

# 전리층 변화에 따른 GPS 신호 특성 분석 연구

2014. 12.



# 제 출 문

본 보고서를 「전리층 변화에 따른 GPS 신호 특성 분석 연구」  
과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2014. 12. 31.

연구책임자 : 박성원(우주전파센터 연구기획팀)

연구원 : 이환상(우주전파센터 연구기획팀)

문준철(우주전파센터 연구기획팀)

윤기창(우주전파센터 연구기획팀)

김수철(우주전파센터 연구기획팀)



## 요 약 문

본 연구에서는 태양흑점폭발에 의한 GPS 신호 영향을 분석하고 실시간 GPS 신호 모니터링 서비스를 위한 방안을 제시하였다.

우선 GPS 위성항법시스템에 대한 구성 및 송수신기 특성을 조사하고 GPS 신호를 이용한 측위원리를 정리하였다. 그리고 태양흑점폭발로 인한 우주환경 정보 중 GPS 신호에 영향을 미치는 전파두절정보 및 지자기정보에 따른 GPS 신호 영향을 분석하였다. 분석결과, 전파두절정보에 의한 GPS 위치오차 변화는 낮 시간대에 크게 발생하지만 밤 시간대에는 영향이 미미한 것으로 나타났다. 또한, 지자기정보에 의한 GPS 위치오차는 전파두절정보와는 달리 정보발령시간대에 상관없이 발생하는 것으로 나타났다.

그리고 GPS 신호품질 평가 인자를 도출하였으며, 관련 기준은 IGS 표준을 토대로 마련하였다. GPS 신호품질 평가 인자로는 관측데이터 개수, 다중경로, 사이클슬립이 있으며, 관측데이터 개수의 경우 1일 관측개수가 95%이상이어야 하고 다중경로는 1일 관측개수에 대해 평균 0.3m 이내이어야 하며, 사이클슬립은 1,000 관측 데이터기준으로 1개 이하가 되어야 한다. 또한 GPS 신호두절 감시 평가기준을 미국 GPS 서비스 표준을 토대로 마련하였으며, 정상, 관심, 주의, 경고 4단계로 구분하였다.

마지막으로 GPS 신호 모니터링 체계를 구성하기 위한 GPS 신호품질 분석모델, 전리층 교란 감시모델, GPS 신호두절 감시모델이 개발방안을 제시하였다. GPS 신호품질 분석모델은 신호품질 평가인자를 분석하는 모델로 1일 데이터 개수, 다중경로 오차, 사이클슬립을 분석할 수 있어야 하고 전리층 교란 감시모델은 전자밀도 분포 현황, GPS 수신세기, 위성포착 개수가 분석되어야 하며, GPS 신호두절 감시모델은 L1 및 L1&L2에 대한 위치오차를 분석하고 지역별 GPS 신호두절 유무를 지도상에서 실시간 표시되어야 한다.

본 연구를 통해 제시된 GPS 신호 모니터링 체계는 GPS 신호를 사용하는 일반사용자, 군, GPS 위치서비스 제공기관(위성항법사무소, 국토지리정보원 등)에서 유용하게 사용될 것으로 사료된다.



# 목 차

제1장 서론 .....	1
제2장 GPS 항법시스템 구성 및 원리 .....	2
제1절 GPS 항법시스템 구성 .....	3
제2절 GPS 송·수신기 특성 .....	5
제3절 GPS 측위원리 .....	9
제3장 우주환경 정보상황에 따른 GPS 영향 .....	12
제1절 전리층 변화 특성 .....	12
제2절 전파두절경보에 따른 GPS 영향 분석 .....	17
제3절 지자기경보에 의한 GPS 영향 분석 .....	20
제4장 GPS 신호 품질 인자 및 평가기준 .....	25
제1절 GPS 신호 오차 요인 .....	25
제2절 GPS 신호품질 평가 인자 .....	31
제3절 GPS 신호품질 평가기준 .....	34
제5장 GPS 신호 모니터링 체계 구축 방안 .....	37
제1절 GPS 신호품질 분석모델 개발 방안 .....	37
제2절 전리층 교란 감시모델 개발 방안 .....	38
제3절 GPS 신호두절 감시모델 개발 방안 .....	39
제6장 결론 .....	40
참고문헌 .....	42

## 표 목 차

[표 2-1] GPS의 주파수 대역 및 측위용 코드 .....	3
[표 2-2] GPS 신호 및 코드 .....	6
[표 3-2] 2012년 경보상황에 따른 위치오차 분석 .....	18
[표 3-3] 2013년 경보상황에 따른 위치오차 분석 .....	19
[표 3-4] G5경보 발생일과 전일과의 위치오차 및 TEC값 비교 .....	21
[표 3-5] G4경보 발생일과 전일과의 위치오차 및 TEC값 비교 .....	22
[표 3-6] G4경보 발생일과 전일과의 위치오차 및 TEC값 비교 .....	23
[표 3-7] G5경보 발생일과 전일과의 위치오차 및 TEC값 비교 .....	24
[표 4-1] 상시관측소 품질평가 기준 .....	34
[표 4-2] DOP 기준 .....	35
[표 4-3] GPS 신호두절 감시 기준 .....	36

## 그 립 목 차

[그림 2-1] GPS 위성 구성 .....	4
[그림 2-2] GPS 지상제어국 .....	5
[그림 2-3] GPS 송신기 구성도 .....	6
[그림 2-4] GPS 송신신호 구성 .....	7
[그림 2-5] GPS 수신기 구성 .....	7
[그림 2-6] GPS RF-Front-end 구성 .....	8
[그림 2-7] GPS 신호추적(Tracking) 개념도 .....	9
[그림 2-8] GPS 단독 측위법 .....	10
[그림 2-9] GPS 상대측위법 .....	11
[그림 3-1] 우주전파환경 개요 .....	12
[그림 3-2] 우주전파환경 정보 현황 .....	13
[그림 3-3] 전리층 구성 .....	14
[그림 3-4] 전리층 이온화 .....	15
[그림 3-5] 태양활동 극대기와 극소기에 따른 전리층 전자밀도 변화 ...	15
[그림 3-6] 1일 전리층 전자밀도 변화 .....	15
[그림 3-7] GPS 신호 신틸레이션 .....	16
[그림 3-8] GPS 신호 신틸레이션 관측 .....	16
[그림 3-9] 전파두절경보에 따른 GPS 영향 .....	17
[그림 3-10] R3(2012.3.7)경보에 따른 STEC 및 위치오차 분석 .....	18
[그림 3-11] R3(2013.11.10)경보에 따른 STEC 및 위치오차 분석 .....	19
[그림 3-12] 지자기경보에 따른 GPS 영향 .....	20
[그림 3-13] G5경보 발생일과 전일과의 위치오차 및 TEC값 비교 ...	21
[그림 3-14] G4경보 발생일과 전일과의 위치오차 및 TEC값 비교 ...	22
[그림 3-15] G4경보 발생일과 전일과의 위치오차 및 TEC값 비교 ...	23
[그림 3-16] G5경보 발생일과 전일과의 위치오차 및 TEC값 비교 ...	24
[그림 4-1] 위성 궤도 오차의 실제 예 .....	25

[그림 4-2] 고층 대기권의 구조 .....	27
[그림 4-3] 수직 전리층 지연의 Global Map .....	27
[그림 4-4] 양각에 따른 대류층 지연량 그래프 .....	31
[그림 4-5] 관측데이터 개수 계산 순서도 .....	32
[그림 4-6] 다중경로 오차 계산 순서도 .....	33
[그림 4-7] 사이클 슬립 판정 순서도 .....	34
[그림 5-1] GPS 관측소 신호품질 분석모델 개발 방안 .....	37
[그림 5-2] 전리층 교란 감시모델 개발 방안 .....	38
[그림 5-3] GPS 신호두절 감시모델 개발 방안 .....	39

## 제1장 서론

태양흑점폭발은 X선, 고에너지입자, 코로나물질 등 다양한 물질들을 지구로 방출하여 통신, 전력, 위성 등에 영향을 미치게 한다. X선 유입은 전리층 이온화를 증가시켜 단파통신, GPS 통신 등에 영향을 미치고 고에너지입자 유입은 항공기 피폭, 위성체 손상 등을 발생시키며, 코로나물질 유입은 전력, GPS 통신 등에 장애를 유발하는 원인이 된다.

GPS 신호를 이용한 항법서비스는 고도 22,000km 상공에서 운용되는 GPS 위성으로부터 송신된 신호를 지상에서 수신하여 위치를 결정하는 서비스이다. GPS 항법서비스의 안정된 이용을 위해서는 신호 수신에 용이하도록 전파환경이 조성되어야 한다. 그러나 태양흑점폭발이 발생하게 되면 GPS 송수신 경로인 전리층의 전자밀도가 급변함에 따라 신호의 왜곡 등으로 정확한 수신이 어려워진다. 특히 X선 유입은 전리층의 전자밀도를 급속히 증가시키는 요인이 되고 코로나물질 유입은 전리층 전자밀도 분포를 불균일하게 하여 GPS 신호에 영향을 미치게 된다.

본 연구에서는 태양흑점폭발에 의한 GPS 신호 영향 분석 및 신호품질 평가 기준 등을 마련하여 실시간 모니터링을 위한 방안을 제시하고자 한다.

2장에서는 GPS 항법시스템 구성 및 송수신 시스템 특성을 조사하고 GPS 측위원리인 단독측위법과 상대측위법에 대해 분석하였다.

3장에서는 GPS 신호 수신에 영향을 미치는 전리층 특성을 분석하고 전리층 교란 및 지자기교란 상황에 따른 GPS 영향을 분석하였다.

4장에서는 GPS 신호 수신에의 오차요인 및 신호품질 평가 인자를 분석하였으며, GPS 신호에 대한 품질 평가기준을 마련하였다.

5장에서는 GPS 신호의 실시간 모니터링을 위한 분석모델 및 실시간 모니터링 체계 개발방안을 마련하였다.

6장에는 연구결과를 정리하고 향후 GPS 모니터링 서비스 방안을 제시하였다.

## 제2장 GPS 항법시스템 구성 및 원리

위성항법시스템(GNSS: Global Navigation Satellite System)은 인공위성을 기반으로 한 항법 시스템으로서 위성신호를 수신할 수 있는 곳이라면 언제 어디서나 자신의 위치를 결정할 수 있는 시스템이다. GPS(Global Positioning System)의 경우 군사용으로 미 국방성에 의해 개발되었으나, 민간용(L1) 코드가 개방됨에 따라 현재에는 민간에서도 사용할 수 있게 되었다. 지구상의 GNSS는 미국의 GPS(Global Positioning System)와 러시아 GLONASS(Global Navigation Satellite System), 유럽의 Galileo 등이 있다.

현재 GPS 위성은 Block II/IIA, Block IIR, Block IIR-M 등이 운용 중에 있다. GPS 위성 역시 태양전지판으로부터 필요한 전력을 공급받고 다수의 안테나 배열로 송신 안테나를 구성하고 있으며 이를 통해 측위용 무선 신호를 방송하고 있으며, 이 밖에도 지상과의 통신을 위한 안테나가 별도로 탑재되어 있다.

민간용으로 사용하는 GPS 송신 주파수는 1575.42MHz(L1)이고 C/A 코드를 포함하고 있으며, 이를 이용한 측위서비스를 표준측위서비스(SPS, Standard Positioning Service)라고 한다. 한편 군전용으로 사용하는 주파수는 1227.6MHz(L2)이고 P코드가 포함되어 있으며 이를 이용한 측위서비스를 정밀측위서비스(PPS, Precise Positioning Service)라고 한다. P 코드의 항법 메시지의 내용은 비공개이기 때문에 민간에서는 사용이 불가능하지만 P 코드의 PRN 코드는 공개되어 있다. 민간용 수신기 업체들은 공개된 P 코드 정보와 관련 기법 등을 이용하여 L2 주파수의 측정치까지 함께 이용할 수 있는 이중 주파수 수신기를 제공하고 있다.

GPS 신호 측정데이터는 위성에서 지상까지 도달하는 동안 통과하는 전리층과 대류층 굴절에 따른 지연, 위성의 궤도정보를 이용해 지상에서 계산한 위성의 위치 및 시간에 대한 오차, 지상의 장애물에 의한 다중경로 오차 등으로 인한 다양한 오차 성분들이 포함되어 사용자의 위치정확도를 저하시킨다. 이러한 GPS의 위치정확도 향상을 위하여 DGPS(Differential GPS)가 사용된다. DGPS 기준국은 이미 알고 있는 기준점의 위치 정보를 이용하여 측정된 GPS 의사거리에 포함된 오차량을 계산해 낼 수 있다. 이렇게 계산된 오차정보를 사

용자에게 전송함으로써 사용자는 수신한 오차정보를 이용하여 수십 센티에서 수 미터 이내의 오차로 위치 정확도를 향상시킬 수 있다. 현재 국토해양부에서는 전국적으로 해안기준국 11개소, 내륙기준국 6 개소에서 NDGPS(Nation-Wide DGPS) 서비스를 실시하고 있다.

[표 2-1] GPS의 주파수 대역 및 측위용 코드

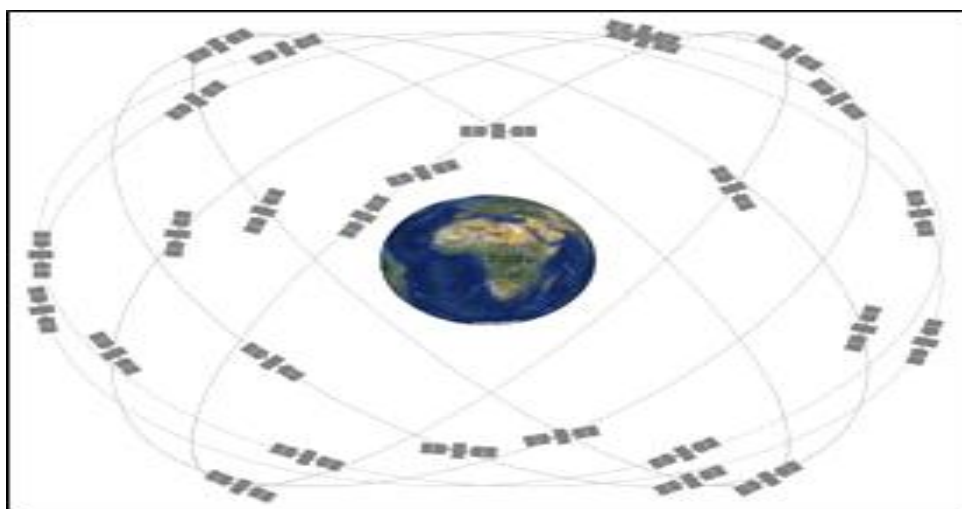
명칭	주파수 (MHz)	코드	용도	현황
L1	1575.42	C/A P M	민간용 군용 군용	방송 중 방송 중 일부 방송 중
L2	1227.6	P L2C M	군용 민간용 군용	방송 중 일부 방송 중 일부 방송 중
L5	1176.45	L5C	민간용	일부 방송 중

## 제1절 GPS 항법시스템 구성

GPS 전체 시스템은 위성체와 같이 우주공간에 있는 우주부분(space segment), 지상 제어부분(control segment), 사용자부분(user segment)으로 구성되어 있다. 우주부분에는 GPS 위성이 포함되며 그림 2-1와 같이 24~30개의 위성이 지상 약 22,000 km 상공에서 6개의 궤도면을 돌고 있다. 제어부분은 GPS위성의 운용 및 제어를 총괄하는 주 제어국(MCS, master control station)을 포함하여 전 세계에 5개소가 있다. 지상 제어국에서는 위성에서 송신되는 신호의 품질 점검, 위성 궤도의 추적, 위성에 탑재된 각종 기기의 동작상태 점검 및 그 밖의 각종 제어작업 등을 수행하고 있다. 주제어국은 다른 제어국과 달리 위성의 궤도를 수정할 뿐만 아니라 사용불능 위성을 예비위성으로 교체하는 업무를 담당하고 있다. 사용자 부분은 사용자 수신기를 가리키며 현재 많은 일상생활에서 활용되고 있고 그 범위가 점점 더 광범위해지고 다양해지고 있다.

## 가. 우주부분

GPS 위성은 총 24개가 운용되고 있으며, 그 중 3개는 예비위성으로 사용된다. GPS 위성은 고도 22,000Km에서 적도면에 대해 55도의 기울기로 6개의 궤도를 동일한 간격으로 분포하면서 12시간주기로 지구를 선회한다. 따라서 사용자가 어디에 있던지 최소한 4개의 위성을 관측할 수 있게 설계되어 있다.



