

우주전파환경 연구기반 강화 I

2008. 12. 31.

전 파 연 구 소

제 출 문

본 보고서를 「우주전파환경 연구기반 강화 I」 과제의 최종
보고서로 제출합니다.

2008. 12. 31.

연구책임자 : 김 영 규(전파연구소 이천분소)

연구원 : 허 영 태(전파연구소 이천분소)

한 진 욱(전파연구소 이천분소)

홍 순 학(전파연구소 이천분소)

유 석 원(전파연구소 이천분소)

이 중 일(전파연구소 이천분소)

유 충 현(전파연구소 이천분소)

요 약 문

유선통신 시대에는 태양폭발로 인한 피해가 크지 않았으나, 무선통신 환경에서는 심각한 피해로 사회·경제적 문제를 초래 할 수 있다.

전파 예·경보 업무는 전파연구소 개소와 더불어 시작한 연구소 고유 업무로 우주전파환경변화가 통신에 미치는 영향을 수치화함으로써 안정적인 통신 이용에 기여해 왔다. 정보통신의 발달로 인하여 전파 예·경보 업무에 활용되었던 분류 기준이 모호해짐에 따라 관측모델에 대한 검증, 예·경보 가이드 마련, 태양전파 간섭으로 인한 무선서비스의 영향에 대한 연구의 필요성이 대두되었다.

따라서 본 연구에서는 우선, 노후된 관측자료 서버 교체, 웹을 통한 자체 관측자료 제공 및 관측자료 분석 프로그램을 개발하였다. 또한 우주전파환경 예·경보 서비스를 개선하기 위해 우주전파환경 예보기준 마련 및 금년도 경보 발생빈도 조사, 전파예보 서비스 개선, 추분기 인공위성 일식 측정, 우주전파환경 홍보 동영상 제작 및 우주전파환경 예·경보 가이드를 마련 하였다.

그리고 태양폭발 시 태양전파 간섭으로 발생하는 무선서비스 장애로 인한 피해 최소화를 위해 무선통신 장애 간섭분석 연구를 수행하였다. 먼저 태양폭발이 주요 무선서비스에 영향을 줄 수 있는 태양폭발의 강도 및 과거 관측 자료를 통계·분석하였으며 태양폭발로 인한 무선서비스에 영향을 검증할 수 있도록 태양전파 노이즈 신호발생기와 블루투스를 제작하였다. 또한 이를 토대로 태양폭발이 무선서비스에 실제로 어느정도 영향을 미치는지 이동통신 단말기와 블루투스 장비를 가지고 통화품질에 대한 영향과 전송오류에 대한 시험을 수행하였다.

마지막으로 과거 약 10년간의 안양 전리층 관측기의 관측 자료와 국제 전리층모델(IRI)의 모델링 결과를 비교하여 한반도 지역에서의 IRI 모델 정확도를 검증해 보고 우리나라 전리층 예보수단으로서의 적용 가능성을 확인하였다. 이를 위해 관측된 여러 전리층 파라미터 중 F2층 최고 파라미터의 변화현상에 대해 분석하고 이를 IRI 모델의 최신 버전인 IRI-2007의 예측치와 비교하였다.

향후, 우주전파환경 분석능력 극대화 등 연구기반 강화를 추진하고 관련 기관 및 대국민에게 신뢰성 있는 예·경보서비스를 제공하고자 한다.

SUMMARY

In wire-communication world, there are no many extensive damages by solar bursts. But it has a serious effect on society and economy in wireless-communication era.

Space weather forecast is the major function of Radio Research Agency(RRC) which was started from the time of its securing reliable (earth/space) radio communication services by studying the space environment affect the radio communication systems and providing the space weather service for the public. Due to the rapid evolution of the radio communication technology these day, the criteria which were used in issuing "warnings and alerts" of space weather need to be rebuilt, and the observation systems and the internet space environment service system had to be modernized.

In this study, we fixed many problems with the old observation systems and developed software programs for analysing the observed data. And we review the state of current understanding of the potential for interference and interruption of service of wireless communications systems due to solar radio bursts. Behaviors of the observed F2 peak parameters are investigated and compared with IRI-2007 predictions. For the observation data, monthly median averaged values of F2 peak parameters are used obtained with DGS-256 and DPS-4D ionosonde at Anyang. Generally IRI predictions follow well the diurnal and seasonal variation patterns of the experimental values of foF2, NmF2 and hmF2 through all the period, needless to say on the variation pattern with solar activity cycle itself. However, there are systematical deviation between experimental values and IRI predictions. IRI model show a tendency to overestimate the values of foF2 and NmF2 in the daytime and slightly underestimate them at night except for solar maximum.

We are planning to conduct a reliable space weather prediction service for the public within a few years by using those our study results.

목 차

제1장 서론

제2장 우주전파환경 예·경보 역량 강화

제1절 관측자료 서버 교체 및 개선

1. 관측자료 서버 교체
2. 웹을 통한 자체 관측자료 제공
3. 관측자료 분석 프로그램 개발

제2절 우주전파환경 예·경보 서비스 개선

1. 우주전파환경 예보기준 개선 및 발생빈도
2. 전파예보 서비스 개선
3. 추분기 인공위성 일식 측정
4. 우주전파환경 홍보 동영상 제작
5. 우주전파환경 예·경보 가이드

제3절 우주전파환경 예·경보 업무 매뉴얼

1. 우주전파환경 소개
2. 우주전파환경 예보서비스 업무처리 절차
3. 관측시설 현황
4. 관측자료 수집 및 분석방법
5. 예·경보 발령기준 및 상황전파

제3장 태양전파로 인한 무선통신 장애분석

제1절 개요

제2절 태양전파 관측자료 통계 분석

제3절 태양전파 노이즈 발생기 제작

제4절 태양전파로 인한 이동통신 단말기 장애분석

제5절 태양전파로 인한 블루투스 장애분석

제6절 결론

제4장 국제전리층모델(IRI)의 국내 정확도 분석연구

제1절 개요

제2절 연구 방법

1. 국내 전리층 관측현황
2. 관측자료 및 연구방법 소개
3. 국제전리층모델(IRI) 및 주요 전리층 모델

제3절 국내 관측자료와 IRI 예측값과의 비교결과 분석

1. 전리층의 주기적 변화현상 분석
2. F2층 임계주파수(f_oF2) 및 최대 전자밀도(N_mF2) 비교
3. F2층 최대 전자밀도의 고도(h_mF2) 비교

제4절 결론

제5장 결론 및 향후 개선방향

참고문헌

[부록1] F2층 임계주파수(f_oF2) 비교 그래프

[부록2] F2층 최대 전자밀도의 고도(h_mF2) 비교 그래프

표 목 차

- [표 2-1] 태양전파 폭발의 분류 및 특징
- [표 2-2] 전리층 관측을 위한 주요 용어
- [표 2-3] 미국 SWPC의 우주전파환경 경보 분류
- [표 2-4] 우주전파환경 경보 기준
- [표 2-5] 우주전파환경 예보 기준(안)
- [표 2-6] 우주전파환경 경보 발령 빈도
- [표 2-7] 무궁화위성 3호에 대한 태양일식
- [표 2-8] 무궁화위성 5호에 대한 태양일식
- [표 2-9] 우주전파환경 홍보 동영상의 주요내용
- [표 3-1] 태양폭발 총 발생 건수('60년~'99년)
- [표 3-2] 태양폭발이 1,000 sfu 이상 발생한 건수('60년~'99년)
- [표 3-3] 태양폭발에 영향을 받을 만한 주요기기
- [표 3-4] 태양전파 출력파형 보정 테이블
- [표 4-1] 한반도 전리층 종합 관측체계
- [표 4-2] 전파연구소의 전리층 관측장비(Ionosonde) 사양
- [표 4-3] 관측자료 정보
- [표 4-4] 전리층 모델 분류표

그 립 목 차

- [그림 2-1] 관측자료 서버 교체
- [그림 2-2] 관측자료 서버의 기능 개선
- [그림 2-3] 우주전파환경 예보지수 - 예시
- [그림 2-4] 태양전파 연속 스펙트럼 관측 - 예시
- [그림 2-5] 지자기 K 지수 - 예시
- [그림 2-6] 태양전파 2.8GHz 관측 - 예시
- [그림 2-7] 전리층 관측 - 예시
- [그림 2-8] 관측자료 분석 프로그램 main 화면 - 예시
- [그림 2-9] 태양전파 연속 스펙트럼 분석 - 예시
- [그림 2-10] 지자기 관측자료 분석 - 예시
- [그림 2-11] 태양전파 2.8GHz 관측자료 분석 - 예시
- [그림 2-12] 전리층 관측자료 분석 - 예시
- [그림 2-13] SWPC 조직도
- [그림 2-14] 춘추분기 인공위성 일식 개요도
- [그림 2-15] 서울기점 태양 고도 및 방위각
- [그림 2-16] 위성일식 측정 시스템
- [그림 2-17] 위성일식에 의한 화면 깨짐 현상
- [그림 2-18] 태양 표면의 자기장 꼬임으로 인한 흑점 발생
- [그림 2-19] 플레어 폭발
- [그림 2-20] 코로나 물질 방출
- [그림 2-21] 지구의 자기장과 충돌로 인한 오로라 발생
- [그림 2-22] 전파연구소 홍보관
- [그림 2-23] 우주전파환경 홍보 판넬 전시
- [그림 2-24] 우주전파환경 홍보 동영상 시연
- [그림 2-25] 태양활동이 지구에 미치는 영향
- [그림 2-26] 우주전파환경 예·경보 시스템
- [그림 2-27] 관측자료 수집 시스템 구성도

[그림 2-28] 관측자료 수집 및 처리 구성도

[그림 2-29] 태양전파폭발 유형

[그림 3-30] 2.8GHz 태양전파 플럭스와 태양 흑점수와의 상관관계

[그림 3-1] 태양폭발로 발생하는 태양전파의 스펙트럼

[그림 3-2] 태양폭발 세기별 빈도수

[그림 3-3] 연도별 혼신건수 중 자연소멸 된 확률

[그림 3-4] 태양전파 특성

[그림 3-5] 태양전파 노이즈 발생기 출력 파형

[그림 3-6] 태양전파 노이즈 발생기 블록도

[그림 3-7] 태양전파 노이즈 발생기 세부 블록도

[그림 3-8] 태양전파 노이즈 발생기 Power Budget Simulation

[그림 3-9] 태양전파 노이즈 발생기

[그림 3-10] 태양전파 노이즈 발생기 출력 테스트

[그림 3-11] 태양전파 노이즈 신호발생기 출력파형

[그림 3-12] 태양전파 노이즈 출력 설정치와의 편차

[그림 3-13] ACPR값 비교

[그림 3-14] 외부 노이즈 변화에 따른 ACPR값 비교

[그림 3-15] 채널전력 값 비교

[그림 3-16] 점유주파수 대역폭 값 비교

[그림 3-17] Code Domain값 비교

[그림 3-18] 변조특성 Rho 값 측정

[그림 3-19] 변조특성 값 비교

[그림 3-20] 1.8 GHz 이동통신 단말기의 장애분석 시험 구성도

[그림 3-21] 안테나 기지국을 통한 송신전력 측정

[그림 3-22] 챔버내에서 800 Mhz 이동통신 단말기 장애시험

[그림 3-23] 1,000,000 SFU 이상에서 FER값

[그림 3-24] 1,995,262 SFU에서 통신이 끊기는 시점의 FER값

[그림 3-25] 제작된 블루투스의 PCB

[그림 3-26] 제작된 블루투스

[그림 3-27] 설계주파수 내에서 성능결과
[그림 3-28] 단일 채널에서 출력파형
[그림 3-29] 블루투스의 거리별 공간 감쇄량 측정
[그림 3-30] 송신기와 수신기의 거리별 공간 감쇄량
[그림 3-31] 블루투스 장애분석 시험 구성
[그림 3-32] 수신기의데이터 오류 검출부
[그림 3-33] 1초에 4개이상 전송 오류가 발생하는 시점(1m 거리)
[그림 3-34] 음성이 실재로 끊기는 것을 귀로 느낄 수 있는 시점(1m 거리)
[그림 3-35] 음성데이터를 귀로 듣기에 괴로운 시점(1m 거리)
[그림 3-36] 블루투스의 송수신이 완전히 끊기는 시점(1m 거리)
[그림 3-37] 1초에 4개이상 전송 오류가 발생하는 시점(3m 거리)
[그림 3-38] 음성이 실재로 끊기는 것을 귀로 느낄 수 있는 시점(3m 거리)
[그림 3-39] 음성데이터를 귀로 듣기에 괴로운 시점(3m 거리)
[그림 3-40] 블루투스의 송수신이 완전히 끊기는 시점(3m 거리)
[그림 4-1] Ionosonde 관측시스템 및 관측원리
[그림 4-2] 의미있는 편차값인 $\Delta f_oF2'$ 의 산출 방법
[그림 4-3] IRI 모델링 결과 (NmF2, TEC, hmF2)
[그림 4-4] ICR 모델링 결과
[그림 4-5] VOACAP 모델링 결과
[그림 4-6] WBMOD 모델링 결과
[그림 4-7] 계절별 특정일의 foF2 일일변화
[그림 4-8] 계절별 월평균 foF2의 일일변화
[그림 4-9] 중위도 계절변화 특이현상
[그림 4-10] foF2 월평균 일일변화 그래프
[그림 4-11] foF2의 변화와 태양흑점수와의 관계
[그림 4-12] 10년간 안양 foF2 월평균값의 변화 그래프
[그림 4-13] 관측된 foF2 월평균 일변화의 10년 누적 그래프
[그림 4-14] 관측된 hmF2 월평균 일변화의 10년 누적 그래프
[그림 4-15] foF2 월평균 일변화의 10년 누적 그래프

[그림 4-16] foF2 월평균값의 관측값과 IRI 모델값 비교

[그림 4-17] foF2 모델값과 관측값간의 편차

[그림 4-18] hmF2 월평균 일변화의 10년 누적 그래프

[그림 4-19] hmF2 모델값과 관측값간의 편차

제1장 서론

본격적인 유비쿼터스시대의 도래 및 전파기반 서비스의 증가에 따라 태양전파, 전리층 등 우주전파환경 연구의 중요성은 증대되고 있다. 실제로 태양폭발 등 급격한 우주전파환경 변화는 지상무선통신 장애, 인공위성의 운용 및 위성체 손실, 우주-지구간 통신두절 등에 막대한 영향을 미치고 있으며, 모든 기기와 사물이 유무선 네트워크로 연결된 유비쿼터스화 환경에서는 물리적, 경제적 피해가 사회전반으로 확산될 우려가 있다. 따라서 2012년 태양활동 극대기 대비 사회적 피해 최소화과 안정적인 유비쿼터스 환경 구현을 위해 우주전파환경 연구역량 강화가 필요하다.

본 연구에서는 우주전파환경 연구기반 강화를 위하여 2장에서 우주전파환경 관측자료 서버 교체를 통해 데이터저장 공간 확보·웹을 통한 자체 관측자료 제공 및 관측자료 분석 프로그램을 개발하였다. 또한 우주전파환경 예·경보 서비스를 개선하기 위해 우주전파환경 예보기준(안) 마련 및 금년도 우주전파환경 경보 발생빈도 조사, 전파예보 서비스 개선, 추분기 인공위성 일식 측정, 우주전파환경 홍보 동영상 제작 및 우주전파환경 예·경보 가이드를 마련하였다.

3장에서는 태양폭발이 주요 무선서비스에 영향을 줄 수 있는 태양폭발의 강도 및 과거 관측자료를 통계·분석하였으며, 태양폭발로 인한 무선서비스에 영향을 검증할 수 있도록 태양전파 노이즈 발생기 제작하였다. 또한, 태양전파로 인한 이동통신 단말기 장애분석 시험을 통하여 실제로 어느정도의 폭발이 이동통신 통화품질에 영향을 주는지 검증하였으며, 태양전파로 인한 블루투스 장애분석 시험을 통하여 블루투스 통신이 어느정도의 폭발에 영향을 받는지를 검증하였다.

마지막으로 4장에서 전리층 관측자료와 IRI 모델링 결과를 비교하고 그 정확도를 분석하여 IRI 모델을 국내 전리층 예보의 수단으로 사용하는 것이 적당한지 여부를 판별하였다. 이를 위하여 1998년부터 2008년까지의 10년간의 안양 전리층 관측자료를 통해 2007년에 끝난 지난 태양활동주기의 한 주기(11년)의 대부분에 대해 관측자료와 최신 IRI모델인 IRI-2007로 모델링한 결과를 비교하였다.

향후, 본 연구를 바탕으로 더욱 심도 있는 연구를 통하여 국제수준에는

미흡한 실정에 있는 우주전파환경 변화에 대한 관측·분석능력 향상시키고, 방송 및 통신서비스 등의 피해 최소화를 위한 예·경보 서비스의 고도화로 통신사업자, 위성체사업자 등 관련기관에 신뢰성 있는 예·경보 서비스를 제공하고자 한다.

제2장 우주전파환경 예·정보 역량 강화

제1절 관측자료 서버 교체 및 개선

1. 관측자료 서버 교체

우주전파환경 관측장비들은 제주, 안양, 용인 등 원거리에 설치되어 있고, 각 시스템별 정상동작 유무를 확인하기 위해서는 많은 시간이 소요됨에 따라 실시간 관측자료의 안정적인 취득과 효율적 감시 시스템 구축을 통해 체계적이고 신속한 우주전파환경 정보서비스 제공하기 위해 필요하다.

우주전파환경 관측자료 시스템 서버는 '95년 도입되어 노후로 인한 성능 저하 및 이용 효율이 급격히 떨어져 서버교체가 필요하고, 우주전파환경 관측데이터를 저장할 추가적 공간 확보 필요하다. 또한 우주전파환경 관측자료를 정밀 분석하기 위해 소프트웨어 개발이 필요하였다.

또한, 과거 수십 년간 축적해온 전리층, 지자기, 태양전파 관측자료의 신속한 처리와 관측자료의 안정적 관리, 운용을 위해 저장공간(3TByte)을 확보하였고, 자료의 안정적 보관을 위해 자동 백업기능도 추가하였다.



(a) 모니터



(b) 저장장치



(c) 저장장치 구성품



(d) 제어장치



(e) 제어장치 구성품



(f) 무정전전원장치

[그림 2-1] 관측자료 서버 교체

기존 관측 자료서버는 저장 및 감시 기능의 혼재와 관측 자료 저장 공간이 부족하여 자체 관측 자료의 분석 및 통합 관리의 효율을 높이고자 신규 시스템으로 대체하였다.

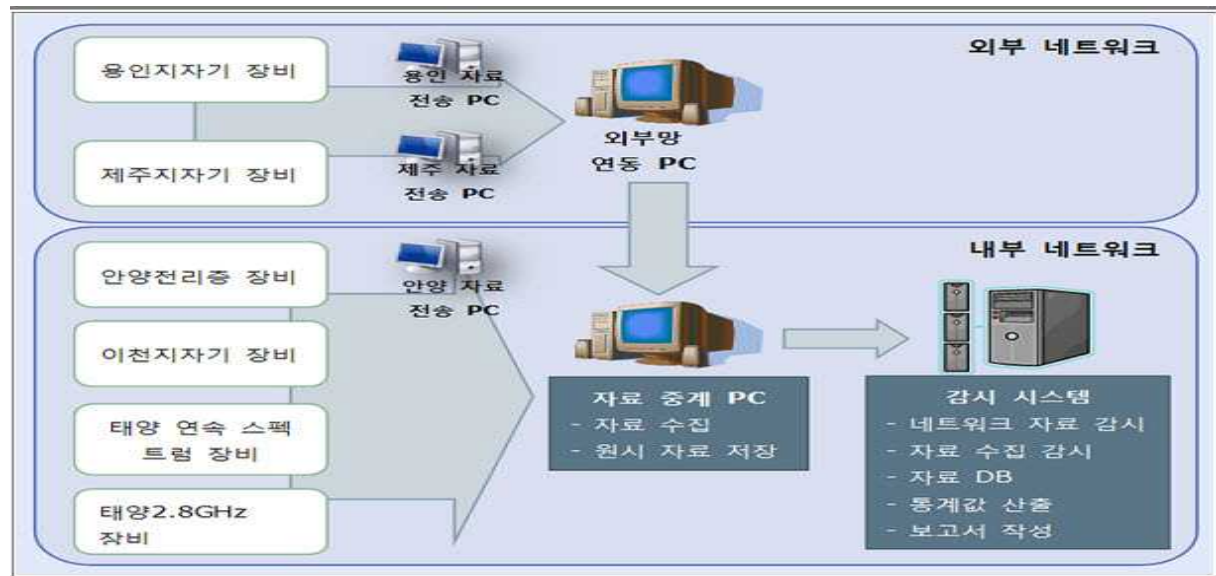
신규 관측 자료서버는 관측 자료의 저장 기능과 감시 기능을 분리하여 구축함으로써 향후 안정적인 관측자료 취득과 동시에 시스템의 기능을 체계화하여 양질의 우주전파환경 대국민 서비스를 제공하고자 하였다.

H/W 측면에서 기존 운용되고 있는 시스템에 신규로 RAID 서버 1대와 UPS 및 RACK을 추가하여 인터페이스를 통합·구성하였다.

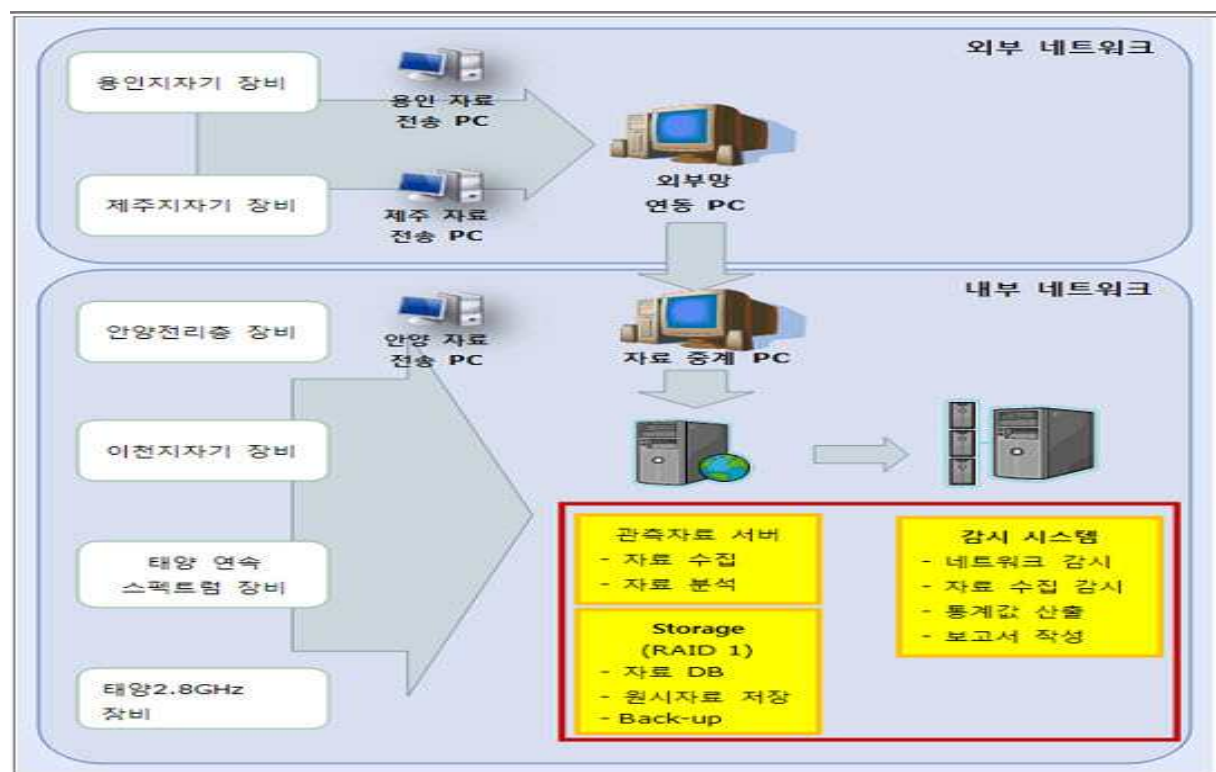
S/W 측면에서 우주전파환경 경보 발령을 위한 전처리 S/W를 개발·탑재하여 실시간으로 변하는 우주전파환경의 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 시스템으로 구성하였으며, 신규 도입서버에 저장되는 우주전파환경자료 중 이천분소에서 직접 관측하고 있는 자료 (전리층 Ionogram, 이천 지자기 K 지수, 태양전파 2.8GHz 절대 플럭스, 태양전파 연속 스펙트럼) 는 우주전파환경정보시스템을 통해 사용자들에게 제공되도록 하였으며 주요 분석 장비별 기능 및 역할은 다음과 같다.

- 신규서버는 기존 관측자료 서버가 담당하던 관측 자료의 수집 및 저장 기능 수행하고 관측 자료 데이터베이스도 본 서버 상에서 작동한다.
- 외부망 연동 PC는 제주 지자기 자료와 용인 지자기 자료를 외부망(KT)을 통해 FTP 방식으로 관측데이터를 수집한다.
- 자료중계 PC는 이천분소 내부 관측 자료와 외부망 관측 자료를 합쳐서 감시 시스템의 데이터베이스로 입력한다.
- 감시시스템은 우주전파환경 관측 자료와 전송망을 실시간 감시한다.

아래 그림은 기존 운용 중인 시스템 및 신규 시스템의 도입으로 개선된 시스템의 구성도를 표시하였다.



(a) 변경 전 기능



(b) 변경 후 기능 개선

[그림 2-2] 관측자료 서버의 기능 개선

2. 웹을 통한 자체 관측자료 제공

지금까지 우리소는 우주전파환경 정보서비스 시스템을 통해 우주전파환경 정보 지수를 제공하였고, 금년도에 추가적으로 우주전파환경 예보정보와 전파연구소 관측자료를 제공하였다. 특히 웹을 통해 제공하는 주전파환경 예보정보는 미국의 SWPC 관측자료를 기반으로 아래와 같이 3일간 예보한다.

