

技術論文

위성항법시스템 적용을 위한 전리층 기본 연구

김정래 *, 양태형 *, 이영재**, 전향식***, 남기욱***

Preliminary Study of Ionosphere for Global Navigation Satellite Systems

J. Kim, T.H. Yang, Y.J. Lee, H. S. Jun, G.W. Nam

ABSTRACT

Ionospheric signal delay is a critical factor for precision differential GNSS(Global Navigation Satellite Systems) applications such as GBAS(Ground-Based Augmentation System) and SBAS (Satellite-Based Augmentation System). Most concern is the impact of the ionospheric storm caused by the interaction between Solar and geomagnetic activities. After brief description of the ionosphere and ionospheric storm, ionospheric models for SBAS are discussed. History of recent ionospheric storms is reviewed and their impact on GNSS is discussed. In order to support Korean GNSS augmentation system development, a preliminary study on the regional ionosphere performed. A software tool for computing regional ionospheric maps is being developed, and initial results during a recent storm period is analyzed.

Key Words : Key Words: GNSS(위성항법시스템), Ionosphere(전리층), Ionospheric storm (전리층폭풍)

1. 서 론

고도 50km에서 1000km 사이에 분포되어 있는 전리층(ionosphere)은 이 영역을 통과하는 GNSS(Global Navigation Satellite System) 신호의 전파에 영향을 준다. 전리층 지연효과를 제거할 수 있는 이중주파수 GNSS 수신기와는 달리 단일주파수 수신기는 모델이나 보정신호를 이용하여 전리층 지연효과를 제거하게 되는데, 높은 정밀도와 신뢰성이 요구되는 항공기용 위성항법 시스템은 이러한 보정작업이 반드시 필요하다. SBAS

(Satellite-Based Augmentation System) 정지위성에서 송출된 전리층 지도를 이용하거나 GBAS(Ground-Based Augmentation System) 지상국에서 송출된 보정신호를 사용한다.

단시간 내에 전리층 지연값이 국지적으로 급격히 변화하는 전리층 폭풍은 GBAS 지상국 위치와 항공기 위치 사이에 급격한 전리층 지연 차이를 유발하여, 항공기에서 보정 신호를 사용하더라도 상당한 신호 지연 오차를 유발하게 된다. SBAS 전리층 지도를 이용하는 경우에도 지도의 해상도 이하의 불균일성 존재 및 급격한 변화로 상당한 오차를 유발하게 된다. 현재 GPS(Global Positioning System)를 이용한 항공기 이착륙용 위성항법 시스템의 가장 큰 문제는 전리층 폭풍에 의한 무결성 및 가용성 저하로 이를 해결하기 위해 미국 등에서는 상당한 연구를 진행하고 있다.

본 논문에서는 전리층 및 전리층 폭풍 등에 대

* 정희원, 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부
연락처자, E-mail : jrkim@hau.ac.kr
경기도 고양시 덕양구 화전동 200-1

** 건국대학교 기계항공공학부

*** 한국항공우주연구원 항행체계그룹

해 살펴본 뒤, 주요 전리층 폭풍 발생 시기 등을 조사하였다. SBAS 등 GNSS용 전리층 지도에 대해 살펴보고, 전리층 폭풍이 항공기용 GNSS에 미치는 영향 및 연구 방향에 대해 살펴보았다. 전리층폭풍이 항공기용 위성항법시스템에 미치는 영향을 분석하기 위한 기본 연구로 한반도 상공 전리층 분포 프로그램을 개발하여 과거 전리층폭풍 발생 시 경향 등을 간략히 살펴보았다.

II. 전리층 및 전리층 폭풍

2.1 전리층에 의한 신호 지연 효과

주로 자유전자로 구성된 전리층은 태양광의 자외선 입자가 원자들의 결합을 파괴함으로써 발생된 입자들이 전자파의 진행에 영향을 준다. 물리적 성질에 따라 D층(60~90km), E층(105~160km) 및 F층(160~1000km)으로 구분되며, F층은 F1층(180km이하)과 F2층으로 나누어진다. 자유전자의 밀도는 고도 300km~500km 근방에서 최대값을 가지며, 층의 경계고도는 시간에 따라 변화한다[1,2,3].

분산매질(dispersive medium)인 전리층에 의한 전파지연 크기는 주파수 제곱에 반비례하는 것으로 가정할 수 있다. GPS 신호의 경우 전리층은 코드에 의한 의사거리(pseudo range) 측정값을 증가 시키지만, 반송파(carrier phase)에 의한 의사 거리는 이와 반대로 감소시키게 된다.