[그림 2-1] GPS 위성 구성

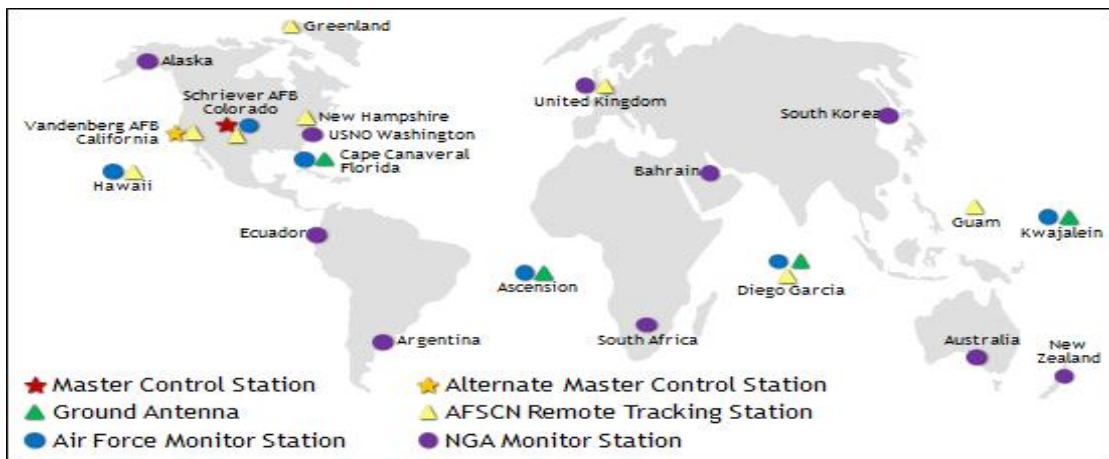
## 나. 제어부분

지상국은 제어국과 감시국으로 구성되어 있으며, 1개 기지국이 Master control monitor 와 Monitor Station 기능을 동시에 수행하고 있으며, 4개 기준국이 Monitor Station 업무를 수행하고 있다. GPS 신호 전송경로는 각각의 감시국들은 모든 위성들을 추적하여 정보를 수집하여 Master control station으로 보내게 된다. Master control station은 위성의 정확한 궤도, Ephemeris, Satellite clock error를 계산하여 최신의 정보로 갱신하고 갱신된 정보들은 위성 제어 및 감시 정보를 지상 안테나를 통해 각 위성에게 전달한다.

## 다. 사용자 부분

위성으로부터 수신된 신호는 3차원 좌표정보와 시간을 계산하는데 사용되

며 이를 위해서는 최소 4개 위성이 필요하다. 위성들로부터 받은 신호를 위치, 속도, 그리고 시간으로 변환해 주는 것이 GPS Receiver의 역할이다. GPS 수신기는 RF부, 신호처리부, 마이크로 컴퓨터부 등 크게 3가지로 구성되어있다. RF부는 수신된 RF 신호를 처리하기 쉬운 낮은 주파수로 변환시키고 신호처리부에서는 스펙트럼 확산된 신호를 원래의 Signal로 복원시키며, 마이크로 컴퓨터에선 복원된 Navigation Message, C/A Code Message, Time Measurment를 이용하여 항법해를 계산한다.

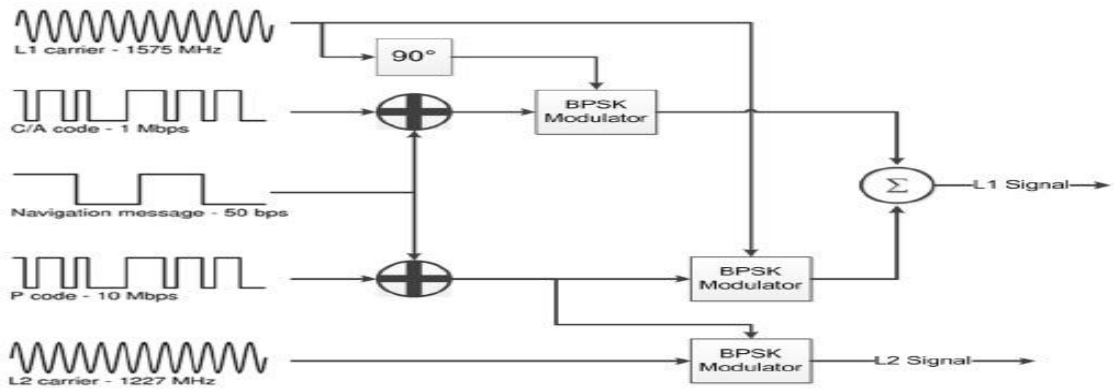


[그림 2-2] GPS 지상제어국

## 제2절 GPS 송·수신기 특성

### 가. GPS 송신기 특성

GPS 신호는 코드분할방식으로 전송되며 모든 위성은 고유의 위성 코드(C/A)는 높은 직교성을 가지고 있어 수신기에서 오류 없이 식별이 가능하다. GPS 송신신호는 C/A코드(1.023bps), 항법메세지(50bps), P코드(10.23bps)로 구성되며, 이를 반송파 L1주파수에 실어 BPSK 변조를 통해 송신한다.



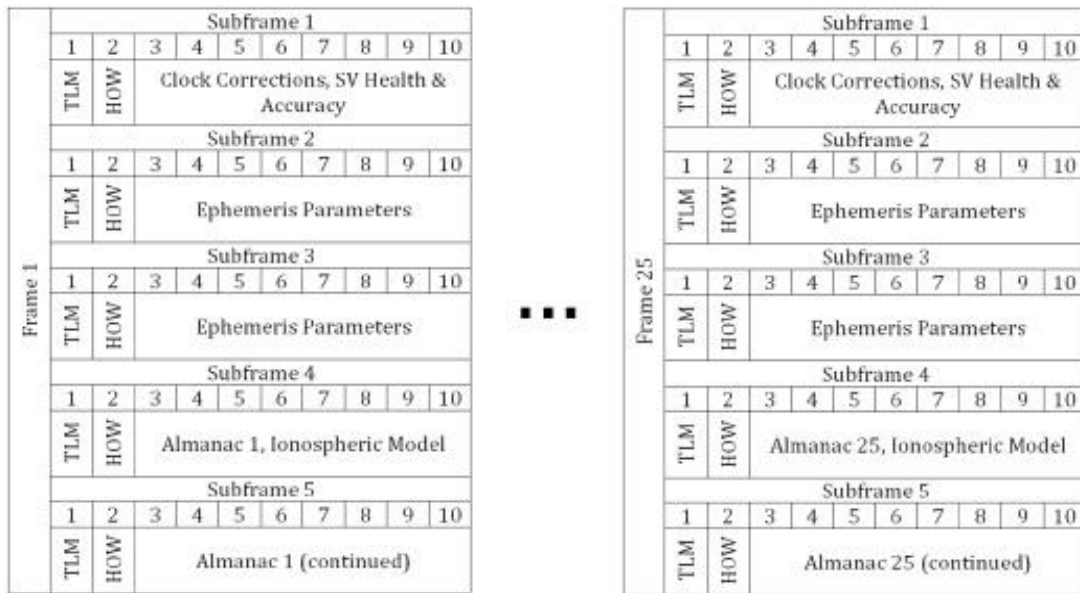
[그림 2-3] GPS 송신기 구성도

C/A 코드는 1023bit로 데이터가 1ms 주기로 전송되며, 항법메세지는 50Hz로 20ms 주기로 전송한다. 또한 항법메세지는 총 25개 프레임이며, 1개 프레임에는 5개 서브프레임으로 구성되고 프레임 주기는 12.5분이다. 1개 서브프레임은 300bit이고 길이는 20ms로 주기가 6초이며, 1개 프레임은 총 1,500bit(5×300bit)이고 주기는 30초(1500bit×20ms)가 소요되어 총 25개 프레임 주기는 12.5(30초×25개)분이 소요된다.

[표 2-2] GPS 신호 및 코드

Component	Description	Frequency	Timing
L1 Band	Public GPS Carrier	1.57542 GHz	n/a
L2 Band	Encrypted GPS Carrier	1.2276 GHz	n/a
C/A Code	Pseudorandom Spreading Sequence	1.023 MHz	Repeats every 1 ms
Data	Navigation Information	50 Hz	20 ms period

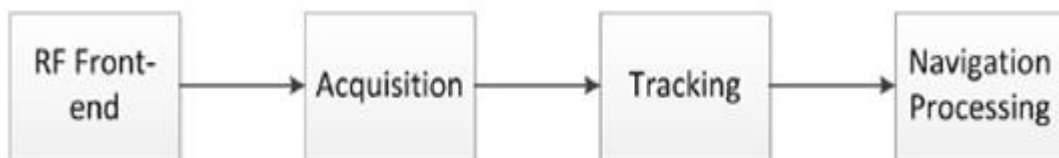
서브프레임은 텔레메트리(TLM), 핸드오버(HOW), 위성시계 보정 데이터, 이페머리스 데이터, 올머넥 데이터, 위성상태 데이터 등으로 구성된다. 여기서 텔레메트리는 프레임 설명과 지상관제국 정보이고 핸드오버는 다음 서브프레임 시간을 나타내는 Z카운트 정보이다. 그리고 위성시계 보정 데이터는 위성궤도 및 위성번호 등 위성 고유정보이고 올머넥 데이터는 수신 위성을 포함 모든 위성 궤도 정보이며, 위성상태 데이터는 각 위성 내부 동작상황 정보를 나타낸다.



[그림 2-4] GPS 송신신호 구성

#### 나. GPS 수신기 특성

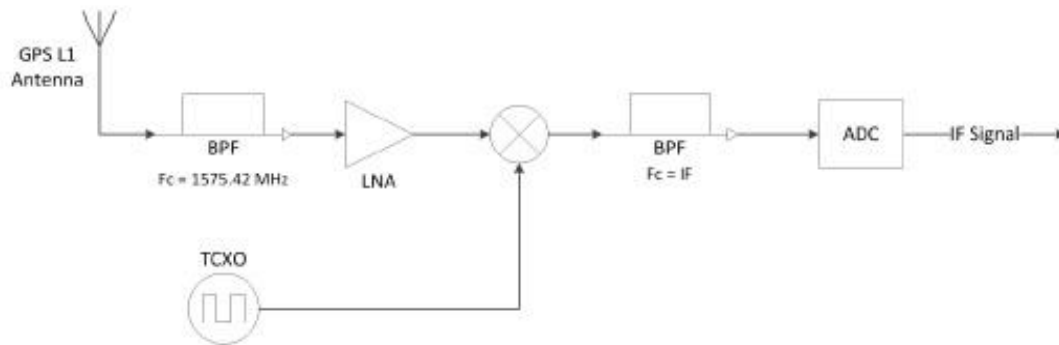
GPS 수신기는 수신안테나를 통해 송신신호를 수신하여 중간주파수로 피변조한 후 송신신호 복원 및 추적하여 수신기 위치를 결정한다. GPS 수신기는 RF 처리(RF Front-end)→위성결정(Acquisition)→신호추적(Tracking)→수신기 위치결정(Navigation Processing) 순으로 구성된다. 여기서 RF Front-end는 송신신호를 수신하여 피변조후 중간주파수로 변환하며, Acquisition은 위성의 캐리어 및 C/A코드 주파수를 대응시켜 수신위성을 결정한다. 그리고 Tracking은 반송파와 C/A코드를 복원하여 데이터를 추출하며, Navigation Processing은 추출된 데이터를 이용해 수신기 위치를 결정한다.



[그림 2-5] GPS 수신기 구성

RF Front-end는 H/W로 안테나, 대역필터, 저잡음증폭기, 믹서, A/D 컨버터 등으로 구성되며, RF 신호를 중간주파수로 변환한다. 안테나는 주로 패치 안테나를 사용하고 일정 각도의 지향성을 가지고 있으며, 통상 25~50dBi 이득

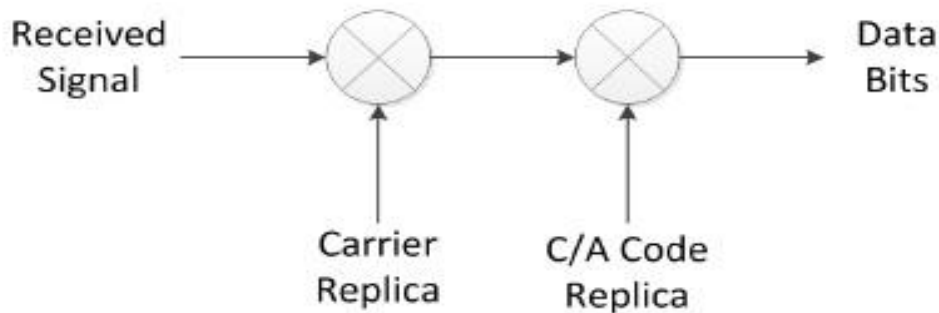
을 가진다. 첫 번째 대역필터는 송수신간 전파경로상에서 발생한 잡음을 제거하기 위해 사용하며, 두 번째 대역필터는 중간주파수 변환 과정에서 발생한 잡음을 제거하기 위해 사용되고 믹서는 오실레이터에서 발생된 주파수와 수신 주파수 상호 비교하여 중간주파수로 피변조하여 데이터 추출이 용이토록 하며, A/D 컨버터는 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환한다.



[그림 2-6] GPS RF-Front-end 구성

Acquisition은 수신된 반송  $\Delta\delta$ 과 및 C/A 신호를 기준으로 수신된 위성번호를 확인한다. 수신기는 모든 위성의 C/A 코드 정보를 가지고 있으며, 수신신호를 C/A코드 정보와 비교하여 위성번호를 확인하게 된다. Tracking은 송신신호에서 데이터를 추출하기 위한 과정으로 반송파(carrier) Tracking과 C/A코드 Tracking이 있다. 반송파 Tracking은 Carrier Replica를 통해 중간주파수를 원신호인 기저대역으로 변환하고 C/A코드 Tracking은 C/A Code Replica를 통해 기저대역에서 데이터를 추출한다. 반송파 Tracking은 송수신 경로상에서 발생하는 도플러 효과로 인한 주파수 편이 및 위상변조로 송신된 신호 파형에러 등을 보상한다. C/A코드 Tracking은 수신기에서 C/A 코드를 발생시켜 수신신호에서 추출한 C/A코드와 비교하여 정확한 송신 위성궤도 등 위성 데이터 추출한다.

마지막으로 Navigation Procesing은 추출된 위성데이터를 기반으로 송수신간 거리, 수신기의 위치, 속도, 거리 등을 계산한다.



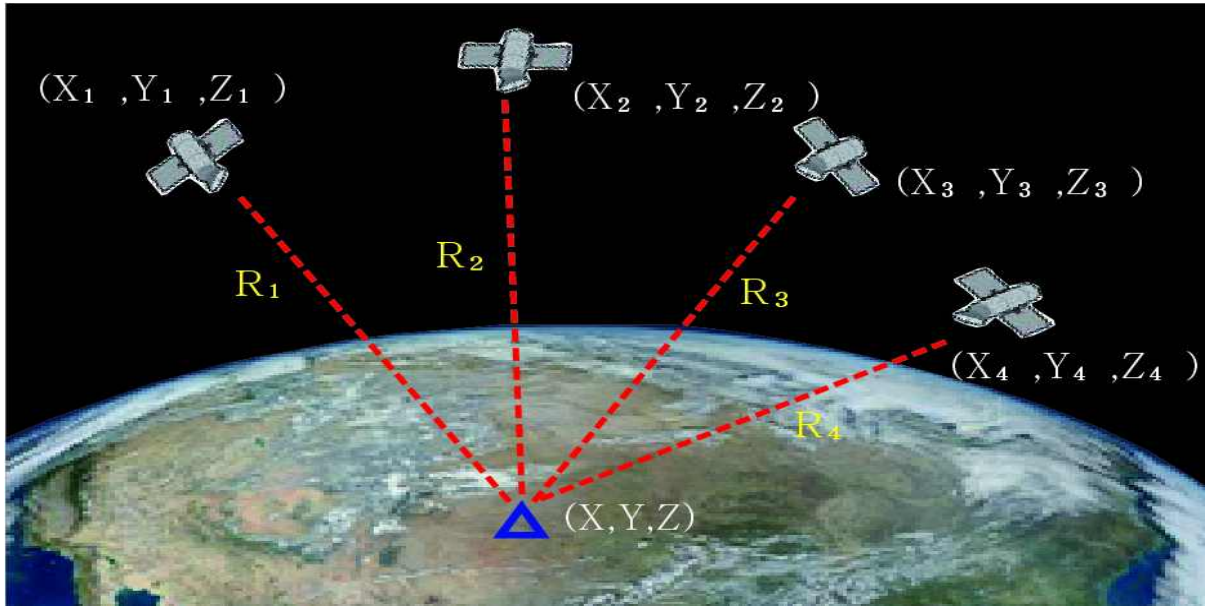
[그림 2-7] GPS 신호추적(Tracking) 개념도

### 제3절 GPS 측위원리

GPS 측위원리는 단독 측위법과 상대측위법이 있다. GPS 단독측위법은 C/A 코드를 이용하며 수m 오차를 갖는 측위원리이고, GPS 상대측위법은 반송파의 위상차를 이용하는 측위원리로 수 cm 오차를 갖는다.