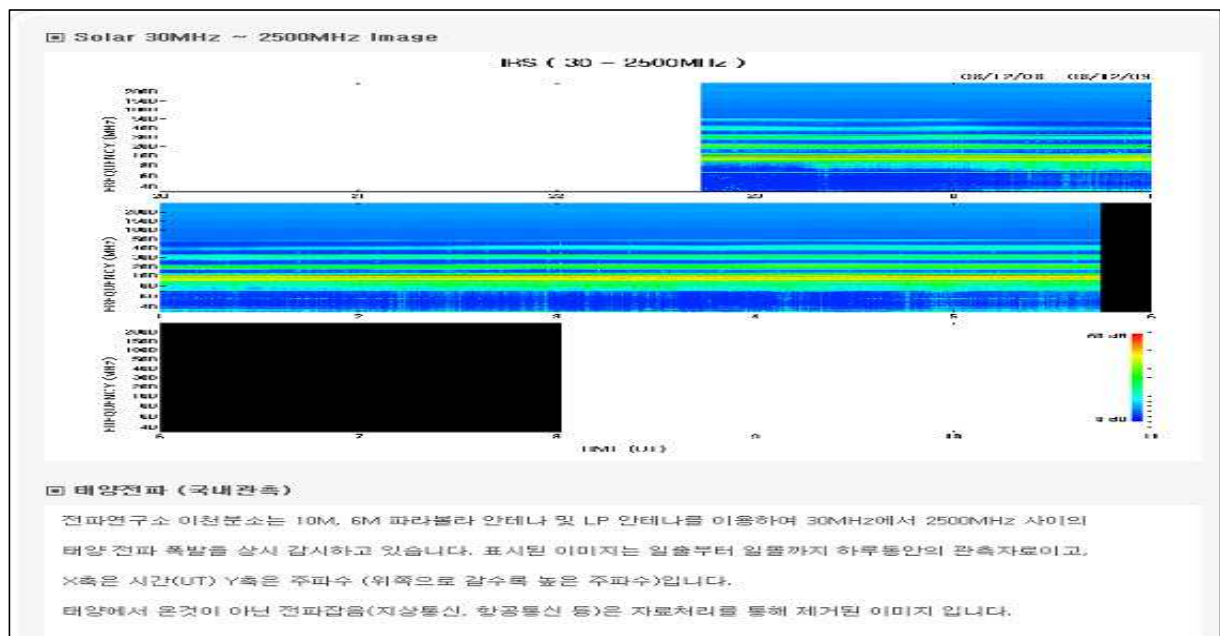
- 태양복사활동에 따른 태양 플레어 발생 예보
 - 주의 : X1 등급 이상의 태양 플레어가 발생 할 확률 (%), 3일간
 - 일반 : M1 등급 이상의 태양 플레어가 발생 할 확률 (%), 3일간
- 태양입자활동에 따른 태양 양성자 발생 예보
 - 일반 : 10MeV 이상 에너지를 가지는 양성자가 10개 이상 관측 되는 확률 (%), 3일간
- 지구자기장활동에 따른 중위도 및 고위도 K 지수 예보
 - 주의 : Kp 지수가 6 이상의 값을 가질 확률 (%), 3일간
 - 관심 : Kp 지수가 5 값을 가질 확률 (%), 3일간
 - 일반 : Kp 지수가 4 값을 가질 확률 (%), 3일간



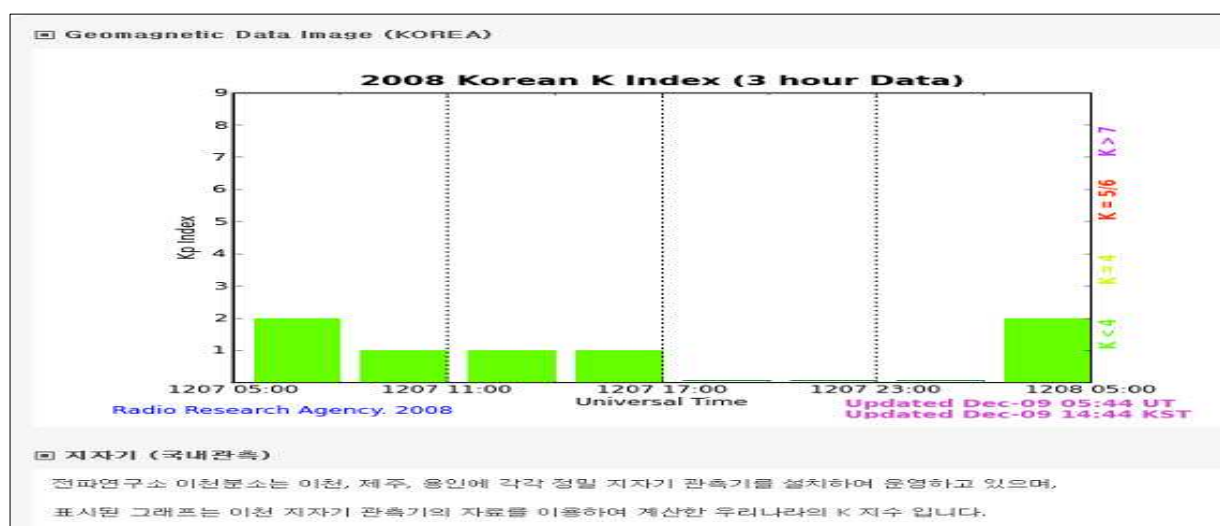
[그림 2-3] 우주전파환경 예보지수 - 예시

전파연구소이천분소는 매일 자체적으로 수집된 우주전파환경 관측자료를 다음과 같이 인터넷 서비스(<http://solarradio.rrl.go.kr>)를 통해 제공한다.

- o 태양전파 연속 스펙트럼 (이천) : 30~2500MHz 사이의 태양전파 상대 세기 측정
- o 지자기 (이천) : 이천 지자기 관측자료를 이용한 K지수 그래프
- o 태양전파 2.8GHz (이천) : 2.8GHz 태양전파 절대 플럭스를 SFU 단위로 측정
- o 전리층 (안양) : 안양 전리층 관측기에서 측정된 Ionogram



[그림 2-4] 태양전파 연속 스펙트럼 관측 - 예시



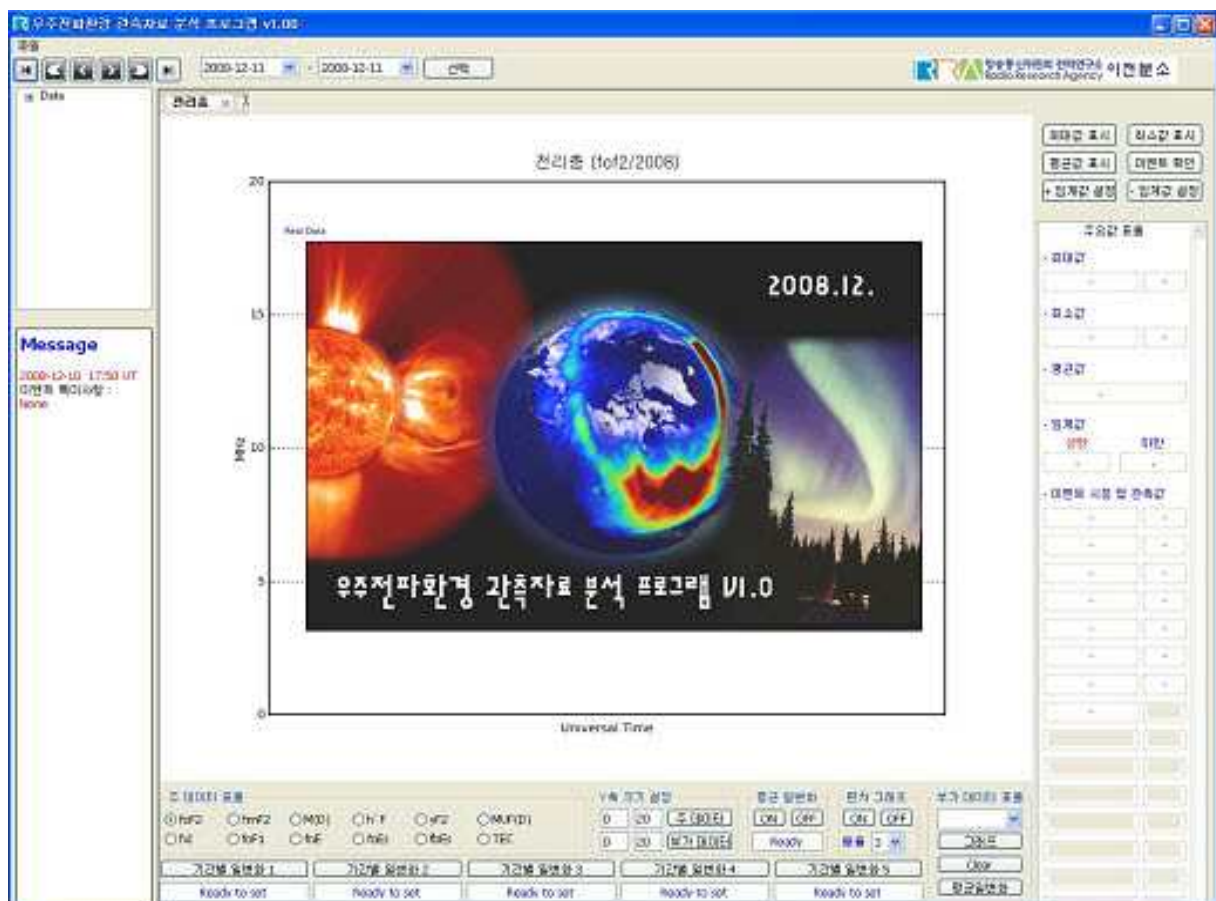
[그림 2-5] 지자기 K 지수 - 예시

3. 관측자료 분석 프로그램 개발

우주전파환경 관측자료 분석 프로그램은 신규 도입되는 서버에 저장되는 데이터를 기반으로 전리층 데이터, 지자기 데이터, 태양 2.8GHz 데이터 및 태양 스펙트럼 자료에 대해 각각 독립적인 분석이 가능하도록 개발되었다.

우주전파환경 관측자료 분석 프로그램은 전파연구소에서 관측된 태양전파, 지자기 등 4종류 자료에 대해 분석이 가능하다.

- 태양전파 연속 스펙트럼 (이천) 분석 프로그램은 태양전파의 폭발 유형 분석한다.
- 지자기 (이천, 제주, 용인) 분석 프로그램은 지자기 폭풍의 이벤트 및 K지수 분석한다.
- 태양전파 2.8GHz (이천) 분석 프로그램은 태양전파 절대 플럭스의 특이현상 분석한다.
- 전리층 (안양) 분석 프로그램은 전리층 교란 및 임계주파수 산출 등을 분석한다.



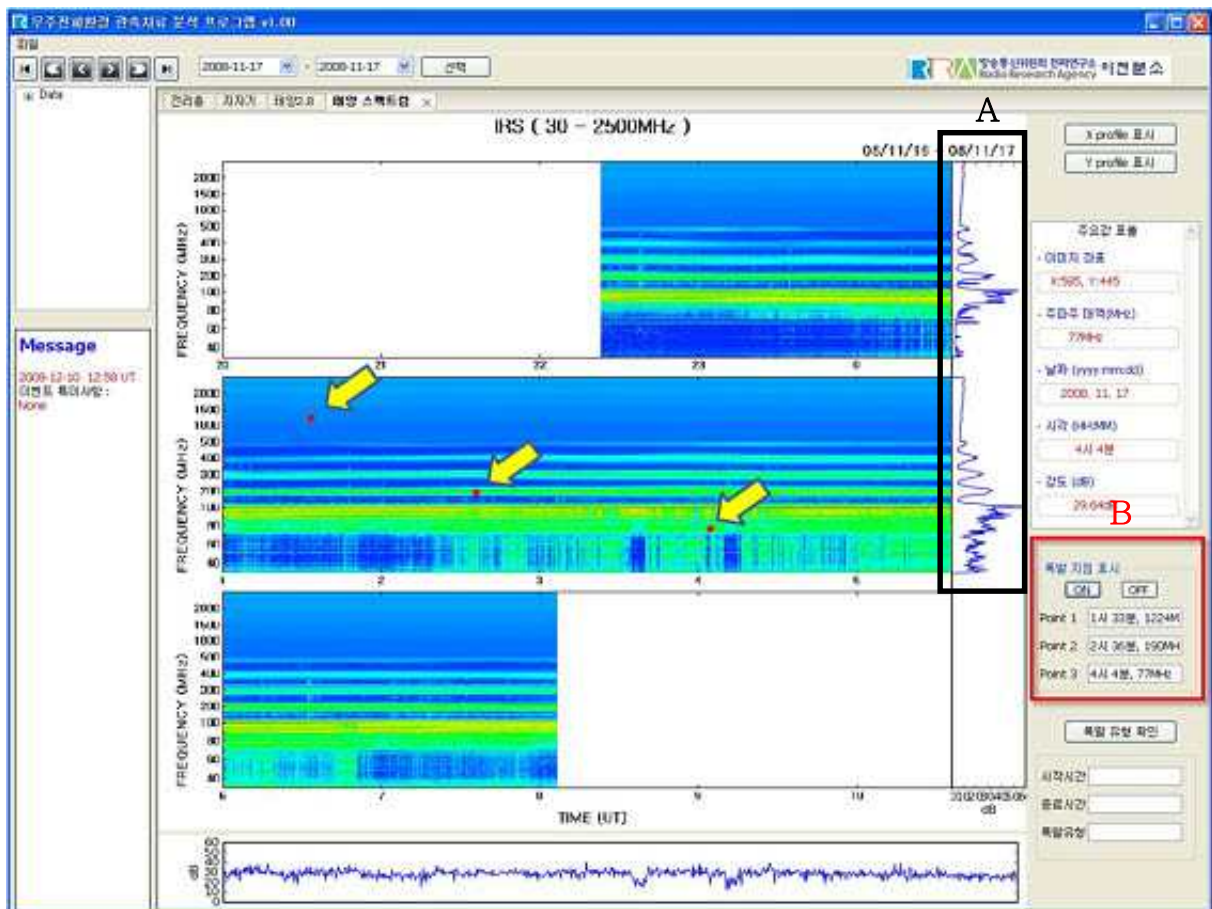
[그림 2-8] 관측자료 분석 프로그램 main 화면 - 예시

가. 태양전파 연속 스펙트럼 분석

태양전파 연속 스펙트럼 관측기는 '95년 이전에 설치되었고, 태양전파의 폭발 유형을 관측하기 위해 설치되었다. 주요 분석 기능은 다음과 같다.

- 일별 태양전파 스펙트럼 이미지 표출 기능
- 시간·주파수별 상대적인 신호강도 표출 기능
- 주파수에 따른 태양폭발 유형 분석 기능

아래 분석 프로그램은 이미지상의 마우스 커서에 따라 변화하며 커서가 위치한 주파수 대역의 시간별 강도 변화(그림 내 'A' 표기)를 그래프로 표시하는 것이 가능하다. 특히 태양폭발이 발생할 경우 태양폭발 유형 분석을 자동으로 분석(그림 내 'B' 표기)하는 것이 가능하다.



[그림 2-9] 태양전파 연속 스펙트럼 분석 - 예시

일반적으로 알려진 태양전파 폭발에 따른 유형은 크게 5가지로 분류되고, 태양 활동에 따라 전파폭발 유형별 특징은 다음과 같다.

[표 2-1] 태양전파 폭발의 분류 및 특징

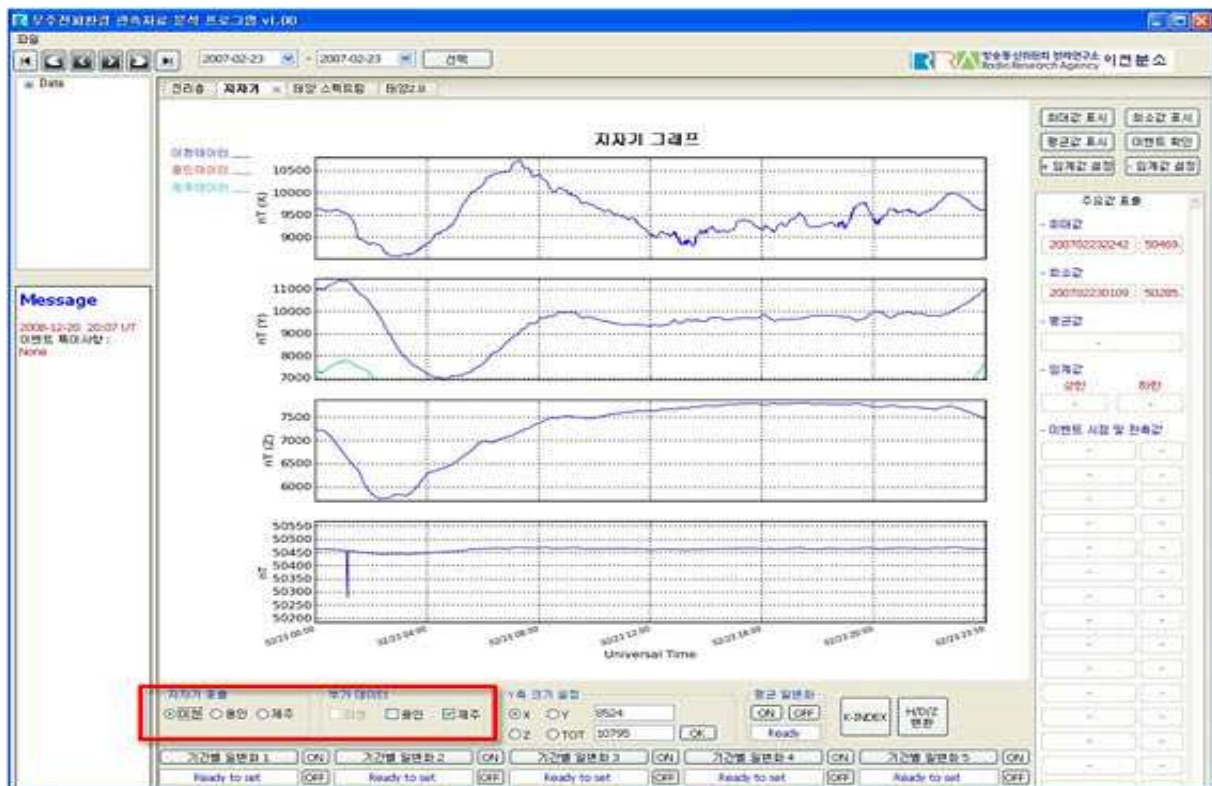
전파폭발 분류	특 징	발생 기간	주파수범위
Type I	<ul style="list-style-type: none"> ○ 짧은 파장 범위와 지속시간이 특징 ○ 많은 수의 폭발이 반복적으로 발생 ○ 배경에 주로 전파 continuum 위치 	<p>단일 ~ 1초</p> <p>전파폭풍 ~ 수일</p>	80~200MHz
Type II	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주파수에 따라 느린 드리프트 발생 ○ 주로 2번째 하모닉이 같이 발생 	3 ~ 30분	20~150MHz
Type III	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주파수를 따라 빠르게 드리프트 발생 ○ 단일 그룹 혹은 스톱 형태로 발생 ○ 종종 배경에 continuum 이 함께 생성 	<p>단일 : 1~3 초</p> <p>그룹 : 1~5 분</p> <p>폭풍 : 수 분 ~ 수 시간</p>	10kHz~1GHz
Type IV	<ul style="list-style-type: none"> ○ 넓은 주파수대역의 continuum 속에 미세한 구조 	수 시간 ~ 수 일	20MHz~2GHz
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 넓은 주파수 대역에서 발생 ○ 주파수 대역으로 천천히 드리프트 발생 	30분 ~ 2시간	200~400MHz
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 넓은 파장대의 부드러운 continuum ○ 플레어 발생 시 	3 ~ 45 분	25~200MHz
Type V	<ul style="list-style-type: none"> ○ 독립적으로 존재하지는 않음 ○ 일시적으로 부드러운 continuum 생성 ○ Type III 와 함께 주로 발생 	1 ~ 3 분	100~200MHz

나. 지자기 관측자료 분석

지자기 관측기는 '96년부터 이천, 제주, 용인에 설치되었고, 태양활동에 따른 지자기 변화를 관측하기 설치되었다. 주요 분석 기능은 다음과 같다.

- X, Y, Z성분 표출 및 H, D, Z 변환 기능
- 지역별(이천, 용인, 제주) 데이터 동시 표출 기능
- 임의 기간별 평균 일변화 표출 기능
- 임의 기간별 최대·최소값 및 평균값 표출 기능
- 임의 기간별 K-Index 그래프 표출 기능

아래 분석 프로그램은 좌측 하단의 RADIO 버튼을 통해 이천, 용인, 제주 지자기 관측데이터를 선택할 수 있으며, 우측의 체크박스를 클릭하여 추가 데이터를 선택할 수 있다. 각 지역별 관측 데이터는 그래프 좌측 상단에 명기된 색으로 구분 가능하고, RADIO 버튼으로 선택한 주 데이터를 제외한 나머지 두 항목만 활성화되어 그래프의 중복 표기를 피하는 등 지자기 관측자료 분석이 가능하다. 또한 이천지역 지자기 K 지수를 구할 수 있다.



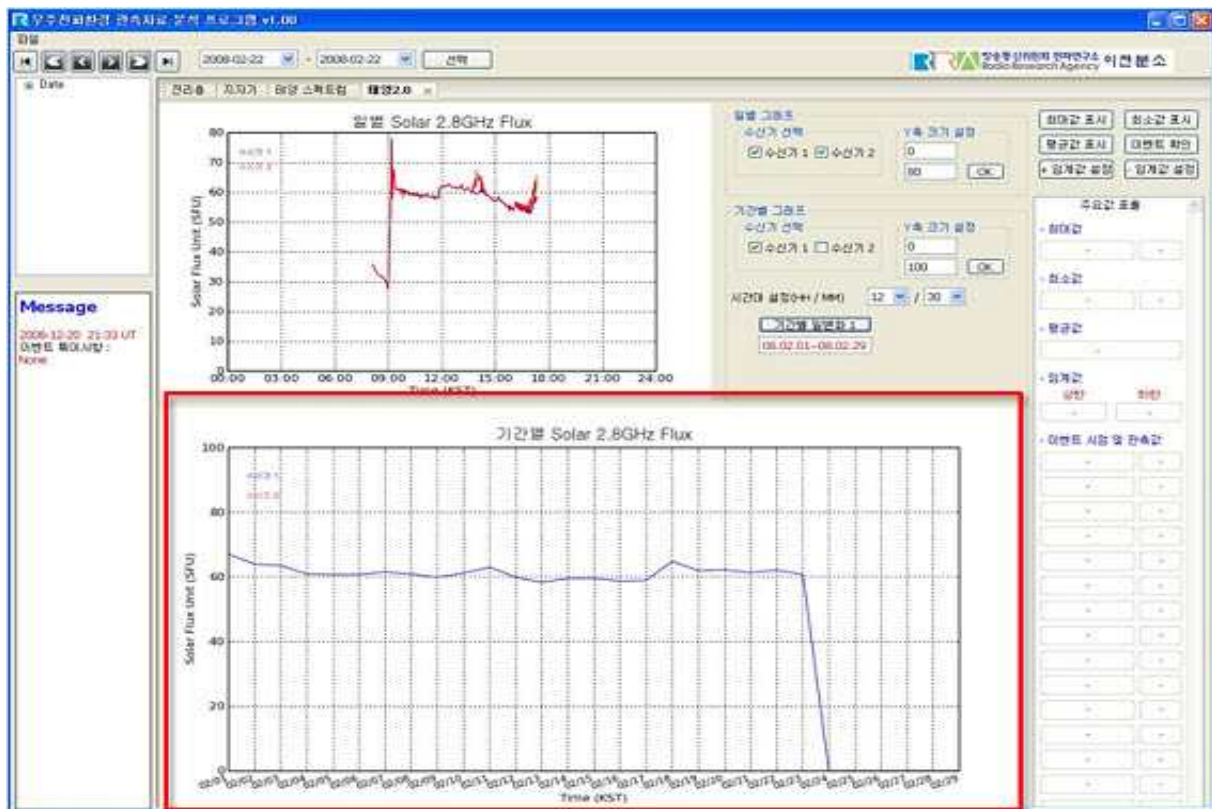
[그림 2-10] 지자기 관측자료 분석 - 예시

다. 태양전파 2.8GHz 관측자료 분석

태양전파 2.8GHz 관측기는 '06년 이전에 설치되었고, 태양활동에 따른 태양흑점 수 상대관측 및 태양전파 절대 플럭스를 관측하기 설치되었다. 주요 분석 기능은 다음과 같다.

- 일별 절대플럭스 데이터 표출 기능
- 임의 기간별(최대 1개월) 평균 변화량 표출 기능
- 임의 기간별 최대·최소값 및 평균값 표출 기능

아래 분석 프로그램은 낮 시간 동안에 측정된 태양전파 2.8GHz 관측결과를 보여 줄 수 있으며, 기간별 그래프(특정 시간대의 데이터만을 합하여 그래프로 표시)는 시간대 설정 후 기간을 선택하여 표시할 수 있다. 우측 상단의 버튼을 이용하여 최대·최소·평균값 및 임계값 설정이 가능하고, 최대·최소값은 해당하는 버튼을 클릭할 경우 발생 시각과 발생 값을 동시에 표시되며 평균값은 해당 기간의 전체 평균값을 표시한다.

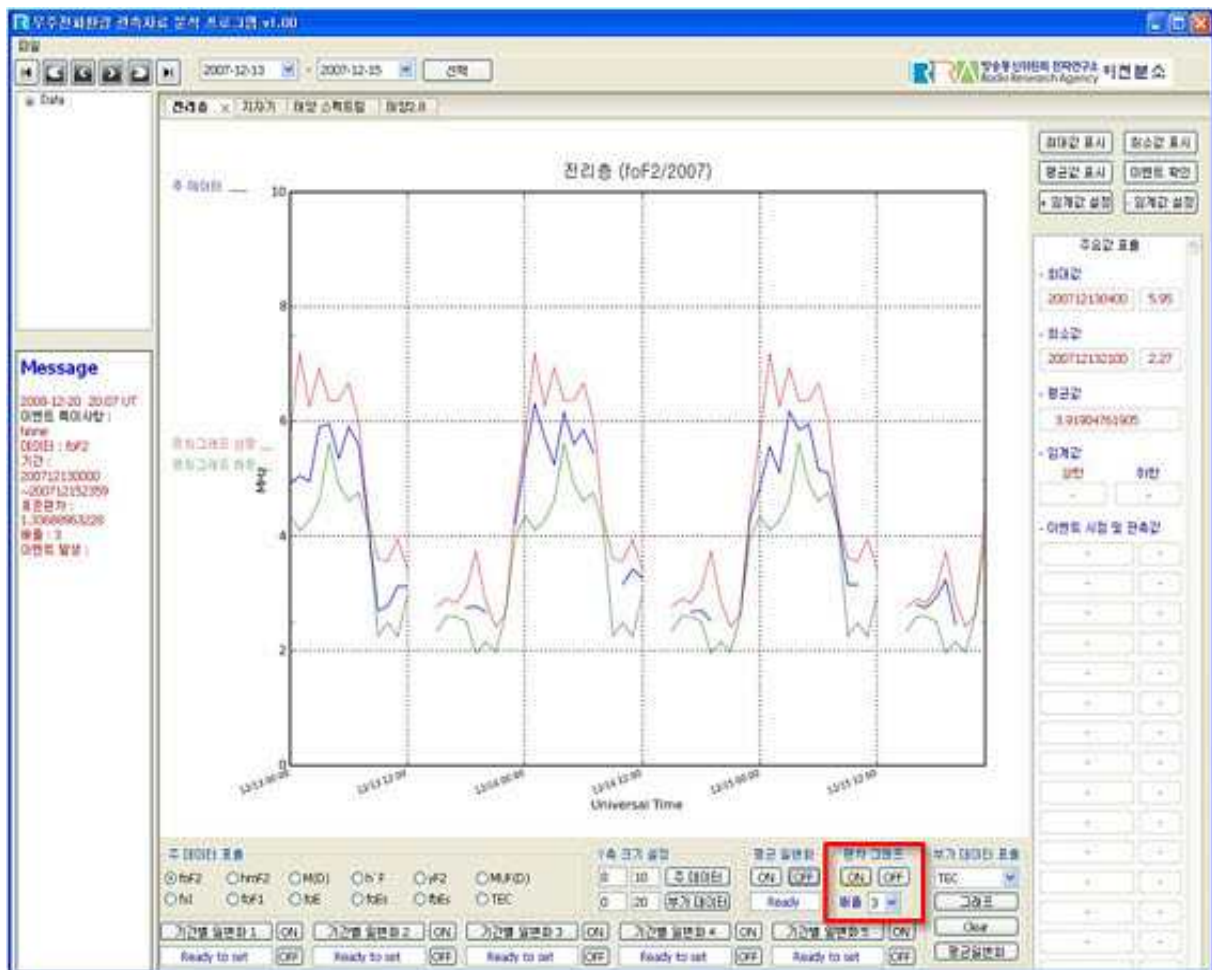


[그림 2-11] 태양전파 2.8GHz 관측자료 분석 - 예시
라. 전리층 관측자료 분석

전리층 관측기는 '66년 안양에 설치되었고, 단파대역 최적주파수 및 전리층 교란 등을 관측하기 설치되었다. 주요 분석 기능은 다음과 같다.

- 12종의 관측인자에 대해 단일 혹은 복수(2개)로 표출 기능
- 임의 기간별 평균 일변화 복수(5개) 표출 기능
- 임의 기간별 최대·최소값 및 평균값 표출 기능
- 임의 기간별 편차그래프 표출 기능

아래 분석 프로그램은 15분 간격으로 관측된 자료를 분석하기 위해 다양한 전리층 관측 변수를 이용해 상호 비교할 수 있다. 예를 들면 전리층 관측치의 일변화에 대해 임계주파수와 전리층전자밀도의 비교가 가능하다.



[그림 2-12] 전리층 관측자료 분석 - 예시
전리층 관측 시 사용되는 주요 용어는 다음 표와 같다.