전리층에 의한 거리 오차는 TEC(Total Electron Content)에 비례하는데, 이는 신호 경로상의 총 자유전자수를 의미 한다. 단위는 TECU를 사용하는데, 1 TECU는 1 평방미터에 1016개의 전자가 들어있는 것을 의미하고, 1 TECU에 의한 GPS L1 신호 지연 크기는 0.16m 정도이다. 전리층에 의한 지연 오차가 주파수 제곱에 반비례하는 것을 응용하면 이중주파수 신호를 사용하여 지연크기를 측정할 수 있고, 이를 제거할 수 있다. TEC은 낮에 20~30 TECU 정도의 값을 가지지만 밤에는 수 TECU 정도로 감소한다.

단주파 GPS 수신기에 비해 이중주파수 GPS 수신기를 사용하면 전리층 지연값을 계산할 수가 있다. 한편, GPS 위성 송신부 및 지상수신기 수신부 내부에서 코드 신호 경로의 차이에 의해서 바이어스가 발생하며 이는 이중주파수에 의한 전리층 지연값 측정에 영향을 미친다. 이러한 값은 수 내지 수십 TECU로 무시할 수 없는 수준이므로, 반드시 보정해 주어야만 한다.

2.2 전리층 폭풍

플레어와 코로나 물질의 방출 등의 태양활동은 때때로 지구에 영향을 미치는 입자와 전자기 복사 발생 구조에 거대한 변화를 유발하고, 차례로 지구 자기권과 전리층을 교란한다. 이에 의해 유발되는 전리층 폭풍은 전리층의 밀도분포, 전자의 양 및 전리층의 유통체계에 거대한 교란을 유발하며, 통신위성 신호나 전력체계 등의 교란을 유발한다.

고위도 상공에 존재하는 오로라 영역(auroral oval)은 태양으로부터 분출되는 전하와 지구 자기장의 상호작용으로 형성된 것으로, 전리층 분포와 밀접한 관련이 있다. 지구-태양 상호 작용이 활발할 경우 지구주위의 가속된 전자가 지구 자기력선을 따라 남하하여 전리층에 영향을 주게 되는데, 이를 지자기 폭풍(geomagnetic storm)이라 하며, 지자기 폭풍의 발생 및 크기는 태양활동과 밀접한 관련이 있다. 지자기장 세기(geomagnetic index)는 주로 고위도지방에 위치한 지상 관측소로부터 수집한 정보를 이용하여 나타내는데, Kp를 사용할 경우 0에서 9까지의 범위를 가지며 6이상일 경우 강한 지자기 폭풍의 발생을 의미한다.

전리층 폭풍은 지자기 폭풍과 동반하는 경우가 많으므로 지자기장 세기를 관측하면 전리층 폭풍 발생과의 상관관계를 얻을 수 있다. 전리층 폭풍 발생 시 TEC값은 70 TECU 정도까지 증가하기도 하는데, 이러한 변화 정도가 급격하며, 변화하는 지역이 매우 불규칙적이라는 것이 심각한 문제이다.

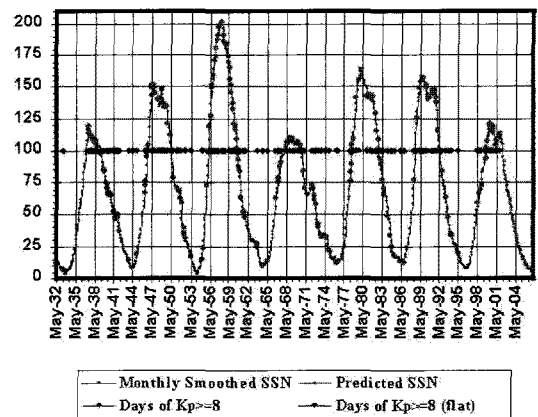


fig. 1 태양흑점수 변화 및 지자기폭풍 발생 기록[3]

fig. 1은 1932년부터 2004년까지의 태양 흑점수(Sun Spot Number-SSN)을 나타낸 것인데, 지자기활동이 활발한 날($Kp > 8$)의 개수는 SSN값이 높을 때와 일치하는 것을 알 수 있다. 태양활동 주기가 11년 정도이므로 2001년 최대치 이후 2012년 정도에 태양 활동이 다시 최대가 될 것으로 예상된다. 전리층 모델로부터 얻은 평균 TEC 변화량과 태양활동의 상관 관계를 조사한 문헌에 따르면, 태양활동이 최대일 때 TEC 값도 최대치를 기록하였다. 지자기 폭풍은 태양활동이 최대일 때뿐만 아니라 상승기와 하강기에도 많이 발생하는 경향을 보이고 있다.

2.3 전리층 분포

전리층 분포는 지자기 위도에 따라 다른 경향을 나타내는데, fig. 2와 같이 적도, 중위도, 천이 및 오로라 영역으로 구분할 수 있다.