#### 가. GPS 단독측위법

GPS 단독측위법은 Code Tracking 방식으로 위치를 결정하는 방법이며, 2진 PRN(pseudo-random noise)코드(C/A code와 P code)를 이용한다. 위성으로부터 수신된 코드와 수신기 내 코드 발생기에서 동 시간에 발생시킨 동기신호의 코드를 비교한 후, 코드의 전달시간 측정한다. 한 개의 수신기에서 4개 이상의 위성을 관측한 후, 의사거리(pseudo-range)를 이용하여 위치계산한다. 여기서 의사거리는 위성과 수신기 시계오차, 전리층 지연, 멀티패스 등의 다양한 원인으로 오차가 발생하게 된다. 의사거리는 위성과 수신기 간의 거리로 빛의 속도  $\times$  위성과 수신기 간의 신호발생 시간차로 계산된 거리이다. 그림 2-9는 단독측위법에 의한 위치계산 원리이다.



[그림 2-8] GPS 단독 측위법

GPS 단독측위법은 아래 식 (2-1)에서와 같다.

$$R_i = \sqrt{(X_i - X)^2 + (Y_i - Y)^2 + (Z_i - Z)^2} + c\Delta\delta \quad (2-1)$$

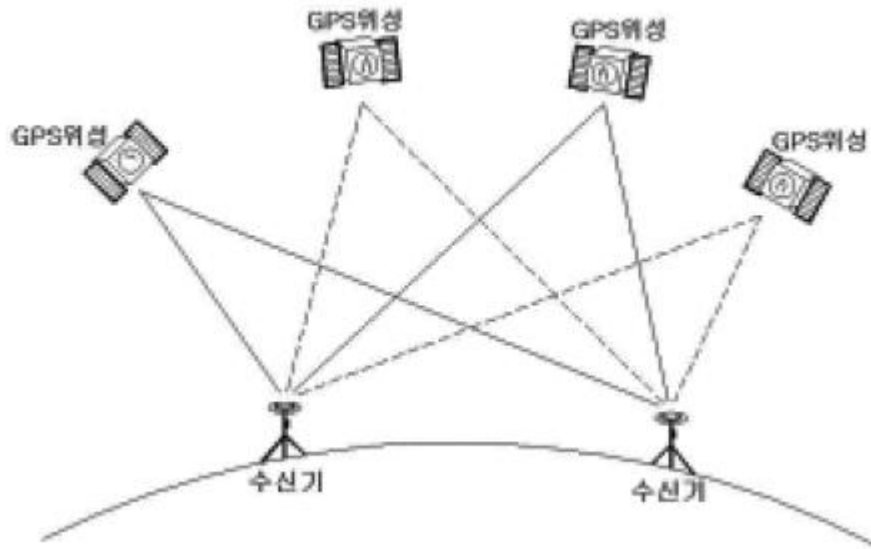
여기서,  $R_i$ 는 위성과 수신기간 의사거리(m)

$c$ 는 빛의속도(m/sec)

$\Delta\delta$ 는 GPS 시계와 수신기 시계 오차

#### 가. GPS 상대측위법

GPS 상대측위법은 Carrier Tracking(Phase Tracking) 방식으로 위치를 결정하는 방법이며, 반송파의 위상차 또는 위상변위(Phase Difference) 사용하여 위치를 계산한다. 위상차 측정은 위성으로부터 송신된 신호와 수신기 자체 발진기에서 발생한 동기신호의 위상변위를 정밀히 측정하는 원리이다. GPS 상대측위법은 주로 측량에서 상대위치를 결정할 때 주로 사용된다. 측정방법은 기지점 및 미지점에 수신기를 설치하고, 위성을 동시 관측하여 기선의 길이를 구한다.



[그림 2-9] GPS 상대측위법

GPS 상대측위법은 아래 식(2-2)에서와 같다.

$$\phi_A^i = f\delta^i + \frac{1}{\lambda}\rho_A^i - f\delta_A + N_A^i \quad (2-2)$$

여기서,  $\phi_A^i$ 는 위성과 수신기에 대한 반송파 위상측정값(cycle)

$\rho_A^i$ 는 위성과 수신기간 기하학적 거리(m)

$\delta^i$ 는 위성시계 오차(sec)

$\delta_A$ 는 수신기 시계오차(sec)

$f$ 는 송신주파수(MHz)

$\lambda$ 는 반송파의 파장

$c$ 는 빛의 속도(m/s)

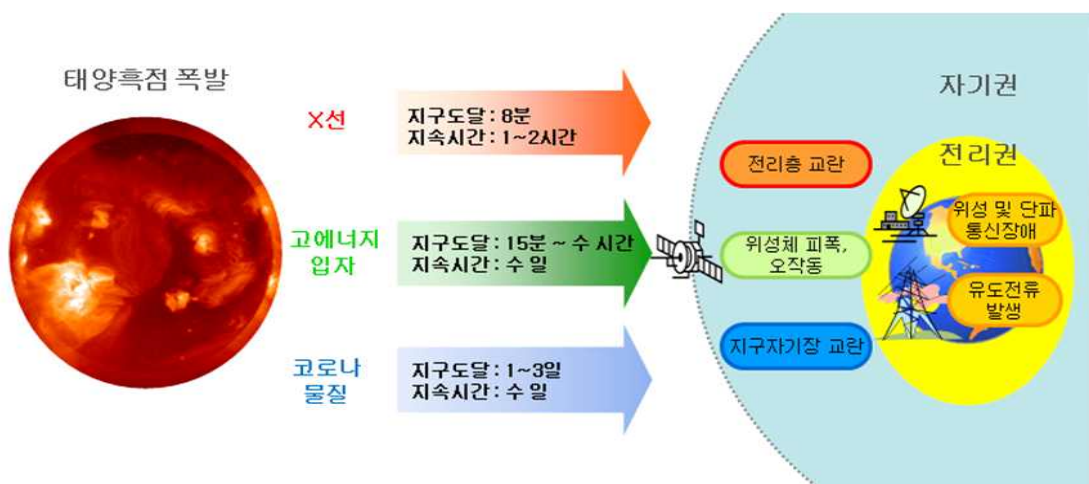
$N_A^i$ 는 미확정 정수값(cycle)

## 제3장 우주환경 정보상황에 따른 GPS 영향

### 제1절 전리층 변화 특성

태양흑점폭발은 x선, 고에너지입자, 코로나 물질 등이 태양으로부터 방출되어 지구에 영향을 미치게 된다. 태양흑점폭발로 인해 발생한 x선은 지구에 8분 만에 도착하며 1~2시간 정도 지속되며, 전리층을 교란시키게 된다. 이는 전리층을 전파경로로 사용하는 위성통신과 전리층 반사를 이용한 단파통신 등에 장애를 일으키는 요인이 된다. 또한 고에너지 입자는 태양흑점폭발 후 15분~수 시간만에 지구에 도달하며, 수 일간 지속되어 지구에 영향을 미치며, 위성체 피폭 등으로 인한 오작동을 일으키는 요인이 된다. 그리고 코로나 물질은 태양폭발 후 1일 ~3일만에 지구에 도착하며, 수 일간 지속하며 지구에 영향을 미친다. 코로나물질은 지구자기장을 교란시켜 유도전류를 발생시켜 변압기 등 송전계통 설비에 영향을 미치며, 지구자기장 변화는 지구자기장을 따라 이동하는 자유전자를 흐름을 바뀌게 되어 전리층이 교란되는 현상이 발생하게 된다.

이와 같이 전리층은 x선과 코로나물질에 의해 교란되게 되는데, x선에 의한 전리층 교란은 수 분 ~ 수 시간 정도로 짧게 발생하지만 코로나물질 유입에 의한 전리층 교란은 수 일간 지속되기도 한다.



[그림 3-1] 우주전파환경 개요

우주전파환경 정보는 태양흑점폭발에 의해 지구에 영향을 미치는 요인과 그 양에 따라 달라진다. 전파두절 정보(R)는 GOES 위성에서 관측한 X선 세기를 나타내는  $1\sim 8\text{\AA}$ 의 전력속밀도에 따라 분류되며 단위는  $\text{W}/\text{m}^2$ 이다. 1단계(일반)는  $10^{-5}(\text{M1})$ 이상, 2단계(관심)는  $5 \times 10^{-5}(\text{M5})$ 이상, 3단계(주의)는  $10^{-4}(\text{X1})$ 이상, 4단계(경계)는  $10^{-3}(\text{M1})$ 이상, 5단계(심각)는  $2 \times 10^{-3}(\text{M1})$ 이상 일 때를 나타낸다. 태양입자유입 정보(S)는 GOES 위성에서 관측한 양성자 관측기 측정값으로 10MeV 이상 고에너지 입자에 의해 분류되며 단위는 개  $/\text{cm}^2\text{-s-sr}$ 이다. 1단계(일반)는 10이상, 2단계(관심)는  $10^2$ 이상, 3단계(주의)는  $10^3$ 이상, 4단계(경계)는  $10^4$ 이상, 5단계(심각)는  $10^5$ 이상 일 때를 나타낸다. 지자기 정보(G)는 미국, 영국, 프랑스의 지구자기장 관측값으로 단위는 없으며, Kp지수에 따라 나타낸다. 1단계(일반)는 5이상, 2단계(관심)는 6이상, 3단계(주의)는 7이상, 4단계(경계)는 8이상, 5단계(심각)는 9이상 일 때를 나타낸다.

이러한 우주환경 정보를 태양활동 극대기에 많이 발생하며 극소기에는 적게 발생된다. 표에서는 00년부터 '14년까지 발생 빈도를 분석한 결과이며, 극대기인 '02년 부근에서 많이 발생하며 극소기인 '06년 부근에는 적게 나타남을 알 수 있다.

구분	경보단계					근거자료	영향
	1	2	3	4	5		
전파두절 정보(R)	일반	관심	주의	경계	심각	X선	단파통신, <b>GPS</b>
태양입자유입 정보(S)						10MeV 에너지 입자	극항로 항공기, 위 성체 손상
지자기정보(G)						K지수	단파통신, <b>GPS</b> , 전력망

구분	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14
1단계	60	56	63	126	71	68	44	37	23	9	35	133	155	122	133
2단계	41	47	48	75	63	55	23	5	1	-	9	19	38	19	20
3단계	27	29	16	42	31	28	8	1	-	-	2	10	11	14	10
4단계	2	5	-	12	7	3	-	-	-	-	-	2	-	-	-
5단계	-	-	-	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
계	130	137	127	257	172	156	75	43	24	9	46	164	204	155	163

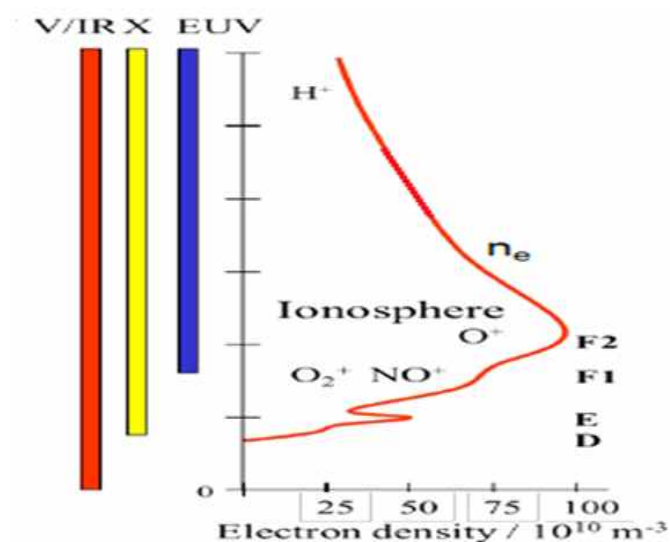
< 극대기 >
< 극소기 >
< 극대기 >

[그림 3-2] 우주전파환경 정보 현황

## 가. 전리층 변화 특성

전리층(ionosphere)은 고도 50km부터 1,000km에 형성된 층으로 태양으로부터 오는 자외선, 극자외선 및 X선 등이 자기력선을 따라 지구로 유입되어 지구 중성대기가 이온화되어 플라즈마 상태로 존재하는 영역이다. 전리층은 크게 D, E, F1, F2 층으로 분류되며 “층(layer)”은 고도에 따라 전리층의 전자밀도가 밀집한 곳이 존재함을 의미한다.

D층은 고도 60~90km 되는 영역으로 주로 산소로 구성되어 있으며, 전자밀도는  $10^6 \sim 10^{10} m^{-3}$ 으로 x선에 의해 이온화 된다. E층은 고도 90~140km 되는 영역으로 이산화탄소와 산소로 구성되어 있으며, 전자밀도는  $10^{11} m^{-3}$ 으로 x선과 EUV에 의해 이온화 된다. F층은 고도 140~500km 되는 영역으로 산소와 수소로 구성되어 있으며, 전자밀도는  $10^{11} \sim 10^{12} m^{-3}$ 으로 EUV에 의해 이온화 된다.

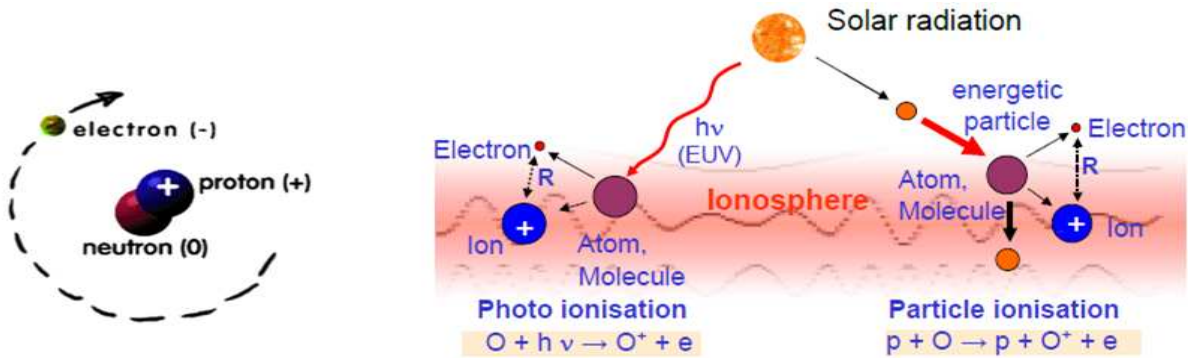


[그림 3-3] 전리층 구성

[표 3-1] 전리층 구성 및 구성요소

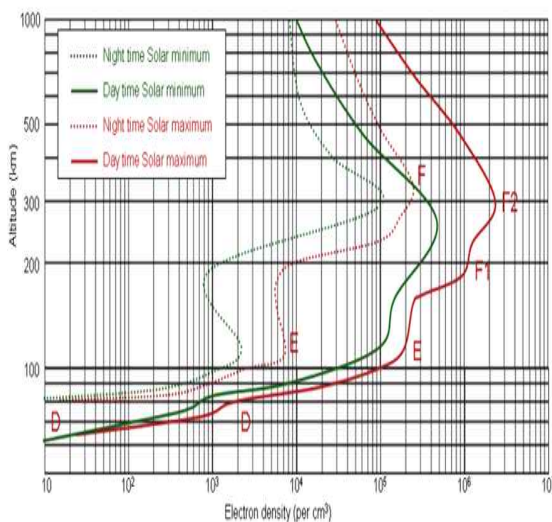
층	높이	구성물질	전자밀도	이온화 원인
D층	60-90 km	산소(O)	$10^8 - 10^{10} m^{-3}$	X-ray
E층	90-140 km	이산화질소(NO), 산소(O)	수 $10^{11} m^{-3}$	X-ray, EUV
F1층	140-200 km	산소(O)	$10^{11}-10^{12} m^{-3}$	EUV
F2층	200-500 km	산소(O), 수소(H)	수 $10^{12} m^{-3}$	EUV

전리층의 이온화는 태양으로부터 유입된 x선과 EUV에 의해 발생된다. 전리층을 구성하는 원자 및 분자는 그림과 같이 중성입자 주위에 자유전자를 가지고 있다. 중성입자가 지구로 유입된 X선과 EUV와 충돌로 인해 이온과 자유전자로 분리되는데 이러한 현상을 전리층 이온화라고 한다.

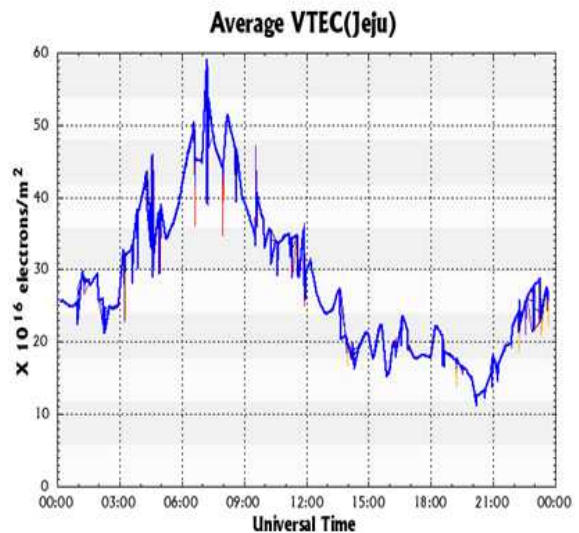


[그림 3-4] 전리층 이온화

이러한 전리층 이온화로 인한 전리층 전자밀도 변화는 장기적으로는 태양 극대기와 극소기에 따라 달라지며, 단기적으로는 1일 시간대별로 변화하게 된다. 장기적 변화에서는 극대기 일 때가 극소기에 비해 전자밀도가 높게 형성되고 단기적인 변화에서는 낮 시간대가 밤 시간대보다 전자밀도가 높게 나타난다.