[표 2-2] 전리층 관측을 위한 주요 용어

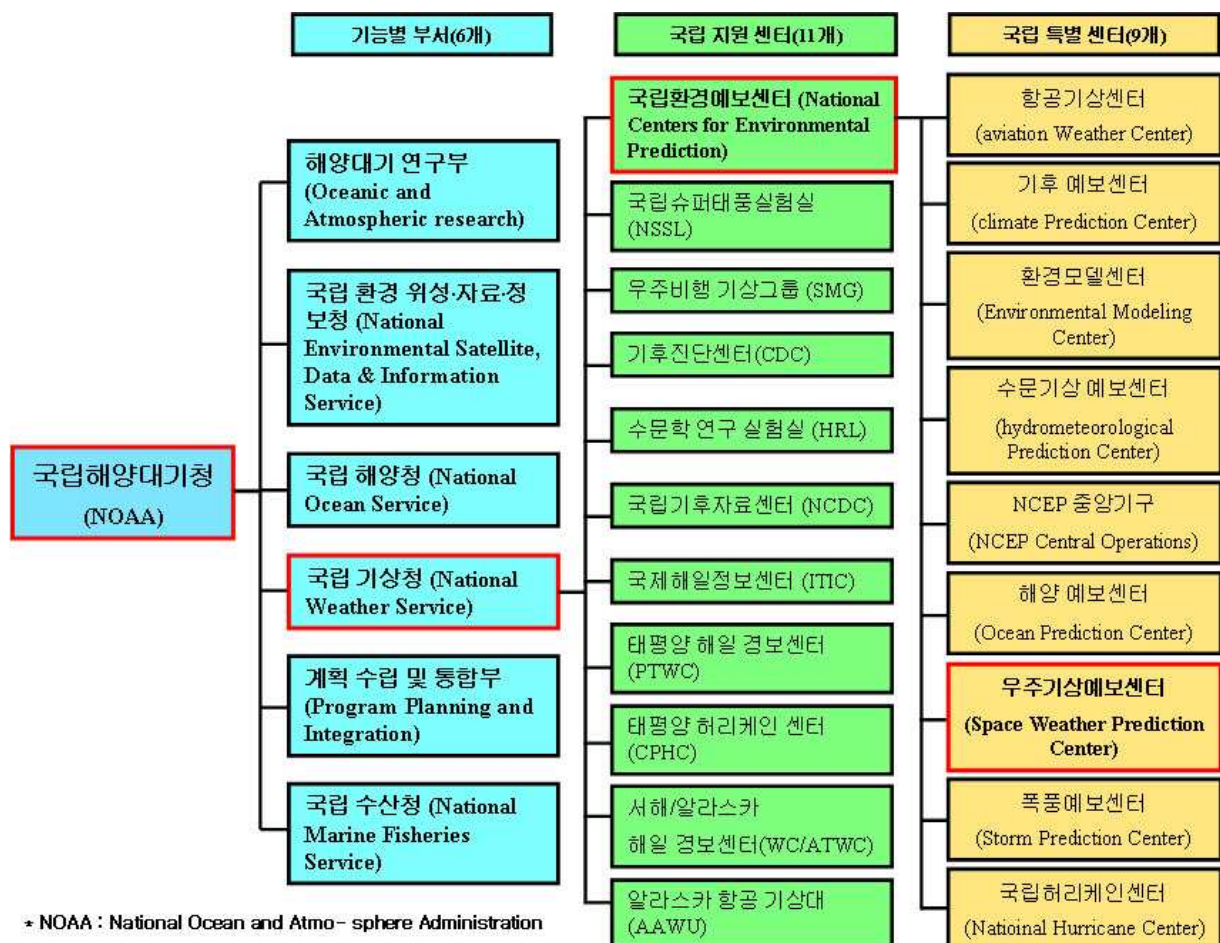
약 어	해 석	
foF2	F2 layer critical frequency	F2층 임계주파수
hmF2	max. height of F2	F2층 고도
M(D)	MUF(D)/foF2	MUF(D)/foF2
h'F	Minimum virtual height of F trace	F층 하단 고도
yF2	Half thickness of F2 layer	F2층 ½ 두께
MUF(D)	Maximum usable frequency	최대 사용가능주파수
fxI	Maximum frequency of F-trace	F층 관측 최대주파수
foF1	F1 layer critical frequency	F1층 임계주파수
foE	E layer critical frequency	E층 임계주파수
foEs	Es layer critical frequency	Es층 임계주파수
fbEs	blanketing frequency of Es layer	-
TEC	total electron content	총전자 함유량

제2절 우주전파환경 예·경보 서비스 개선

1. 우주전파환경 예보기준 개선 및 발생빈도

가. 우주기상예보센터(SWPC) 개요

SWPC는 미 상무성 소속 국립해양대기청(NOAA, National Oceanic & Atmospheric Administration) 산하 9개 센터(항공기상센터, 기후예보센터 등) 중 하나로 1945년 우주기상서비스 센터로 발족되어 2007.10월 우주기상예보센터로 명칭이 변경되었으며, 우주환경 예보 및 경보업무를 수행하고 있다. 우주기상예보센터에 74명, 상위기관인 국립 해양대기청(NOAA)에 1000여명 정도가 공무원신분으로 근무하고 있고, 공군, 항공우주국(NASA, National Aeronautics and Space Administration) 등과 범 정부차원의 우주환경연구 수행하고 있다.



[그림 13] SWPC 조직도

나. 우주전파환경 정보 기준

세계 각국은 위성과 지상 관측치로부터 우주전파환경 정보를 수집하고 있고, 관측치에 따라 지구에 미치는 영향을 단계별로 정보 레벨을 정하고 있으며 대부분의 국가가 미국에서 정하는 기준을 따르고 있다. 다음 표는 미국 해양대기청(NOAA) 우주환경예보센터(SWPC)의 우주전파환경 정보 분류를 정리하였다.

[표 2-3] 미국 SWPC의 우주전파환경 정보 분류

분류	관측방법	등급	영향대상
태양복사 활동 (Radio Blackouts)	GOES위성에서 X선 측정(매5분)	R1, R2, R3, R4, R5	전파(통신, 항법)
태양입자 활동 (Solar Radiation Storms)	GOES위성에서 양성자 측정(매5분)	S1, S2, S3, S4, S5	전파(통신, 항법), 위성체
지자기 활동 (Geomagnetic Storms)	9개 지상관측소에서 자력 측정(매3시간)	G1, G2, G3, G4, G5	전파(통신, 항법), 위성체

‘07년 우리소는 산·학·연 전문가로 구성된 연구반을 통해 우주전파환경 정보 발령 기준을 결정한 바 있다. 우주전파환경 정보 발령 시, 우리소 홈페이지 및 휴대전화 단순문자서비스를 통해 실시간 제공하고 있다.

[표 2-4] 우주전파환경 정보 기준

구분	등급	정보 발령 기준		
		태양복사(X선)	태양입자(양성자)	지자기(K _p 지수)
심각 (Extreme)	5	2×10^{-3} (X20)이상	10^5 이상	9
경계 (Severe)	4	10^{-3} (X10)이상	10^4 이상	8
주의 (Strong)	3	10^{-4} (X1)이상	10^3 이상	7
관심 (Moderate)	2	5×10^{-5} (M5)이상	10^2 이상	6
일반 (Minor)	1	10^{-5} (M1)이상	10 이상	5

- 주) 1. 태양복사(X선) : X선(파장 1~8 Å) 전력속밀도에 따라 분류 (단위 : w/m²)
 2. 태양입자(양성자) : 10MeV 이상 고에너지 입자에 따라 분류 (단위 : 개/cm²-s-sr)
 3. 지자기(K_p지수) : 지구 자기장 활동에 따라 분류 (단위 : 없음)

다. 우주전파환경 예보 기준

우리소는 '07년 마련된 우주전파환경 경보 기준과 미국 SWPC에서 예보 기준을 토대로 아래 표와 같이 우주전파환경 예보 기준(안)을 마련하였다. 우주전파환경 예보는 우리소 홈페이지를 통해 실시간으로 제공하고 있다.

[표 2-5] 우주전파환경 예보 기준(안)

구분	등급	예보 발령 기준		
		태양복사 (X선)	태양입자 (양성자)	지자기 (K _P 지수)
주의 (Strong)	3	10 ⁻⁴ (X1)이상	-	7
관심 (Moderate)	2	-	-	6
일반 (Minor)	1	10 ⁻⁵ (M1)이상	10 이상	5

주) 1. 태양복사(X선) : X선(파장 1~8 Å) 전력속밀도에 따라 분류 (단위 : w/m²)

2. 태양입자(양성자) : 10MeV 이상 고에너지 입자에 따라 분류 (단위 : 개/cm²-s-sr)

3. 지자기(K_P지수) : 지구 자기장 활동에 따라 분류 (단위 : 없음)

라. '08년도 우주전파환경 경보 발생 빈도

다음 표와 같이 '07년도 발령된 우주전파환경 경보 현황을 살펴보면 태양입자(양성자)를 제외한 태양복사 및 지자기 활동은 연평균 발생빈도 횡수보다 적게 나타났다. 4등급이상인 경계·심각한 경보는 발생하지 않은 것으로 조사되었다.

특히 '08년도 발령된 우주전파환경 경보 현황을 살펴보면 태양복사와 태양입자 활동은 전혀 없었고, 지자기 활동이 2단계 1건, 1단계 19건으로 총 20건이 발생하였으나 극히 미비한 태양활동이 일어났던 것으로 조사되었다.

금년도 태양활동이 미비한 사유는 12년 주기로 반복되는 태양주기(사이클)가 극소기이고 향후 극대기인 2012년까지 점차 증가할 것으로 예상된다.

[표 2-6] 우주전파환경 경보 발령 빈도

(단위 : 건)

구분 등급	일반적		'07년	'08년	비고
	11년	1년			
R5	1	0.1	0	0	
R4	8	0.7	0	0	
R3	175	15.9	4	0	
R2	350	31.8	6	0	
R1	2000	181.8	0	0	

(a) 태양복사

구분 등급	일반적		'07년	'08년	비고
	11년	1년			
S5	3	0.2	0	0	
S4	3	0.2	0	0	
S3	10	0.9	4	0	
S2	25	2.2	16	0	
S1	50	4.5	11	0	

(b) 태양입자방출

구분 등급	일반적		'07년	'08년	비고
	11년	1년			
G5	4	0.3	0	0	
G4	100	9.0	0	0	
G3	200	18.1	4	0	
G2	660	60.1	15	1	
G1	1700	154.5	70	19	

(c) 지자기활동

구분 등급	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	계
5												
4												
3												
2									1			1
1	1	1	3	4		1	1	2	2	4		19

(d) '08년도 월별 우주전파환경 경보 발령 빈도

주1) 자료참조: 미국 SWPC 홈페이지

2. 전파예보 서비스 개선

전파예보란 전리층을 이용한 단파통신의 안정적 운용을 위해 전리층의 감쇠 및 투과 정도를 계산하여 소통 가능한 특정 지점간 또는 지역간 최적의 주파수를 예측하는 것을 말한다. 전리층의 생성 원인은 지구상의 상층 대기를 구성하는 분자나 원자들은 태양으로부터의 자외선, X선에 의해 이온화 되는데, 이들 중성입자, 이온, 그리고 전자들이 혼재 하는 영역을 전리층이라 하며 전리층은 전자밀도에 의해 생성되는 층의 구조에 따라 D층, E층, F층으로 분류된다.

전파예보 책자는 전파예보 웹서비스를 통해 지점대 지점, 지점대 지역 등주파별로 상세한 단파대역 전파예측을 사용자가 직접 입력하여 홈페이지에서 계산할 수 있다. 따라서 월간 전파예보 책자는 '08. 2월까지 발간 및 배포하였고, 이 후에는 홈페이지를 통해 직접 계산하거나 기존 전파예보 책자 사용자의 불편을 없애기 위해 PFD 화일로 작성하여 홈페이지에 업로드한 것을 다운로드하여 사용하면 된다. 다음은 월간 전파예보를 인터넷에서 PDF 화일을 다운받는 방법이다.

① 전파예보 홈페이지 접속(<http://solaradio.rrl.go.kr/radio/>)

② 홈페이지 상단 메뉴 월간 「전파예보 PDF 서비스」 클릭



③ 희망 월별 전파예보 클릭

우주전파환경정보시스템
Solar Radio Environment Research

시스템정보 | 우주전파환경 | 실시간정보 | 데이터검색 | 참여마당

우주전파환경정보시스템 소개 | 시스템구성도 | 태양전파 | 지자기 | 전파종

전파예보 PDF 서비스
우주전파예보 서비스관련 PDF 자료를실업니다. 다운로드 받아보실 수 있습니다.

번호	제목	첨부	게시일	조회수
11	2008년 12월(502호) 전파예보		2008.01.02	25
10	2008년 11월(501호) 전파예보		2008.01.02	22
9	2008년 10월(500호) 전파예보		2008.08.14	61
8	2008년 9월(499호) 전파예보		2008.08.14	35
7	2008년 8월(498호) 전파예보		2008.06.27	63
6	2008년 7월(497호) 전파예보		2008.06.27	27
5	2008년 6월(496호) 전파예보		2008.04.25	57
4	2008년 5월(495호) 전파예보		2008.04.25	39
3	2008년 4월(494호) 전파예보		2008.02.26	61
2	2008년 3월(493호) 전파예보		2008.02.26	61

제목 검색

방송통신위원회
전파연구소
전파예보서비스
우주전파예보
해외우주전파환경
유럽 (ESA)
일본 (NICT)
미국 (SMPC)
호주 (IPS)

④ PDF 파일 클릭

우주전파환경정보시스템
Solar Radio Environment Research

시스템정보 | 우주전파환경 | 실시간정보 | 데이터검색 | 참여마당

우주전파환경이 미치는 영향 | 태양과 태양주변환경 | 지구와 지구주변환경

전파예보 PDF 서비스
우주전파예보 서비스관련 PDF 자료를실업니다. 다운로드 받아보실 수 있습니다.

제 목	조회수
2008년 12월(502호) 전파예보	26

게시일 | 2008.01.02

첨 부 | 200812(502).pdf

2008년 12월(502호) 전파예보

목록

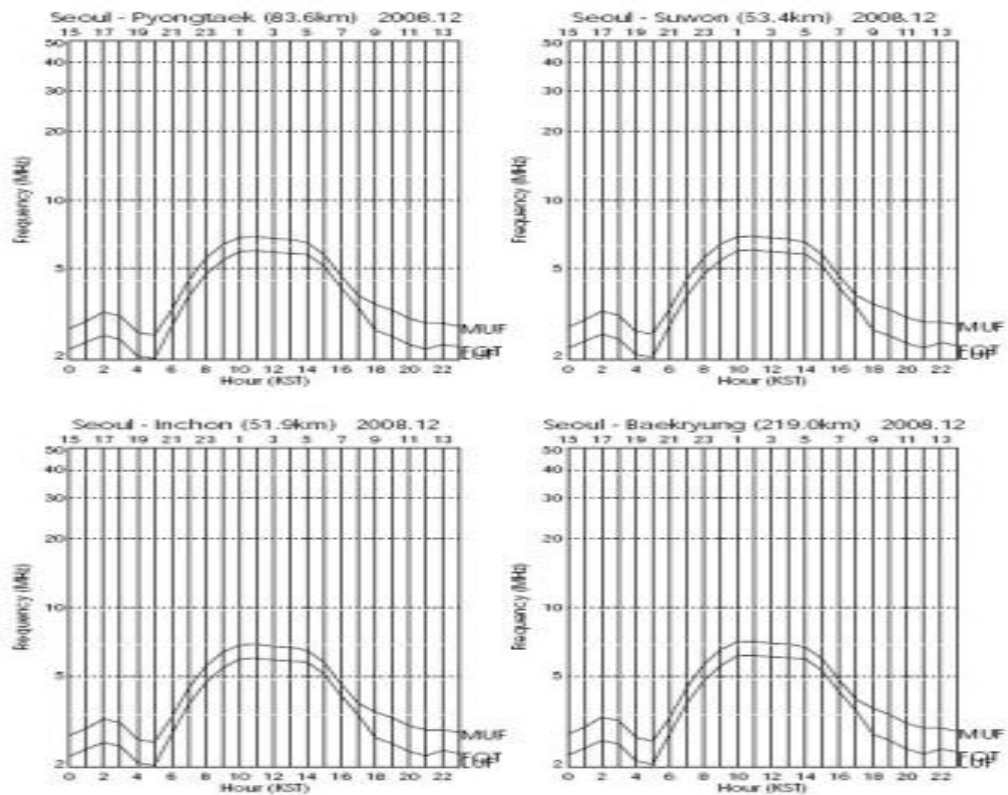
▼ 댓글 | 2008년 11월(501호) 전파예보

방송통신위원회
전파연구소
전파예보서비스
우주전파예보
해외우주전파환경
유럽 (ESA)
일본 (NICT)
미국 (SMPC)
호주 (IPS)

⑤ 월간 전파예보 다운로드 결과 : 총 45페이지

목 차

1. 전파예보 개요	4
2. 전리층에 관한 이론적 배경	5
가. 전리층의 생성 원인 및 종류	5
나. 전리층의 변화	7
다. 단파 전파의 특성	10
라. 단파통신 장애 요인	12
3. 전리층 및 단파통신 용어	14
가. MUF(Maximum Usable Frequency, 최고사용주파수)	14
나. LUF(Lowest Usable Frequency, 최저사용주파수)	14
다. FOT(Frequency of Optimum Traffic, 최적운용주파수)	14
라. 임계주파수(Critical Frequency)	15
데. 전리층 감쇠의 종류별 비교	15
4. 전파예보 작성 방법	16
5. 전파예보 그래프 및 전파예보표 보는 방법	17
가. 전파예보 그래프	17
나. 전파예보표	18

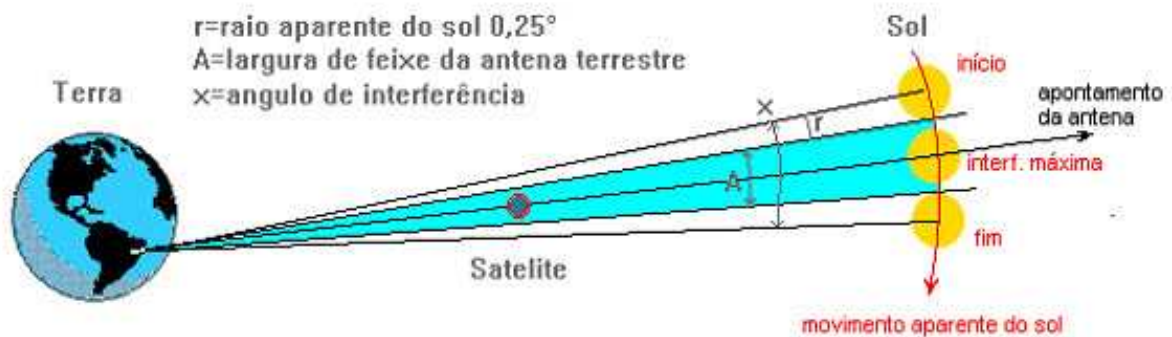


3. 춘분기 인공위성 일식 측정

가. 개 요

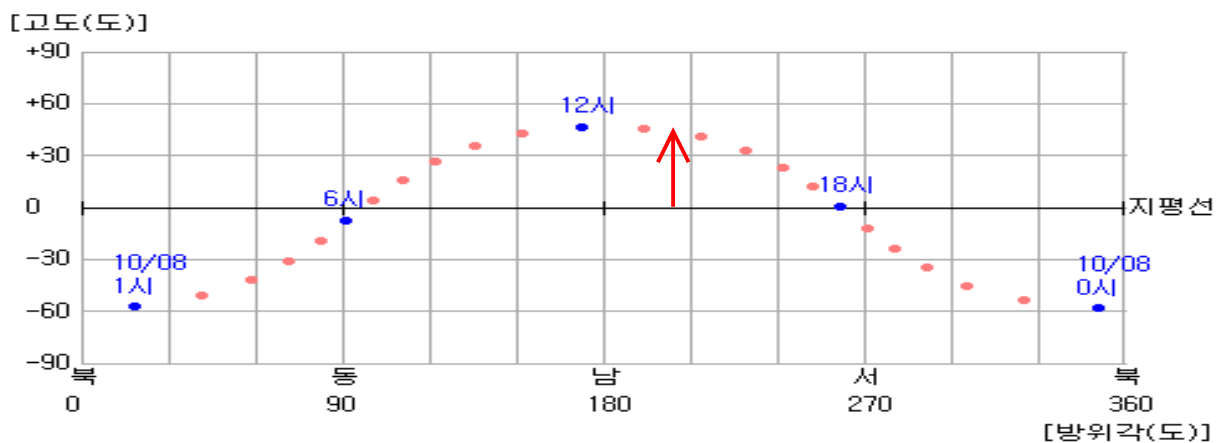
정지궤도 인공위성 일식현상이라 함은 인공위성이 정지궤도를 공전하다가 인공위성을 가운데로 하고 양 가장자리에 태양과 지구국이 일직선상에 위치할 경우를 말한다.

우리나라의 경우 춘추분기(3월, 10월) 중 수일간에 걸쳐 수분/회(일) 일어나고, 위성일식 발생 시 태양잡음의 증가, 신틸레이션으로 인한 C/N 저하, 수신품질 저하 등이 일어날 수 있다.



[그림 2-14] 춘추분기 인공위성 일식 개요도

다음 표는 '08년 10월 08일 서울에서 태양을 바라본 태양고도 및 태양방위각을 나타낸다. 춘분기 무궁화 3호위성의 위성일식이 발생할 수 있는 일자이다.



[그림 2-15] 서울기점 태양 고도 및 방위각('08.10.08.)

나. 무궁화위성 3호 및 5호 위성일식

대부분의 시청자는 45cm 접시형 안테나로 위성방송을 수신하고 있다.

무궁화 3호 위성은 적도상공 동경 116도에서 정지궤도를 돌고 있다. 시청자는 위성 방송을 수신하기 위해 서울에서 접시안테나 방향을 45도 고도로 지향해야하고, 이천에서는 접시안테나 방향을 45.1도 고도로 지향해야 한다.

[표 2-7] 무궁화위성 3호에 대한 태양일식

일 자	시작시간	종료시간	태양 방위각	태양 고도	비고
2008. 10. 06.	13:08	13:13	162.2	45.7	
2008. 10. 07.	13:06	13:14	162.2	45.3	
2008. 10. 08.	13:06	13:14	162.6	45.0	최대 (관측: 화질)
2008. 10. 09.	13:06	13:13	162.6	44.6	
2008. 10. 10.	13:07	13:12	162.7	44.2	(관측: 화질 · 스펙트럼)

(a) 서울에서 수신할 경우

일 자	시작시간	종료시간	태양 방위각	태양 고도	비고
2008. 10. 06.	13:08	13:14	161.4	45.8	
2008. 10. 07.	13:07	13:14	161.5	45.4	
2008. 10. 08.	13:06	13:14	161.5	45.0	최대
2008. 10. 09.	13:06	13:14	161.9	44.7	
2008. 10. 10.	13:07	13:12	161.9	44.3	

(a) 이천에서 수신할 경우

‘06년 8월 22일 한국통신은 무궁화 2호 위성을 대체할 무궁화 5호 위성을 발사하여 현재 다양한 방송통신 서비스를 수행 중에 있다.

무궁화 5호 위성은 적도상공 동경 113도에서 정지궤도를 돌고 있다. 시청자는 위성 방송을 수신하기 위해 서울에서 접시안테나 방향을 48.6도 고도로 지향해야하고, 제주에서는 접시안테나 방향을 44.1도 고도로 지향해야 양호한 위성방송을 시청할 수 있다.

[표 2-8] 무궁화위성 5호에 대한 태양일식

일 자	시작시간	종료시간	태양 방위각	태양 고도	비고
2008. 10. 04.	13:23	13:26	154.4	49.5	
2008. 10. 05.	13:21	13:28	156.5	49.1	
2008. 10. 06.	13:20	13:28	156.6	48.7	최대
2008. 10. 07.	13:20	13:28	157.0	48.4	
2008. 10. 08.	13:20	13:27	157.1	48.0	

(a) 서울에서 수신할 경우

일 자	시작시간	종료시간	태양 방위각	태양 고도	비고
2008. 10. 06.	13:21	13:27	157.4	44.8	
2008. 10. 07.	13:20	13:28	157.8	44.5	
2008. 10. 08.	13:19	13:28	157.9	44.1	최대
2008. 10. 09.	13:20	13:27	158.0	43.7	
2008. 10. 10.	13:21	13:25	158.4	43.4	

(a) 제주에서 수신할 경우

다. 무궁화위성 3호의 위성일식 측정

1) 측정개요

전파연구소는 위성일식에 따른 방송통신 서비스 장애 발생여부를 확인하기 위해 디지털 위성방송을 시청하는 가입자 기준으로 수신장비를 설치하여 위성방송 품질테스트를 실시하였다.

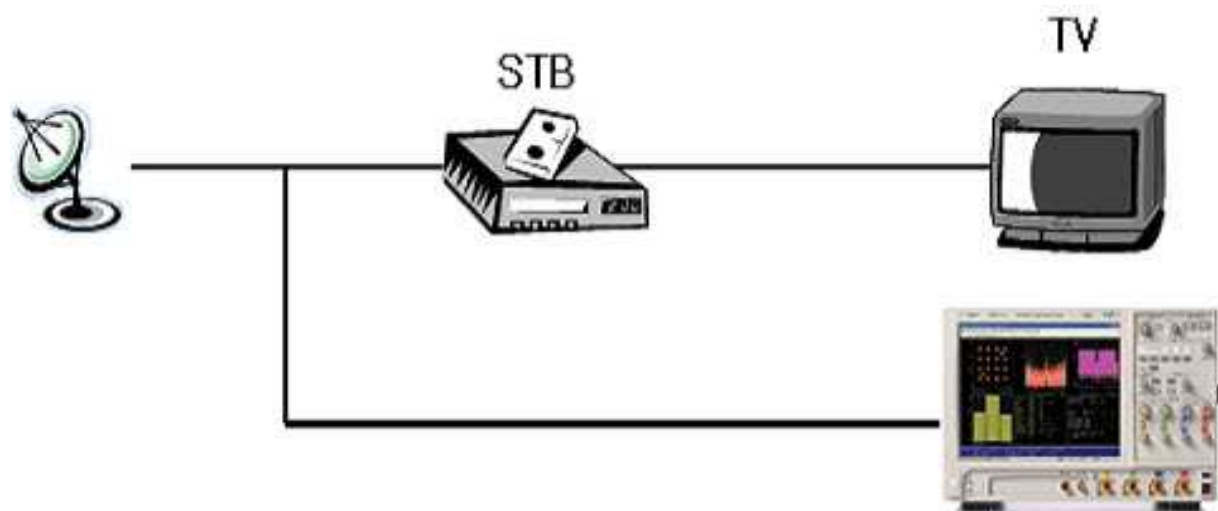
측정일은 최대 위성일식 일인 10월 8일(수)은 화질만 측정하였고, 며칠이 지난 10월 10일은 화질과 스펙트럼 분석기로 측정하였다. 측정장소는 주식회사 호서텔레콤의 협조를 받아 서울에서 측정하였으며 수신안테나는 일반 위성방송 시청자 시설기준인 45cm 수신안테나를 이용하였다.

모의분석결과, 서울과 이천에서 위성 일식 시간차는 거의 없었다. 태양과 위성이 최대로 일직선이 되는 시간은 10월 8일 오후 1시6분에서 1시14분 사이로 약 8분이다. 이때의 태양고도는 45도이고 지상에서 보았을 때 태양과 위성이 1도 이내로 접근한 경우이다. 가장 근접했을 때는 약 0.12도 이었다.

측정대상은 무궁화 3호 위성, 중심주파수 11.747GHz, 좌원편파, 히스토리채널 코리아(ch 401) 신호를 분석하였다.

주관적 영상신호 품질확인용 동영상 캡코드로 측정하였고, 주관적 영상품질확인을 위해 신호대잡음비 측정이 필요하였으나 이번 실험에서는 측정하지 못하였다. 다만 스펙트럼 분석기를 이용하여 태양잡음 신호레벨 변화를 조사하였다.


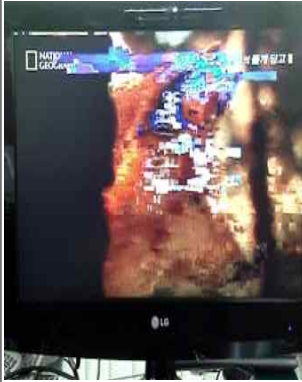
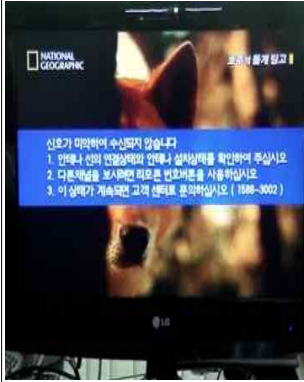






위성일식 측정을 위한 시스템 구성은 아래 그림과 같다.



[그림 2-16] 위성일식 측정 시스템

2) 측정결과

아래 그림과 같이 10월 8일 위성일식 시 화면 열화현상은 6분 17초에 걸쳐 간헐적으로 화면모자이크 현상과 2차례 수신신호 미약으로 위성수신기(STB) 셋팅을 다시 해야 하는 정도의 위성방송신호가 태양전파로 인해 간섭을 받는 것이 확인되었다.