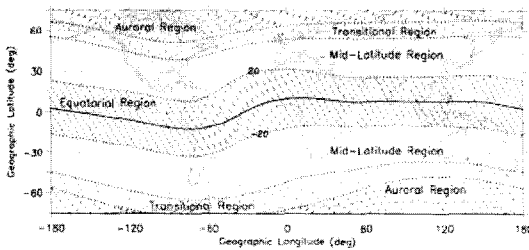


fig. 2 전리층변화에 따른 전리층영역구분[4]

지자기 적도에서 $\pm 20^\circ$ 이내인 적도 영역은 가장 높은 TEC 값을 가지며, 변화 크기 또한 활발하다. 적도 변이(equatorial anomaly) 영역이라고도 불리며, 전리층 폭풍이 없는 평상시에도 전리층 지연값의 급격한 변화가 관측되는 곳으로, GNSS 활용에 많은 문제가 되는 지역이다. 일반적으로 전리층 폭풍이 북쪽에서 남하하는 형태를 가지므로, 고위도의 오로라 영역 및 천이 영역은 전리층 폭풍 발생 시 가장 직접적인 영향을 받는 부분이다. 한국이 속한 중위도 지역은 상대적으로 전리층 폭풍이나 전리층 변이 등에 의한 영향이 작은 지역이다.

III. 전리층 지연 모델

3.1 IPP(Ionosphere Pierce Point)

전리층에 의한 신호 지연의 크기를 위치 별로 표시한 것을 전리층 지도라고 하는데, 일반적으로

로 TEC 값으로 표시한다. 2차원 및 3차원 지도가 있으며[5], SBAS 등 보정항법 용도에는 주로 2차원 모델을 사용한다.

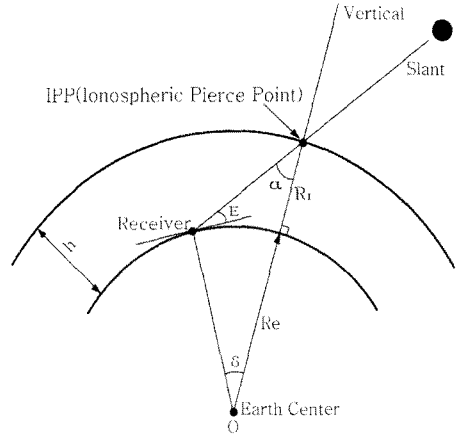


fig. 3 전리층과 IPP의 기하학적 관계

2차원 전리층 모델은 전리층을 하나의 얇은 단일층으로 가정하는데, 단일층이 있는 특정한 고도는 보통 300km에서 500km 사이로 설정한다. GNSS 위성으로부터 수신기까지의 시선방향의 연결선이 단일층과 만나는 점을 IPP (Ionosphere Pierce Point)라고 정의하며 fig. 3에 표시되어 있다. IPP의 위치는 수신기와 GPS 위성의 위치로부터 계산할 수 있다[1,2].

GPS 신호는 임의의 입사각을 가지고 전리층을 통과하게 되며, 지연 정도는 입사각의 함수이다. 그러나 전리층 분포를 일반적으로 표현하기 위해서 수직으로 입사했을 때의 전리층 지연량을 기준으로 하게 된다. 이러한 변환을 위해서 mapping 함수 또는 obliquity factor를 사용하는데, 이는 임의의 입사각으로 통과한 전리층 지연량(Slant TEC, STEC)과 수직으로 입사한 전리층 지연량 (Vertical TEC, VTEC) 사이의 관계를 결정해주는 함수이다. 2차원 전리층 지도는 수직 지연값을 사용하여 표시한다.

3.2 전리층 지연 모델

전리층 지연 모델은 크게 함수(Function-based) 모델과 격자(Grid-based) 모델로 구분 되는데, 전자는 수학적함수의 형태로 표현한 것이고, 후자는 격자로 구분한 뒤 격자별 지연값을 나타낸 것이다. 함수모델에는 Polynomial Function 모델과 Spherical Harmonics 모델 등이 있으며, GPS 방송력에 의한 Klobuchar 모델도 이에 포함 된다.

이외에 국지적(local)인 모델과 전 지구적(global)인 모델로 나누어질 수 있다. 전 지구적 전리층 모델은 주로 전 세계에 분포된 IGS(International GNSS Service) 상시관측소의 데이터 등을 사용하는데, 이에는 IRI(International Reference Ionosphere), PIM(Parameterized Ionospheric Model), GIM(Global Ionosphere Model) 모델 등이 있다. 이외에 국내에서는 천문우주연구원에서 자체 9개 상시관측소망을 사용 하여, 매일 2시간 간격의 한반도 전리층 지도를 제공하고 있다[2].

SBAS는 특정한 지역의 전리층 지연값 분포 정보를 전송 한다. 미국 FAA(Federal Aviation Administration)에서 제공하는 WAAS(Wide Area Augmentation System)는 정지궤도 위성을 이용하여 보정신호를 송출하는데, Message type 18번과 26번에 전리층관련 정보가 포함 되어 있다.