[그림 3-5] 태양활동 극대기와 극소기에 따른 전리층 전자밀도 변화



국립전파연구원 우주전파센터

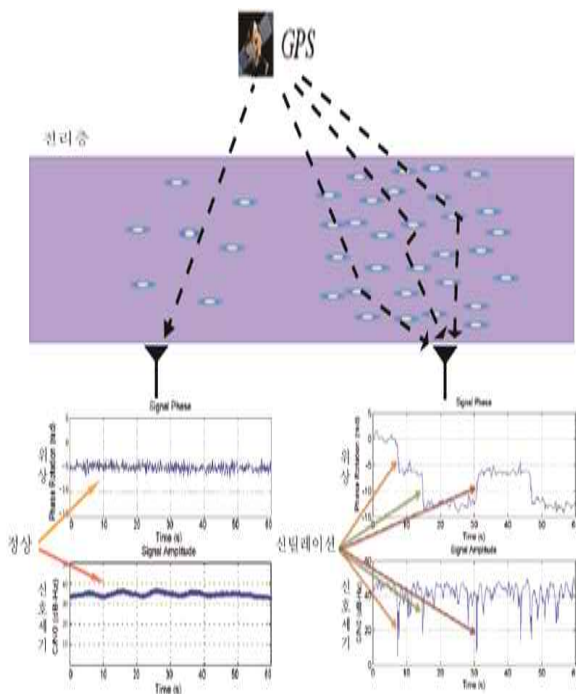
Updated 2014-09-18 08:57:11 KST

[그림 3-6] 1일 전리층 전자밀도 변화

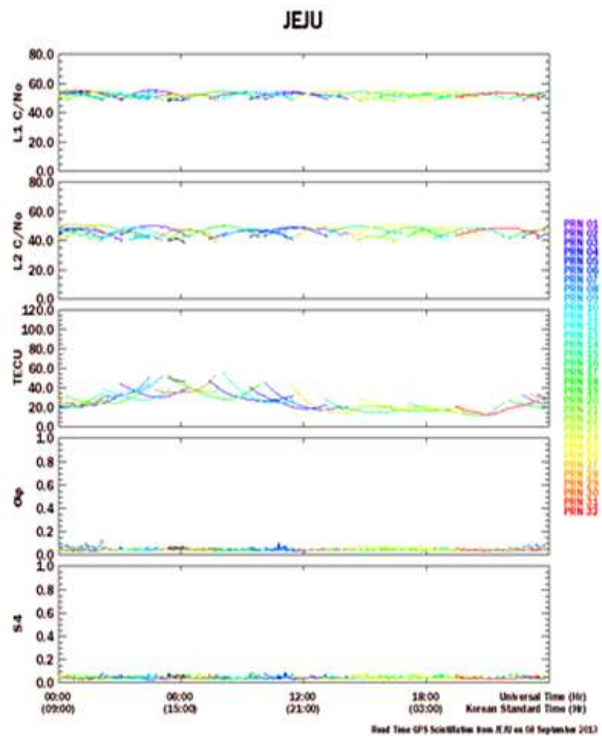
## 나. 전리층에 의한 GPS 신호 신틸레이션

GPS 신호가 전리층을 통과하여 지상에서 수신 될 때 전리층 전자밀도에 의해 신호가 왜곡되게 된다. 신틸레이션은 전파가 전리층을 통과할 때 전자 밀도에 의해 굴절되어 신호세기 및 위상이 변화하는 현상으로 전자밀도가 클수록, 주파수가 낮을수록 굴절율은 커지게 된다. 위상 변화는 파형의 꼭 지점과 골간 상호 간섭으로 순간적인 신호 두절이 발생하여 수신 데이터 패킷이 손상을 일으킨다. 또한 신호세기 약화는 수신기의 신호대잡음비를 저하시켜 신호 복원시 에러 유발시키게 된다.

신틸레이션 발생 여부에 대해 확인하기 위한 GPS 신호품질 요소로 CNO, S4,  $\sigma$  등이 있다. CNO는 수신점에서 L1/L2 신호에 대한 수신세기대잡음 비로 dB-Hz 단위로 나타내며, 통상 L1 CNO는 44dB, L2 CNO는 34dB가 기준이 된다. 그리고  $\sigma$ (위상차)는 신호의 위상변화에 대한 분당 표준편차 값으로 평균에서 벗어난 정도를 나타내며, 통상 0~0.2, 0.4 이상 30분 이상 지속되면 심각한 수준이라고 할 수 있다. 또한 S4는 신호세기 변화에 대한 분당 표준편차 값으로 평균에서 벗어난 정도를 나타내며, 통상 0~0.2이며, 0.4 이상은 주의, 0.6이상은 심각한 수준이라 할 수 있다.



[그림 3-7] GPS 신호 신틸레이션

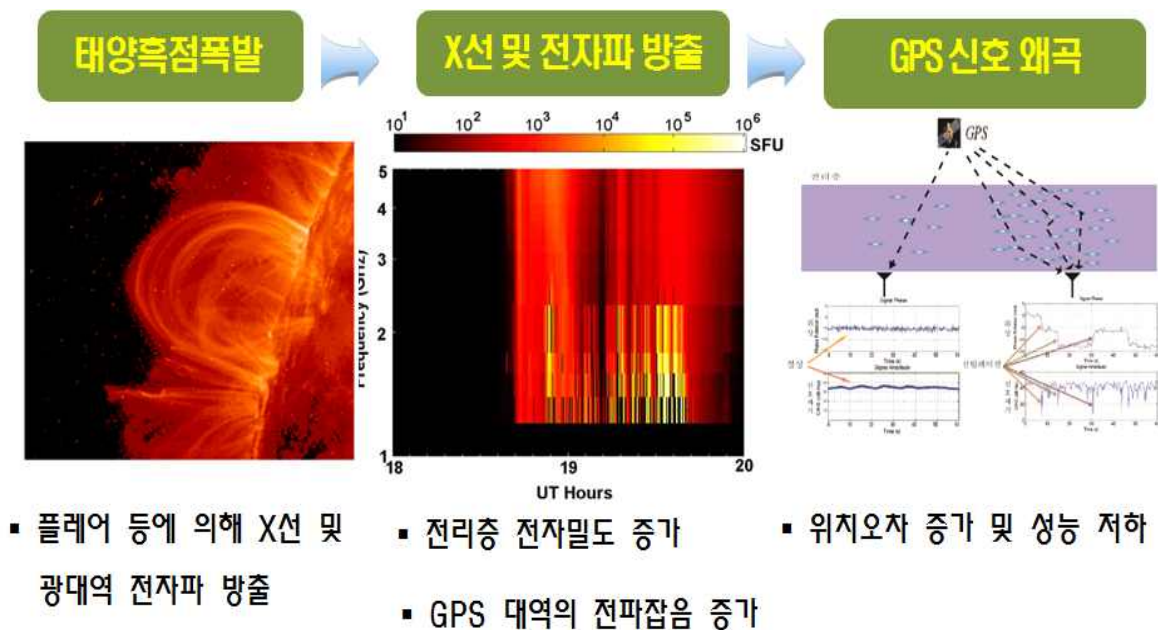


[그림 3-8] GPS 신호 신틸레이션 관측

## 제2절 전파두절경보에 따른 GPS 영향 분석

## 가. 전파경보에 의한 GPS 영향 분석

태양흑점폭발이 발생하면 다양한 전자파가 방출되어 지구에 영향을 미친다. X선 유입은 전리층 이온화를 가중시켜 전리층 전자밀도가 높이짐으로써 GPS 신호 왜곡을 발생시키게 되며, GPS 대역인 1.2GHz 및 1.5GHz 대역의 잡음 유입은 GPS 수신기의 잡음비를 높임으로써 GPS 신호대잡음비를 악화 시시켜 위치오차 증가 및 성능저하를 일으키게 된다.



[그림 3-9] 전파두절경보에 따른 GPS 영향

## 나. 전파두절경보(R) 상황에 따른 관측자료 분석

2012 년 및 2013 년 전파경보 1~3 단계 상황에 대해 GPS 위치오차 변화를 분석하였다. 분석방법으로 제주지역 GPS 관측자료를 이용하여 전파경보 발생일과 전일을 비교하여 STEC 및 위치오차(X 축, Y 축, Z 축) 변화를 비교 분석하였다.

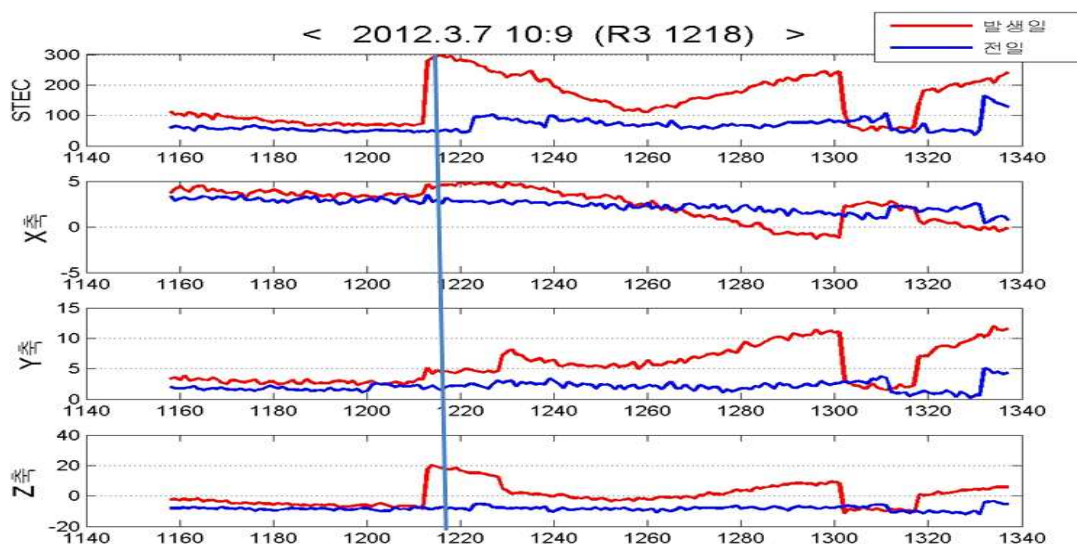
2012 년의 경우, R1 발생에서는 7 월 29 일(15 시 20 분)에 위치오차(X 축 7.3m, Y 축 14.6m, Z 축 28.6m)가 가장 크게 나타났으며, R2 발생에서는 11

월 13 일(11 시 3 분)에 위치오차(X 축 1.7m, Y 축 0.4m, Z 축 9.5m)가 가장 크게 나타났고 R3 발생에서는 3 월 7 일(9 시 10 분)에 위치오차(X 축 8.2m, Y 축 9.3m, Z 축 11.9m)가 가장 크게 나타났다.

[표 3-2] 2012년 경보상황에 따른 위치오차 분석

상황	발생일	발생시간 KST	stec			X축			Y축			Z축		
			전일	발생일	차이	전일	발생일	차이	전일	발생일	차이	전일	발생일	차이
R1	7월4일	13시28분	55.3	63.7	8.5	0.0	0.4	0.4	1.0	1.0	0.1	-5.6	-3.6	2.0
	7월5일	10시8분	66.0	60.5	-5.5	-0.9	0.1	1.1	1.2	0.7	0.5	0.4	0.2	0.3
	7월5일	12시32분	65.7	57.5	-8.2	0.5	0.9	0.3	0.7	1.1	0.3	-5.2	-4.6	0.6
	7월29일	15시20분	39.5	35.5	-4.0	-0.9	-7.3	6.5	-1.1	-14.6	13.5	-1.8	28.6	30.4
	8월18일	12시22분	37.9	42.0	4.0	0.9	1.3	0.4	0.1	0.4	0.3	-3.5	-3.9	0.4
R2	7월2일	19시52분	41.0	30.8	-10.1	5.0	-0.3	5.3	23.7	0.1	23.6	-66.5	3.0	69.5
	7월4일	18시47분	42.3	31.0	-11.2	0.2	-0.4	0.6	2.1	1.2	0.9	-3.9	-1.9	2.0
	7월5일	20시44분	36.9	38.3	1.4	0.7	0.7	0.0	1.3	1.2	0.1	2.7	7.1	4.5
	7월19일	14시31분	35.8	42.1	6.3	0.6	0.0	0.6	0.7	1.6	0.9	-5.5	-7.1	1.6
	8월18일	10시1분	61.5	78.6	17.1	0.7	0.4	0.4	1.4	3.0	1.6	3.1	0.3	2.8
	10월23일	3시51분	105.8	96.2	-9.6	0.6	1.8	1.2	3.9	3.1	0.8	9.9	5.3	4.6
	11월13일	11시3분	124.2	63.7	-60.5	-1.4	1.7	3.0	2.8	0.4	2.4	-3.1	-9.5	6.4
R3	3월5일	12시56분	89.0	144.8	55.8	-17.7	-0.1	17.6	23.7	5.6	18.1	-33.6	-4.6	29.0
	3월7일	9시10분	131.2	317.5	186.3	4.3	8.2	3.8	1.2	9.3	8.1	-2.8	11.9	14.7
	3월7일	10시9분	47.1	294.8	247.7	2.8	4.6	1.8	2.1	4.4	2.2	-7.6	17.5	25.1
	7월7일	8시8분	93.4	124.6	31.2	1.8	1.6	0.2	2.6	3.2	0.6	5.1	5.1	0.1
	7월13일	1시35분	57.4	78.0	20.6	0.5	-0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	4.7	7.4	2.7
	10월23일	12시16분	99.1	90.2	-8.9	-0.5	0.1	0.6	3.1	3.4	0.2	-6.7	-8.0	1.3

표에서는 2012년 위치오차가 가장 크게 발생한 3월 7일(9시 10분) R3 상황에 대해 STEC과 위치오차를 전일과 비교 분석하였다.



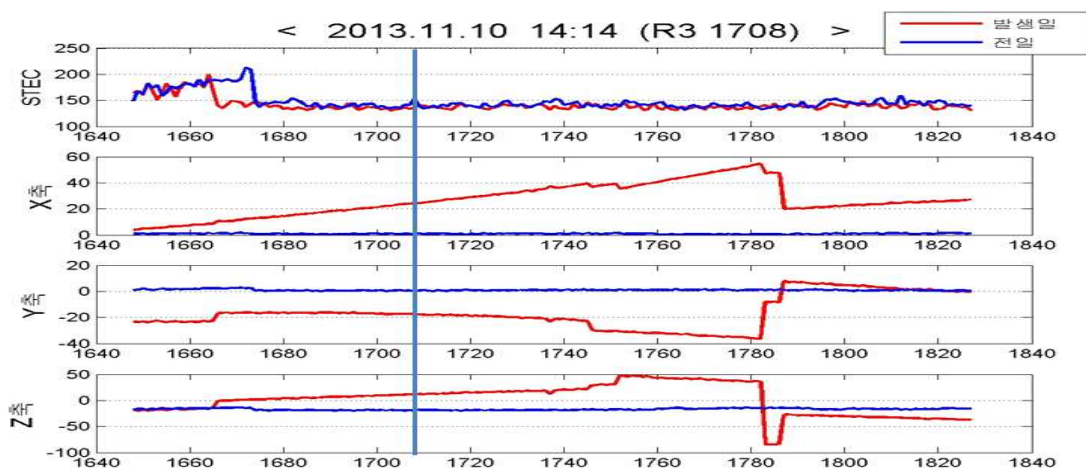
[그림 3-10] R3(2012.3.7)경보에 따른 STEC 및 위치오차 분석

[표 3-3] 2013년 경보상황에 따른 위치오차 분석

상황	발생일	발생시간 KST	stec			X축			Y축			Z축		
			전일	발생일	차이	전일	발생일	차이	전일	발생일	차이	전일	발생일	차이
R1	4월13일	5시33분	112.9	215.1	102.2	1.4	-1.0	2.4	3.9	7.3	3.4	8.4	16.2	7.8
	5월10일	9시49분	75.2	96.2	21.0	-0.3	-1.0	0.7	2.6	3.8	1.2	-0.2	-0.4	0.2
	5월20일	14시22분	174.8	145.9	-29.0	15.8	-3.4	19.2	-3.8	8.2	12.0	66.6	-5.9	72.5
	10월9일	10시41분	164.0	175.1	11.1	1.4	1.3	0.0	0.3	0.2	0.2	-12.8	-8.2	4.6
	10월11일	16시17분	133.9	147.7	13.8	0.3	0.1	0.2	-1.4	0.0	1.4	-11.7	-14.6	2.9
R2	4월11일	16시11분	139.8	58.9	-80.9	-1.2	0.1	1.3	3.4	1.8	1.6	-6.9	-16.6	9.7
	5월4일	2시29분	154.6	126.6	-27.9	1.7	1.4	0.3	3.1	2.3	0.8	13.9	10.7	3.3
	5월22일	21시30분	64.6	51.7	-12.8	-1.3	-2.2	0.9	0.0	-0.1	0.1	3.4	3.5	0.2
	10월24일	9시26분	168.2	167.5	-0.8	1.8	1.9	0.0	0.6	1.5	0.9	-5.9	-7.4	1.6
	10월28일	13시41분	190.3	164.1	-26.3	-23.8	0.4	24.2	-31.1	1.3	32.4	40.6	-16.3	57.0
	11월2일	4시51분	329.3	335.0	5.7	2.9	3.9	1.0	9.0	11.4	2.4	16.6	20.4	3.9
R3	5월13일	11시9분	142.2	99.0	-43.2	7.5	-0.7	8.2	28.7	1.1	27.6	20.6	-4.8	25.4
	5월14일	10시7분	195.8	194.2	-1.6	-0.8	-0.1	0.8	7.6	6.6	1.0	6.9	4.2	2.7
	5월15일	10시44분	164.6	87.2	-77.4	2.9	0.0	2.9	3.4	0.3	3.1	6.7	-3.7	10.3
	10월25일	16시57분	143.4	135.3	-8.1	1.3	0.7	0.6	0.2	0.6	0.4	-12.9	-14.3	1.4
	10월28일	11시2분	325.1	224.4	-100.8	-0.6	-0.6	0.0	16.6	3.0	13.6	2.8	-4.8	7.6
	10월29일	6시50분	403.8	369.3	-34.5	1.0	1.6	0.6	9.7	7.9	1.8	11.7	10.9	0.9
	11월5일	7시12분	356.8	353.3	-3.5	3.4	3.2	0.2	6.1	5.0	1.2	7.8	8.1	0.3
	11월8일	13시25분	156.9	156.6	-0.3	1.5	1.2	0.2	0.4	-0.1	0.5	-15.8	-19.1	3.3
	11월10일	14시14분	152.5	136.4	-16.1	0.6	24.1	23.5	0.4	-17.7	18.1	-19.7	10.5	30.2
	11월19일	19시25분	142.5	135.7	-6.8	0.4	-0.1	0.5	0.4	-0.7	1.1	-11.4	-9.4	1.9

2013년의 경우, R1 발생에서는 5월 20일(14시 22분)에 위치오차(X축 3.4m, Y축 8.2m, Z축 5.9m)가 가장 크게 나타났으며, R2 발생에서는 11월 2일(4시 51분)에 위치오차(X축 3.9m, Y축 11.4m, Z축 20.4m)가 가장 크게 나타났고 R3 발생에서는 11월 10일(14시 14분)에 위치오차(X축 24.1m, Y축 17.7m, Z축 10.5m)가 가장 크게 나타났다.