시 간 (‘08.10.08.)	구 분		
	정상 화면	화면깨짐 현상	수신불가 화면 등
13시 09분 30초			
13시 10분 00초			
13시 15분 47초			

[그림 2-17] 위성일식에 의한 화면 깨짐 현상

4. 우주전파환경 홍보

가. 우주전파환경 홍보 동영상 제작

1) 동영상 개요

우주전파환경 홍보 동영상은 전공자가 아닌 일반인들도 쉽게 이해하도록 동영상과 함께 전문 성우가 우주전파환경을 설명하였고, 소요시간이 10분이내이며, 구성은 도입부·전개부·종결부 등 3단계로 분리·제작하였다.

도입부에서 전파연구소이천분소를 간단히 소개하였고, 전개부에서 태양흑점 생성과 이로 인한 급격한 태양활동이 지구에 자기장 폭풍을 일으키는 일련의 과정을 설명하였고, 종결부에서 태양흑점 폭발로 인해 예상되는 지구상의 피해 사례를 방송통신 분야에 초점을 맞추어 제작하였다.

다음 표는 우주전파환경 홍보 동영상의 주요 내용으로 전체 소요시간은 8분 20초이다.

[표 2-9] 우주전파환경 홍보 동영상의 주요내용

구 분	주요 내용	소요 시간 (총 8분 20초)
도입부 (전파연구소이천분소 소개)	이천분소의 연혁, 조직, 주요업무, 주요 시설 등 소개	1분 58초
전개부 (태양활동이 지구에 미치는 영향)	태양흑점 생성과 이로 인한 급격한 태양활동이 지구에 자기장 폭풍을 일으키는 일련의 과정	3분 12초
종결부 (태양폭발로 인한 장애사례)	태양흑점 폭발로 인해 예상되는 지구상의 피해 사례를 방송통신 분야에 중점을 두고 제작	3분 10초

2) 우주전파환경 홍보 동영상 스크립트

(가) 도입부 : 전파연구소이천분소 소개

전파연구소이천분소는 1993년 개소 이래, 전자파 적합 시험 및 교정, 우주전파 환경 연구 및 관측 업무를 수행하는 국가 기관으로 지원과, 시험과, 기술과의 3개 과로 구성되어 있습니다.

지원과는 쾌적한 연구 환경 조성과 직원의 복지 향상을 위해 노력하고 있으며, 연구소 내에서 업무지원과 일반관리업무를 수행하고 있습니다.

시험과는 정보통신 인증기기의 지속적인 성능 유지를 위한 전자파적합시험과 전자파 측정설비의 신뢰도 확보를 위한 시험 및 교정 서비스를 제공하고 있습니다.

주요 보유 시설로는 국제 수준의 전자파 야외 시험장, 무반사실, 차폐실 등이 있으며, 네트워크 분석기, 스펙트럼 분석기와 같은 검사 장비를 다수 보유하여 업무에 활용하고 있습니다.

기술과는 태양 폭발로 인해 변화하는 태양전파, 지자기 및 전리층 등의 우주 전파 환경 관측 및 연구 업무를 수행하고 있습니다.

전파연구소이천분소는 6m, 10m 파라볼라 안테나 및 LP 안테나를 보유하여, 30 MHz 에서 2500MHz 사이의 태양 전파 폭발을 상시 감시하고 있습니다.

또한 2.8GHz 수신기를 통해 태양전파의 절대 플럭스값을 측정하고 있습니다.

용인, 이천, 제주에는 정밀 지자기 관측기를 설치하여 지자기폭풍을 감시하고 있습니다.

전리층의 이상을 감시하는 장비인 전리층 관측기는 안양, 제주에 설치되어 있습니다

실시간 우주전파환경 관측 자료를 수집 감시하는 정보시스템을 구축 우주전파 환경 예-경보 서비스를, 다양한 수요자들에게 제공하고 있으며, 원활한 단파 통신을 위한 최적 통신 주파수 서비스도 제공하고 있습니다.

이러한 태양전파, 지자기 및 전리층의 관측자료와 외국의 관측자료를 이용하여 급격한 태양활동으로 인한 사회경제적 피해 최소화를 위해 우주전파환경 예·경보 서비스를 제공하고 있습니다.

(나) 전개부 : 태양활동이 지구에 미치는 영향

우주전파환경은 태양흑점의 폭발, 태양풍 등 태양 활동으로 인해 발생하는 지구 주변의 전자기적 변화를 의미합니다.

21세기에 들어 발전된 과학 기술의 혜택으로 인간은 이제 모든 일상 활동에서 첨단 기기의 도움을 받고 있습니다.

위성 통신, GPS 항법 장치, 무선 통신 등이 없는 일상의 삶을 상상하기 힘든 세상입니다.

태양은 지구의 생명체를 탄생시킨 고마운 존재지만, 태양의 폭발은 위성 및 지상의 방송 통신 기기에 많은 영향을 주고 있습니다.

그렇다면 실제로 태양활동이 어떻게 지구에 영향을 주게 될까요?

우리가 일상적으로 접하는 태양은 동그란 표면에 흑점이 드문드문 보이는 모습입니다.

태양 표면에 보이는 흑점들은 태양에 강한 활동성이 있음을 보여주는 대표적인 증거입니다.

그렇다면 태양의 흑점은 어떻게 생성될까요?

태양 내부의 자기장은, 태양이 자전할 때 적도부근과 극의 회전 속도 차이에 의해 점점 꼬이게 됩니다.

꼬인 자기장들이 태양의 표면으로 나오게 되면 우리가 보는 흑점이 생성됩니다.

실제 태양의 표면은 눈에 보이지 않은 수많은 자기장 다발들로 이루어져 있습니다.

흑점의 개수는 태양의 활동주기에 따라 증가하거나 감소하는데, 대략 11년마다 반복되며, 이는 태양의 폭발 주기와의도 잘 일치합니다.

흑점의 주변에서 발생하는 강력한 폭발 현상인 플레어는, 자기장이 가지고 있던 에너지가 빛과 열 에너지로 전환되면서 발생합니다..

플레어로 인해 발생하는 에너지는 태양 표면의 입자들을 가속시켜 마치 대포를 쏘듯이 우주공간으로 물질들을 방출하는 코로나물질방출 현상을 일으킵니다.

실제 여러 위성에서 다양한 파장으로 관측된 이 영상은 흑점 부근에서 발생한

플레어 폭발이 코로나물질방출을 일으키는 장면을 잘 보여주고 있습니다.

코로나물질방출과 함께 태양풍의 형태로 많은 양의 물질들이 우주 공간으로 분출하고 있습니다.

태양의 폭발이 지구에 도달하는 시간은 가장 빠른 X-선이 8분30초가 걸리고, 양성자와 같은 방사선 입자들은 수 시간에서 수 일이 걸립니다.

지구의 자기장은, 지구 주변에 보호막을 형성하여 태양으로부터 오는 고 에너지 입자들을 막아주는 방패 역할을 하고 있습니다.

강력한 태양 폭발로 인해 고 에너지 입자들이 지구 자기장과 충돌하게 되면, 자기장의 일부가 끊어지는 자기 재결합 현상이 일어나고, 지자기 폭풍과 오로라를 발생시킵니다.

오로라는 고위도 지방에서 주로 발생하여, 아름다운 모습 때문에 관광 상품으로도 유명하지만, 강력한 오로라의 발생은 지자기 폭풍의 시작을 알리는 증거입니다.

지자기 폭풍이 발생하게 되면, 전리층도 영향을 받게 되어, 지구 주변을 돌고 있는 위성의 궤도 이탈, 통신 두절, GPS 위성의 정확도 감소 등의 영향을 주게 됩니다

(다) 종결부 : 태양폭발로 인한 장애 사례

태양 폭발로 분출된 고 에너지 입자들이 지구 자기장과 충돌하면서 발생하는 지자기폭풍은 위성 운영과 통신에 심각한 영향을 줄 수 있습니다.

이로 인해 예상되는 피해들은 다음과 같습니다.

위성이 주요 통신 수단인 현대에는 방송 통신 위성의 이상으로 인한 송출 중단은 엄청난 경제적 손실을 초래합니다.

태양 폭발로 지구 대기에 유입되는 고 에너지 입자들에 의한 마찰력의 증가는 위성의 고도를 순간적으로 떨어지게 합니다.

궤도를 이탈한 위성을 지상의 관제 시스템이 제어 할 수 없게 되면 최악의 경우 추락하게 됩니다.

오늘날 GPS는 누구나 일상 생활에서 사용하고 있고, GPS 위성을 이용하여 24시간, 시간과 위치에 대한 정보를 제공 받을 수 있습니다.

휴대폰에서부터, 자동차의 네비게이션, 항공기의 자동 항법 장치, 유도 미사일의 궤도 유도 등에서 GPS는 정확한 시간과 위치를 결정해주는 핵심 역할을 합니다.

태양 폭발로 인한 전리층의 팽창은 위성과 지상과의 신호 교환에 오차를 주게 되며 이는 위치 정밀도를 저하시킵니다.

최악의 경우, GPS 자동 항법 장치를 이용하는 선박이나 항공기의 충돌, 유도 미사일의 오작동과 같은 일이 발생 할 수 있습니다.

극 궤도를 운항하는 항공기는 위성통신이 불가능하기 때문에, 지상과의 단파 통신 유지가 안전에 매우 중요한 요소입니다.

태양 폭발로 인한 통신 두절은 항공기 및 승객의 안전에 치명적 영향을 줍니다. 극 궤도를 운항하기 전에 우주전파환경 정보를 반드시 확인해야 합니다.

대한항공을 비롯한 여러 항공사들은 유류 절감 및 비행시간 단축을 위해 극 궤도를 이용하고 있고, 운항 편수는 해마다 증가하고 있습니다. 따라서 우주전파 환경 정보의 중요성도 날로 증가하고 있습니다.

단파 통신은 전리층을 이용한 가장 기본적인 통신 방식입니다. 특히 통신망이 부족한 오지나 비상시 기반 시설 없이 사용 가능한 유일한 통신 수단입니다.

군 작전 시 단파통신의 두절은 작전의 차질 뿐만 아니라 인명의 손실까지도 초래 할 수 있는 중요한 사안입니다. 이를 미리 예측하여 대비하는 것은 지휘관이 고려해야 할 중요한 요소입니다.

또한 이동통신, RFID, ITS 등 지상 무선네트워크 및 방송서비스에 전파장애를 발생시켜 다가오는 유비쿼터스 시대에 심각한 사회적 혼란을 야기 시킬 것으로 예상됩니다.

세계 각국에서는 신뢰성 있는 우주전파환경 예-경보 서비스를 위한 연구 및 투자를 확대하고 있는 추세입니다.

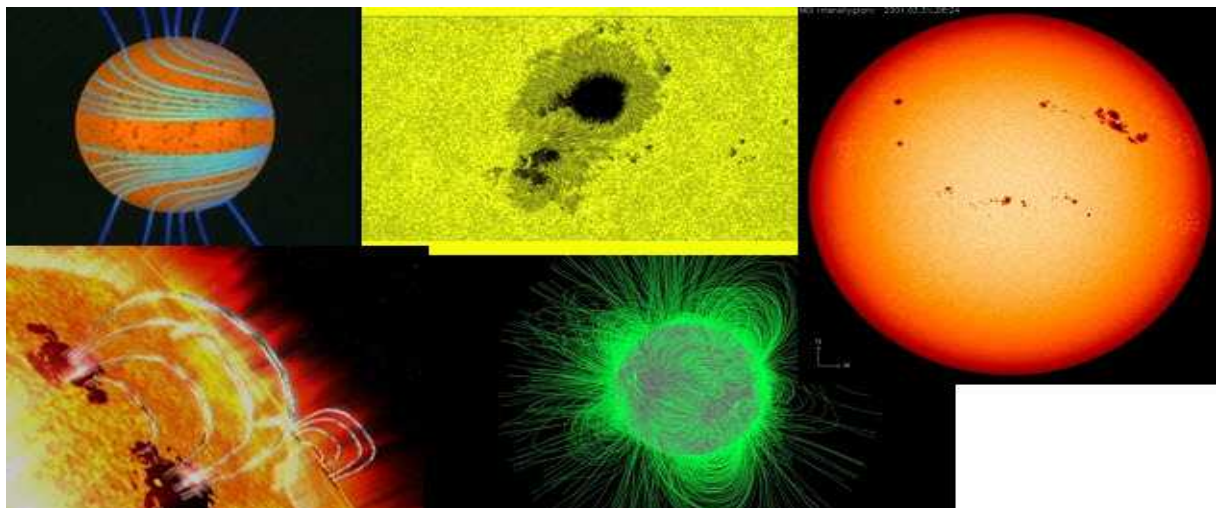
전파연구소도 다양한 첨단 관측시설 확충과 전문인력 확보를 통해 우주전파 환경을 체계적으로 연구할 수 있는 우주전파환경 연구센터를 제주에 구축중입니다.

급격한 태양활동으로 인한 이러한 사회적 혼란과 경제적 피해 최소화를 위해 전파연구소는 다양한 첨단 관측시설 확충과 전문인력 확보를 통해 우주전파환경을 체계적으로 연구할 수 있는 우주전파환경 연구센터를 제주에 구축중입니다(엔딩자막).

3) 우주전과환경 홍보 동영상 주요장면

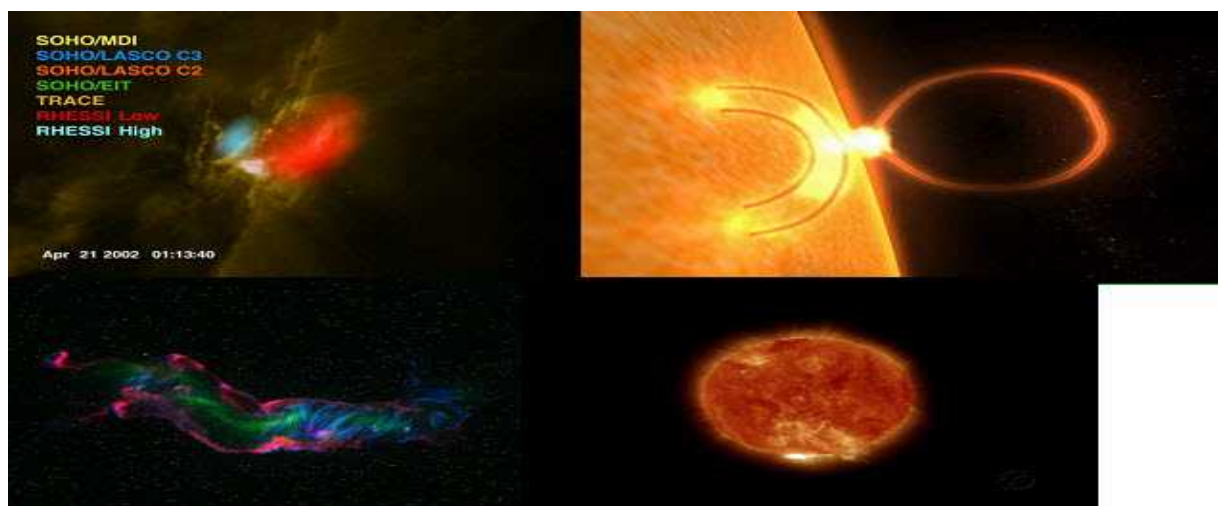
전개부인 '태양활동이 지구에 미치는 영향' 관련 동영상은 태양흑점 폭발과 우주환경 변화 현상을 설명하고자 하였고 주요 내용은 다음과 같다.

다음 그림은 태양 표면의 자기장 꼬임으로 인한 태양흑점 발생이며, 태양표면에서 검게 보이는 태양흑점은 11년마다 태양흑점 폭발이 최대, 최소를 반복하고 이 때 태양표면에서 자기장 꼬임 현상이 바뀌는 과정이다.



[그림 2-18] 태양 표면의 자기장 꼬임으로 인한 흑점 발생

다음 그림은 플레어 폭발이며 불안정한 태양자기장으로 인해 발생하는 거대한 폭발 현상이다.



[그림 2-19] 플레어 폭발

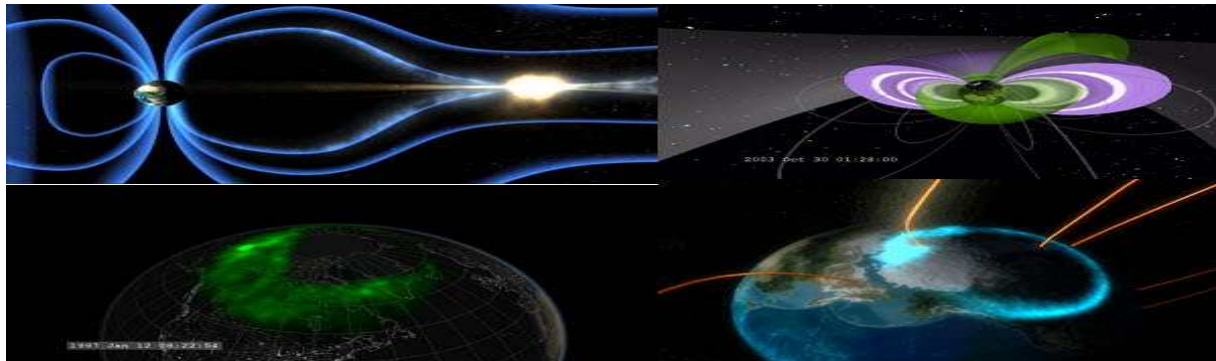
다음 그림은 코로나 물질 방출로 태양자기장 루프의 팽창으로 막대한 고에너지 입자가 방출되는 과정이다.



[그림 2-20] 코로나 물질 방출

자기장 폭풍은 태양에서 지구로 유입된 막대한 고에너지 입자로 인해 지구 자기장이 불안정되는 현상이다.

다음 그림은 지구의 자기장과 충돌로 인한 오로라 발생이며, 급격한 태양흑점 폭발로 인해 지구 자기장 뒤틀림 현상과 오로라현상이 발생하는 과정이다.



[그림 2-21] 지구의 자기장과 충돌로 인한 오로라 발생

종결부인 '태양폭발로 인한 장애사례' 관련 동영상은 태양흑점 폭발이 방송통신 등에 미치는 예상사례를 설명하고자 하였고 주요 내용은 다음과 같다.

- 고에너지 유입으로 인해 위성궤도 이탈 및 방송통신 장애
- 전리층 폭풍으로 인한 군사 작전에서의 단파 통신 두절
- 지자기 폭풍으로 인한 극궤도 운항 항공기의 통신 두절
- 태양전파 폭발로 인해 GPS 신호의 오차로 인한 항법시스템 정확도 저하 및 지상 무선통신의 전파장애

나. 2008 전파엑스포를 통해 우주전파환경 홍보

2008전파엑스포가 지난 10월 18일과 19일 양일 간에 걸쳐서 과천 서울대공원 입구 분수광장에서 개최되었다.

이번 전파엑스포는 방송통신위원회가 주최하고 한국전파진흥원이 주관하여 『늘 함께하는 소중한 친구 전파!』라는 주제로 일상생활 속에 공기나 물처럼 삶의 활력소를 주는 소중한 친구로 표현하여 친근감을 통한 전파의 소중한 이미지를 부각시키는데 역점을 두었다.



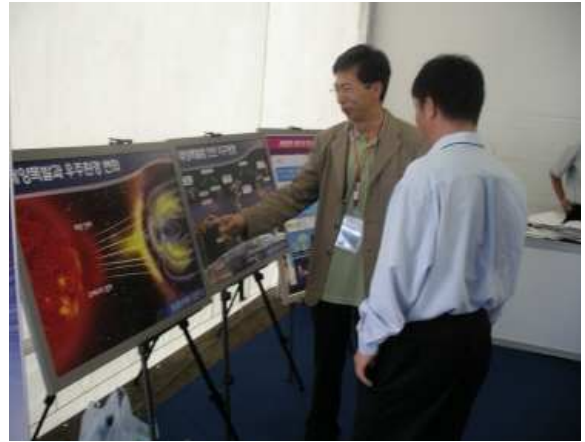
[그림 2-22] 전파연구소 홍보관

전파연구소는 최근 개발 완료된 '주파수자원분석시스템'을 이용하여 3차원 전자지도(GIS)를 이용하여 가상으로 방송국 설치, 생활환경의 전자파 안전이용을 홍보하기 위한 플래시 공모 작품 방영, 새로운 품질인증 마크를 홍보하고 방송통신기기 이용자 보호를 위한 품질인증제도 홍보 팜플렛을 배포하였다.

특히 전파연구소이천분소는 우주전파환경에 대한 동영상 제작·방영하고 이에 관한 연구 내용도 패널로 제작하여 전시하여 새롭게 접하는 전파연구업무 분야에 많은 호응을 얻었다.



[그림 2-23] 우주전파환경 홍보 동영상 시연



[그림 2-24] 우주전파환경 홍보 판넬 전시

다. 전파연구소 웹진 기고를 통해 우주전파환경 홍보

<’08년 7월호> 우주전파환경변화에 대한 연구_일반인에게 생소한 우주전파환경 설명



우주전파환경 영향이란 급격한 태양활동 (또는 태양흑점 폭발)으로 분출되는 태양복사 에너지와 태양 고에너지 입자로 지구의 전리층, 지자기 등 지구 주변의 전자기적 환경에 영향을 주는 것을 의미한다.

태양흑점 폭발은 태양전파, X선 및 자외선 영역의 복사에너지와 전자와 양성자로 구성된 고에너지를 지구에 방출하며, 복사에너지는 지구의 전리층을 교란시키고 고에너지 입자는 지구의 자기장을 교란시켜 지구 주변

전파환경의 급격한 변화를 초래합니다. 따라서 우주전파환경의 급격한 변화로 인해 발생하는 위성체 및 방송통신장애 피해 최소화를 위해 태양전파 관측기, 전리층 관측기, 지자기 관측기를 설치·운영하여 국내외 우주전파환경 관측자료를 수집·분석하고 있다.

<’08년 11월호> 해외 우주전파 환경 탐방_해외 연구동향 설명



우주기상예보센터(SWPC)는 미국 상무성 해양대기청 산하 9개 센터 중 하나로 70여명의 공무원이 우주기상관측·예보 및 연구업무를 수행하고 있으며 태양활동 이론·예보모델 연구 등 다양한 연구업무를 위해 우주환경 국제기구인 국제우주환경서비스(ISES)·지구물리자료센터(NGDC)에서 국제 허브 역할을 담당하고 있다.

전파천문관측소는 캐나다 국립연구소 산하 4개 관측소 중 하나로 40여명의 공무원이 2.8

GHz 태양전파 절대플럭스관측·전파천문관측 및 연구업무를 수행하고 있으며 2.8GHz 태양전파 절대플럭스관측·전파망원경 반사판 자체제작·다중위상 전파수신기 개발 및 대용량 자료처리 보드 개발을 수행하고 있다.

제3절 우주전파환경 예·경보 업무 매뉴얼

1. 우주전파환경 소개

가. 개 요

1) 목 적

- 신속, 정확한 우주전파환경 예·경보 서비스 제공을 위해 국내외 관측 자료의 종합적 분석방법 제시
- 분석된 자료를 근간으로 한 체계적인 우리소 우주전파환경 예·경보 운용업무 매뉴얼 작성하여 우리소 담당자가 신속하게 업무에 활용

2) 지원근거

< 법·제도적 근거 >

- 전파법 제61조(전파연구)

-
- ① 방송통신위원회는 전파이용을 촉진하고 보호하기 위하여 필요한 연구를 수행하여야 한다.
 - ② 제1항에 따라 수행하는 연구는 다음 각 호와 같다.
 - 8. 지자기 및 전리층의 관측
 - 9. 태양 흑점의 관측
 - 10. 제8호와 제9호에 따른 관측결과의 분석 및 예보·경보
-

< 추진경위 >

- 전파연구소 개소 및 전파 예·경보 업무 이관('66년)
- 전리층('66년), 태양전파('95년), 지자기('98년) 관측 시작
- 전파예보 책자 발간 및 배포('66~'07년)
- 전리층 관측기 DGS-256 도입('90년)
- 전파예보 프로그램 도입 및 전파예보 책자 개선('93년)
- 우주전파환경 인터넷 서비스 실시('98년)
- 관측자료의 종합 전산화 및 인터넷 서비스 개선('01년)
- 전리층 관측기 DPS-4D 도입('05년)
- 태양전파 관측시설 성능개선('06년)
- 태양전파 2.8GHz 관측기 신규 설치('06년)
- 노후 지자기 관측기 교체(제주) 및 신호전송선로 보수(용인, '06년)
- 우주전파환경 정보서비스 시스템 구축('06년)
- 우주전파환경 연구 활성화 계획 수립('07년)
- 우주전파환경 연구센터 구축을 위한 기본계획 수립 자체연구('07년)
- 전파예보 책자의 웹서비스로 대체('07년)
- 이동전화 단순문자서비스(SMS)로 우주전파환경 경보발령 정보제공('07년)
- 전리층 관측기 신규 설치(제주, '08년)
- 우주전파환경 연구센터 구축을 위한 종합계획 수립용역('08년)

나. 우주전파환경이란?

○ 개념

- 급격한 태양활동으로 분출된 태양 X선, 태양전파, 고에너지 입자 등으로 인해 변화하는 전리층, 지자기 등의 지구주변의 전자기적 환경

○ 우주전파환경연구의 목적

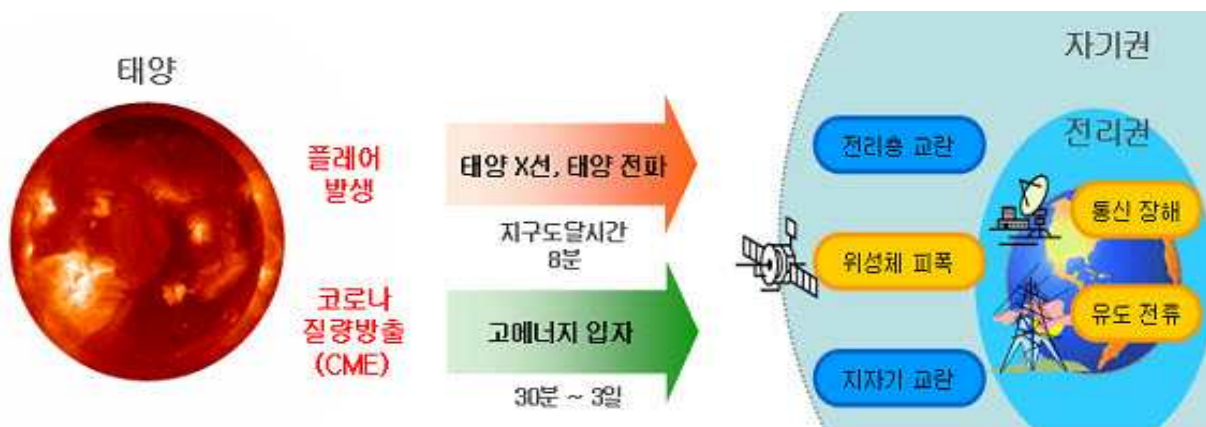
- 전리층, 지자기 등 우주전파환경을 관측·분석하여 태양활동 변화에 대한 신속한 예·경보를 통해 사회·경제적 피해 최소화

○ 태양활동에 의한 피해

- 위성궤도 이탈, 위성시스템과 통신망 장애, 단파통신 두절, 항해·항법 시스템 정확도 저하, 전력시스템과 해저케이블 파손 등 피해 발생

○ 태양활동 극대기(2012년) 도래

- 태양은 흑점수의 증감에 따라 주기적으로(약11년) 극대기가 도래하며, 학계에서는 다음 극대기(2012년)가 종래 가장 강력했던 1859년의 위력에 버금갈 것으로 전망



[그림 2-25] 태양활동이 지구에 미치는 영향

- ※ 전파기반 서비스의 증가 및 유비쿼터스화의 진전으로 태양폭발 등 급격한 우주전파환경 변화에 의한 물리적, 경제적 피해가 사회전반으로 확산 우려
- ※ **플레어** : 불안정한 태양자기장으로 인해 발생하는 거대한 폭발현상
- ※ **코로나 물질방출** : 태양자기장루프의 팽창으로 막대한 고에너지 입자 방출

다. 우주전파환경 예·경보 서비스란?