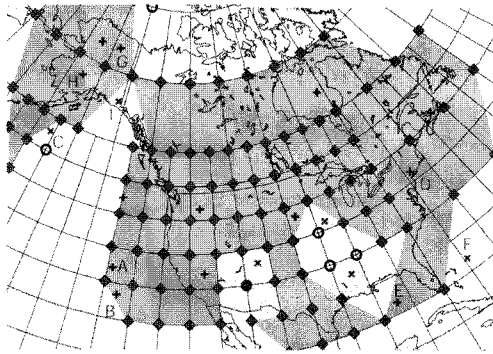


fig. 4 WAAS 전리층지도 격자 [6]

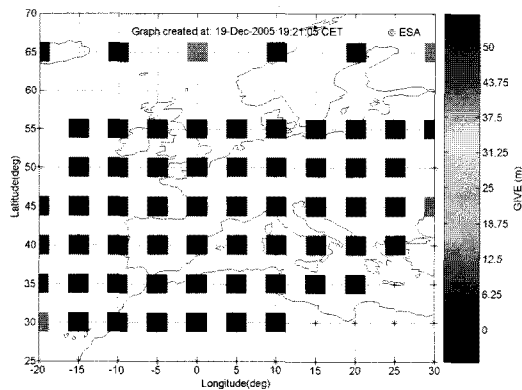


fig. 5 EGNOS 전리층지도 격자[7]

미 전역에 위치한 25개의 WRS(WAAS Reference Station)에서 수신된 신호를 분석하여 전리층지도를 작성하며, 격자점(grid point)에서의 VTEC값

을 제공한다. 각 격자 간격은 5도(저위도)에서 10도(고위도)이며, fig. 4에 표시되어 있다[6].

사용자는 전리층 보정을 하려는 각 위성과의 시선방향 벡터로부터 IPP를 계산한 뒤 IPP 주위의 격자점의 VTEC값을 이용하여 IPP 지점에서의 VTEC값을 계산하고, obliquity factor를 사용하여 STEC값 및 보정값을 계산 하게 된다. fig. 5는 유럽의 EGNOS의 전리층 격자점을 표시하고 있는데, WAAS 기준에 준하여 설계하였기 때문에, 격자점 간격 및 사용 방법 등은 유사하다.

IV. 전리층 폭풍이 위성항법시스템에 미치는 영향

3.1 주요 전리층 폭풍 발생 기록

위성항법시스템에서 본격적으로 전리층 폭풍에 대한 연구를 시작한 것은 2000년 이후로 그 이전에는 대기 연구 분야에서는 전리층 폭풍에 관한 연구가 진행되고 있었으나, SBAS 및 GBAS 연구 분야에서는 그 영향을 과소 평가한 측면이 있다. 2000년 4월에 발생한 폭풍은 위치에 따른 전리층 지연값 변화 크기(기울기)가 316mm/km로 이전에 설정했던 3~5mm/km의 기울기를 훨씬 능가하는 것으로 전리층 폭풍 영향에 대한 근본적인 재검토가 필요하게 되었다[8].

fig. 6은 문헌 조사 등을 통해 2000년 이후 주요한 전리층 폭풍 발생 기록을 표시한 것이다. 최근의 연구 결과[9]에 따르면 SBAS에 미치는

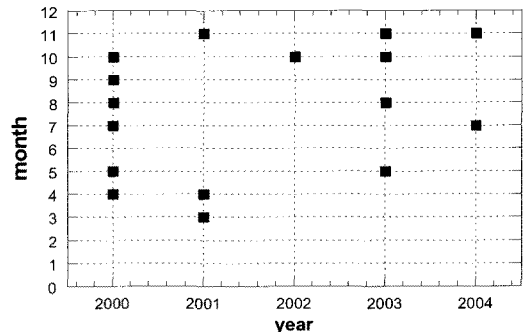


fig. 6 전리층 폭풍 발생 시기 (2000~2004년)

영향은 Kp 값보다는 Dst (Disturbance Storm Time) 지수가 더욱 상관 관계가 있는 것으로 나타나고 있는데, fig. 6은 이에 근거한 것이다. 이외에 SBAS 및 GBAS에 대한 전리층 폭풍 영향 분석을 수행한 주요 연구 논문의 문헌 조사를 통해 실제로 위성항법시스템에 영향을 준 전리층

폭풍 시기를 조사하였다.

2000년 이후 가장 강력한 전리층 폭풍은 2003년 10월과 11월에 발생했는데, 이 때 미국의 WAAS 시스템이 일시적인 사용 불능 상태에 들어가기도 하였다. 유럽의 EGNOS System Test Bed(ESTB)의 경우 당시 가동 중이었는데, 분석 결과에 따르면 2003년 10월 폭풍은 유럽 북부 지역에만 영향을 미쳤지만, 11월 폭풍에는 유럽 전역에 영향을 미쳐 대부분의 지역이 사용 불능 상태에 들어가게 되었다[10].