그림에서는 2013년 위치오차가 가장 크게 발생한 11월 10일(14시 14분) R3 상황에 대해 STEC과 위치오차를 전일과 비교 분석하였다.

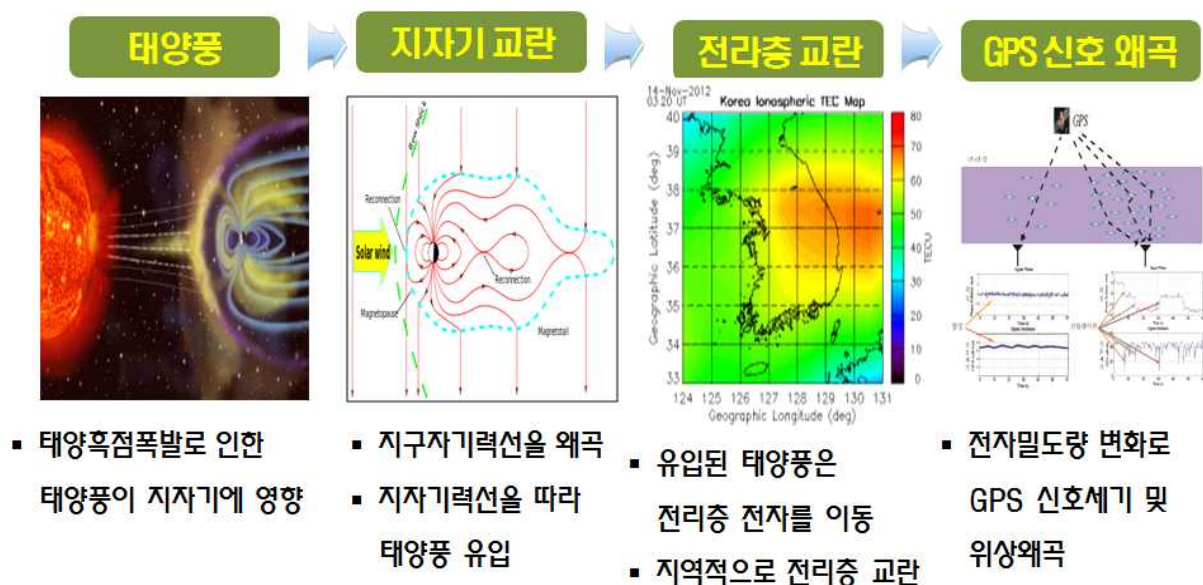


[그림 3-11] R3(2013.11.10)경보에 따른 STEC 및 위치오차 분석

### 제3절 지자기경보에 의한 GPS 영향 분석

#### 가. 지자기경보에 의한 GPS 영향 개요

태양흑점폭발은 다양한 물질이 방출되는데 지자기경보의 경우 지구에 유입되는 태양풍이 주 요인이다. 태양을 방출된 태양풍은 지구의 지구자기력선과 충돌하여 지구자기력선이 왜곡되게 되게 된다. 또한 태양풍은 극지방 등으로 유입되어 지구자기력선을 따라 이동하는데 이때 전리층의 플라즈마를 동반하여 이동함으로써 전리층 전자밀도가 지역적으로 급변하게 됨으로써 전리층이 교란된다. 이러한 지자기경보에 의한 전리층 교란은 GPS 신호의 신틸레이션을 발생시켜 신호세기 및 위상 왜곡 등을 발생시켜 GPS 위치 오차를 크게 하는 원인이 된다.



[그림 3-12] 지자기경보에 따른 GPS 영향

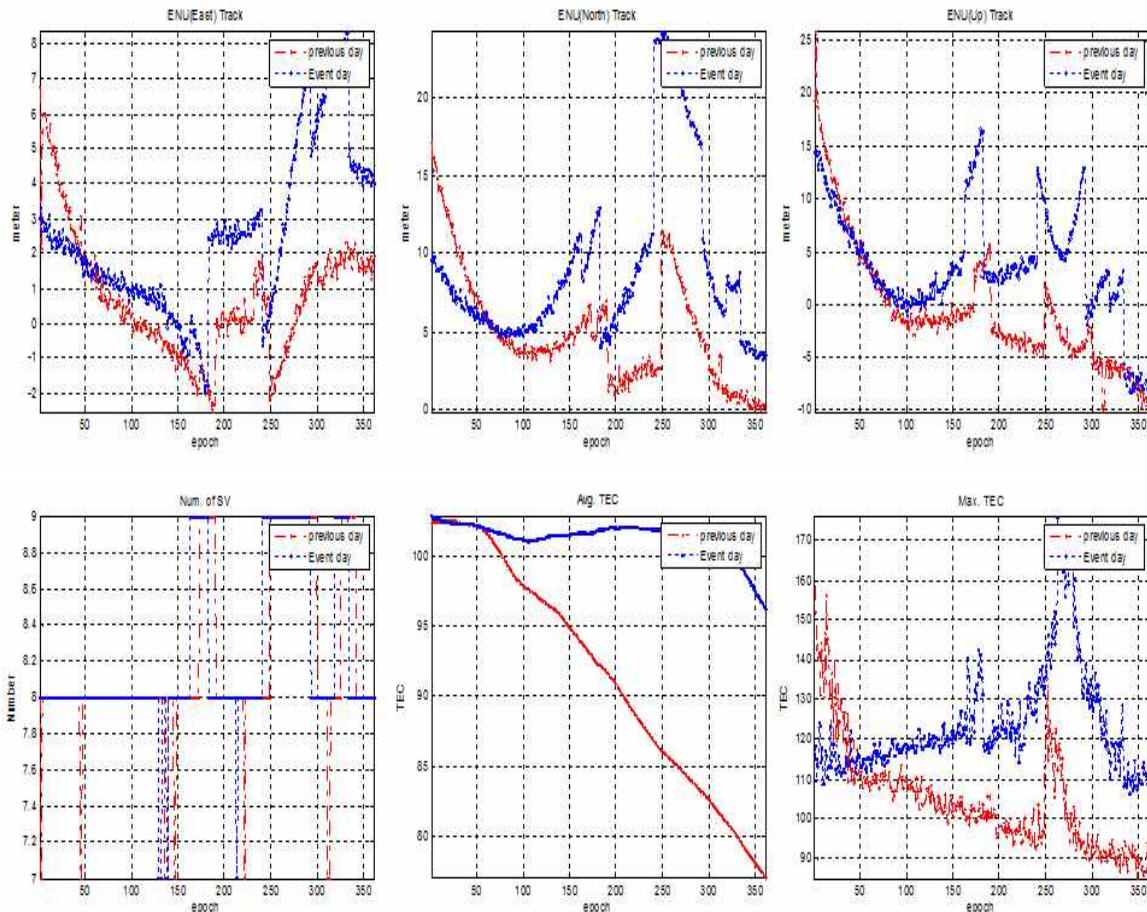
#### 나. 지자기경보(G) 상황에 따른 관측자료 분석

G4 및 G5 등 지자기경보 단계 크게 발생하였던 과거 제주 GPS 관측자료를 이용하여 전자밀도 및 위치오차 변화를 분석하였다. 먼저 2003년 10월 29일 06시~09시에 발생한 G5 단계의 지자기 경보상황을 분석한 결과, 경

보발생 후 수평오차 20.5m, 수직오차 12.9m가 발생하였으며, 평균 전자밀도 101.4TEC, 최대 전자밀도 176TEC가 발생되었다. 또한 경보사항 발생전일에 비해 수평오차 8.6m, 수직오차 1m가 증가하였으며, 이때 전자밀도는 최대 18TEC가 높게 형성하였다.

[표 3-4] G5경보 발생일과 전일과의 위치오차 및 TEC값 비교

경보상황	이벤트 기간(2003/10/29 06:00-09:00)			
G5	수평오차	수직오차	AVG. TEC	MAX. TEC
전일	11.649	11.9717	91.67059	158.525
발생일	20.255	12.907	101.4179	176.0061

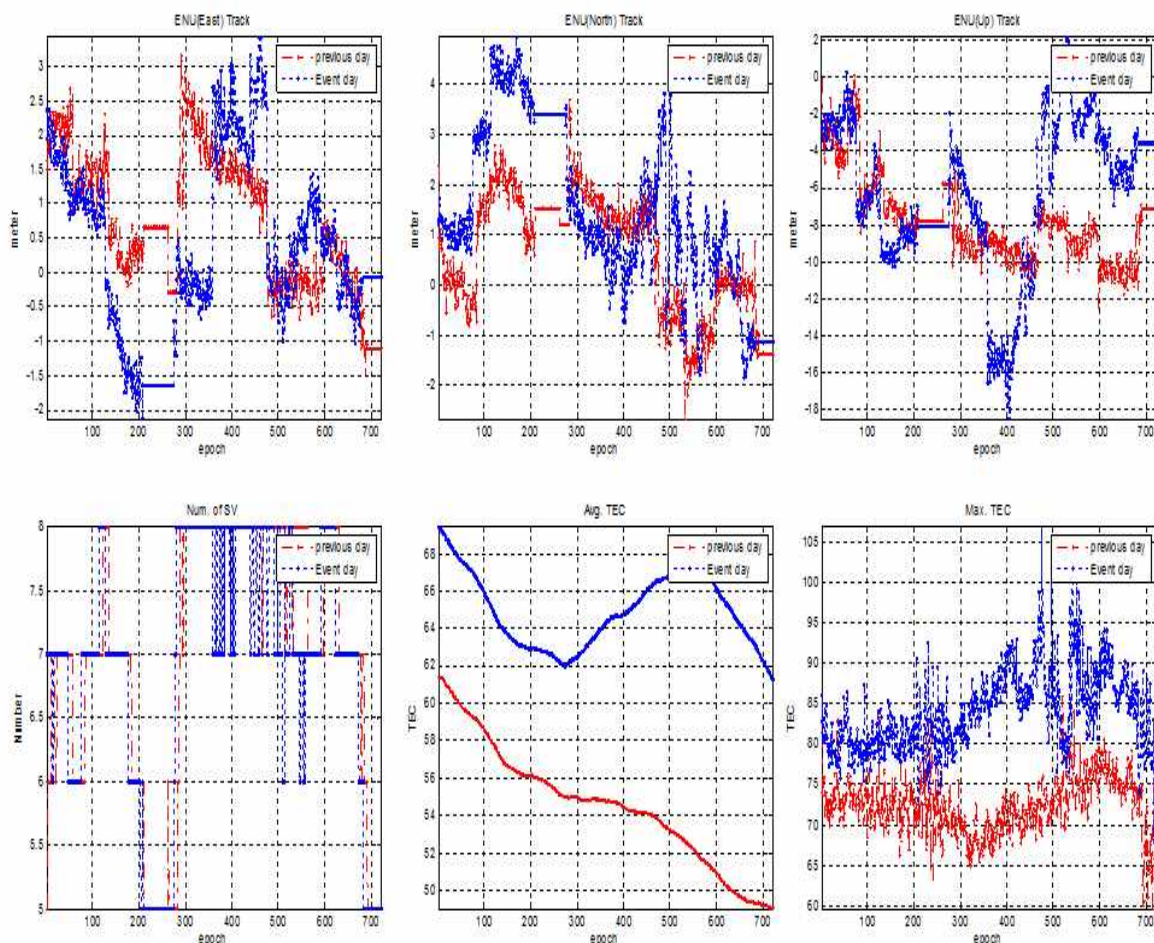


[그림 3-13] G5경보 발생일과 전일과의 위치오차 및 TEC값 비교

2004년 7월 27일 09:00 시~15:00 시에 발생한 G4 단계의 지자기 경보상황을 분석한 결과, 경보발생 후 수평오차 5.1m, 수직오차 15.1m가 발생하였으며, 평균 전자밀도 64.9TEC, 최대 전자밀도 106.9TEC가 발생되었다. 또한 경보사항 발생전일에 비해 수평오차 1.5m, 수직오차 1.1m가 증가하였으며, 이때 전자밀도는 최대 21TEC가 높게 형성하였다.

[표 3-5] G4경보 발생일과 전일과의 위치오차 및 TEC값 비교

경보상황	이벤트 기간(2004/07/27 09:00 - 15:00)			
G4	수평오차	수직오차	AVG. TEC	MAX. TEC
전일	3.644859	16.27789	54.5537	85.87876
발생일	5.12027	15.18296	64.90311	106.92535

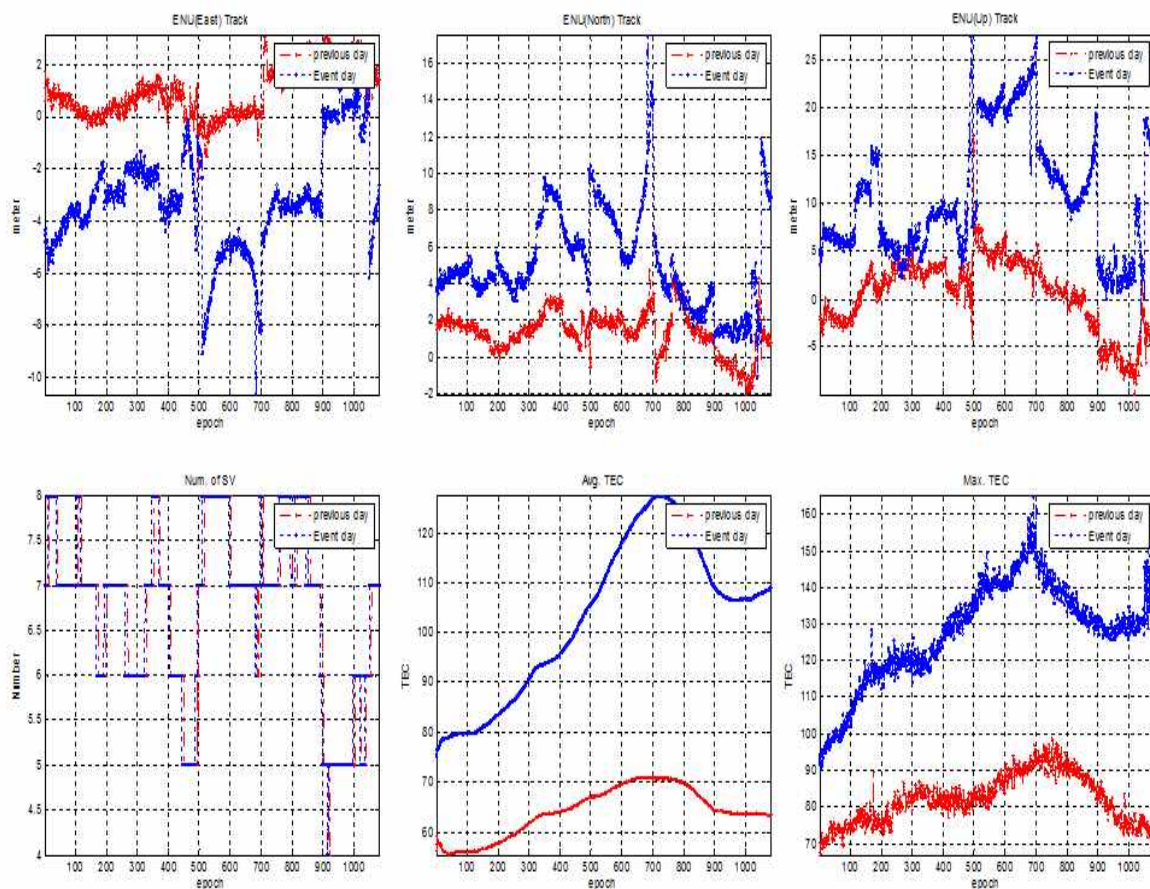


[그림 3-14] G4경보 발생일과 전일과의 위치오차 및 TEC값 비교

2004년 11월 08일 00:00시 ~ 09:00시에 발생한 G4 단계의 지자기 경보 상황을 분석한 결과, 경보발생 후 수평오차 13.8m, 수직오차 24.8m가 발생하였으며, 평균 전자밀도 102.8TEC, 최대 전자밀도 165TEC가 발생되었다. 또한 경보상황 발생전일에 비해 수평오차 9.4m, 수직오차 17.3m가 증가하였고 이때 전자밀도는 최대 66TEC가 높게 형성하였다.