○ 목적

- 우주전파환경의 급격한 변화로 인한 통신장애 피해 최소화하기 위해 효율적인 우주전파환경 예·경보 서비스 제공

○ 예·경보 발령방법

- 경보 발령은 전파연구소 관측자료 및 국제우주환경관측소 등의 자료를 종합하여 경보 등급에 따라 발령하여 웹, SMS(이동통신 단순문자 서비스) 등 다양한 매체로 신속 발령

○ 예·경보 등급분류

- 경보 발령등급 분류는 태양복사, 태양입자 및 지구자기장(기준)에 따라 5단계 등급으로 분류

○ 예·경보 발령대상

- 주요관련 기관, 희망 기관 또는 개인에게 제공

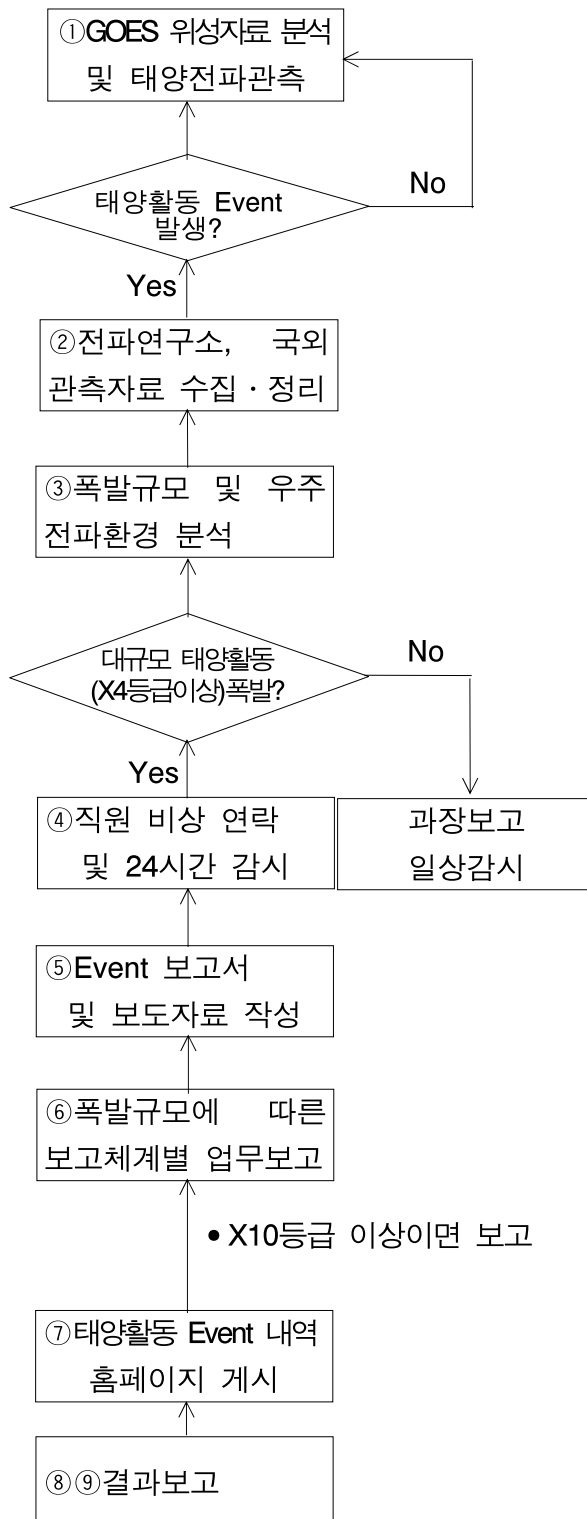


[그림 2-26] 우주전파환경 예·경보 시스템

2. 우주전파환경 예보서비스 업무처리 절차

가. 우주전파환경 예·경보업무 처리절차

< 처리절차 >



< 내용요약 >

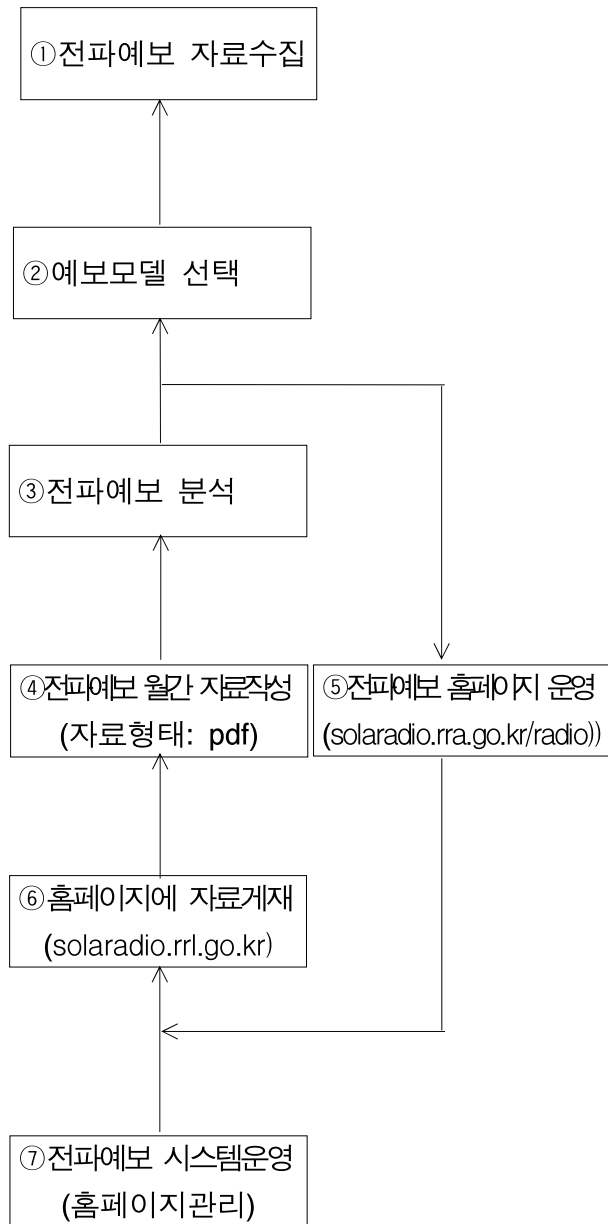
- 미 GOES위성에서 관측자료 모니터링 및 이천분소 태양전파관측
※ 주파수범위: 30~2500MHz, 2.8GHz
- 태양활동 Event 발생여부 판정
- 국내외 관련기관 관측자료 수집·정리
※ 이천분소: 전리층, 지자기(3기), 태양전파관측 시스템 보유
- 관측자료 수집 자료를 토대로 지구에 미치는 영향 분석
- 대규모 태양활동 Event 발생(X4 등급) 여부 판정
- 희망주파수 지정이 가능한지 판정
※ 태양활동이 미비한 경우 과장보고
- 대규모 태양활동(X4등급이상) 발생시
 - 담당직원 긴급연락
 - 24시간 비상근무조 편성·감시
 - 태양활동 규모에 따른 보고체계별 업무보고
- 태양활동 Event 내역 홈페이지 게시
- 태양활동 Event 결과보고

< 세부절차 >

- ① GOES위성자료 분석 및 태양전파 관측
 - GOES 위성자료(www.swpc.noaa.gov) 모니터링 및 일일보고
 - 태양전파관측(30~2500MHz, 2.8GHz)
- ② 전파연구소 및 국외 관측자료 수집 및 분석
 - 태양활동 Event 발생시 국내외 관련기관 관측자료 수집
 - ACE 위성, SOHO 위성 및 SWPC 예보 메시지 분석
- ③ 폭발규모 및 우주환경변화 분석
 - 관측·수집 자료를 바탕으로 태양폭발의 규모
 - 지구에 미치는 영향 분석
- ④ 직원 비상연락 및 24시간 감시
 - 대규모 태양활동(X4급이상) 발생시 담당직원 긴급연락
 - 24시간 비상근무조 편성·감시
- ⑤ Event 보고서 및 보도자료 작성
 - 태양활동의 규모·영향에 대한 보고서 및 보도자료 작성
- ⑥ 폭발규모에 따른 보고체계별 업무보고
 - X등급 이상의 태양활동 발생시 각 규모에 따른 보고체계별 업무보고
- ⑦ 태양활동 Event 내역 홈페이지 게시
 - 홈페이지(solaradio.rrl.go.kr)에 태양활동 규모 및 영향 등 Event 안내문 게시
- ⑧ 사후 관측 및 태양활동 결과 보고
 - 태양활동 규모가 감소될 때까지 지속적 관측
- ⑨ 태양폭발에 의한 영향 및 피해사례 보고

나. 전파예보 업무 처리절차

< 처리절차 >



< 내용요약 >

- 태양흑점 예측자료 수집
- ITU-R 예보모델(VOACAP) 선택
- 개인 PC기반의 전파예보 실시
 - 예보기간: 차기 월간
 - 예보자료: 사용가능한 최고주파수 등
- 홈페이지를 통한 실시간 전파예보
- 홈페이지를 통한 전파예보 자료다운
- 전파예보 서버 등 시스템운용 및 관리

< 세부절차 >

- ① 전파예보 자료수집
 - 차기 월중 태양흑점 예측자료 수집
- ② 전파예보 예보모델 선택
 - 다양한 전파예보 모델중 ITU-R 예보모델(VOACAP) 선택
- ③ 전파예보 분석
 - 개인 PC기반의 전파예보 분석툴 이용
(예보기간: 차기 월중, 예보결과: 사용가능한 최고주파수 등)
- ④ 전파예보 월간 자료작성
 - 기존 책자형태의 사용자를 위한 전파예보 작성(PDF 파일)
 - 홈페이지(solaradio.rrl.go.kr)를 통한 전파예보 자료다운
- ⑤ 전파예보 홈페이지 운영
 - 홈페이지 URL: <http://solaradio.rrl.go.kr/radio>
 - 홈페이지를 통한 실시간 전파예보 실시
- ⑥ 홈페이지 자료 게재
 - 월간 전파예보 자료 게재(PDF 파일)
- ⑦ 전파예보 시스템운영 및 관리
 - 전파예보 발간용 서버관리(내부용)
 - 대국민 서비스를 위한 전파예보 서버관리(일반용)









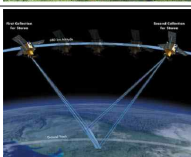
3. 관측시설 현황

가. 전파연구소 관측시설

관측시설	설치장소	용 도	비 고
전리층 관측기	 안양	태양폭발이 전리층에 미치는 영향 분석	'66년~
	 제주		'08년~
지자기 관측기	 안양	자기폭풍을 실시간으로 관측·분석	'98년~
	 이천		
	 용인		
태양전파 관측기	 제주	30MHz~2500MHz 태양전파를 수신하여 전파폭발 유형관측	'95년~
① LP 안테나			
② 6m 안테나	 이천		
③ 10m 안테나	 이천		
우주환경 예경보실 개소	 이천	위성, 통신, 항법 등 안정적인 운용	'01. 12월
2.8GHz 태양전파 관측기	 이천	2.8GHz 태양전파 절대 플럭스분석·연구 태양흑점 상대관측·분석	'06년~

나. 국외 관측시설

1) 지상 관측시설

구분	관측시설	용 도	보유 현황
태양 관측	태양전파 관측기	 태양전파를 수신하여 전파폭발 유형 관측	미국, 일본, 호주
	2.8 GHz 태양절대플럭스 관측기	 태양 흑점수, 태양 X선, 태양자외선의 간접측정	캐나다, 일본
	태양플레어 관측기	 가시광 영역의 태양표면 폭발현상 및 세기관측	미국, 일본, 호주
	태양폭발위치 감지시스템	 전파영역에서 태양폭발 위치 및 세기감지 (Solar Radio Burst Locator, SRBL)	미국
	태양흑점 관측기	 태양흑점수 관측을 통한 태양활동 변화 분석	미국, 일본, 호주 등
	태양분광 관측기	 태양에서 방출되는 파장 관 측을 통해 태양활동 변화 분 석	미국, 일본, 호주 등
	태양전파 이미지관측기	 17 GHz와 30 GHz 태양전파를 수신하여 태양 전파상의 태양 이미지를 촬영 (Heliograph)	일본
	태양풍관측기	 태양풍의 밀도, 전파과정 등을 분석 (IPS: Interplanetary Scintillation)	영국, 일본, 멕시코 등
	Stereo 위성 수신시스템	 태양표면에서 일어나는 폭 발현상을 3차원으로 관측	미국, 일본, 인도 (공동 프로젝트)

구분	관측시설	용도	보유 현황
태양 관측 (계속)	ACE위성 수신시스템 	전자, 양성자, 태양풍 변화 관측	미국, 일본 (공동 프로젝트)
전리층 관측	전리층 관측기 	전리층 변화가 단파통신에 미치는 영향 분석 및 예보	미국, 일본, 호주 등 80여개국
	GPS 전리층 전자밀도 측정기(TEC) 	전리층 전자밀도총량을 관측하여 GPS 서비스에 미치는 영향 분석	미국, 일본, 호주 등
	단파(HF) 레이더 	전리층 하부의 플라스마 흐름 측정을 통해 전리층 밀도, 높이 성분 등 분석	일본, 미국 등
	초단파(VHF) 레이더 	전리층 상부의 플라스마 흐름 측정을 통해 전리층 밀도, 높이 성분 등 분석	일본, 미국 등
	불균일 방사 레이더 (Incoherent Scatter Radar) 	전리층과 상층대기, 지자기권의 상호작용 분석	미국, 영국, 호주, 러시아 등
	전파흡수 관측기 (Riometer) 	천체 전파의 전리층 흡수량을 측정하여 태양풍 입자가 전리층에 미치는 영향 분석	미국, 영국 등
지자기 관측	지자기 관측기 	우주환경 변화에 따른 지구자기장 변화량 및 지자기 폭풍세기 측정	미국, 일본, 호주 등 전 세계 약 50여개국
기타	중성자 관측기 (Neutron Monitor) 	우주공간에 존재하는 중성자를 관측하는 장비로 소립자물리 연구에 주로 사용	미국 등 12여개국
	태양관측위성 (SOHO) 	태양자외선 EIT171, LASCO 등을 측정하여 태양활동 분석	미국 등

2) 위성관측 시설

위성명	운영국	관측항목	자료출처
GOES 위성	미국 (NOAA)	X선 전자 양성자 관측	http://www.sec.noaa.gov/Data/goes.html
ACE 위성	미국 (NOAA)	태양풍속, 고에너지 입자 관측	http://www.sec.noaa.gov/ace
SOHO 위성	유럽 (NASA, ESA)	태양자외선 2-D, CME 관측	http://sohowww.nascom.nasa.gov/home.html
POES 위성	미국 (NOAA)	극지방 오로라 2-D 관측	http://www.sec.noaa.gov/pmap/
STEREO 위성	미국 (NASA)	태양표면 3-D, CME 관측	http://stereo.gsfc.nasa.gov/ http://stereo.jhuapl.edu/
WIND 위성	미국 (NASA)	태양풍속, 고에너지 입자 관측	http://www-spf.gsfc.nasa.gov/istp/wind/

- ※ GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite)
 ACE (Advanced Composition Explorer)
 SOHO (SOlar Heliospheric Observatory)
 POES (Polar Operational Environmental Satellites)
 STEREO (Solar Terrestrial Relations Observatory)

4. 관측자료 수집 및 분석방법

가. 전파연구소 관측자료 분석

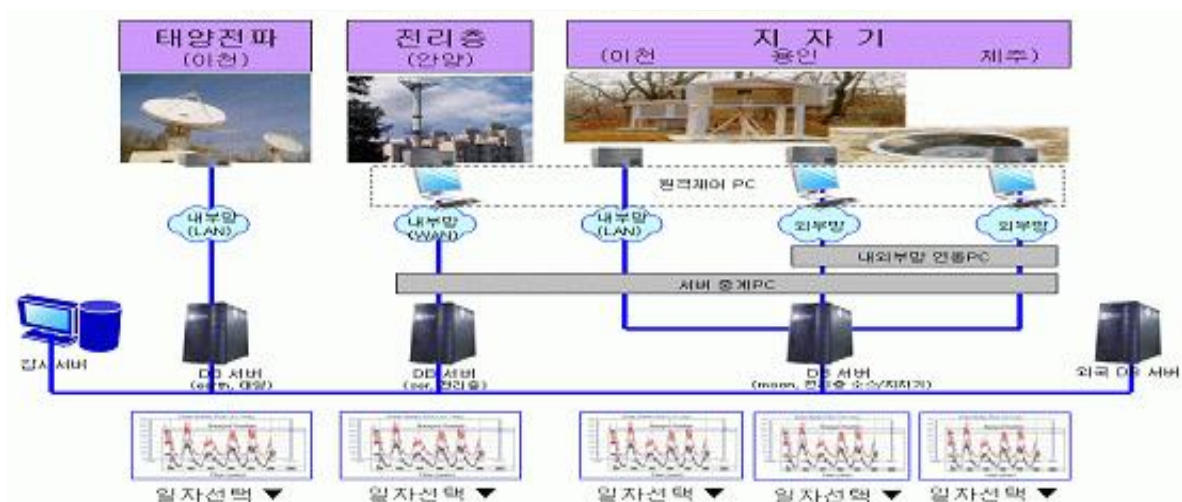
1) 전파연구소 관측항목

가) 주요 관측항목

관측시스템 및 관측항목		자료출처	비고
태양전파 스펙트럼	태양 전파폭발 유형	전파연구소 내부망 (http://10.222.66.31/home/)	이천
태양전파 2.8GHz	절대플럭스	"	이천
전리층	HF대역 최적주파수	"	안양, 제주(예정)
지자기	지자기 폭풍 (K 지수)	"	이천, 용인, 제주

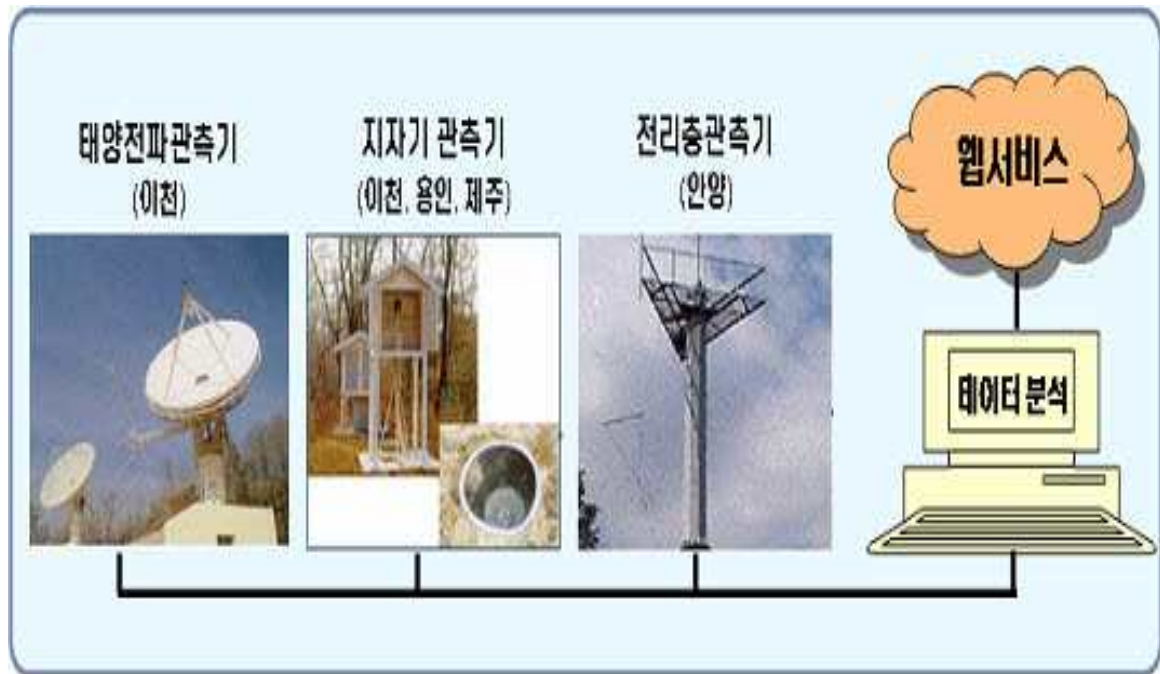
나) 관측자료 수집방법

(내부망에서 운영: <http://10.222.66.31/home/>)



[그림 2-27] 관측자료 수집 시스템 구성도

다) 관측자료 처리방법



[그림 2-28] 관측자료 수집 및 처리 구성도

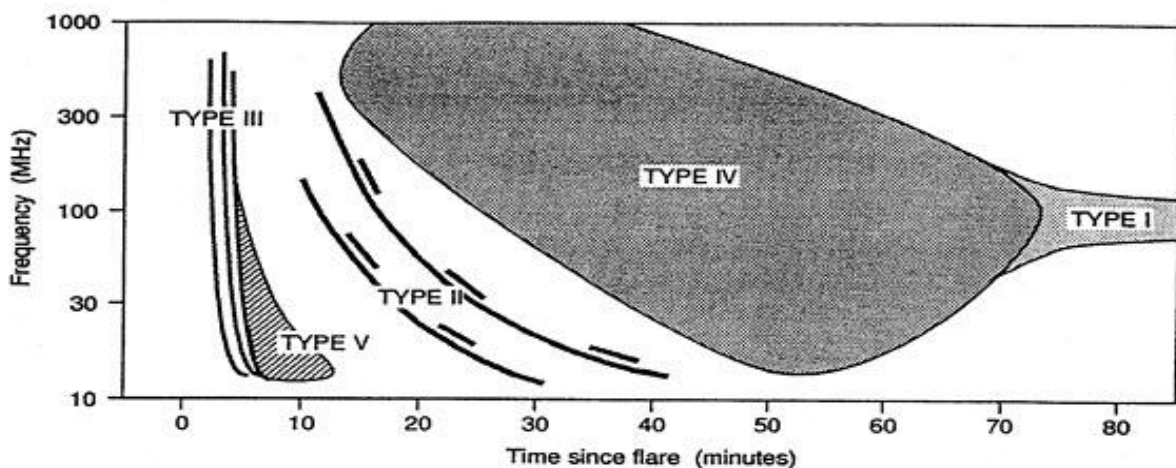
2) 태양전파 관측자료 분석

가) 시스템 개요

- 태양전파 시스템('95년~, 이천)은 주파수범위 30~2500MHz에서 (주간)매시 측정결과를 정지영상물로 생성하여 태양폭발 유형분석
- 강력한 태양흑점 폭발이 발생한 경우 태양전파폭발 유형 1 ~ 4 단계로 분류하여 우주전파환경 변화징후 예측 가능

나) 분석방법

- 분석자료 취득방법
 - 전송망 감시시스템(내부망전용) : <http://10.222.66.31/home/>
 - 태양전파 서버(담당자전용) :
- 분석기준
 - 태양폭발유형 (Type I, II, III, IV) 기준

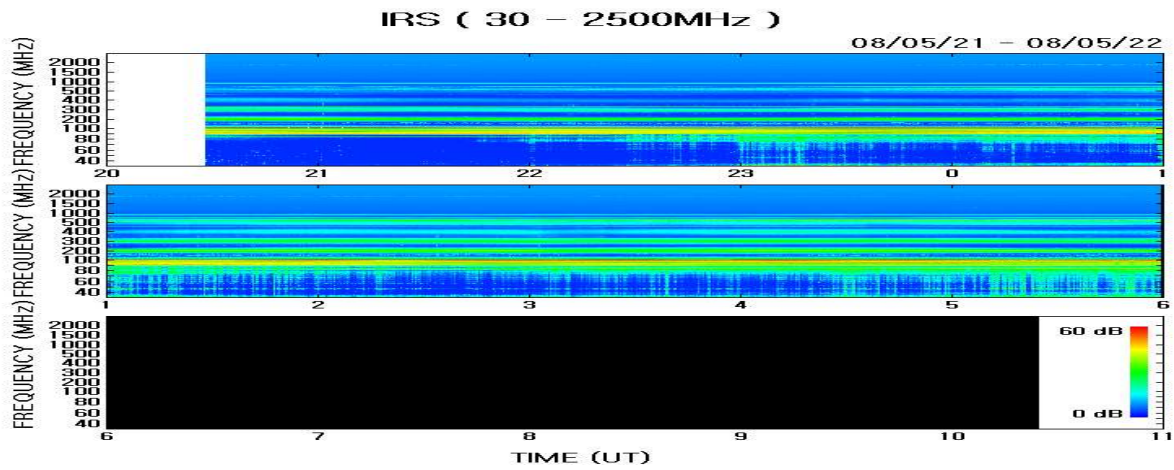


[그림 2-29] 태양전파폭발 유형

- 분석절차
 - 서버 또는 전송망 감시시스템을 통해 실시간 데이터 및 그래프 수집
 - 매시마다 갱신되는 태양폭발 정지영상 그래프 분석
 - 현재 태양전파폭발유형은 컴퓨터를 통해 자동으로 판별할 수 없어 수작업 처리

다) 분석예시

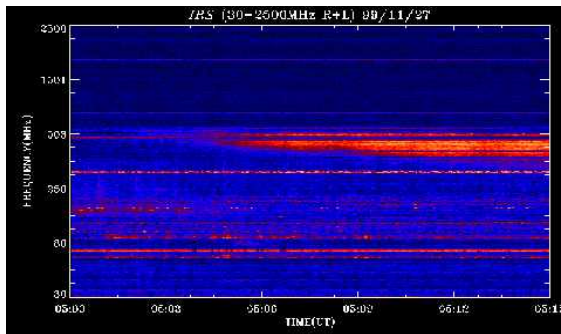
o 태양전파 폭발이 없을 경우 주파수스펙트럼



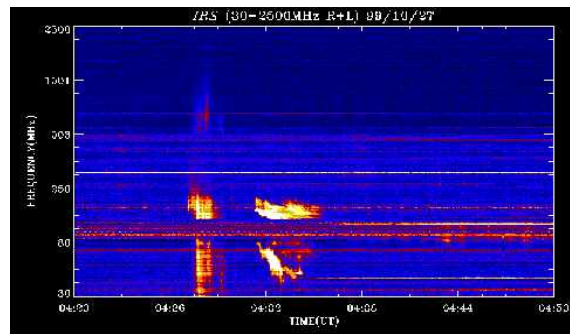
o 태양전파 폭발이 있을 경우 주파수스펙트럼

- 태양전파유형 (Type I, II, III, IV)

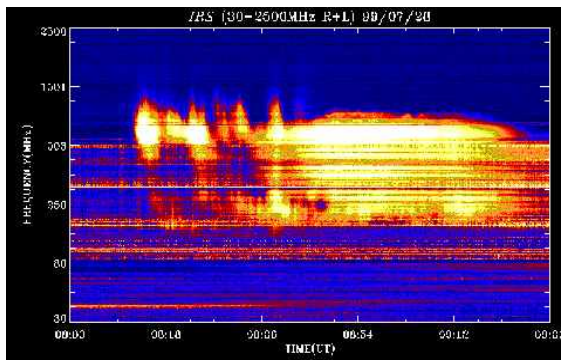
< Type I >



< Type II, III >



< Type IV >



라) 태양전파폭발 유형에 따른 관련현상 비교

< 태양전파폭발 유형에 따른 관련현상 >

유형	특징	관련현상	원인
Type I	-짧은 주파수대역에서 연속전파방출 -수시간~수일	-Eruptive Prominence -Geomagnetic Strom -Ionospheric Storm	태양흑점
Type II	-고주파에서 저주파수로 천천히 하강 -Harmonic 구조, 수 분~수 십분	-태양코로나충격파 -우주환경변화의 주요징후 -Geomagnetic Strom	자기충격파
Type III	-고주파에서 저주파로 급격히 하강 -집단으로 발생, 수 십초 간	-태양플레어에 의한 고속의 전자빔	고속의 전자흐름
Type IV	-플레어관련 광대역 연속전파현상 -Stationary, Moving Type IV로분류	-태양 Plasmoid	가장 강력한 플레어와 관련
Type V	-Type III group과 함께 발생 -1~2분간지속, 구분하기 힘들	-고속의 전자빔	태양내부활동

※ 출처: 전파연구소 정책연구보고서(2002년)

※ 태양복사(X선) 분류 및 기준

분 류	분석기준 (X선 플레어 형태)
Very low	C 등급보다 약함
Low	C 등급
Moderate	단독(1~4) M 등급
High	다수(5이상) M 등급 혹은 단독(1~4) M 등급
Very high	다수(5 혹은 이상) M 등급 혹은 더 큰 등급

3) 전리층 관측데이터 분석

가) 시스템 개요

- 전리층 관측 시스템('66년~, 안양)은 전리층 송수신 시스템(3~10MHz)을 통해 연중 실시간 1시간 간격으로 전리층 높이 측정
- 전리층 높이는 전리층 반사 효과를 사용한 대륙간 원거리 HF통신 시 공중선출력, 안테나패턴 등과 함께 중요한 송·수신 파라미터임
- 태양활동이 없는 일반적인 경우 안정적인 전리층 높이를 유지하나 강력한 태양흑점 폭발이 발생한 경우 전리층 높이가 변하거나, 전리층이 일시적으로 사라지므로 관측자료를 통해 우주전파환경 이상 징후 예측