2001년 태양 활동이 최고조에 다다른 이후 현재는 태양 활동이 약한 상태이므로 당분간은 전리층 폭풍의 발생이나 영향이 상대적으로 적을 것으로 추정된다. 전리층 폭풍의 발생 시기 등은 예측 불가능하고 11년 태양 흑점 주기의 영향을 받으므로 완전한 전리층 변화 구조 및 위성항법 시스템에 미치는 영향 분석은 앞으로도 상당한 기간이 소요될 것으로 예측된다.

3.2 전리층 폭풍에 의한 영향

전리층 폭풍이 발생하면 전리층에 의한 의사거리 지연량이 급격히 변화하기 때문에 모델이나 보정값을 사용하여 지연량을 보정하는 단주파 수신기의 경우 오차가 급격히 증가하게 된다.

GBAS 사용 시 전리층 폭풍의 존재 여부뿐만 아니라 전리층 폭풍의 이동 속도 및 기준국과 사용자 간의 상대위가 중요하다. 전리층 폭풍의 속도는 수 백 m/s 정도까지 도달하는데, 이는 일반적인 항공기 최종 접근 속도(70m/s)를 능가하며, 특정한 조건에서 심각한 영향을 줄 수 있다. fig. 7과 같이 전리층 폭풍의 경계가 사용자(항공기)와 기준국 사이에 위치하여 사용자 관측값에만 영향을 주고 기준국에는 영향을 주지 않을 경우, 사용자 위치오차는 급격히 증가하게 된다[11].

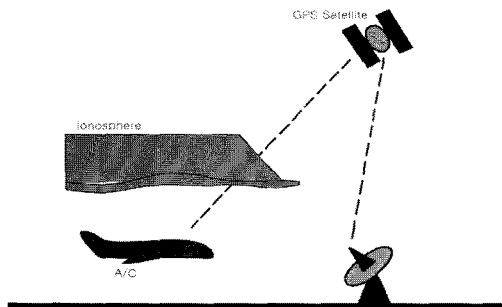


fig. 7 GBAS 운영 시 항공기에만 전리층 폭풍의 영향이 있는 경우

SBAS 사용 시 전리층 지연에 의한 거리 보정값보다 중요한 것이 격자점에서의 데이터 신뢰도인데, SBAS 위성에서 각 격자점 별로 GIVE(Grid Ionosphere Vertical Error)라는 값을 송출하면, 사용자는 이를 이용하여 사용자가 수신하는 GPS 신호의 오차범위를 추정하게 된다[6]. 또한 이러한 GIVE값과 연동하여 WAAS에서는 격자별로 (1) Valid data (2) No data (3) Do not use 의 정보를 제공하는데, 예를 들어 어떠한 격자점이 일시적으로 “Do not use”로 설정되어 있을 경우, 이 격자점으로 구성되는 사각형 격자 내를 지나 는 GPS 신호에는 전리층 보정값을 사용해서는 안 되며, 다른 격자를 통과하는 GPS 신호를 사용해야 한다. 이러한 격자점의 오차값은 전리층 폭풍이 발생하여 격자내의 전리층 지연 분포가 불균일하게 됐을 때 급격히 증가하므로, 적절한 오차값 계산 및 사용 여부 판단은 매우 중요한 문제이다.

격자점 내에 전리층 폭풍이 발생하면 격자점 내 데이터의 균질성이 급격히 감소하므로 격자점에서의 보정값 오차범위(GIVE)가 증가하게 되며, 이는 사용자의 거리 및 위치오차를 증가시키게 된다. 항공기 이착륙의 경우 PL(Protection Limit)을 계산하여, 오차가 설정범위 내에 들도록 하는데, GIVE값이 증가할 경우 PL이 증가하게 된다. 이 경우 설정된 AL(Alert Limit)을 초과하는 경우가 발생할 수 있는데, 이는 가용성(Availability)의 감소를 의미한다. 즉, 전리층폭풍 발생 시 GIVE값을 증가시키면 무결성(Integrity)은 증가하지만, 가용성이 감소하므로 적절한 GIVE값 설정이 중요하다고 할 수 있다.

GBAS의 경우에도 전리층오차 추정값을 전송하거나 감지 필터 등을 사용하여 전리층 폭풍 발생 여부를 항공기에 통보하는데, 전리층 오차 값을 너무 보수적으로 설정할 경우 무결성은 증가하지만 가용성은 감소하는 문제를 유발하게 된다.