[표 3-6] G4경보 발생일과 전일과의 위치오차 및 TEC값 비교

경보상황	이벤트 기간(2004/11/08 00:00- 09:00)			
G4	수평오차	수직오차	AVG. TEC	MAX. TEC
전일	4.411211	7.5977	64.1199	98.49369
발생일	13.8047	24.81523	102.8693	165.044785

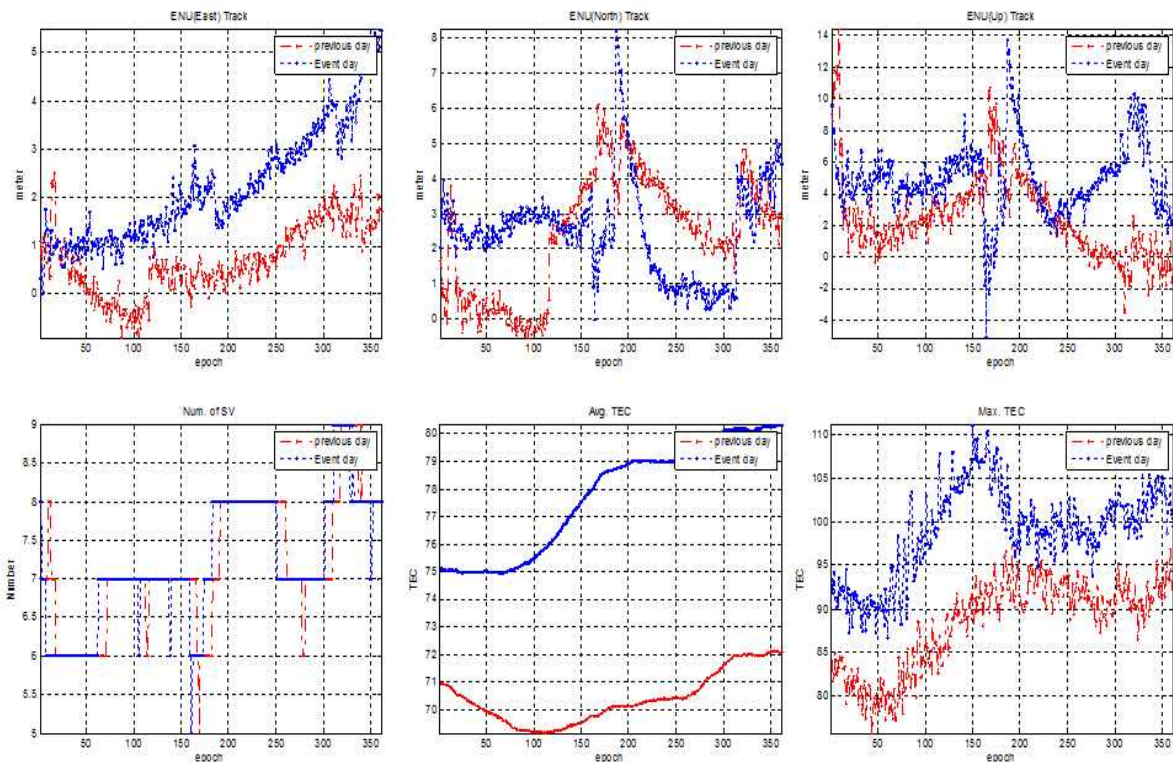


[그림 3-15] G4경보 발생일과 전일과의 위치오차 및 TEC값 비교

2005 년 05 월 15 일 06:00 시 ~ 09:00 시에 발생한 G5 단계의 지자기 경보 상황을 분석한 결과, 경보발생 후 수평오차 7.6m, 수직오차 109m 가 발생하였으며, 평균 전자밀도 77.6TEC, 최대 전자밀도 111TEC 가 발생되었다. 또한 경보상황 발생전일에 비해 수평오차 1.9m, 수직오차 3.7m 가 증가하였고 이때 전자밀도는 최대 3.9TEC 가 높게 형성하였다.

[표 3-7] G5경보 발생일과 전일과의 위치오차 및 TEC값 비교

경보상황	이벤트 기간(2005/05/15 06:00-09:00)			
G5	수평오차	수직오차	AVG. TEC	MAX. TEC
전일	5.737169	7.278298	70.389549	97.201995
발생일	7.644801	10.9331	77.6987	111.13165



[그림 3-16] G5경보 발생일과 전일과의 위치오차 및 TEC값 비교

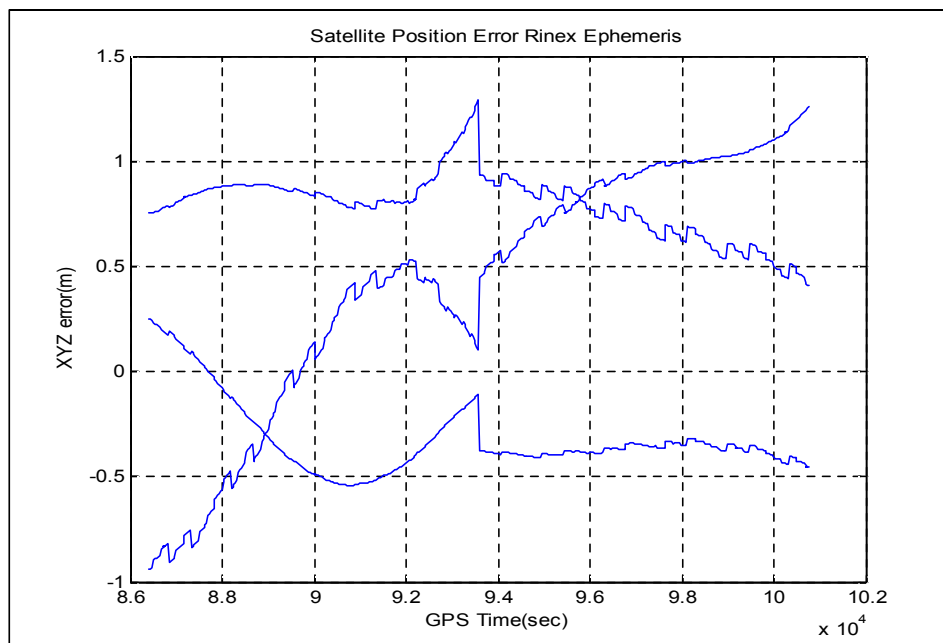
## 제4장 GPS 신호 품질 인자 및 평가기준

### 제1절 GPS 신호 오차 요인

GPS 신호에는 많은 오차요인들이 존재한다. 이들 오차는 위성궤도력 오차, 위성과 수신기 시계오차, 전리층 지연 오차, 대류층 지연오차, 수신기 잡음, 다중경로 오차 등 다양한 오차가 존재한다.

#### 가. 위성궤도 오차

GPS 수신기는 GPS 위성이 송신한 신호를 수신하여 신호를 복제하여 동기화 시키고 위성과 수신기간의 시간차를 이용하여 의사거리를 측정하고 위치 계산을 실행한다. 이 때, 위성의 위치 정보에 오차가 있으면 직접적으로 측위 오차가 되어 나타나게 된다. GPS 위성의 궤도는 비교적 정확하게 예측되어 항법 메시지로 방송되고 있지만, 현재의 기술 수준으로는 수 m ~ 10 m 정도의 예측 오차는 위성 궤도 오차로 남게 된다. 따라서 사용자가 항법메시지에 포함된 Ephemeris 정보를 이용하여 계산한 위성의 위치와 실제 위치와는 차이가 발생한다.



[그림 4-1] 위성 궤도 오차의 실제 예

[그림 4-1]는 위성 궤도 오차의 실제 예로써, 항법메시지로 방송되는 방송 궤도력(broadcast ephemeris)으로 계산한 위성의 위치와 후처리로 정밀하게 계산한 정확한 궤도 정보인 IGS \*.sp3파일로 계산한 PRN 10번 위성 위치의 X, Y, Z 오차이다. 여기 사용한 정밀궤도 정보는 IGS(International GNSS Service)에서 제공하는 것으로서 인터넷을 통해 무료로 공개되어 있으며, 알려진 정확도는 2.5 cm 이내이다.

위성 궤도 오차에 의한 영향은 시선방향(사용자와 GPS 위성을 잇는 직선의 방향)의 위치오차로 나타나므로 사용자의 시선 방향과 수직 방향의 위성 오차는 측위 오차에 전혀 영향을 미치지 않는다. 인공위성의 궤도 운동이 잡음과 같이 불규칙한 진동 형태로 나타나는 것이 아니며, 일반적인 위성 궤도 오차는 장기간 바이어스 성분으로 나타난다.

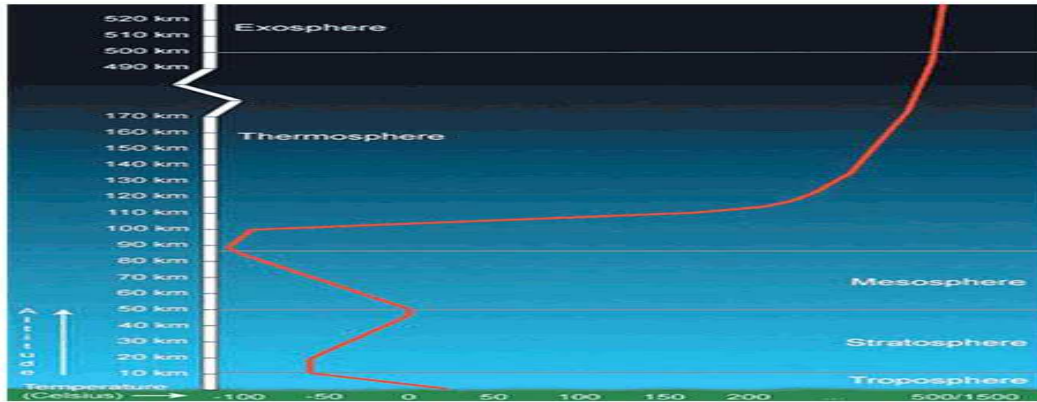
#### 나. 위성 시계 오차

GPS 위성에는 세슘 원자시계가 탑재되어 있으며 세슘 원자시계의 정확도는 거리로 환산시 약 3m 정도이고 보정을 하지 않으면 수일 내에 큰 오차로 커질 수 있으므로 GPS 항법메시지에 위성 시계를 보정하기 위한 정보가 포함되어 있다. 이 시계 보정 정보를 이용하여 위성 시계 오차를 보정하고 최종적으로 남게 되는 오차가 위성 시계 오차로 나타난다. 지금은 해제되었지만 SA(Selective Availability)가 작동하고 있을 당시에는 위성 시계에 인위적인 오차를 포함하여 위성 시계 오차가 매우 큰 값으로 나타났다. 위성 시계의 안정성을 인위적으로 떨어뜨려 사용자 수신기에서는 오차가 되어 나타났다.

위성의 시계 오차는 지상의 master control station에서 clock model을 이용하여 추정한 값으로 사용자는 추정된 모델 계수를 이용하여 위성 시계 오차를 도출하여 제거하게 된다. 이 과정에서 예측 model과 실제 위성 시계 사이에는 차이가 존재하게 된다.

#### 다. 전리층 지연 오차

전리층의 상태는 계절, 시간, 태양활동, 지역 등의 요소로 인해 상태 변화가 각각 다른 형태로 나타나게 된다. 이러한 원인으로 GPS 신호가 굴절하여 전파의 진행 속도가 느려지게 되며 오차를 유발하게 된다. 일반적으로 천정방향으로 5 ~ 100ns의 지연으로 나타나며 이를 전리층 지연이라 한다.

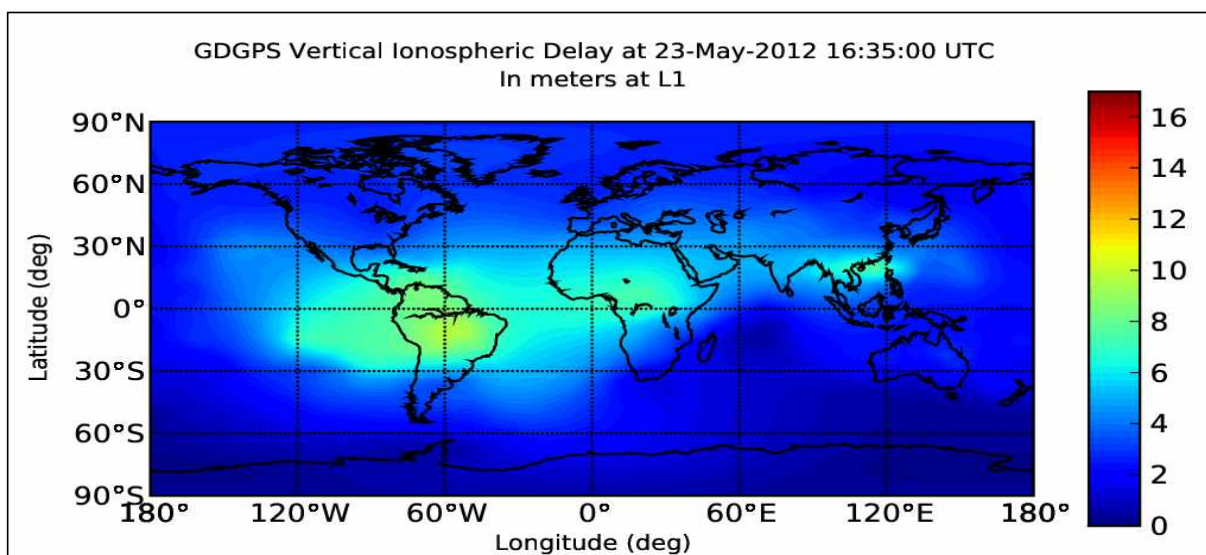


[그림 4-2] 고층 대기권의 구조

전리층에 의한 지연량을  $D_{iono}$  라고 하면, 식(4-1)과 같다.

$$D_{iono} = \frac{40.3}{cf^2} \int Ndl = \frac{40.3}{cf^2} TEC \quad (4-1)$$

여기서  $f$ 는 전파의 주파수이며, 민간용 L1 주파수의 경우는 1575.42MHz 이다.  $N$ 이 자유전자밀도이기 때문에  $\int Ndl$ 은 수신기와 위성을 연결하는 직선상에 있는 자유전자의 총수가 된다. 이것을 TEC(Total electron content)라고 한다. 통상 전리층 지연은 한낮이 가장 크고 밤중에는 가장 낮은 분포를 나타낸다.



[그림 4-3] 수직 전리층 지연의 Global Map

[그림 4-4]은 NASA에서 제공하는 전 세계의 전리층 지연 분포를 나타낸 것이다. 위도 상으로는 자기 적도가 위치한 적도 부근을 중심으로 최대값을 나타나고 있는 것을 확인할 수 있다.

GPS 신호는 천정 방향으로부터 오는 것이 아니고 일정한 각도를 가지고 경사진 방향으로 사용자에게 도달하게 되므로, 실제 전리층 통과거리가 길어지게 되어 지연량도 따라서 커지게 된다. 가상의 전리층 고도  $H_{iono}$ 를 기준으로 전파의 전리층 통과점에서 수직 방향 즉 천정 방향의 지연량을  $D_{iono}(90^\circ)$ 라고 하면 양각이  $El$ 도인 위성의 전리층 지연량은 기하학적 관계에 의하여 다음과 식(4-2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$D_{iono}(El) = \frac{D_{iono}(90^\circ)}{\sqrt{1 - \left( \frac{R_e \cos El}{R_e + H_{iono}} \right)^2}} \quad (4-2)$$

여기서  $R_e$ 는 지구의 반지름이고  $H_{iono}$ 는 전리층 평균 고도로 일반적으로 350km를 사용한다.