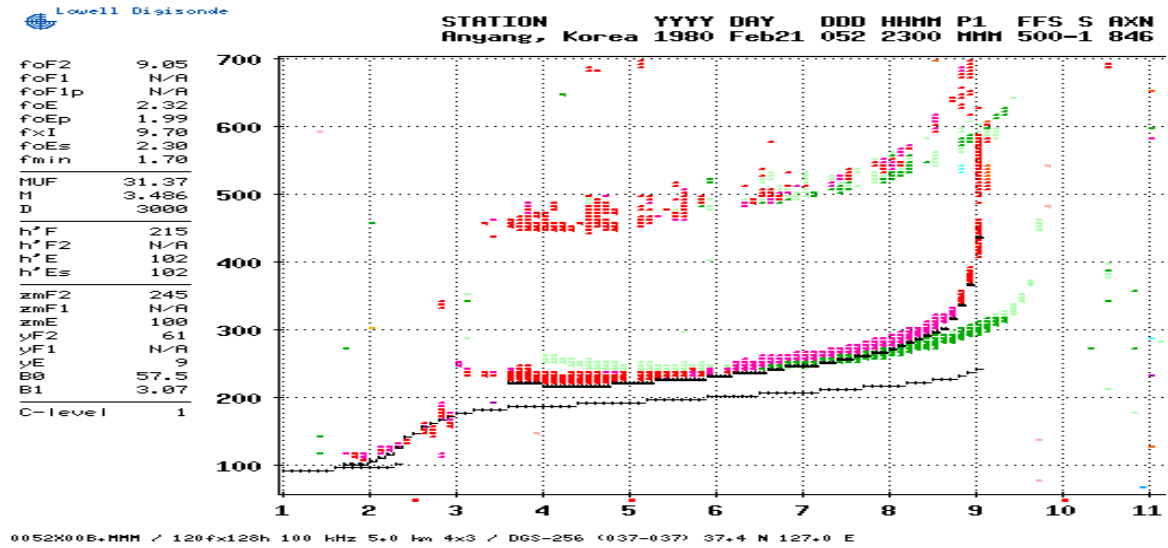
나) 분석방법

- 분석자료 취득방법
 - 전송망 감시시스템(내부망전용) : <http://10.222.66.31/home/>
 - 전리층관측 서버(담당자전용) :
- 분석기준
 - 일별, 주간별, 계절별, 태양흑점 사이클별 등 중장기적인 측면에서 특이데이터 발생여부와 1시간 전 데이터와 비교 시 특이데이터 발생여부
- 분석절차
 - 서버 또는 전송망 감시시스템을 통해 실시간 관측데이터 확인
 - 특이현상이 없는 경우 HF최적주파수, 전리층 높이 등으로 산출
 - 특이현상이 있을 경우 스포라딕, 텔린저 현상 등으로 분류

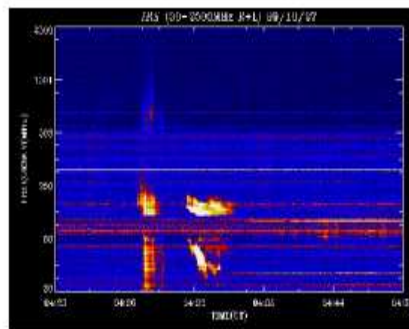
다) 분석예시

o 태양전파 폭발이 없을 경우 전리층 높이 (정상상태)

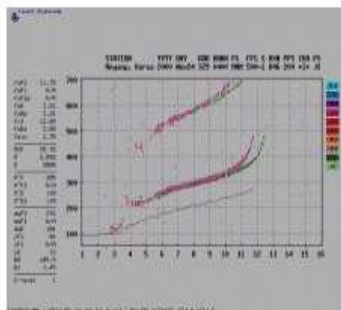
< 정상상태 >



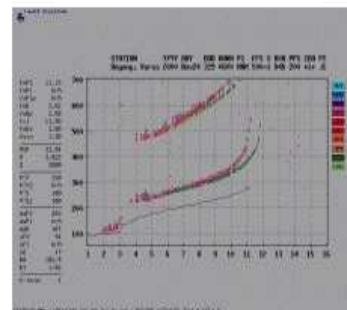
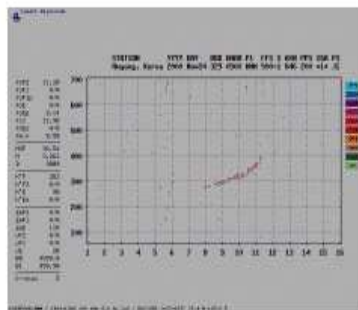
태양전파폭발



태양전파폭발 전



태양전파폭발 후



<전리층의 특이현상>

태양활동에 의해 발생하는 급격한 전리층 변화로 인해 전파의 교란 (신틸레이션) 또는 예기치 않은 경로로의 전파 진행을 일으킨다.

<전파진행과정>

태양폭발(플레어, 수분~수시간)로 복사에너지방출(모든 전자기파) → 태양 자외선과 X선에 의해 급격한 전리층 교란(Sudden Ionospheric Disturbance :SID) → 전파두절(위치정보에러유발, 신틸레이션현상)

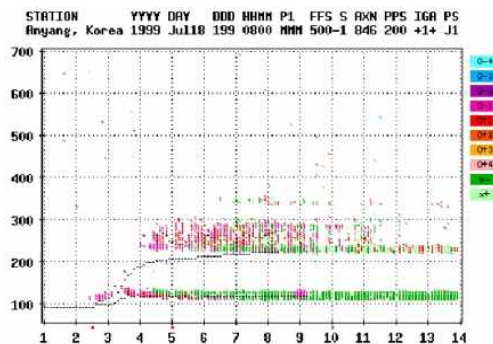
※ 위치정보에러유발 : GPS(L대역), OMEGA(VLF대역), Loran-C(LF 대역)

※ 신틸레이션현상 : 전파신호 세기의 증감으로 일시적 통신이 불가능한 상태

<주요 특이현상>

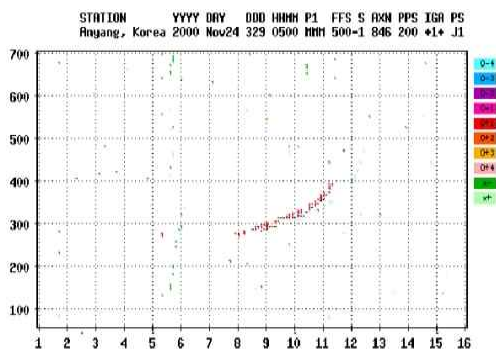
스포라틱 E층, 델린저 현상 등

< 스포라틱 E 층 >



스포라틱 E 층은 고도 90~130Km 에서 전자구름이 나타났다가 사라지는 반사층의 일종으로 우리나라 (안양)의 경우 4월 중순에서 7월 말 사이에 낮 시간대에 발생빈도가 높음

< 단파두절, 델린저 >



델린저현상은 단파두절이라고 하며 갑작스런 전리층 소실로 전파가 전리층 반사를 하지 못해 원활한 통신이 어려움

< 전리층 교란에 의한 통신시스템의 영향 및 관련기관 >

전파통신분야	전리층 교란 효과	관련기관
HF대역 통신	전파흡수증가 MUF Depress LUF Increase Fading 증가	철도청, 산림청, 아마추어무선연맹, 기상청, 방송국, 군, 해상무선표지국
감시 시스템	레이더 감도 감소 Range 에러 방위각, 고도 에러	군, 공항공단
위성통신 시스템	페러데이 회전 신틸레이션 주파수 간섭	위성 지구국 (한국통신, 데이콤)
항법시스템 (GPS, Loran-C, OMEGA)	주파수위상 및 진폭변동 위치에러 전리층 반사층의 변화에 의한 주파수위상의 이상현상	해상무선 표지국 이동전화 기지국 선박통신사 협회

4) 지자기 관측데이터 분석

가) 시스템 개요

- 지자기 관측시스템('95년~, 이천, 제주, 용인)은 개별 관측소에서 일변화 자기장에 대해 변동하는 자기장 평균값을 3시간 간격으로 평균한 우리나라 K지수 생성

나) 분석방법

○ 분석자료 취득방법

- 전송망 감시시스템(내부망전용) : <http://10.222.66.31/home/>
- 전리층관측 서버(담당자전용) :

○ 분석기준

- 급격한 우주전파환경 변화는 아래와 같이 지자기 변동폭에 따라 지자기 등급 분류
- A지수에 따른 지자기 분류

분 류	A 지수의 변동	분석기준 (전형적인 값)
Quiet	$0 \leq A < 08$	K지수가 2이하
Unsettled	$08 \leq A < 16$	K지수가 3이하
Active	$16 \leq A < 30$	K지수가 일부가 4 또는 5
Minor storm	$30 \leq A < 50$	K지수가 대부분 4 및 5
Major storm	$50 \leq A < 100$	K지수의 일부가 6 또는 그 이상
Severe storm	$100 \leq A < 400$	K지수의 일부가 7 또는 그 이상

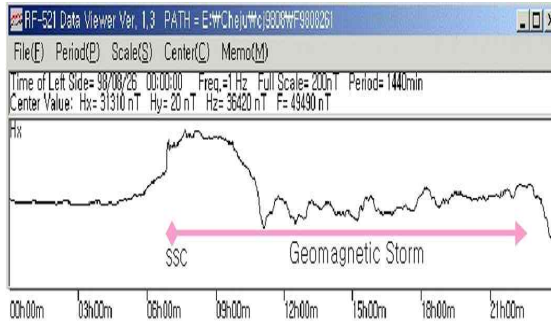
○ 분석절차

- 서버 또는 전송망 감시시스템을 통해 실시간 데이터 확인
- 특이현상이 없는 경우 HF최적주파수, 전리층 높이 등 산출
- 특이현상이 있을 경우 스포라딕, 델린저 현상 등을 분류

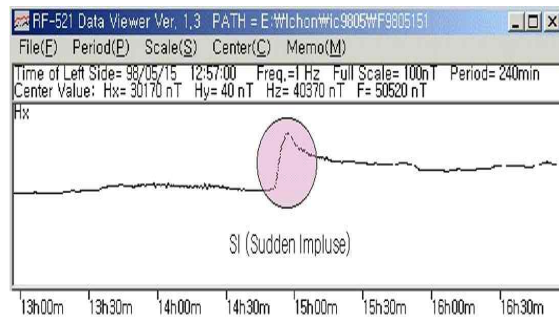
다) 분석예시

○ 지자기 특이현상

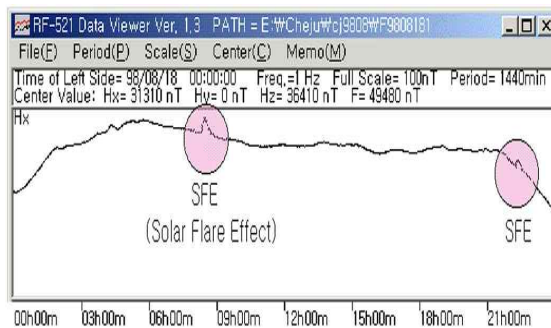
< 지자기 폭풍, SSC >



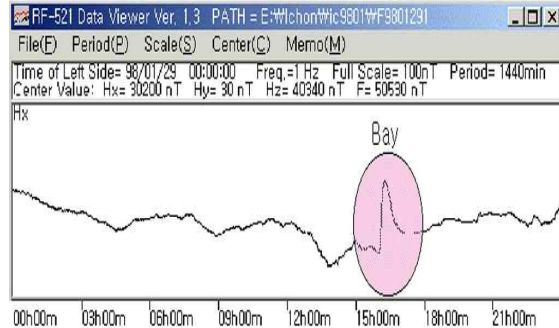
< 지자기 급변, SI >



< 태양폭발에 의한 영향, SFE >



< 지자기 만, Bay >



※ SSC: Geomagnetic Storm, SI: Sudden Impulse, SFE: Solar Flare Effect

○ 우리나라 K지수 환산표

개별 최소값		해당 K 지수		개별 최대값
0	<	K0	<	$0.01 \times K9$
$0.01 \times K9$	<	K1	<	$0.02 \times K9$
$0.02 \times K9$	<	K2	<	$0.04 \times K9$
$0.04 \times K9$	<	K3	<	$0.08 \times K9$
$0.08 \times K9$	<	K4	<	$0.14 \times K9$
$0.14 \times K9$	<	K5	<	$0.24 \times K9$
$0.24 \times K9$	<	K6	<	$0.40 \times K9$
$0.40 \times K9$	<	K7	<	$0.66 \times K9$
$0.66 \times K9$	<	K8	<	K9

※ 최대 지자기 변동량(K9)

: 지역별 미국 볼더 K9=500nT, 이천, 용인 K9=300nT, 제주 K9=280nT

※ a, ap, Kp 지수: 3시간마다 K 지수로부터 환산

※ A, Ap 지수: 24시간마다 K 지수로부터 환산

5) 2.8GHz 태양전파 관측자료 분석

가) 시스템 개요

- 2.8GHz 태양전파 관측시스템('06년~, 이천)은 주간동안 실시간 SFU¹⁾(전력밀도) 측정하고 있으며 태양흑점수와의 상관성이 있음
- 태양활동이 없는 경우 80 SFU로 유지하나 강력한 태양흑점 폭발이 발생할 경우 수백 SFU까지 증가할 수 있어 관측자료를 통해 우주전파 환경 변화 징후 예측 가능

나) 분석방법

- 분석자료 취득방법
 - 전송망 감시시스템(내부망전용) : <http://10.222.66.31/home/>
 - 태양전파 서버(담당자전용) :
- 분석기준
 - 태양활동이 없는 경우 80 SFU (150 SFU 초과 시 관심있게 관찰)
- 분석절차
 - 관측서버 또는 전송망 감시시스템을 통해 실시간 데이터 확인
 - 1일별 측정치는 정오 12시에 측정한 값 기준

1) SFU (Solar Flux Unit)

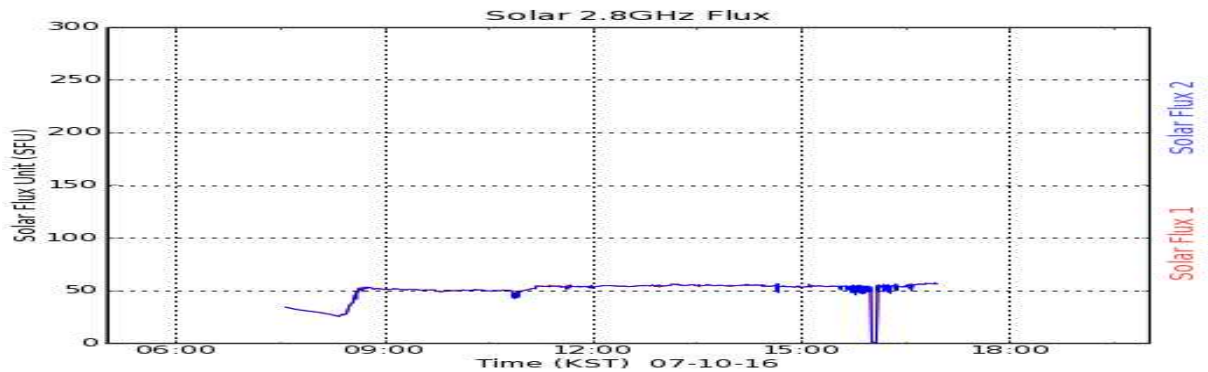
- 태양의 활동정도를 나타내는 기준으로 10.7cm (또는 2.8GHz)에서 SFU(Solar Flux Unit)를 사용하고, F10.7로 표기

- 1 SFU = $10^{-22}(\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{Hz})$

다) 분석예시

o 태양전파 폭발이 없을 경우 주파수 스펙트럼

< 정상상태, 1일 >



o 태양전파 폭발이 있을 경우 주파수 스펙트럼

< '06.12월 설치 이후 특이 현상 없음 >

o 태양활동 기준

- 조용한 태양(Quiet Sun) : 태양활동의 극소기 때의 태양
 - . 식 $S_q(SFU) = 26.4 + 12f + 1.11f^2$ ($1 \leq f(\text{GHz}) \leq 20$)
 - . 태양활동의 주기적인 변화를 제외한 태양온도로부터 식 도출
- 활동하는 태양(Active Sun) : 11년 주기로 변화는 부분
 - . 식 $S_a(SFU) = \frac{0.64(F10.7 - 70)f^{0.4}}{1 + 1.56\ln^2(f/2.9)}$ (f 주파수, F10.7)
 - . 3GHz에서 최고이고, 2.8GHz의 SFU를 알고 있을 경우 식 도출
- 폭발하는 태양(Burst Sun) : 순간적으로 태양표면에서 폭발
 - . 현재까지 학계에서 경험식으로 정립이 안됨

6) 태양흑점 수

1일 태양 활동정도를 나타내고 광학관측을 통해 이루어지며 다음 식과 같이 정의 된다.

$$R(\text{흑점수}) = k(10g + s) \quad (1)$$

여기서 s 태양의 개별 흑점 수,

g 태양의 흑점그룹 수

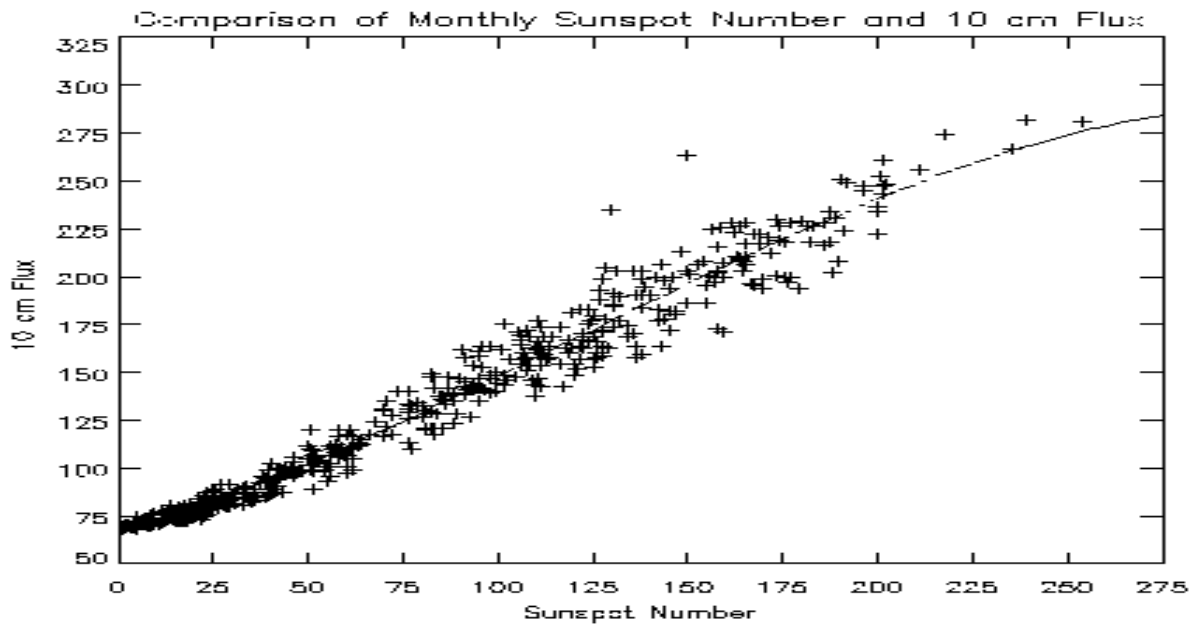
k 관측 팩터 (관측 팩터는 관측소간의 결정된 흑점수를 상호 비교함으로써 결정되는 상수 값)

2.8GHz 태양전파 플럭스와 태양 흑점수와의 통계적 관계식(Richard, 2002)은 다음 식과 같다.

$$F(\text{플럭스 세기}) = 67.0 + 0.572R + (0.0575R^2) - (0.0209R)^3$$

$$R(\text{흑점수}) = 1.61FD - (0.0733FD)^2 + (0.0240FD)^3$$

여기서 $FD = F(\text{플럭스 세기}) - 67.0$



[그림 3-30] 2.8GHz 태양전파 플럭스와 태양 흑점수와의 상관관계

나. 외국의 관측자료 분석

1) 주요 관측항목

관측 항목 ²⁾		자료출처	비고
GOES 위성 ³⁾ (미국)	X선(W/m^2)	미국 SWPC 홈페이지 (http://www.swpc.noaa.gov/)	1, 5분 데이터
	양성자 ($\text{개/cm}^2\text{-s-sr}$)	“	5분 데이터
지자기 관측소 ⁴⁾ (미국, 캐나다)	Kp지수(-)	“	3시간 데이터

2) 관측기관별 관측항목

관측기관	운영국	관측항목	예보항목	URL
SWPC	미국	경보(X선, 지자기지수, 양성자), Bz, 태양풍	3일간(2.8GHz), 주 간, 월간	http://www.swpc.noaa.gov/SWN/
SIDC	유럽 (RWC)	흑점지수(수, 번호)	1일(흑점수)	http://sidc.oma.be
ESA	유럽	SOHO에서 받은 이미지 등	1일	http://esa-spaceweather.net
IPS	호주	TEC, 지자기 등	전자밀도	http://www.ips.gov.au/
NICT	일본	자기장, 전리층	A지수, HF통신지수 등	http://hirweb.nict.go.jp/index.html
ISES	국제 기구	예·경보 총괄기구	전세계 기관간 자료교환 주선	http://www.ises-spaceweather.org/

※ SWPC (Space Weather Prediction Center)
 SIDE (Solar Influences Data Analysis Center)
 ESA (European Space Agency)
 IPS (Ionospheric Prediction Service)
 NICT (National Institute of Information and Communications Technology)
 ISES (International Space Environment Service)

3) GOES위성: 미국 NOAA가 정지궤도 GOES10, 11, 12, 13를 운영중

4) 지자기 관측소 : Meanook(캐나다), Glenlea(캐나다), Saint Johns(캐나다), Ottawa(캐나다), Sitka(알래스카), Newport(워싱턴), Fredericksburg(버지니아), Boulder(콜로라도), Fresno(캘리포니아)

GOES 위성

o GOES 위성 개요

- GOES 위성은 미국 NOAA가 운영하여 X선, 전자, 양성자 등 관측

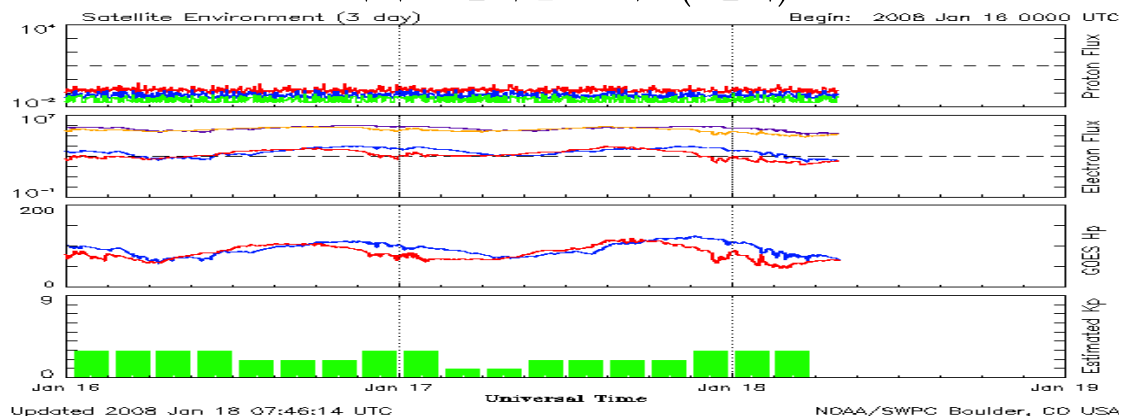
관측위성 (세부사이트)		GOES 위성 (http://www.sec.noaa.gov/Data/goes.html)
관측자료 종류	태양복사	X선
	태양입자	전자, 양성자
	지구자기장	Hp(근사적으로 지구자전축에 나란한 방향)
	기타	D층(전리층 고도 50~90km) 흡수예측
관측자료 제공형태		o 웹사이트(text, 그래프, 동영상) o 실시간 관측자료를 그래프로 제공 - 3일 (1분, 5분 데이터)
분석방법 key		o 실시간 그래프를 보면서 특이 현상 분석

o GOES 위성 종류

관측자료	주 위성	부 위성	기타
X선, 양성자	GOES 11	GOES 10	
지자기, 전자	GOES 12	GOES 11	
태양 X선 영상	none	none	

※ 정지위성 궤도: GOES11 서경 135도, GOES10·12 서경 75도

<예시 - 실시간 그래프(3일치)>

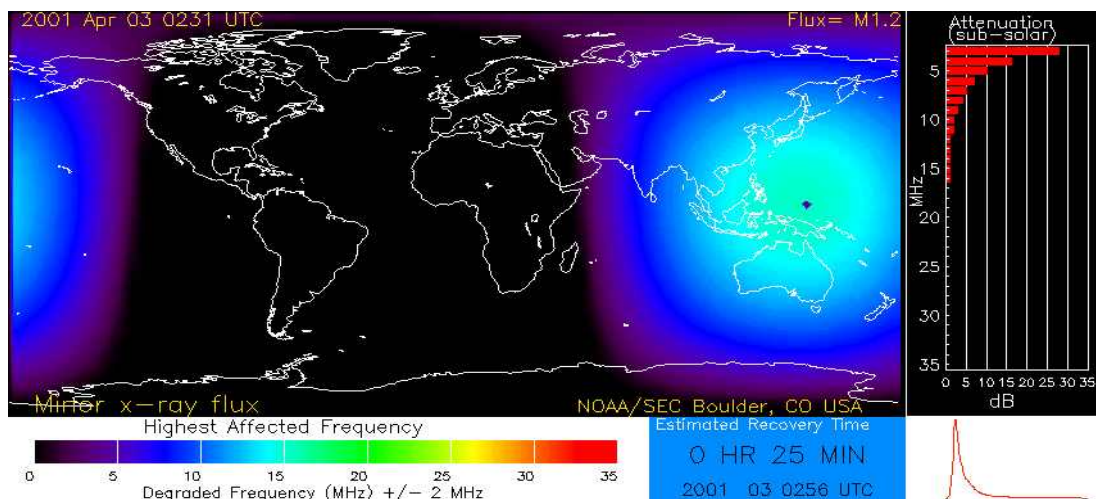


GOES 위성

o GOES 위성 데이터 제공방법

그래프 형	갱신	자료제공 방법	자료보관 기간
GOES Solar X-ray Imager (SXI)	1 분	web page images , movies	images , movies
GOES X-ray Flux 1-min data	1 분	updating	no
Satellite Environment Plot	5 분	updating , latest	recent
GOES X-ray Flux 5-min data	5 분	updating , latest	recent
GOES Magnetometer, Hp-component	1 분	updating , latest	recent
GOES Integral Proton Flux	5 분	updating , latest	recent
GOES Electron Flux	5 분	updating , latest	recent
문자 형			
GOES X-ray Flux 1-분 data	1 분	latest	15 days
GOES X-ray Flux 5-분 data	5 분	latest	45 days
GOES Protons and Electrons	5 분	latest	45 days
GOES Differential Proton Channels	5 분	latest	45 days
GOES Magnetometer	1 분	latest	15 days
GOES Satellite Location	매일	latest	no

<예시 - HF대역 전리층 흡수>

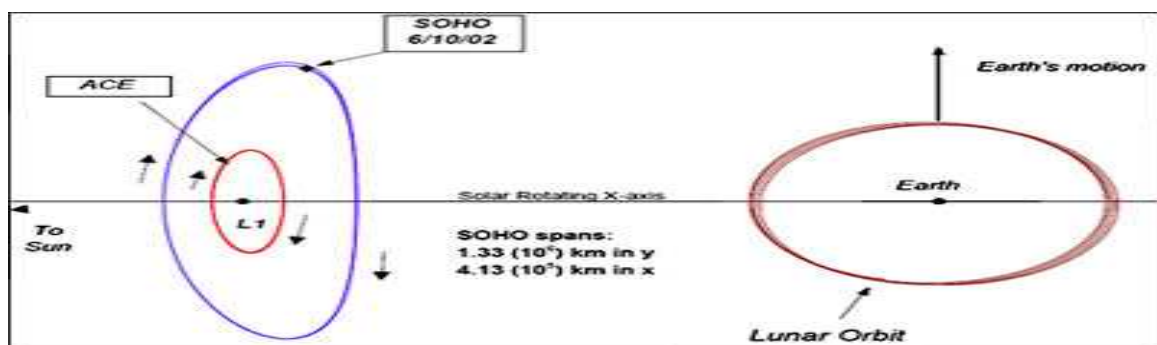


2) 일반 관측항목

관측 항목		자료출처	비고
ACE 위성 ⁵⁾ (미국)	태양풍(km/s)	미국 SWPC 홈페이지 (http://www.swpc.noaa.gov/)	1분, 5분 데이터
	입자밀도(개/cm ³)	"	1분, 5분 데이터
	태양자기장(Bz, nT)	"	1분, 5분 데이터
태양흑점관측 ⁶⁾	흑점개수(개)	SIDE 홈페이지 (http://sidc.oma.be/LatestSWData/LatestSWData.php)	1일 데이터
	흑점번호(-)	"	태양흑점 생성 시
태양전파관측 ⁷⁾	2.8GHz(w/m ²)	SIDE 홈페이지 (http://sidc.oma.be/products/meu/index.php)	1일 데이터