우주환경 예보 및 전리층 지도의 실시간 분석을 통해 전리층 폭풍 예보를 하는 것은 어느 정도 가능하지만, 잦은 경보 및 이에 따른 위성항법시스템의 가동률 저하는 시스템의 가용성을 떨어뜨려 결국 전체적인 효용성을 떨어뜨리게 된다. 그러므로 예보뿐만 아니라 전리층 폭풍 발생 시 신뢰성을 저하시키지 않으면서 가용성을 확보하는 것이 큰 문제라고 할 수 있다.

표 1은 현재 항공기 정밀 착륙에 적용되는 Category 1,2,3 및 APV(Approach Procedure with Vertical Guidance) 기준을 나타내고 있는

표 1. 항공기 정밀 착륙 시설 요구 조건

Operation	Accuracy (95%)		Alert Limit	
	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
APVI	220 m	20 m	556m	50 m
APVII	16 m	8 m	40 m	20 m
CAT.I	16 m	4.0-6.0 m	40 m	10-15 m
CAT.II	6.9 m	2.0 m	17.3 m	5.3 m
CAT.III	6.2 m	2.0 m	15.5 m	5.3 m

데, 현재 전리층 폭풍에 대한 대처 능력 미흡으로 미국의 WAAS 등은 CAT-I의 무결성 및 가용성 요구 조건을 만족하지 못하고 있다. L1만 사용하는 단주파 환경에서는 이러한 요구 조건을 만족시키기가 상당히 난이 한 것으로 판단되고 있다. 하지만 호주 및 일본 등에서는 감지 기법 등의 향상으로 이러한 요구 조건을 어느 정도 만족 시키는 수준에 도달하였다. GBAS의 경우에도 현재 CAT-2 및 CAT-3는 만족시키지 못하고 있다.

3.3 전리층 폭풍의 감지 방법

SBAS에서는 주로 TEC 분포를 분석하여 전리층 폭풍 발생 여부 및 데이터 이상여부를 판단한다. 격자점 주위의 전리층 지연 분포와 격자점에서의 값을 비교하여 표준 모델 분포보다 크면 전리층 폭풍으로 판단하여 경보를 발생하게 된다. 전리층 지도를 이용한 후처리 분석의 경우 전리층 지연 분포의 기울기를 계산 하여 그 값이 크면 전리층 폭풍으로 판단하는데, 이는 기본적으로 미분연산을 의미한다. 미분연산은 노이즈를 증가시키는 역할을 하기 때문에 GPS 신호잡음에 의한 전리층 분포의 불균일성도 증가시켜 전리층 폭풍으로 오인하게 된다. 신호잡음에 의한 영향과 전리층 폭풍에 의한 영향을 분리시키는 것이 중요한 기술 중의 하나이며, 현재 많은 연구가 진행되고 있다. 일반적인 전리층 지도는 수 시간 간격으로 평균값을 제공하는데, 전리층 폭풍은 짧은 시간에 급격히 그 형태가 변화하므로 일반적인 전리층 지도와는 다른 필터링 기법 등이 필요하다. 또한 단 시간 내의 전리층 분포를 파악할 경우 충분한 관측값이 확보되지 못하므로 이에 대한 고려도 필요하다.

GBAS에서는 주로 GPS 신호를 분석하여 신호 지연 크기의 급격한 변화가 있는 경우 이를 감지하여 전리층 폭풍을 감지하는데, 이에 여러 가지 구현 방법이 있다. MQM (Measurement Quality Monitoring) 방법은 코드 의사거리나 반송파에 포함된 급격한 변화를 감지하는 방법이며, 코드와 반송파에 의한 의사거리 차를 분석하여 급격한 변화가 있는 경우에 이를 감지하는 방법에는 GMA(Geometric Moving Average) 방법과 CUSUM (Cumulative Sum) 방법 등이 있다. MQM 방법은 전리층 변화가 일정 수준 이상일 때 가장 빠른 감지 능력을 가지고 있으며, CUSUM 방법은 전리층 변화가 일정 수준 이하이고 불규칙할 때 유효한 방법이다[11].

한편, 지상국에서의 감지만으로는 근본적으로 사용자가 전리층 폭풍의 발생 여부를 감지할 수 없기 때문에, 사용자 측 수신기에도 감지 기능 (airborne monitoring)을 장착하여 전리층 폭풍에 의한 영향을 최소화하려는 연구가 시도 되고 있다.

3.4 전리층 폭풍에 의한 영향 분석

전리층 폭풍이 위성항법시스템에 미치는 영향 분석을 위해서는 우선 전리층 폭풍의 발생 빈도 및 경향 등을 파악할 필요가 있는데, 이를 위해서는 특정 관심 지역에 대한 장기간에 걸친 전리층 지연량 분석을 통하여 위치, 시간대 및 계절 별 데이터 베이스를 구축할 필요가 있다.