이와 같은 관계식에 따르면 Elevation 5도인 위성의 전리층 지연량은 수직 값에 비해 3배 정도의 값을 갖게 된다. 30m 정도까지 커지는 거리 오차 때문에 GPS는 전리층 모델을 이용한 오차 보정치를 항법메시지를 통해 방송하고 있다. 현재 단일 주파수 수신기에서 사용하고 있는 Klobuchar 모델의 경우 오차 보정 성능은 약 50% 정도가 보정된다. 통상적으로 10 m까지 오차가 발생하지만 단일 주파수 사용자로서는 GPS 항법메시지에서 제공하는 모델 계수 이외에는 전리층 지연을 보정할 수 있는 방법이 없다.

한편 식(4-3)에서 알 수 있듯이 전리층 지연량은 주파수의 제곱에 반비례한다. 이러한 성질을 이용하면 L1/L2 사용이 가능한 이중주파수 수신기에서는 전리층 지연량을 직접 추정하여 제거하는 것이 가능하다. L1 신호에서 계산된 의사거리  $p_1$ 과 L2 신호에서 계산된 의사거리  $p_2$ 의 차이  $p_1 - p_2$ 을 이용하여 다음과 같이 TEC 값을 구하는 것이 가능하다.

$$TEC = \int Ndl = \frac{(p_1 - p_2)}{c} \left( \frac{40.3}{f_{L1}^2} - \frac{40.3}{f_{L2}^2} \right) \quad (4-3)$$

여기서  $\int_{L1}$  과  $\int_{L2}$  는 각각 L1과 L2 주파수를 나타낸다.

이중 주파수 수신기는 일반적으로 항법 메시지에서 제공 하는 모델을 사용하지 않고 전리층 지연량을 직접 측정하여 보정한다. 그러나 GPS에 영향을 미치는 요소 중에는 태양활동의 정도도 포함되어 있다. 태양의 활동은 11년 주기로 증감이 반복되는 것으로 알려져 있는데, 태양이 활발하게 활동하게 되면 대량의 전자가 지구에 도달하게 되어 전리층이 두꺼워지고 전리층 내부의 변화도 심해져 전리층 추정이 어려워진다.

#### 라. 대류층 지연오차

대기권 지연 오차(atmospheric delay)로 분류되는 지연에는 전리층 지연 이외에도 대류층 지연(tropospheric delay)이 있다. 이것은 대기의 굴절률(refractive index)이 1보다 크기 때문에 발생하는 것으로 대기 밀도가 높은 지표 부근에서 크게 나타난다. 대류층에 의한 전달 지연을 표시하는 모델의 하나인 Hopfield 모델에 따르면 굴절률  $n$ 인 대기로 인한 지연량은 다음 식(4-4)와 같다.

$$D_{tropo}(h, 90^\circ) = H \frac{n_0 - 1}{5} \left(1 - \frac{h}{H}\right)^5 \quad (4-4)$$

여기에서  $n_0$ 는 지표면의 대기 굴절률이며  $h$ 는 측정점의 고도,  $H$ 는 이 모델에서 고려하는 대류층의 두께로 약 43km 정도가 된다.

고도가 높아질수록 대류층 지연이 작아지게 되는데 이것은 고도가 높아질수록 전파가 통과하게 되는 대류층 구간이 짧아지게 되기 때문이다. 또한 지상에 가까워질수록 대기밀도가 높아지기 때문에 고도의 상승과 함께 지연량은 급속히 작아지게 된다. 대기의 굴절률은  $n$ 은 마이크로파 이하의 주파수에서는 다음과 식(4-5)와 같이 표시된다.

$$n = 1 + \left(77.6 \frac{P_d}{T} + 3.73 \times 10^5 \frac{P_w}{T^2}\right) \times 10^{-6} \quad (4-5)$$

여기에서  $P_d$ [hPa]는 기압,  $P_w$ [hPa]는 수증기압,  $T$ [K]는 절대온도이다.

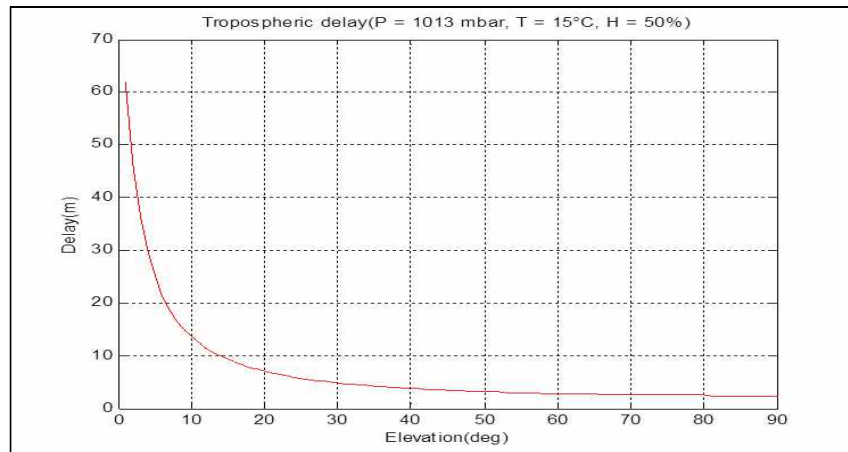
이 외에도 대류층 지연을 예측하기 위하여 여러 가지 모델이 제안되어 있지만, 일반적으로 GPS 수신기에서는 기압이나 기온을 알 수 있는 방법이 없다. 측량용도 등 매우 높은 정확도와 정밀도를 필요로 하는 경우에는 별도로 기상 조건을 측정하여 보정하고 있지만 일반적인 상황에서는 기상 조건을 가정하여 보정하는 것만으로도 충분하다. 이를 위해서 좀 더 간단한 방법으로 여러 가지 기상조건에 대한 대류층 지연량의 평균치를 사용하고 있다. 이를 다음과 같은 단순한 식(4-6) 으로 표현할 수 있다.

$$D_{tropo}(h, 90^\circ) = 2.47(1 - 2.3 \times 10^{-5}h)^5 \quad (4-6)$$

실제로는 전리층 지연의 경우와 같이 위성으로부터의 신호가 천정으로부터 일정한 각도를 두고 경사지게 도달하게 되므로 이에 대한 변환이 필요하다. 이에 대한 결과가 천정 지연과 경사 지연의 관계를 모델링하는 mapping function이다. 이러한 mapping function은 다음 식(4-7)과 같다.

$$D_{tropo}(h, El) = \frac{2.47(1 - 2.3 \times 10^{-5}h)}{\sin El + 0.0121^5} \quad (4-7)$$

이 결과 대류층 지연의 경우 양각이 5도일 때는 천정방향의 10배까지 커지게 된다. 모델을 이용해서 대류층 지연량을 보정하게 되면 보정 오차는 0.5 m 이하라고 알려져 있다. 대류층 지연량은 GPS 수신기의 고도에 따라 변화하기 때문에 DGPS와 같은 보정시스템을 이용하여 데이터를 처리할 경우에는 기준국과 사용자의 고도차를 고려하여 처리해야 한다.



[그림 4-4] 양각에 따른 대류층 지연량 그래프

## 제2절 GPS 신호품질 평가 인자

GPS 신호에 대한 품질정보를 판단하기 위한 평가 인자로는 관측데이터 개수, 사이클슬립, 멀티패스, 위성추적 개수 등이 있다.

### 가. 관측 데이터 개수

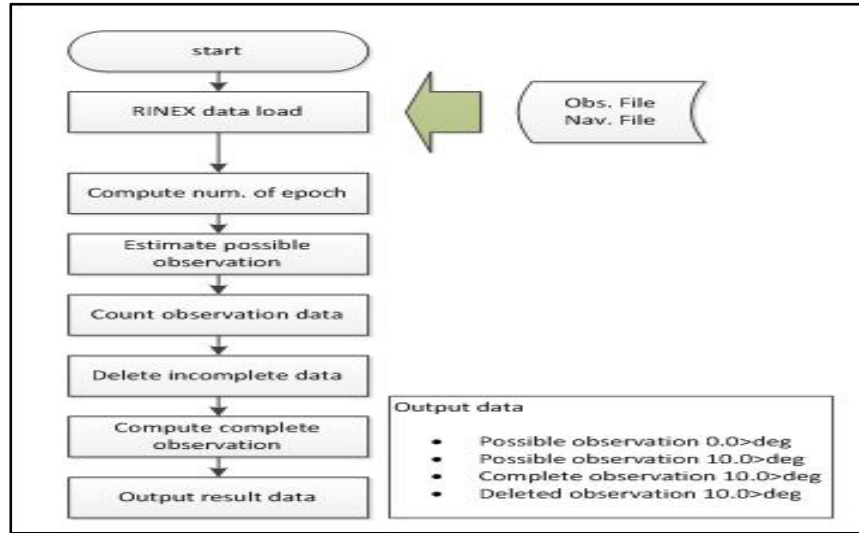
관측 데이터의 개수는 일정 시간 동안 관측한 GNSS 데이터 수를 의미하는데 GPS 기준으로 30초 간격일 때 1일 동안에 통상 2만개~2만5천 개의 관측 데이터를 보인다. 아래 수식은 RINEX obs, nav 파일을 입력으로 예측 데이터 수, 전체 관측데이터 수, 완전한 관측데이터 수, 삭제 데이터 수, mask angle 적용 데이터 수 등을 출력한다.

$$N_{obs} = \sum_{t=0}^n \sum_{k=1}^m obs_{tk} \quad (4-8)$$

여기서,  $n$ 는 관측데이터의 개수이고,  $n$ 는 Epoch,  $m$ 는 관측 위성 수,  $obs$  관측데이터 이다. 식(4-8)은 실제 관측데이터 수를 계산하는 공식이다.

위에서 언급한 바와 같이 예측된 데이터 개수도 산출하여야 하는데 위성의 Ephemeris 데이터를 이용하여 각 epoch별 위성의 위치를 계산하고 이를 이

용하여 관측 가능한 위성의 수를 예측한다. 또한 mask angle을 지정하여 정해진 Elevation 이상의 데이터 수도 계산할 수 있다. [그림 4-6]은 관측데이터 개수 계산 순서도이다.



[그림 4-5] 관측데이터 개수 계산 순서도

#### 나. 다중경로

다중경로는 반사되어 수신기에 도달한 신호와 위성으로부터 직접 도달한 신호가 수신기내부의 신호 추적부에 상호 작용하여 발생하는 오차로써 도심 지역에서 가장 큰 오차요인으로 작용한다. 다중경로 오차는 이중주파수 의사거리 및 반송파 관측치를 이용하여 검출한다. 이중주파수에 의해 계산된 의사거리와 반송파 관측치는 다음 식(4-9),(4-10)과 같이 표시할 수 있는데 코드 의사거리는 다음 식(4-9)와 같이 표시할 수 있다.

$$\rho_i = P + c(dT_{sv} + dT_{rcv}) + dIon + dTrop + MP_{\rho_i} \quad (4-9)$$

그리고 반송파 관측치는 식(4-10)과 같다.

$$\Phi_i = P + c(dT_{sv} + dT_{rcv}) + \lambda_i N_i + dIon + dTrop + MP_{\Phi_i} \quad (4-10)$$

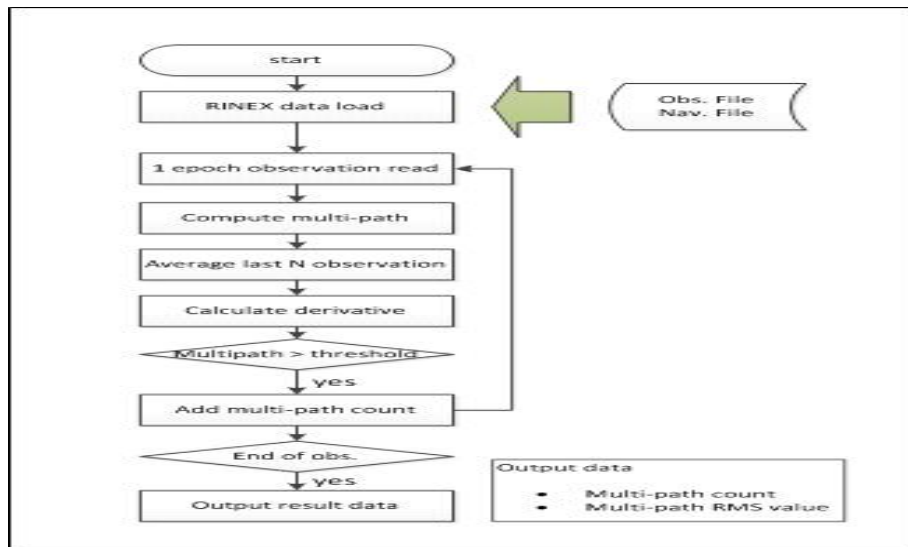
여기서,  $i$  는 L1과 L2 주파수,  $P$  는 실제거리,  $dIon$  은 전리층지연,  $dTrop$  는 대류층지연,  $N$  은 모호정수,  $MP$  는 다중경로 오차이다. 이중주파수 관측치 관계와 전리층 지연 계산식에 의하여 다중경로 오차는 식(4-11),(4-12) 같이 구할 수 있다.

$$MP_1 \equiv \rho_1 - (1 + \frac{2}{\alpha-1})\Phi_1 + (\frac{2}{\alpha-1})\Phi_2 \quad (4-11)$$

$$MP_2 \equiv \rho_2 - (\frac{2\alpha}{\alpha-1})\Phi_1 + (\frac{2\alpha}{\alpha-1})\Phi_2 \quad (4-12)$$

여기서,  $\alpha = \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2$  이다.

위에서 언급한 식을 사용하여 다중경로 오차 계산 순서도는 [그림 4-7]과 같다.

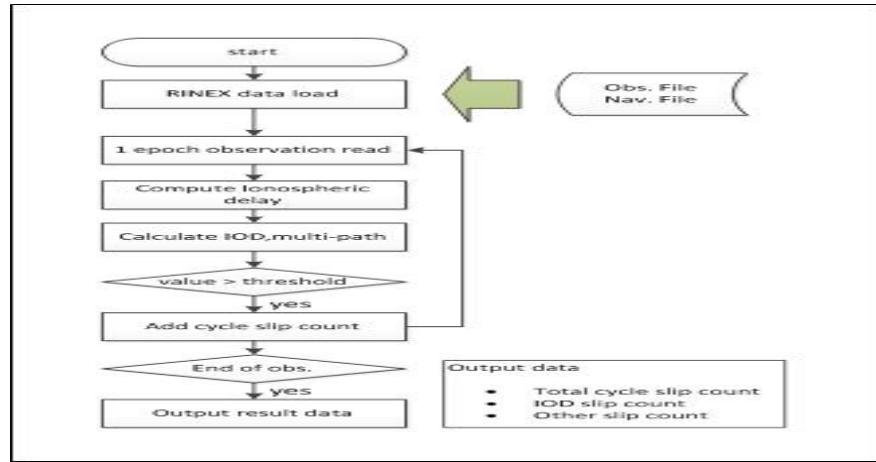


[그림 4-6] 다중경로 오차 계산 순서도

#### 다. 사이클 슬립(Cycle-Slip)

이중주파수에 의한 전리층 지연 오차값을 이용하면 반송파 관측치의 사이클슬립을 검출할 수 있으며 이를 IOD(derivative of Ionospheric delay) 사이클슬립이라고 한다. 식(4-9),(4-10)을 이용하여 식(4-13)과 같이 전리층 지연오차와 IOD를 계산할 수 있고 IOD가 일정한 임계값을 넘으면 사이클 슬립이라고 판정한다.

$$I = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\alpha - 1}, \quad IOD_{slip} = I_{\Phi}(k) - I_{\Phi}(k-1) \quad (4-13)$$



[그림 4-7] 사이클 슬립 판정 순서도

### 제3절 GPS 신호품질 평가기준

GPS 신호를 감시하고 상황 발생시 사용자에게 알리기 위하여 신호 감시 기준을 마련하였다. 먼저 신호 품질 평가 부분은 IGS 가이드라인을 사용하였다. IGS(International GNSS Service)는 1994년부터 높은 품질의 GNSS 데이터를 무료로 제공하는 사이트로서 전 세계 100 개 이상의 국가에서 데이터를 수집하여 정밀한 위성궤도정보 및 관측소 관측데이터를 서비스하는 비영리 기관이며 전 세계 네트워크로 GNSS 상시 관측소를 모니터링 하는 기관이다.

[표 4-1] 상시관측소 품질평가 기준

항목	기준	Reference
Number of Observations	95 % of expected	<i>Recommended Station Guidelines 2.2.24</i>
Multi-path	0.3 m	<i>Recommended Station Guidelines 2.2.25</i>
Cycle-slips	<1 per 1000 observations	<i>Recommended Station Guidelines 2.2.26</i>

GPS 측위 정확도 기준을 도출하기 위해서 미국 GPS 협의체 표준을 적용하였다. 2008년 9월에 미국에서 공식적으로 발표한 GPS Standard Positioning Service(SPS) Performance Standard(4th) 문서에 측위 정확도에 관한 통계 정

보가 기록되어 있다. SS-GPS-300G 문서에 의한 현재의 GPS System의 위치 정확도 통계방식으로 20~ 24개의 모든 가능한 위성의 배치상태의 가중치 조합으로 계산된 DOP은 다음 [표 4-2]와 같다.