5) ACE 위성

- ACE 위성이 위치한 곳은 지구에서 태양 쪽으로 약 140만 킬로미터(지구와 달 거리의 4배 정도, L1 라그랑지)
- ACE 위성은 L1 라그랑지 점에서 관측 장비와 태양 전지판은 태양 쪽으로 향하고 통신 안테나는 지구 쪽으로 향한 자세를 취하고 원 궤도를 그리며 하루 24시간 태양의 활동 감시
- ACE 및 SOHO 위성궤도



6) 태양흑점관측

- 벨기에 왕립관측소(ROYAL OBSERVATORY OF BELGIUM, 벨기에 RWC)에서 태양흑점관측을 위한 CCD 이미지 촬영(백색광, H-알파) 및 흑점도면(drawing) 작성

7) 2.8GHz 태양전파관측

- 4개소에서 측정관측
 - Learmonth(정오 UT0500), San Vito/(정오 UT1200), Sag Hill(정오 UT1700), Palehua(정오 UT2300)

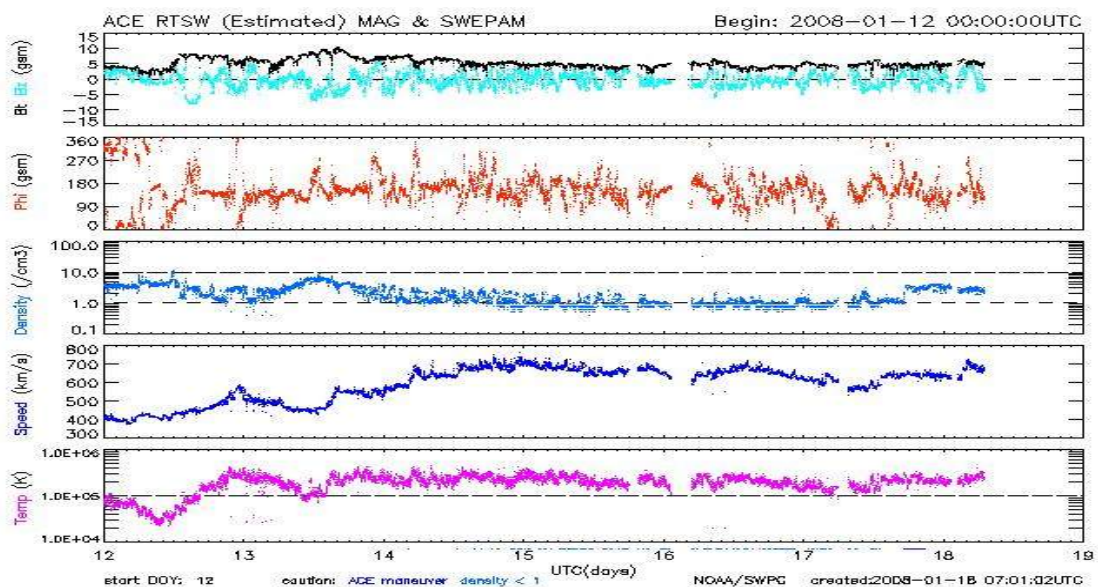
ACE 위성

o ACE 위성 개요

- ACE 위성은 미국 NOAA가 운영하여 태양입자, 태양자기 관측

관측장비 (세부사이트)		ACE 위성 (http://www.swpc.noaa.gov/ace)
관측자료 종류	태양복사	-
	태양입자	전자, 양성자
	태양자기장	Bz, By, Bz, Bt, Θ , ϕ
	기타	태양풍 속도 · 밀도, 온도
관측자료 제공형태		<ul style="list-style-type: none"> o 웹사이트 o 실시간 관측자료를 그래프로 제공 - 2 · 6 · 24시간, 3 · 7일 (1분, 5분 데이터)
분석방법 key		<ul style="list-style-type: none"> o 실시간 그래프를 보면서 특이 현상 분석

<예시 - 실시간 그래프(7일치)>



3) 우주전파환경 자료 (X선, 입자, 지자기 등)

분류		URL	비고
태양활동 상황	경보 등급	http://www.swpc.noaa.gov/	
	관측 그래프	http://www.swpc.noaa.gov/today.html	
	태양 이미지	http://www.swpc.noaa.gov/SWN/mls_o_alpha.gif	
	흑점 이미지	http://sidc.oma.be/LatestSWData/LatestSWData.php	SIDC
	태양활동상태 (흑점수, 흑점번호)	http://www.swpc.noaa.gov/ftplib/latest/SRS.txt	요약자료
	태양활동분석	http://solarmonitor.org/index.php	*① NASA'S SDAC
진행상황	Time 테이블 (경보상황)	http://www.swpc.noaa.gov/alerts/warnings_timeline.html	
	Text 기반 (이벤트)	http://www.swpc.noaa.gov/wwire.html	*② 요약자료
3일간 예보	태양활동 Event 발생확률	http://www.swpc.noaa.gov/forecast.html	*③ 요약자료
	지자기폭풍 발생확률		
	10.7cm 플럭스		
7일간 예보	태양활동	주간 보고서참조 (http://www.swpc.noaa.gov/weekly/index.html)	*④ 요약자료
27일간 예보	10.7cm 플럭스		
	K _p 지수		
장기 예보 (‘00~’16년)	흑점주기 그래프 (공식적 주기)	http://www.swpc.noaa.gov/SolarCycle/	
		http://solarscience.msfc.nasa.gov/predict.shtml	

참조: *① ~ *④ 관측자료 수집 및 분석을 위해 홈페이지 우선 참고

< 3일 및 주간 예보 등급 기준 >

3일 예보	주간 예보 (7일, 27일)
<p>태양활동 등급</p> <p>Very Low: C등급 이하</p> <p>Low: C등급</p> <p>Moderate: M1등급 이상(1단계)</p> <p>High: M5등급 이상(2단계)</p> <p>Very High: M5등급 이상(3단계 이상)</p>	<p>X선 밀도(W/m^2) 등급</p> <p>A $< 10^{-7}$</p> <p>B $10^{-7} < 10^{-6}$</p> <p>C $10^{-6} < 10^{-5}$</p> <p>M $10^{-5} < 10^{-4}$(1, 2단계)</p> <p>X $> 10^{-4}$(3단계 이상)</p>
<p>지자기 폭풍 등급</p> <p>Active: K = 4.</p> <p>Minor storm: K = 5(1단계).</p> <p>Major or Severe storm: K > 6(2단계)</p>	<p>Event 등급</p> <p>Class M: M등급 이상</p> <p>class X: X등급 이상</p> <p>Proton flare 10 pfu @ 1 MeV(1단계) 이상</p>

기타 관측위성(1)

o SOHO 위성

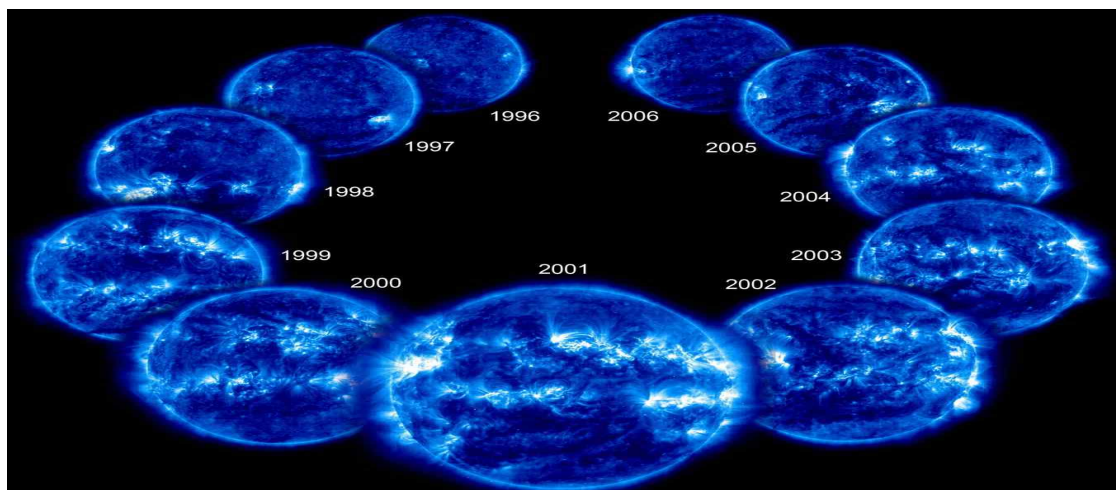
- SOHO 위성은 미국 NASA와 유럽 ESA가 공동프로젝트로 태양의 자외선, LASCO 영상 관측

관측장비 (세부사이트)		SOHO 위성 (http://sohowww.nascom.nasa.gov/home.html)
관측자료 종류	태양복사	-
	태양입자	-
	지자기	-
	기타	CME
관측자료 제공형태		<ul style="list-style-type: none"> o 웹사이트 o 실시간 태양활동 정지 및 동영상 제공 <ul style="list-style-type: none"> - 정지영상 : EIT171, MDI, LASCO 등 - 동영상 : MPEG
분석방법 key		o 실시간으로 제공되는 정지 및 동영상 분석

※ EIT(Extreme ultraviolet Imaging Telescope, 극자외선망원경: 코로나의 뜨거운 플라스마 분포 관측 (예: EIT171, EIT195, EIT284, EIT304))

※ MDI(Michelson Doppler Imager, 광구의 자기장분포), LASCO(Large Angle Spectrometric Coronagraph)

<예시 - SOHO 위성에서 촬영한 태양활동 영상>



기타 관측위성(1)

< 참고: SOHO 위성의 관측장비 및 관측항목 >

관측장비	관측항목
GOLF	중심핵 진동(도플러-감응 측광)
VIRGO	중심핵 진동(측광 영상)
MDI	진동 및 자기장(도플러 영상)
SUMER	코로나 물리(자외선 분광영상)
CDS	코로나 및 채층 물리(자외선 분광영상)
EIT	약한 코로나(자외선 망원경)
UVCS	태양풍 가속(자외선 분광영상)
LASCO	중양-외곽 코로나(가시광선 카메라)
SWAN	태양풍 밀도(자외선 카메라)
CELIAS	태양풍 이온(물질 검출기)
COSTEP	태양풍 이온(물질 검출기)
ERNE	태양풍 이온(물질 검출기)

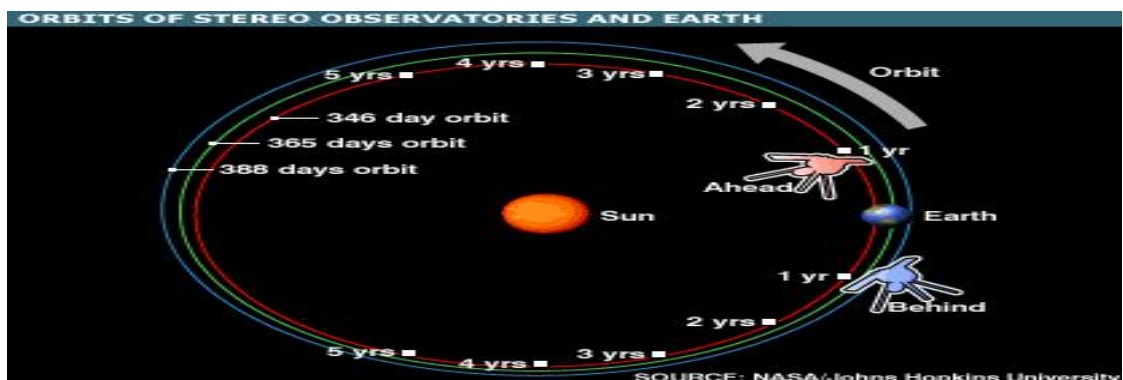
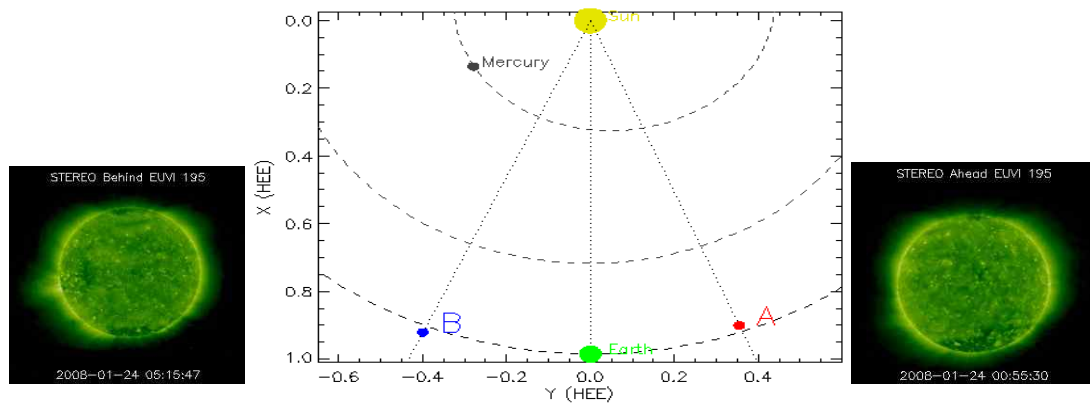
기타 관측위성(2)

o STEREO 위성

- STEREO 위성은 미국 NASA가 운영하여 CME, 태양 3-D 관측

관측장비 (세부사이트)		STEREO 위성 (http://stereo.gsfc.nasa.gov/)
관측자료 종류	태양복사	-
	태양입자	-
	지자기	-
	기타	CME와 태양표면의 3-D 영상
관측자료 제공형태		o 웹사이트(영상)
분석방법 key		o 태양영상 그림을 통해 특이 CME 현상 분석

<예시 - STEREO 위성궤도 및 태양활동 영상('08. 1월) >



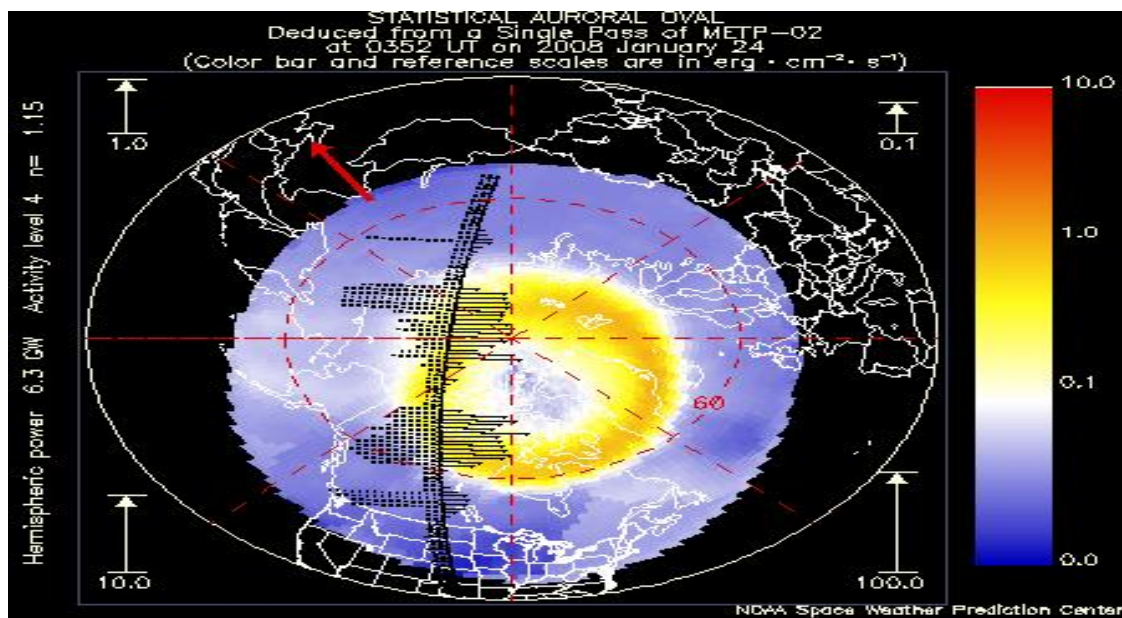
기타 관측위성(3)

o POES 위성

- POES 위성은 미국 NOAA가 운영하여 지구 극지방 오로라 관측

관측장비 (세부사이트)		POES 위성 (http://www.sec.noaa.gov/pmap/)
관측자료 종류	태양복사	-
	태양입자	-
	지자기	-
	기타	극지방 오로라 영상
관측자료 제공형태		<ul style="list-style-type: none"> o 웹사이트(정지영상) o 실시간 극지방 관측자료의 정지영상 제공 <ul style="list-style-type: none"> - 약 10분 간격
분석방법 key		<ul style="list-style-type: none"> o 오로로 현상 (주로 고위도(북미)지역의 북위 60도 이상에서)

<예시 - 실시간 오로라 관측영상>



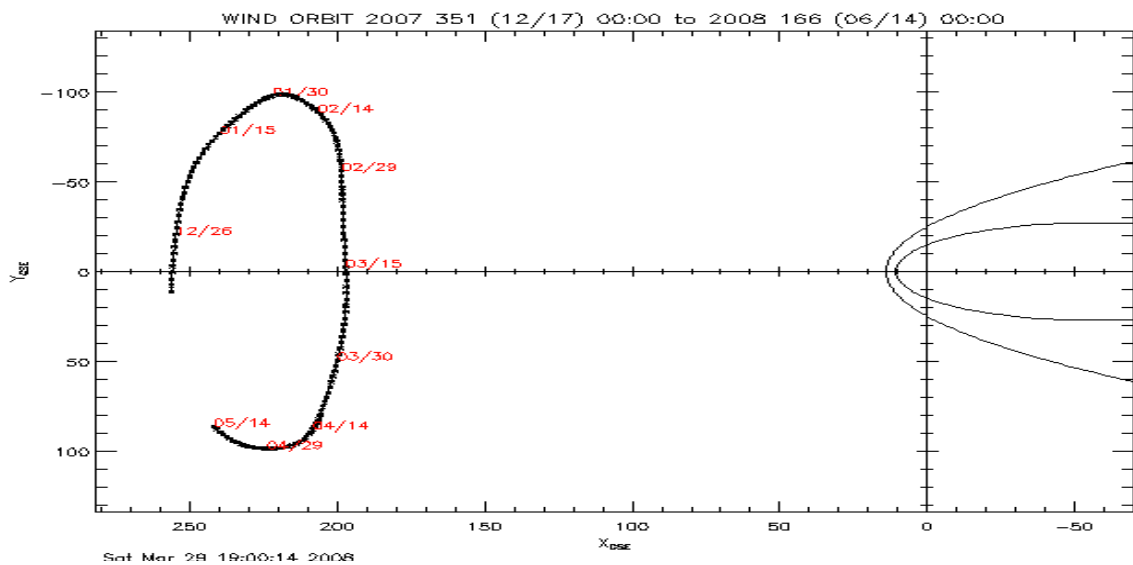
기타 관측위성(4)

o WIND 위성

- WIND 위성은 미국 NASA가 운영하여 태양자기장, 태양풍 관측

관측장비 (세부사이트)		WIND 위성 (http://www-spo.gsfc.nasa.gov/istp/wind/ , http://pwg.gsfc.nasa.gov/windnrt/)
관측자료 종류	태양복사	-
	태양입자	-
	태양자기장	Bz, ϕ
	기타	태양풍속도
관측자료 제공형태		양성자, 그래프 및 텍스트로 자료제공
분석방법 key		ACE 위성과 데이터 비교

<예시 - WIND 위성궤도 >



다. 태양폭발 시 체크리스트 및 업무처리 절차

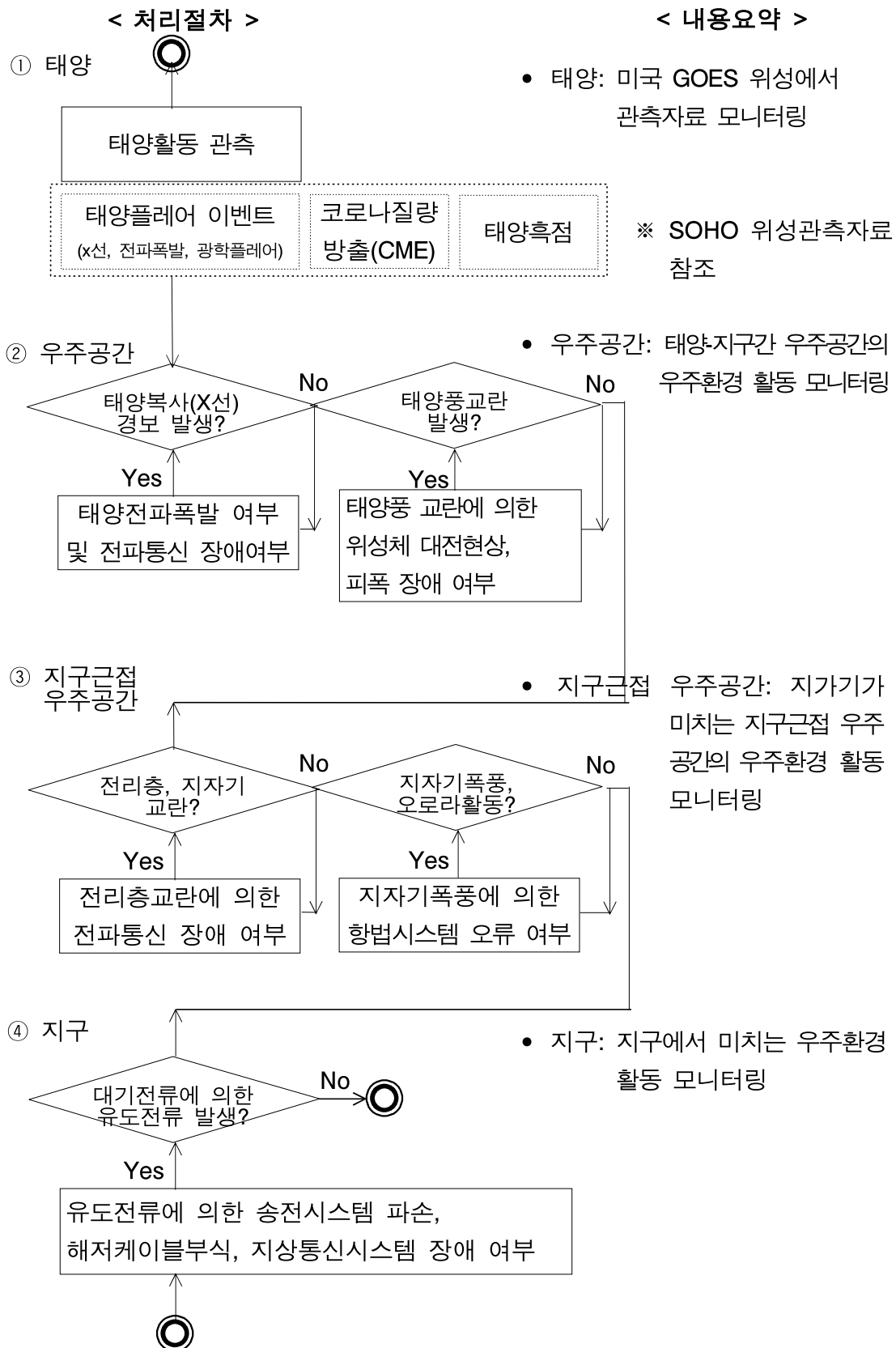
1) 태양폭발 시 우주전파환경 관측자료 체크리스트

- 세계 각국은 위성·지상 관측기로부터 우주전파환경 정보를 수집하여, 지구에 미치는 영향에 따라 경보항목 단계별 경보등급을 정하고 있고
 - 대부분의 국가는 미국에서 정하는 경보기준을 준용하고 있음
 - 경보항목 : 태양복사(X-선), 태양입자(양성자) 및 지자기(Kp지수)
 - 경보정보 : 미국 해양대기청(NOAA) 산하 우주기상예보센터(SWPC)
(<http://www.swpc.noaa.gov/>)
- 신속한 상황 판단을 위한 일간·주간 주요 관측항목 체크리스트 작성
 - 일간 체크리스트 작성 : 실시간으로 관측된 결과를 일별로 작성
 - 주간 체크리스트 작성 : 1주일 전후의 관측·예측 결과를 주간별로 작성

< 미국 우주환경 예보센터의 우주전파환경 경보항목 >

경보항목	관측방법	등급	영향대상
태양복사 (Radio Blackouts)	GOES위성에서 X선 측정(매5분)	R1, R2, R3, R4, R5	전파(통신, 항법)
태양입자 (Solar Radiation Storms)	GOES위성에서 양성자 측정(매5분)	S1, S2, S3, S4, S5	전파(통신, 항법), 위성체
지자기폭풍 (Geomagnetic Storms)	9개 지상관측소에서 자력 측정(매3시간)	G1, G2, G3, G4, G5	전파(통신, 항법), 위성체

2) 태양폭발 시 우주전파환경 업무처리 절차



< 세부절차 >

① (태양) 태양활동 관측

- 태양플레어이벤트(X선, 전파폭발, 광학플레어), CME, 태양흑점 관측

② (우주공간) 태양활동에 따른 우주공간에서 발생하는 우주환경 현상

- 태양복사 경보 모니터링
- 태양풍 교란발생 모니터링

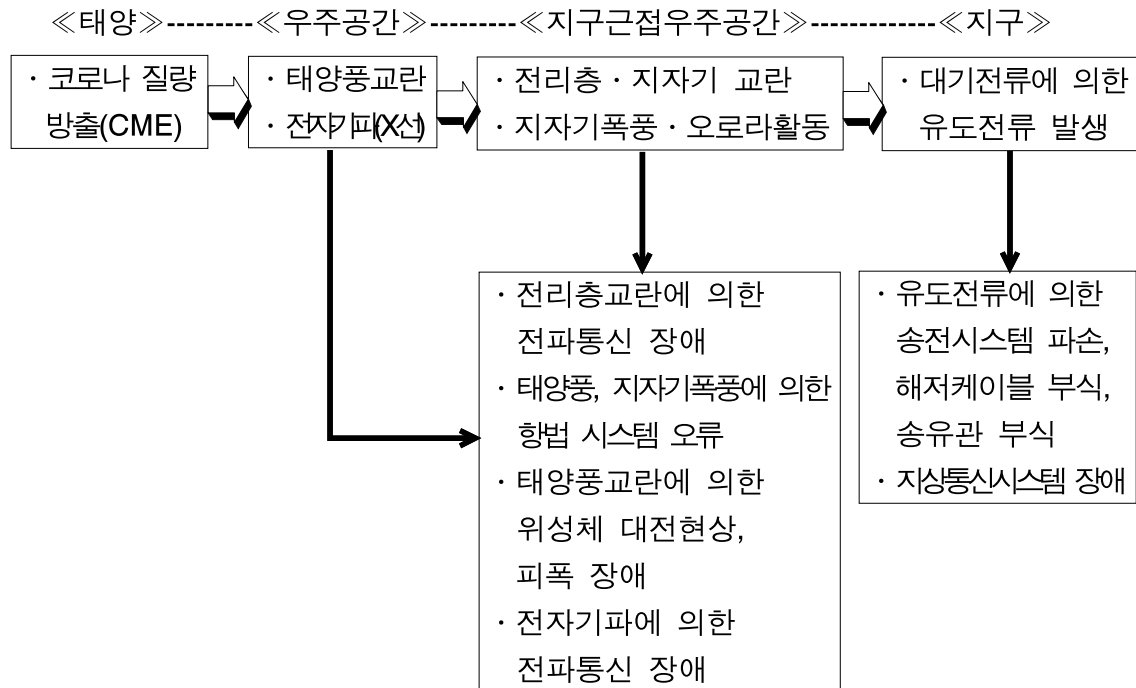
③ (지구근접 우주공간)