전리층 폭풍의 경향 등에 대한 연구를 바탕으로 다양한 조건에서 GBAS 및 SBAS에 어떠한 영향을 미치는 지를 파악해야 하는데, 이를 위해서는 시뮬레이션을 통한 해석 방법을 주로 사용하게 된다.

GBAS 시뮬레이션의 경우 전리층 폭풍의 모델을 만들어서 다양한 이동 경로와 속도에 대해 항공기 위치 오차에 미치는 영향을 분석한다. 전리층 폭풍의 모델을 위해서 폭풍 특성을 (1) 전리층 지연 경사각, (2) 경사각 폭, (3) 경사각 진행속도 등의 항목으로 분류하여 모델링하기도 한다[11]. SBAS의 경우에도 이전에 전리층 폭풍이 발생하였을 때 실제 데이터와 시뮬레이터를 결합하여 감지 기법 성능 등을 테스트 한다.

이러한 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 GPS 의사거리 관측값 및 이에 의한 위치 추정값을 시뮬레이션 할 수 있는 기능이 필요하며, 무엇보다 상시관측소 데이터 분석 등을 통한 전리층 폭풍 경향 파악 및 적절한 모델링이 필요하다.

V. 전리층 폭풍이 한반도에 미치는 영향 기본 연구

전리층 분포는 지역마다 다른 특성을 나타내며 전리층 폭풍에 의한 영향 또한 상이하다. 그러므로 국내 위성항법시스템 연구를 위해서는 한반도 주변의 전리층 분포 및 전리층 폭풍 경향을 파악할 필요가 있다. 이러한 연구를 위한 기본 단계로 한반도 주변의 전리층 분포를 나타내는 전리층 지도를 계산하는 프로그램을 개발 중이다. 함수 기반의 모델을 사용하였으며, 앞에서 언급한 위성-수신기 바이어스는 별도로 추정하는 것이 아니라, 전리층 지연값을 나타내는 함수 계수와 함께 추정 변수에 포함시켜, 전리층 지연값과 동시에 추정하는 방법을 사용하였다. 함수 방법 이외에 격자 방법을 이용한 모델도 개발 중이다. fig. 8과 9는 최근 가장 강력한 폭풍이 발생했던 2003년 11월 20일 한반도 상공의 전리층 분포를 나타낸 것이다. GPS 관측데이터는 건설교통부 국토지리정보원의 14개 상시관측소의 데이터를 사용하였으며 관측소 위치는 "*"로 표시되어 있다. 각 관측소 데이터는 RINEX (Receiver Independent Exchange Format) 형식으로 제공되며 관측시간 간격은 30초이다. fig. 7은 전리층 폭풍이 발생한 것으로 추정되는 UTC 9시(KST 18시) 경의 전리층 분포를 나타낸 것이고, fig. 8은 전리층 폭풍 발생 전인 UTC 5시(KST 14시) 경의 전리층 분포를 나타낸 것이다. 전리층 폭풍이 발생하였을 때 한반도가 저녁 경으로 전리층 밀도가 상대적으로 낮을 때였기 때문에, 특별한 변화는 없는 것으로 파악 된다.

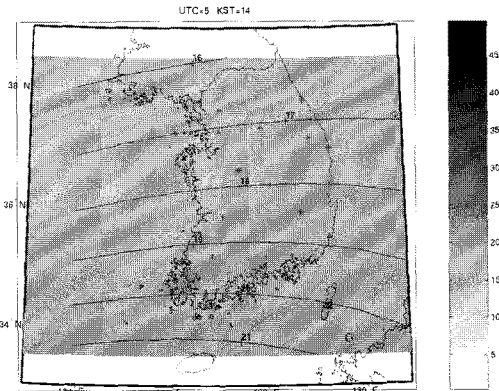


fig. 9 한반도 전리층 분포 (2003.11.20 UTC 5hr)

전리층 폭풍 발생 여부 및 영향을 파악하기 위해서는 전리층 지도뿐만 아니라 전리층 기울기 및 지상국 간 전리층 지연값 차이 등을 분석하여야 한다. 이웃 일본은 GEONET (GPS Earth Observation Network)이라는 대규모 상시관측소망을 구성하여 1200여개 관측소로부터 데이터를 수집하여 GPS 관련 연구를 수행하고 있다. 참고 문헌 8에서는 동일한 2003년 11월 20일의 전리층 기울기를 분석하여 일본 상공에서 전리층 폭풍 발생 여부를 분석하였다. 분석 결과 급격한 전리층 기울기 변화나 전리층 폭풍에 의한 영향은 없는 것으로 분석 되었다. 이러한 일본의 분석 결과와 비교해 볼 때 당시 한반도 상공에도 큰 영향은 없었던 것으로 판단된다. 문헌 조사를 통해 수집된 전리층 폭풍 발생 기록 및 영향 분석 결과를 바탕으로 향후 다른 전리층 폭풍 발생 시기의 한반도 상공의 전리층 분포 및 영향 분석 등에 대한 연구를 수행할 계획이다.

