풍으로 보이기엔 그 빈도가 너무 높다. 그러나 이를 적도변이 측면에서 본다면, 상당히 합리적인 원인을 찾을 수 있다. 먼저 MSAS가 WAAS 보다 GIVE값이 튀는 날이 훨씬 많은데 이는 앞에서 언급한 바와 같이 적도변이가 이동하는 지자기 적도의 위도가 미국보다는 한반도에 20도 가량 더 가깝기 때문이다. 그리고 Fig. 16에서 전리층 지연값의 일일 최대 지연값이 3m이상인 날은

봄과 겨울에 그 빈도가 가장 많고 여름엔 전혀 발생하지 않은 것을 볼 수 있다. 이는 실제 적도변이의 계절적 변화와 많이 닮아 있다. 2007년 한반도 및 지자기 적도에서 적도변이의 세기변화를 살펴보았는데, 봄,겨울>가을>여름 순으로 그 세기가 감소하는 것을 확인하였다.

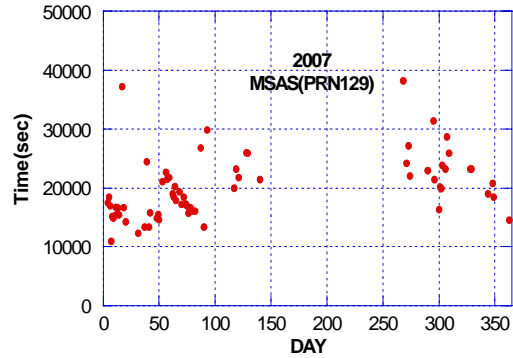


Fig. 17 3m 이상의 MSAS 일일 최대 GIVE값이 발생한 시점

Fig. 17은 Fig. 16에서 MSAS의 GIVE가 3m 이상인 날에서 GIVE값이 튀 발생 시간을 나타낸 것이다. 발생시간은 모두 UTC 3~11시 이내에 발생했으며, 이는 적도변이가 한반도 및 상공을 지나는 시점과 일치한다. 이러한 결과를 토대로 MSAS GIVE값이 튀는 현상은 적도변이에 의한 것으로 판단된다.

한편 Fig. 6처럼 GIVE값이 튀는 시점은 대부분 매일의 전리층 지연값이 최대가 된 이후 3~4시간 이내에 발생한다. 이는 전리층 산란 현상에서 그 원인을 찾을 수 있는데, 전리층의 경우 주로 고위도와 저위도의 F-영역과 일몰 이후에 전리층 산란으로 인해 플라즈마 밀도의 불규칙성이 나타난다. 특히 적도의 경우 일몰 이후에 발생하고, 고위도의 경우 낮 또는 밤 시간에 나타난다. 앞의 GIVE값이 튀 시점 또한 일몰 시간대로 전리층산란에 의한 결과임을 예측할 수 있다.

IV. 결론

일본 MSAS의 보정 정보를 수신하여 이중 전리층 지연값 정보에 대한 기본 분석을 수행하였다. SBAS 전리층 정보를 처리하는 프로그램을 개발하여 전리층 IGP 지도를 생성하고 특정 위치 및 시간에서의 전리층 지연값을 계산하였다.

자체 개발한 전리층 지도와의 비교를 수행하였으며, IGS 전리층 지도와도 비교하였다. 한반도 상공의 고정점에서 1일간 변화를 비교하였는데, 약간의 편차는 있지만 전체적인 변화는 잘 일치함을 알 수 있었다. 특정위성 신호의 경사지연값을 비교하였을 때도 잘 일치함을 알 수 있었다. 이러한 분석 결과로부터 현재 MSAS에서 제공하는 보정정보는 의사거리 오차를 줄이는데 유용하게 사용될 수 있음을 확인할 수 있었다. 정확도 면에서는 높은 것으로 판단되지만 항공기 이착륙 등 무결성 관련분야에 필수적인 GIVE값 생성에 있어서는 약간 높은 값을 나타내고 있는 것으로 생각된다. 향후 한반도 상공 전리층 폭풍 시 GIVE값 변화를 분석하는 등 추가 연구가 필요하다. 넓은 지역에 많은 수의 GPS 수신국이 분포되어 있는 WAAS나 EGNOS에 비해 좁은 지역에 적은 수의 GPS 수신기가 분포된 일본 MSAS의 성능 분석은 이와 유사한 국내 SBAS 구축 연구에 좋은 참고 자료가 될 수 있을 것으로 생각된다.

그리고 인도의 GAGAN 보정정보에 대한 분석도 수행하였는데, 시험운용을 시작한 지 얼마 되지 않았기 때문에 신호의 불안정성이 관측되었다. GAGAN의 보정정보는 국내에서는 직접 활용할 수는 없지만, 저위도에 위치한 인도 상공의 전리층변화가 크기 때문에 이에 따른 GIVE값 변화 경향을 파악하는데, 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

또한 하루 중 MSAS의 GIVE값이 급격하게 변하는 날의 빈도가 연중 약 1/5에 달하는 것을 확인하고, 이것의 원인이 적도변이와 전리층산란 현상에 의한 것임을 확인하였다. 이러한 잦은 GIVE값의 불안정성은 SBAS를 항공기 이착륙에 적용할 경우 무결성 및 가용성 문제를 야기 시킬 것으로 판단된다. 한국도 일본과 마찬가지로 지자기적도와 매우 근접한 위치에 위치하고 있기 때문에 향후 SBAS 구축 연구 시 MSAS와 달리 적도변이를 고려한 전리층 보정정보 생성 알고리즘을 개발해야 할 것으로 생각된다.

본 논문은 국내에서 SBAS 보정정보에 관한 심도 있는 연구가 많이 진행되고 있지 않은 가운데, MSAS를 통한 전리층 보정정보의 적용 방법 및 효과를 연구함으로써 향후 국내 SBAS 시스템 개발 시 전리층 보정정보 알고리즘 구현에 있어 좋은 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 김민승, GPS/WAAS 수신 알고리즘 설계, 충남대학교 석사 학위 논문, 2002
- [2] EUROCONTROL, GNSS Tools Team, PEGASUS: Technical Notes on SBAS, June 17, 2003
- [3] RTCA, Inc., Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System/Wide Area Augmentation System Airborne Equipment, RTCA DO-229C, November 28, 2001
- [4] Civil Aviation Bureau of MLIT Japan, "MSAS Status: MTSAT Satellite-based Augmentation System", 12th SBAS Iono Meeting, Boston, June 1-2, 2006
- [5] 김정래, 양태형, 이은성, 전향식, 위성항법시스템 적용을 위한 전리층 지연값 기울기연구, 제어·자동화·시스템 공학 논문지, 12권, 9호, 2006, pp898~904
- [6] T. Sakai, K. Matsunaga, and K. Hoshinoo, "Evaluation of MSAS Ionospheric Corrections", SBAS IWG/15, Kobe, Japan, March 14-16, 2006.
- [7] Kyoto Equatorial Dst index service, <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc/Sec3.html>
- [8] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Web site, <http://www.swpc.noaa.gov/ftppdir/indices/>
- [9] Rho, H., and R. Langley : "Assessment of WAAS Correction Data in Eastern Canada." Proceedings of the Ionospheric Effects Symposium, IES2002, Alexandria, Virginia, 2002, pp. 131-138
- [10] CODE Global Ionosphere Map Web site, <http://aiuws.unibe.ch/ionosphere/gim.gif>
- [11] Electronic Navigation Reserch institue Web site, msas <http://www.enri.go.jp/sat/>