[표 4-2] DOP 기준

Percentile	HDOP	VDOP	PDOP
50%	0.945	1.535	1.815
60%	0.985	1.625	1.905
67%	1.015	1.695	1.975
75%	1.055	1.795	2.075
80%	1.095	1.865	2.155
90%	1.205	2.085	2.325
95%	1.315	2.305	2.605
97%	1.405	2.475	2.795
98%	1.485	2.625	2.945
99%	1.655	2.925	3.305
99.90%	2.655	5.055	5.595

미국은 이 문서에서 GPS 시스템 에서 위치 정확도 통계로 DOP 값의 99% 가용성을 적용하여 측위 정확도 통계를 계산하였다. 따라서 [표 4-2]을 이용하여 다음 식(4-14), (4-15)로 위치정확도를 예측 할 수 있다.

$$\text{Horizontal R95} = UERE \times HDOP \times 1.73 = UERE \times 1.655 \times 1.73 \quad (4-14)$$

$$\text{Vertical R95} = UERE \times VDOP \times 1.96 = UERE \times 2.925 \times 1.96 \quad (4-15)$$

문서를 참고하여 계산해보면 현재의 GPS system SPS의 UERE는 1-sigma 4.8m이고 UEE(2.6m 1-sigma)는 95% 5.0m으로 추정, 따라서 식에 대입하면 Horizontal R95 = 13.7 m 95%, Vertical L95 = 27.5 m 95% 로 계산된다. 이는 전세계 어디서든 시간에 상관없이 위와 같은 위치정확도가 나올 확률이 95% 라는 의미이다.

정상 조건의 기준은 가용 위성수 5개 이상, 품질정보는 IGS 기준값, 위치정확도는 미국 기준 문서를 적용하여 H: 6.35m, V: 13.7m 로 설정하였다.

[표 4-3] GPS 신호두절 감시 기준

상 태	조 건
정 상	<ul style="list-style-type: none"> <li>가용위성수 &gt; 5</li> <li>품질정보 &lt; IGS 기준값</li> <li>위치정확도 &lt; 기준값</li> </ul>
관 심	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>4 \leq \text{가용위성수} \leq 5</math></li> <li><math>\text{IGS 기준값} &lt; \text{품질정보} &lt; \text{IGS 기준값} * 1.2(64\%)</math></li> <li><math>\text{기준값} \leq \text{위치정확도} &lt; \text{기준값} * 2.4(95\%)</math></li> </ul>
주 의	<ul style="list-style-type: none"> <li>가용위성수 = 4</li> <li><math>\text{IGS 기준값} * 1.2(64\%) &lt; \text{품질정보} &lt; \text{IGS 기준값} * 2.4(95\%)</math></li> <li><math>\text{기준값} * 2.4(95\%) \leq \text{위치정확도} &lt; \text{기준값} * 3.6(95\%)</math></li> </ul>
경 고	<ul style="list-style-type: none"> <li>가용위성수 &lt; 4</li> <li><math>\text{IGS 기준값} * 2.4(95\%) &lt; \text{품질정보} &lt; \text{IGS 기준값} * 3.6(95\%)</math></li> <li><math>\text{위치정확도} \geq \text{기준값} * 3.6(95\%)</math></li> </ul>

## 제5장 GPS 신호 모니터링 체계 구축 방안

본 연구에서는 태양흑점폭발 등 우주전파환경 변화에 의한 GPS 신호 상태를 실시간 모니터링 하기 위한 방안 마련하고자 한다. GPS 신호 모니터링 체계 구축을 위해서는 GPS 신호품질 분석모델, 전리층 교란 감시모델, GPS 신호두절 감시모델 등의 개발이 필요하다. GPS 신호품질 분석모델은 정상적인 GPS 신호 수신을 위한 기본적인 신호 특성을 분석하는 모델이고 전리층 교란 감시모델은 태양활동 변화에 의한 전리층 상태를 분석하는 모델이며, GPS 신호두절 감시모델은 지역별 GPS 위치오차 상태를 실시간 모니터링 하기 위한 분석모델이다.

### 제1절 GPS 신호품질 분석모델 개발 방안

GPS 신호품질 분석모델은 GPS 신호품질 평가 인자에 대해 실시간 분석이 필요하다. GPS 신호품질 평가 인자인 관측데이터 개수, 사이클슬립, 다중경로에 대한 분석 및 통계를 통해 GPS 신호가 정상인지를 확인되어야 한다.

첫 번째로 관측데이터 개수는 30초 주기로 관측된 데이터가 1일 동안의 개수를 관측하였는지에 대한 통계 분석이 필요하다. 통상 1일 동안 2만~2만5천 개 데이터가 관측되며 IGS 기준에 따르면 1일 관측데이터 개수가 95% 이상이 되어야 해당 GPS 관측소의 관측데이터가 신뢰할 수 있다고 정의하고 있다.



[그림 5-1] GPS 관측소 신호품질 분석모델 개발 방안

두 번째로 다중경로 오차에 대해서는 IGS 기준에 따르면 1일간 관측된 데이터를 평균하여 0.3m 이상이 되어야 한다고 정의하고 있다. 세 번째로 사이클슬립 발생에 대한 IGS 기준에 의하면 1,000 관측데이터 기준으로 1개 이하이어야 한다고 정의하고 있다.

따라서 GPS 신호품질 분석모델은 IGS 기준에 의한 관측데이터 개수, 다중경로 오차, 사이클슬립에 대한 통계 분석이 지속적으로 이루어져야 한다.

## 제2절 전리층 교란 감시모델 개발 방안

전리층 교란 감시모델은 태양폭발 등으로 인한 전리층 전자밀도 분포가 실시간 감시되어야 하며, 전리층 변화에 의한 GPS 신호 수신세기 및 위성포착 개수가 분석되어야 한다.

첫 번째로 태양흑점폭발 등에 의한 전리층의 전자밀도 상승은 GPS 신호를 왜곡시키게 되어 위치오차를 증가시키는 요인이 되므로 이를 실시간 분석할 수 있어야 한다. 두 번째로 GPS 신호 수신세기 분석은 태양흑점폭발로 인해 광대역 전자파가 지구로 유입되는데, GPS 대역의 전자파가 유입될 경우 GPS 수신기의 잡음을 증가시켜 GPS 신호 복원시 오류를 유발시키는 요인이 되므로 이를 분석할 수 있어야 한다. GPS L1 신호 신호대잡음비는 44dB, L2 신호의 신호대잡음비는 34dB가 평균적인 기준이며, 통상 L1의 신호대잡음비가 3dB, L2의 신호대잡음비가 8.2dB 이상 감소 될 경우 신호복원에 이상이 있는 것으로 알려져 있으므로 이에 대한 분석이 필요하다.



[그림 5-2] 전리층 교란 감시모델 개발 방안

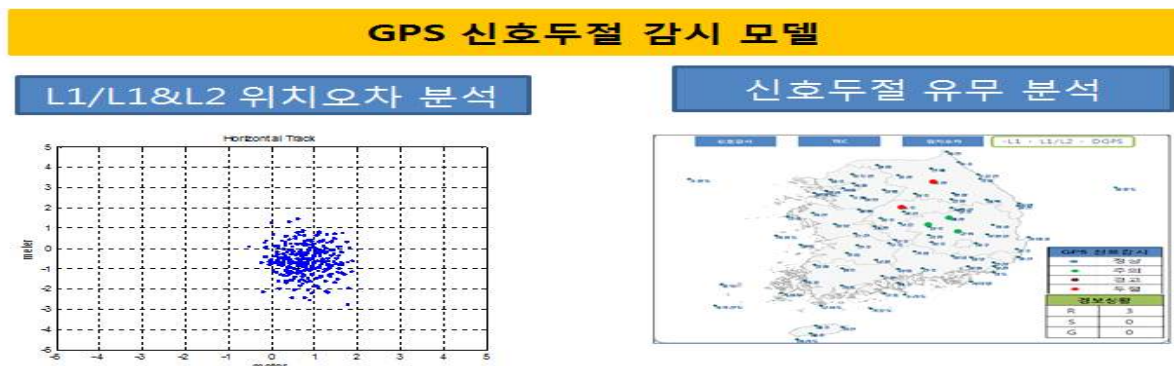
세 번째는 위성포착 개수 분석은 GPS 측위를 위해서는 4개 이상의 위성이 포착되어야 한다. 통상 7~8개의 위성이 포착되지만 4개 미만으로 포착될 경우 정확한 측위가 이루어지지 않으므로 이에 대한 분석이 필요하다.

### 제3절 GPS 신호두절 감시모델 개발 방안

GPS 신호두절 감시모델은 GPS 사용자 및 서비스 제공자에게 태양활동에 따른 위치오차 변화를 실시간 모니터링 할 수 있도록 개발되어야 한다. 이를 위해서는 L1 및 L2 오차, 지역별 위치오차 등이 실시간 제공되어야 한다.

L1 신호의 경우 네비게이션 등 일반사용자가 이용하고 있고 L1&L2 신호의 경우 정밀 측위 및 군 등에서 사용되고 있으므로 이러한 사용자를 위한 실시간 모니터링 모델이 개발되어야 한다.

GPS 신호두절 기준은 미국 GPS 협의체(NEC) 표준을 적용하였으며, L1 신호 기준으로 수평 6.35m, 수직 13.7m를 기준으로 하였다. GPS 신호두절은 정상, 관심, 주의, 경고 4단계로 구분하였다. 정상단계는 포착위성 개수 > 5개, 품질정보 < IGS 기준값, 위치정확도 < 기준값이고, 관심단계는 4개 ≤ 포착위성 개수 ≤ 5, IGS 기준값 < 품질정보 < IGS 기준값 × 1.2, 기준값 ≤ 위치정확도 < 기준값 × 2.4이다. 주의단계는 포착위성 개수 = 4개, IGS 기준값 × 1.2, 기준값 < 품질정보 < IGS 기준값 × 2.4, 기준값 × 2.4 ≤ 위치정확도 < 기준값 × 3.6이고 경고단계는 포착위성 개수 < 4개, IGS 기준값 × 2.4, 기준값 < 품질정보 < IGS 기준값 × 3.6, 위치정확도 ≥ 기준값 × 3.6이다. 또한 지역별로 태양활동에 따른 GPS 신호의 이상 유무를 지도상에 표현되어야 한다.



[그림 5-3] GPS 신호두절 감시모델 개발 방안

## 제6장 결 론

GPS 신호를 이용한 항법서비스 활용범위는 점차 증가하고 있는 추세이나 국내에서는 GPS 서비스 사용자를 위한 신호 모니터링 서비스가 미미한 상태이다. 특히 태양흑점폭발에 의한 전리층을 교란은 GPS 위치오차에 가장 큰 영향을 미치므로 이에 대한 상관연구 및 모니터링 체계 구축이 요구된다.

따라서 본 연구를 통해 태양흑점폭발에 의한 GPS 신호 영향을 분석하고 실시간 GPS 신호 모니터링 서비스를 위한 방안을 제시하고자 한다.

우선 태양흑점폭발로 인한 우주환경 정보 중 GPS 신호에 영향을 미치는 전파두절정보 및 지자기정보에 따른 GPS 신호 영향을 분석하였다. 분석결과 전파두절정보의 경우 X선 유입은 짧은 시간 전리층 이온화를 가속시켜 전리층 전자밀도를 증가시키며, 이로 인해 GPS 신호가 전리층을 통과할 때 신호왜곡이 발생되어 위치오차를 증가시키게 된다. 낮 시간대에 전파두절정보가 발생하면 위치오차가 크게 발생되지만 밤 시간대에는 영향이 미미한 것으로 나타났다. 또한 지자기정보의 경우에는 태양흑점폭발로 인해 발생한 태양풍이 지구로 유입되면서 전리층의 플라즈마 성분을 동반하여 이동시키면서 지역별 전리층 전자밀도 분포가 비균일하게 형성되어 GPS 신호왜곡을 발생시킨다. 그러나 지자기정보에 의한 GPS 위치오차 증가는 전파두절정보와는 달리 시간대에 상관없이 발생하는 것으로 나타났다.

그리고 GPS 신호품질을 평가하기 위한 평가인자 도출 및 기준은 IGS 표준을 토대로 마련하였다. GPS 신호품질 평가 인자는 관측데이터 개수, 다중경로, 사이클슬립이 있다. 관측데이터수는 30초 주기의 관측데이터의 1일 관측개수가 95%이상이어야 하고 다중경로는 1일 관측개수에 대해 평균 0.3m 이내이어야 하며 사이클슬립은 1,000 관측 데이터기준으로 1개 이하가 되어야한다. GPS 신호두절 감시 기준은 미국 GPS 서비스 표준을 토대로 위성포착개수, 품질정보(1일 관측데이터 개수, 다중경로, 사이클슬립), 위치정확도를 기준으로 하였다.

또한 태양흑점폭발 등 우주전파환경 변화에 의한 GPS 신호 상태를 실시간 모니터링 하기 위해 GPS 신호품질 분석모델, 전리층 교란 감시모델, GPS 신호두절 감시모델이 필요하다. 1일 데이터 개수, 다중경로 오차 등 품

질인자를 분석하는 GPS 신호품질 분석 모델을 제시하였고, 전자밀도 분포나 위성포착 개수 등 전리층 교란을 감시하는 모델과 L1 및 L1&L2에 대한 위치오차를 분석하는 GPS 신호두절 감시모델을 제시하였다.

본 연구를 통해 제시된 GPS 신호 모니터링 체계는 GPS 서비스 기관(위성항법사무소, 국토지리정보원 등) 뿐만 아니라 일반 GPS 사용자도 용이하게 모니터링 할 수 있어 GPS 운용에 유용하게 사용될 것으로 사료된다.

## [참고문헌]

- [1] Y.Norsuzila, M. Ismail, M. Ibrahim, Z. Zakaria, Total Electron Content(TEC) and Estimation of Positioning Error Using Malaysia Data, Proceedings of the World Congress on Engineering 2010 Vol I, 2010
- [2] Lars Dyrud, Aleksandar Jovancevic, Andrew Brown, Derek Wilson, and Suman Ganguly, Ionospheric Measurement with GPS, Center for Remote Sensing, Inc.2007
- [3] Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces, Navstar Global Positioning System, IS-GPS-200,2004
- [4] 김경희, 박관동, 국토해양부 GPS 상시관측소를 활용한 한반도 전리층의 총전자수 추정, 한국지형공간정보학회지 제17권 제1호, 2009.3
- [5] D.Han, H.Yun & C.Kee, Modeling of Ionospheric Delay for SBAS Using Spherical Harmonics Functions, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, vol7, num2, 2013
- [6] Steve Taylor Yu Morton, Yu Jiao, Jeffery Triplett, An Improved Ionosphere Scintillation Event Detection and Automatic Trigger for A GNSS Data Collection System, International Technical Meeting of The Institute of Navigation, 2012
- [7] 최병규, 조성기, 이상정, 전리층 TEC를 이용한 GPS 수신기와 위성의 DCB 추정, J.Astron. Space Sci. 26(2), P221-228, 2009
- [8] 박성경, 강창언, 단일 주파수 GPS 사용자에서의 전리층 전파특성 분석, 전자파기술 제5권 제1호, 1994
- [9] 우주기상 예보를 위한 우주기상 예측모델 개발, 경희대학교산학협력단, 2010
- [10] 김민찬, 이지윤, 종합적 품질평가 기법을 이용한 국내 GPS 상시 관측소의 데이터 품질 분석, 한국항공우주학회 제 41권 제8호, 2013.9, pp689-699

- 
- [11] 최병규, 박종욱, 박필호, 한반도 상공의 준실시간 전리층 모델 개발, 제11차 GNSS Workshop, 2004.11.5.
  - [12] 이창문, 김지혜, 박관동, Differential Code Bias를 고려한 한반도 전리층 총전자수 지도 생성, 한국측량학회지, 제 29권 제3호, 2011.6 , pp293~301
  - [13] 우주전파환경서비스 시스템 개선방안 연구, 연구보고서 2007-10
  - [14] GPS를 이용한 준실시간 전리층 모델 개발(II), 2005.12, 한국천문연구원



---

## 전리층 변화에 따른 GPS 신호 특성 분석 연구

---



520-350 전남 나주시 빛가람로 767

발 행 일 : 2014. 12.

발 행 인 : 최 영 진

발 행 처 : 미래창조과학부 국립전파연구원

전 화 : 061) 338-4416

인 쇄 : 리드릭

Tel. 02) 2269-1919

---

<비매품>

ISBN : 979-11-5820-007-7

### 주 의

1. 이 연구보고서는 국립전파연구원에서 수행한 연구결과입니다.
2. 이 보고서의 내용을 인용하거나 발표할 때에는 반드시 국립전파연구원 연구결과임을 밝혀야 합니다.