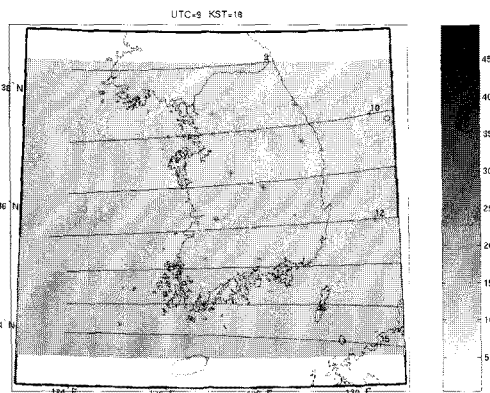


fig. 8 한반도 전리층 분포 (2003.11.20 UTC 9hr)

VI. 결론

전리층 및 전리층 폭풍의 특성을 살펴 본 뒤, 위성항법 시스템에 미치는 영향을 살펴 보았다. 국내에서 개발 및 운용할 항공용 위성 항법시스템을 위한 전리층 연구 기본 단계로 한반도 전리층 분포를 파악하는 프로그램을 개발하고, 전리층 폭풍 발생 시 경향 등을 살펴보았다. 전리층 폭풍 영향 분석을 위해서는 우선 전리층 및 전리층 폭풍의 변화 형태를 파악하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 과거 대기와 우주환경 데이터를 분석하고, 전리층 지도를 이용하여 발생

빈도, 세기 등을 파악하여야 하며, 이를 통해 위성항법 시스템에 적용하기 위한 전리층 모델을 개발하여야 한다. 이러한 전리층 모델을 토대로 GBAS 또는 SBAS의 전리층 감지 기법이나 보정 오차 추정 방법 등에 대해 연구할 필요가 있다. 국내에서 운용할 위성 항법시스템에 적용하기 위해서는 한반도 상공의 전리층 폭풍 발생 경향을 파악할 필요가 있다. 이를 위해서는 이웃 일본 등의 연구 결과 등과 비교하는 것이 필요하다. 향후 GPS 현대화계획이 완성되어 L5 신호 등이 추가되고, GALILEO 등이 본격 운영되면, 전리층 지연 및 폭풍에 의한 영향은 크게 감소하지만, 모든 사용자 수신기에 이를 적용하기에는 상당한 시간이 소요될 것이므로, 상당기간 전리층 폭풍은 주요 연구 분야가 될 전망이다.

후기

본 연구는 건설교통부 국가교통 핵심기술 개발사업의 지원에 의해 수행되었으며, GPS 데이터를 제공한 국토지리정보원에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 이영재, 곽현호, 지규인, 박찬식, 김일선, 이장규, 김춘식, "GPS를 이용한 위치측정에 Klobuchar 전리층 지연시간 모델의 적용", 한국항공우주학회지 23권 6호 1995년 12월, pp. 128-135.
- 2) 최병규, 박종욱, 박필호, "한반도 상공의 준 실 시간 전리층 모델 개발", GNSS 기술협의회 Workshop, 2004.11
- 3) Solar Terrestrial Dispatch web site, "<http://www.spacew.com/swim/>"
- 4) SBAS Ionospheric Working Group,

"Ionospheric Research Issues for SBAS - A White Paper", ICAO Navigation Systems Panel (NSP) Meeting, February 2003

5) Kee, C., Sohn, Y., and Park, J., "Modified Tomographic Estimation of the Ionosphere Using Fewer Coefficients", Institute of Navigation's GPS/GNSS Meeting, Portland, Oregon, USA, September 2003

6) Walter, T., "WAAS MOPS: Practical Examples", Institute of Navigation, National Technical Meeting, San Diego, California, January 1999

7) ESA EGNOS Home Page, <http://www.esa.int/esaNA/egnos.html>

8) Konno, H., Pullen, S., Luo, M., and Enge, P., "Analysis of Ionosphere Gradient Using Japan GEONET Data", Institute of Navigation's National Technical Meeting, San Diego CA, January 2005

9) Datta-Barua, S., T. Walter, J. Blanch, and P. Enge, "Can WAAS Availability Be Inferred From Geomagnetic Data? An Analysis", Proceedings of the Ionospheric Effects Symposium 2005, Alexandria, Virginia, May 2005

10) Manuel Hernandez-Pajares et al., "EGNOS Test Bed Ionospheric Corrections Under the October and November 2003 Storms", IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 43, no.10, October 2005, pp.2283-2293

11) Luo, M., et. al., "LAAS Ionosphere Spatial Gradient Threat Model and Impact of LGF and Airborne Monitoring", Institute of Navigation's GPS/GNSS Meeting, Portland, Oregon, USA, September 2003