- 지자기 교란 및 전리층 교란 모니터링
- 지자기폭풍 및 오로라활동 모니터링

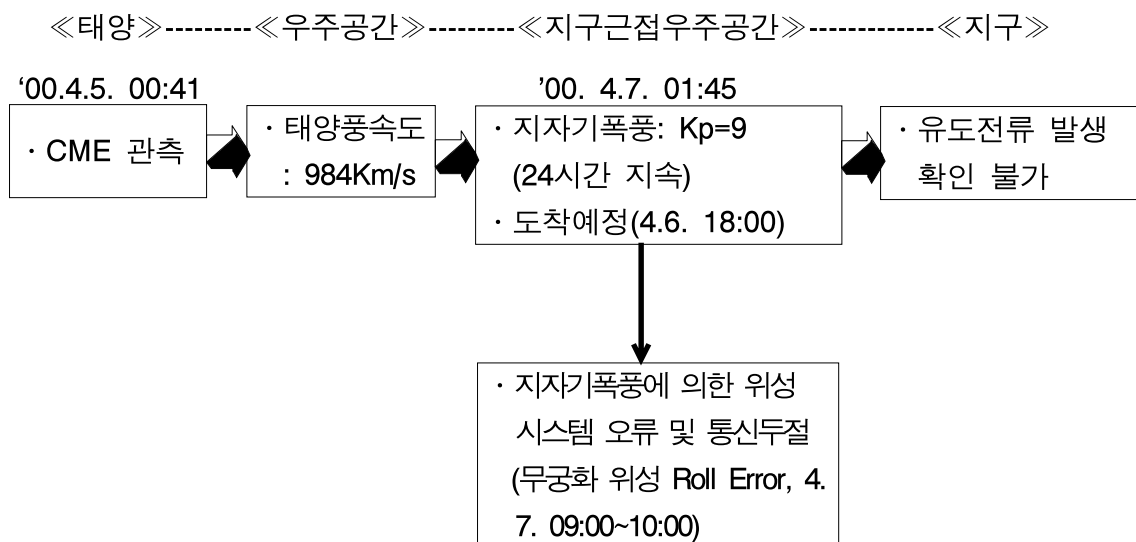
④ (지구)

- 대기전류에 의한 유도전류 발생 모니터링

< 세부절차 예시1 > 우주전파환경 변화가 지구에 미치는 영향



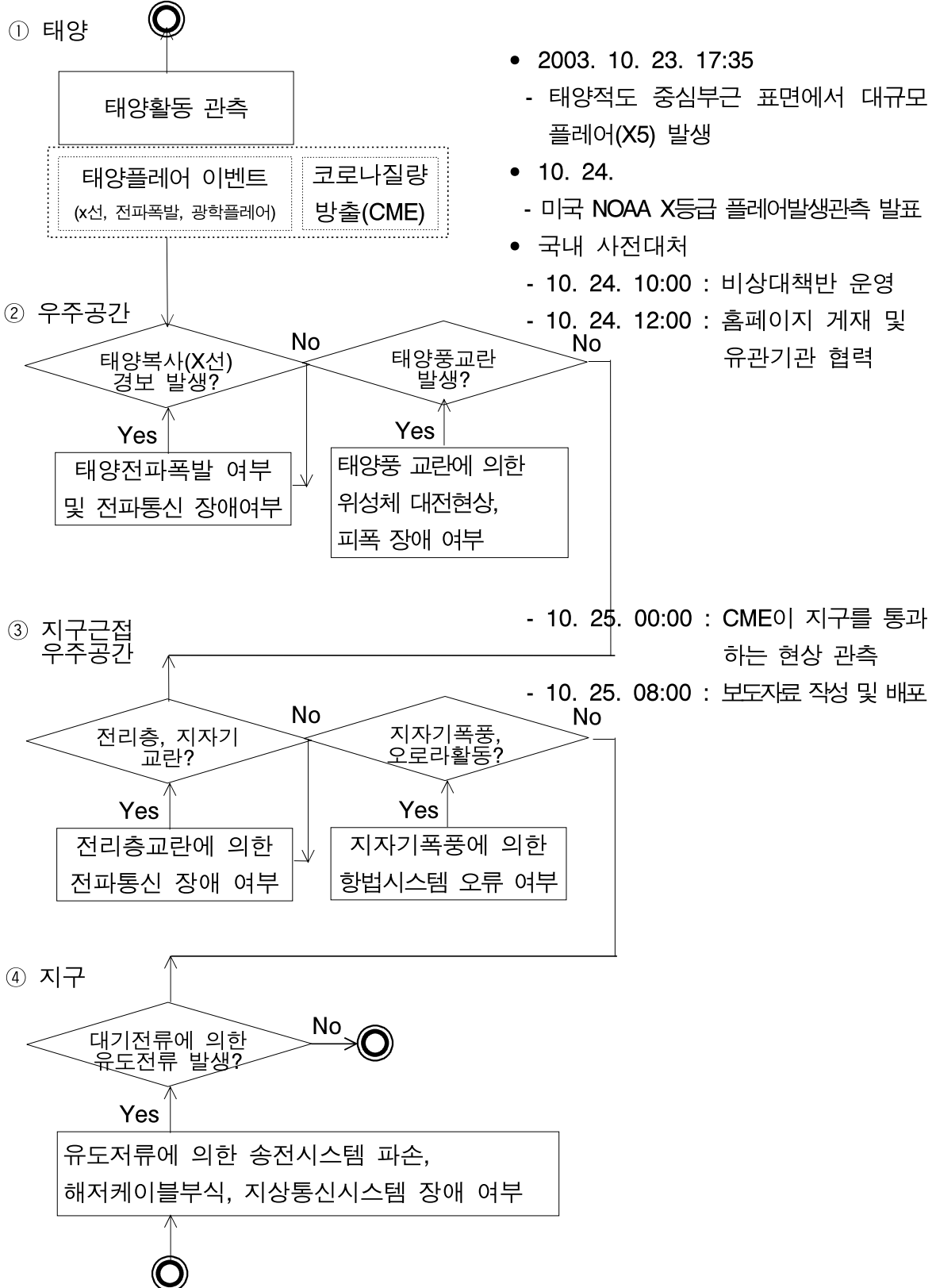
< 세부절차 예시2 > 2000년 태양활동에 따른 국내 분석사례



< 세부절차 예시3 > 2003년 태양활동에 따른 국내 분석사례

< 처리절차 >

< 내용요약 >



<참고>

태양폭발에 따른 상황일지

			담당자	담당	과장	소장
200 년 월 일						
내 용	진 행 사 항					비 고
o 관측내용						
o 업무내용						

<참고>

2003년 태양폭발에 따른 대응사례

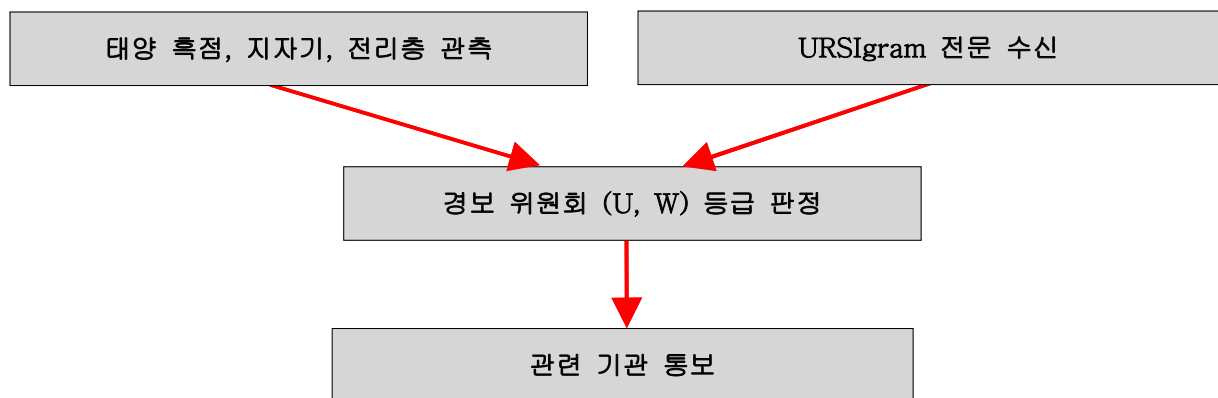
일시 및 시간 (2003년, KST)	관측내용	대처 경위	비고
10월 23일 17:35	o X5등급 태양폭발	o 비상대책반 구성	
10월 24일	o 23일 발생한 플레어가 25일 태양폭풍이 지구로 도달 예상	o 9시 MBC 뉴스 태양폭발 보도	
10월 25일 00:00	o 25일 00시 예상보다 빠르게 태양폭풍 지나감(우리소 지자기 관측시스템) - 자기장 극성이 “+”임에 따라 지구에 커다란 영향 없음 예상		o 보도자료 작성 및 배포
10월 26일 15:54	o X1등급 태양폭발		
10월 27일 03:00	o X1등급 태양폭발	o 우리나라 피해상황이 파악되지 않음	
10월 28일 20:10	o X18등급 태양폭발 - 태양관측 3번째 폭발 - 각종 위성관측기 오동작 - 아프리카, 남미지역 단파통신 장애발생	o 홈페이지 게재 - 우리나라 단파통신 장애발생 가능성 대두	
10월 29일 15:30	o 강력한 지자기폭풍 (자자기지수) 발생	o 집중 모니터링	
10월 30일 08:15	o X10등급 태양폭발 - 지자기 관측	o 주요 기간통신사업체에 폭발사실 안내	o 보도자료 작성

일시 및 시간 (2003년, KST)	관측내용	대처 경위	비고
10월 31일	o 지자기폭풍(Kp=9) 발생	o 언론사에 태양폭발관련 자료 제공	
11월 01일	o 지자기 활동 정상상태 o 안양 상공의 전리층 두께가 증가	o 태양흑점 중 486, 488의 폭발 가능성에 따른 예의 주시	
11월 02일		o 태양흑점 중 486, 488의 폭발 가능성에 따른 예의 주시	
11월 03일	o 02시 25분: X9등급태양폭발 o 10시 00분: X2등급태양폭발 o 20시 00분: X4등급태양폭발 - CME가 지구로 향하지 않아 큰 피해가 없을 것으로 예상	o 홈페이지 게재	o 보도자료 작성
11월 04일		o 태양흑점 중 486이 태양반대편으로 넘어가는 중이므로 점차 영향이 줄 것으로 예상	
11월 05일 04:50	o X17등급 태양폭발 - 태양자전으로 직접적으로 지구를 향하고 있지않음	o 주요 기간통신사업체에 폭발사실 안내 (KT, 데이콤, 온세통신, KTF, LGT)	o 보도자료 작성 및 배포
11월 06일	o 태양흑점이 지구반대편으로 사라짐		

5. 예·경보 발령기준 및 상황전파

가. 예·경보 발령기준

- 정보통신 기술의 발전에 따라 효율적으로 전파 경보 업무를 수행하기 위해 경보 발령 기준 및 전달 방식 정립
- 과거의 우주전파환경 경보 처리
 - 경보 발령 절차



- 경보 발령 기준

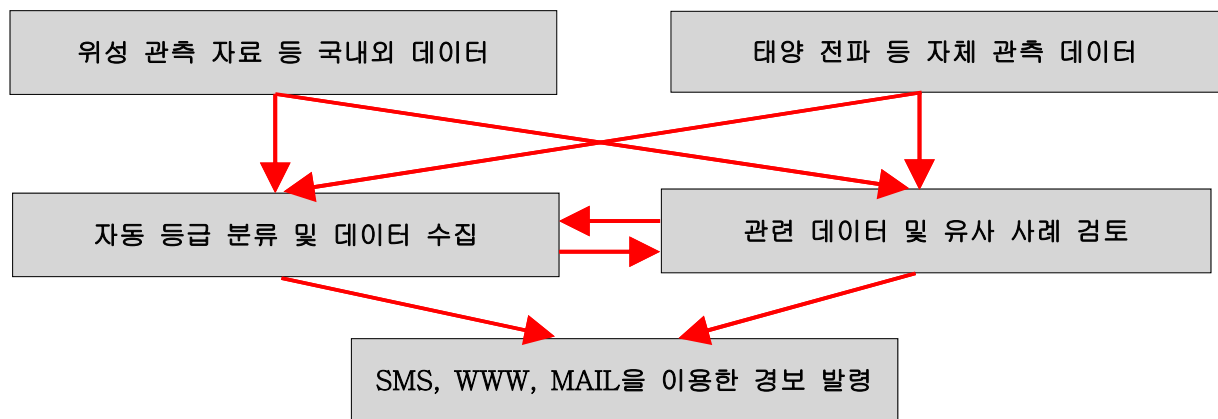
경 보 발 령 기 준		
분류	U(Unstable)	W(Warning)
정의	향후 12시간 이내에 전리층 산란 현상이 발생할 가능성이 <u>확박한</u> 상태	향후 12시간 이내에 전리층 산란 현상이 발생할 가능성이 <u>높은</u> 상태
기준	1. 자기 폭풍 발생시 2. 새로 생성된 흑점 집단수: 3이상 3. 지자기 변화 : 40 nT 이상 4. 플레어등급 : X1~2이상	1. 자기 폭풍 발생시 2. 새로 생성된 흑점 집단수: 5이상 3. 지자기 변화 : 120 nT 이상 4. 플레어등급 : X2~3이상

※ URSIgram(울시그램) : 국제전파과학연맹(URSI:International Union of Radio Science)에서 시행하던 태양 흑점 수 등 우주전파환경관련 방송 전문(傳聞)으로 현재 국제우주환경서비스(ISES) 코드로 변경되어 E-mail을 통해 전달됨

o 과거 경보발령은 국제전파과학연맹(URSI) 기관에서 주도하였으나, 현재 미 우주환경예보센터(SWPC) 주도로 경보발령체제로 전환됨

o 현재의 우주전파환경 정보 처리

- 정보 발령 절차



- 정보 발령 기준

등급	상황	정보 발령 기준			예상되는 주요 장애 현상	전달체계		
		태양복사 (X선)	태양입자 (양성자)	지자기 (Kp지수)		보도 자료	SMS	홈페이지
5	심각 (Extreme)	2×10^{-3} (X20)이상	10^5 이상	9	2~3시간 이상 HF통신 두절, 항법 오차 및 위성 통제 장애 발생	★	★	★
4	경계 (Severe)	10^{-3} (X10)이상	10^4 이상	8	1시간 이상 HF통신 장애, LF항법 및 위성위치추적 장애 발생		★	★
3	주의 (Strong)	10^{-4} (X1)이상	10^3 이상	7	일시적 HF통신 두절, LF항법장애 및 위성전파간섭 발생		★	★
2	관심 (Moderate)	5×10^{-5} (M5)이상	10^2 이상	6	고위도 HF통신 장애, LF항법장애 발생 및 위성고도 조절 필요			★
1	일반 (Minor)	10^{-5} (M1)이상	10 이상	5	극지방 통신 장애 가능성 저고도 위성 궤도 수정 가능성			★

- 주) 1. 태양복사(X선) : X선(파장 1~8 Å) 전력속밀도에 따라 분류 (단위 : w/m^2)
 2. 태양입자(양성자) : 10MeV 이상 고에너지 입자에 따라 분류 (단위 : $\text{개/cm}^2\text{-s-sr}$)
 3. 지자기(Kp지수) : 지구 자기장 활동에 따라 분류 (단위 : 없음)
 4. 우주전파환경의 변화로 장애가 예상될 경우 전화, 보도자료 등을 통해 전달할 수 있음

o 우주전파환경 경보분류 및 예상되는 장애

분 류	기호	분류기준	영향대상	예상되는 장애	발생빈도
EXTREME	R5	X20 이상	통신,항법	o 수시간동안 일조지역에서의 HF 통신 완전 두절 o 수시간동안 해상, 비행용 LF 항법 신호 두절 o 위성 항법 위치 에러 증가	1회/11년
	S5	10 ⁵ MeV 이상	통신,항법	o 항법 위치 에러로 항법 운용에 큰 장애 o 극지역에서의 HF 통신 불가	3회/11년
			위성	o 일부 위성 분실, 위성체 내 메모리 고장 o 위성 영상에 심각한 노이즈 발생 o 태양 전지판의 영구적인 손상	
	G5	Kp=9	통신,항법	o 1~2일간 다수 지역에서의 HF 전파전파불가 o 수일간 위성 항법상태 저하 o 수 시간 LF 항법 통신 두절	4회/11년
			위성	o 광범위한 위성체 표면 대전 o 위성 회전, 상하향 링크 장애, 위성 통제 장애	
SEVERE	R4	X10이상	통신,항법	o 대부분의 일조지역에서 1~2시간 HF 통신 두절 o 1~2시간 LF 항법 신호 오차 발생 o 위성 항법에 약간의 이상발생	8회/11년
	S4	10 ⁴ MeV 이상	통신,항법	o 수 일간 항법 오차 발생 증가 o 극 지역 통과 HF 통신 불가	3회/11년
			위성	o 기억소자 문제 발생 o 위성 촬영 이미지 노이즈 유입 o 태양 전지 패널 운용 효율 감소	
	G4	Kp=8~9	통신,항법	o 수 시간 동안 HF의 산발적인 장애 o 위성 항법 이상 o LF 전파 항법 두절	100회/11년
			위성	o 위성체 표면 대전 및 위성 위치 추적 장애 발생	
STRONG	R3	X1이상	통신,항법	o 일부 지역에서 HF 통신 두절 o 1시간정도 LF 항법 신호 감쇄	175회/11년
	S3	10 ³ MeV 이상	통신,항법	o 수일간 간헐적인 항법에러 발생 o 극지역을 통과하는 HF 통신 감쇄	10회/11년
			위성	o single event upset, 위성영상 노이즈 발생 o 태양 전지 효율 감소	
	G3	Kp=7	통신,항법	o 간헐적인 위성 항법 이상발생 o 간헐적인 LF 항법신호 및 HF 통신 이상	200회/11년
			위성	o 위성체 표면 대전 가능성 대두 o 위성 공기저항(drag)으로 저궤도위성 고도 조절 필요	
MODERATE	R2	M5이상	통신,항법	o 일부지역 HF 통신 두절 o 수 십분 정도 LF 항법 신호 감쇄	350회/11년
	S2	10 ² MeV 이상	통신,항법	o 극지역 통과 HF 통신과 항법에 약간의 영향 가능성	25회/11년
			위성	o 드물게 single event upset 발생 가능성	
	G2	Kp=6	통신,항법	o 고위도 지역에서 HF 전파 신호 감쇄 가능성	660회/11년
			위성	o 위성 궤도 보정 필요 가능성 o 대기 저항 증대로 위성 궤도 예측 곤란 가능성	
MINOR	R1	M1 이상	통신,항법	o 순간적 LF 항법신호감쇄 발생 o 일시적인 HF 통신 감도 저하	2000회/11년
	S1	10MeV이상	통신,항법	o 극지방 HF 통신에 미세한 영향	50회/11년
			위성	o 영향없음	
	G1	Kp=5	통신,항법	o 영향 없음	1700회/11년
			위성	o 위성 운용에 사소한 문제 발생 가능성	

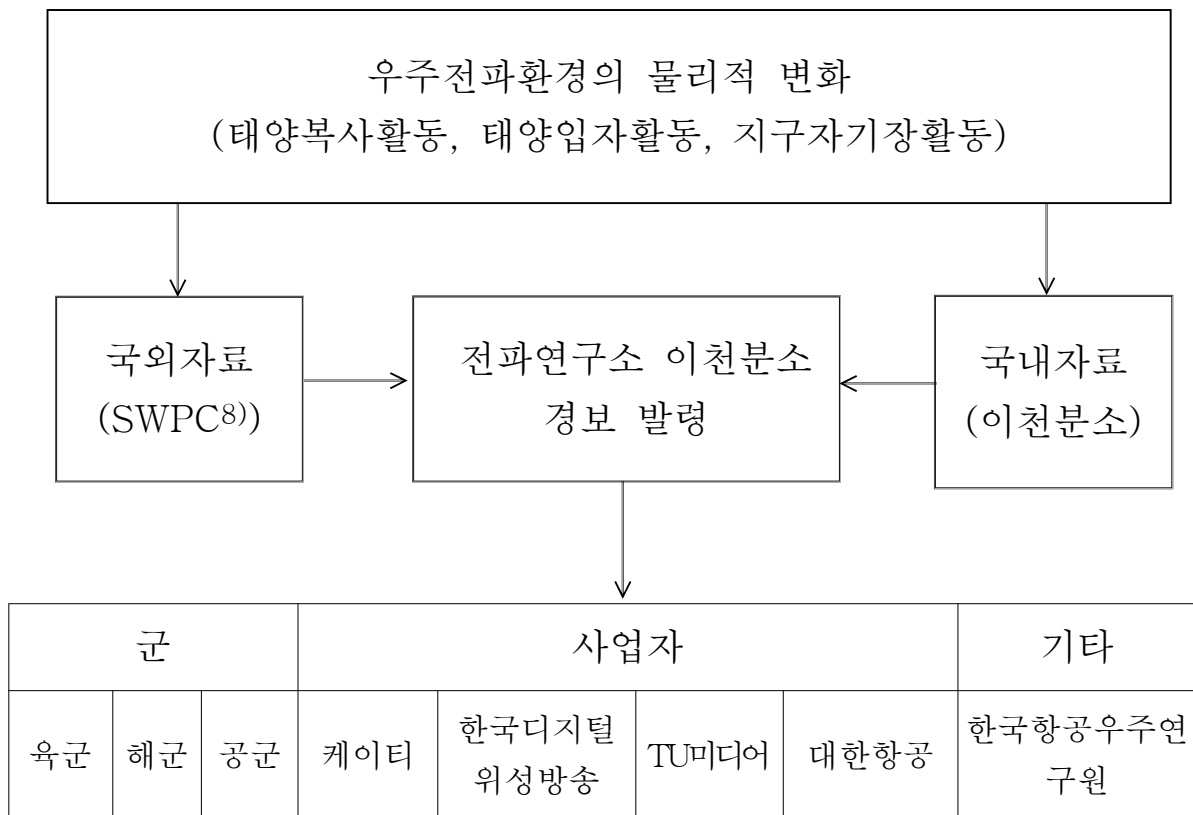
※ 출처: 미국 해양대기청산하 우주환경예보센터 (Space Weather Prediction Center : SWPC), URL: <http://www.swpc.noaa.gov/NOAAscales/index.html#SolarRadiationStorms>

나. 예·경보 상황전파

1) 우주전파환경 상황판단 및 전파

- 태양 활동, 지자기 변화 등의 관측 자료에 대한 자동 처리와 우주전파환경 변화의 과거 사례 분석 등을 이용한 종합 판단
- 주요 경보 내용을 SMS, ARS, WEB, MAIL를 이용하여 한국통신 등 주요 관련 기관을 대상으로 자동 메시지 전달 체계 구축 및 전파
- 우주전파환경 종합 모니터링 시스템 구축 및 운영을 통한 체계적인 경보 발령 체계 확립

2) 경보 발령체계도

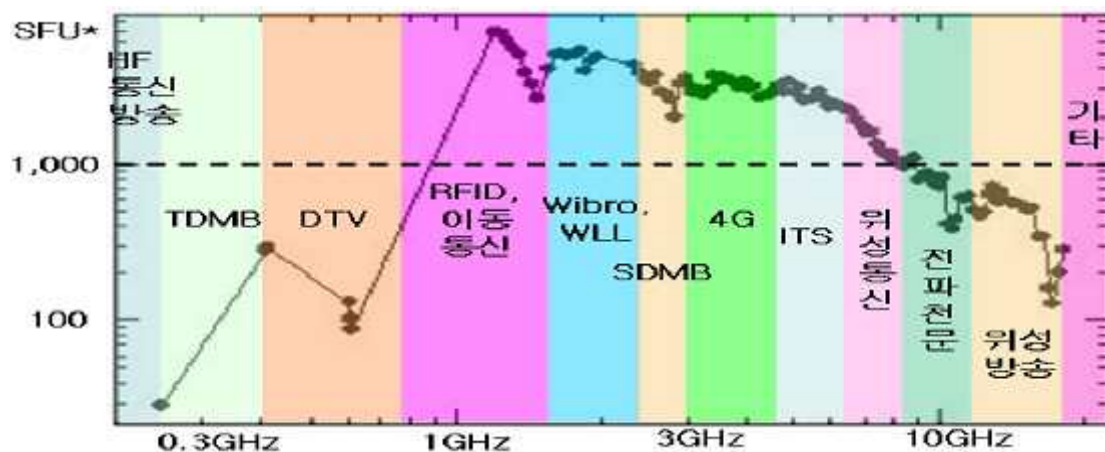


8) SWPC (Space Weather Prediction Center) : 미국 해양대기청(NOAA) 산하 우주환경예보센터

제3장 태양전파로 인한 무선통신 장애분석

제1절 개요

과거 유선통신 시대에는 태양폭발로 인한 피해가 크지 않았으나, 무선 통신 환경에서는 심각한 피해로 사회·경제적 문제를 초래할 것으로 예상된다. 태양전파는 전 주파수 대역에 걸쳐 발생하므로 방송, 이동통신, 소출력 무선통신 등 다양한 서비스에 동시 다발적인 전파간섭을 발생시킨다. [그림 3-1]은 뉴저지공과대학의 자료로서 태양폭발로 발생하는 태양전파 스펙트럼을 보여주고 있다. *sfu*(Solar Flux Unit)는 시간당 단위면적당 유입되는 태양전파의 양을 의미하는 것으로 일반적으로 1,000 *sfu* 이상일 경우 이동통신 두절 등 서비스 장애를 유발시킬 것이라는 연구결과가 있었다. *sfu*에 대한 자세한 사항은 다음절에서 설명하겠다.



[그림 3-1] 태양폭발로 발생하는 태양전파의 스펙트럼

태양전파의 연구 중요성은 유비쿼터스시대가 도래하고 전파기반 서비스가 증가함에 따라 증대되고 있으나 현재 태양전파 스펙트럼 특성 분석 및 전파간섭 대책을 위한 국내 연구 활동은 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 2절에서 태양폭발이 주요 무선서비스에 영향을 줄 수 있는 태양폭발의 강도 및 과거 관측자료 통계분석, 3절에서 태양폭발로 인한 무선서비스에 영향을 검증할 수 있도록 태양전파 노이즈 발생기 제작, 4절에서 태양

전파로 인한 이동통신 단말기 장애분석 시험을 통하여 실제로 어느정도의 폭발이 이동통신 통화품질에 영향을 주는지 검증, 5절에서 태양전파로 인한 블루투스 장애분석 시험을 통하여 블루투스 통신이 어느정도의 폭발에 영향을 받는지를 검증하였다. 마지막으로 6절에서 결론 및 향후 개선방향에 대하여서 논하였다.

제2절 태양전파 관측자료 통계 분석

태양폭발이 발생할 경우에 이동통신, 무선통신 및 GPS 등 Radio Frequency를 사용하는 다양한 무선서비스의 장애를 유발시킬 수 있다고 보고되고 있다. 본 절에서는 태양전파의 과거 관측자료 통계자료를 분석하여 실제로 얼마나 자주 무선통신에 영향을 줄 수 있는 태양폭발이 일어나는 지를 조사하였으며 태양폭발에 영향을 받을 가능성이 있는 무선통신 기기들을 주파수별로 조사하였다.

미국의 뉴저지 공과대학 및 벨 연구소 등에서 발표되는 논문들에서는 태양활동 극대기에는 평균적으로 3.5일에 한번정도 무선통신에 영향을 줄 수 있는 정도에 태양폭발이 일어나며, 극소기에도 평균 18.5일에 한번정도 무선통신에 영향을 줄 수 있는 정도의 태양폭발이 일어난다고 발표(출처 논문 제목 : Effects of Solar Radio Bursts on Wireless)하였다. 이에따라 미국을 비롯한 선진국에서는 태양폭발이 우주선 및 인공위성에 미치는 영향, 극 운행 비행기에 미치는 영향, GPS 정밀도 에러 등 전리층의 전리도 미치는 영향, 레이더 시스템에 미치는 영향, 무선통신 시스템에 미치는 영향 등에 대한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 미 해양대기청의 과거 1960년~1999년까지의 관측자료를 분석하면 [표 3-1]과 같다. 중간에 일부 빠진 데이터가 있으므로 실제 발생건수는 더 많을 것으로 예상된다. 태양폭발 총 발생건수는 155,396회로 평균적으로 시간당 0.44번, 극대기에는 시간당 0.83회, 극소기에는 시간당 0.27회의 꼴로 태양이 폭발하였다.

[표 3-1] 태양폭발 총 발생 건수('60년~'99년)

년도 항목	'60년~'99년	'66년~'75년 Cycle 20	'76년~'85년 Cycle 21	'86년~'95년 Cycle 22	극대기 (69~72, 79~82, '89~'92)	극소기 (66~67, 74~77, '84~'87, 94~95)
발생 건수	155,396회	39,074회	59,175회	45,391회	87,516회	28,261회
시간당 발생 건수	0.44	0.44	0.67	0.52	0.83	0.27

※ 출처 : NOAA(미 해양 대기청)

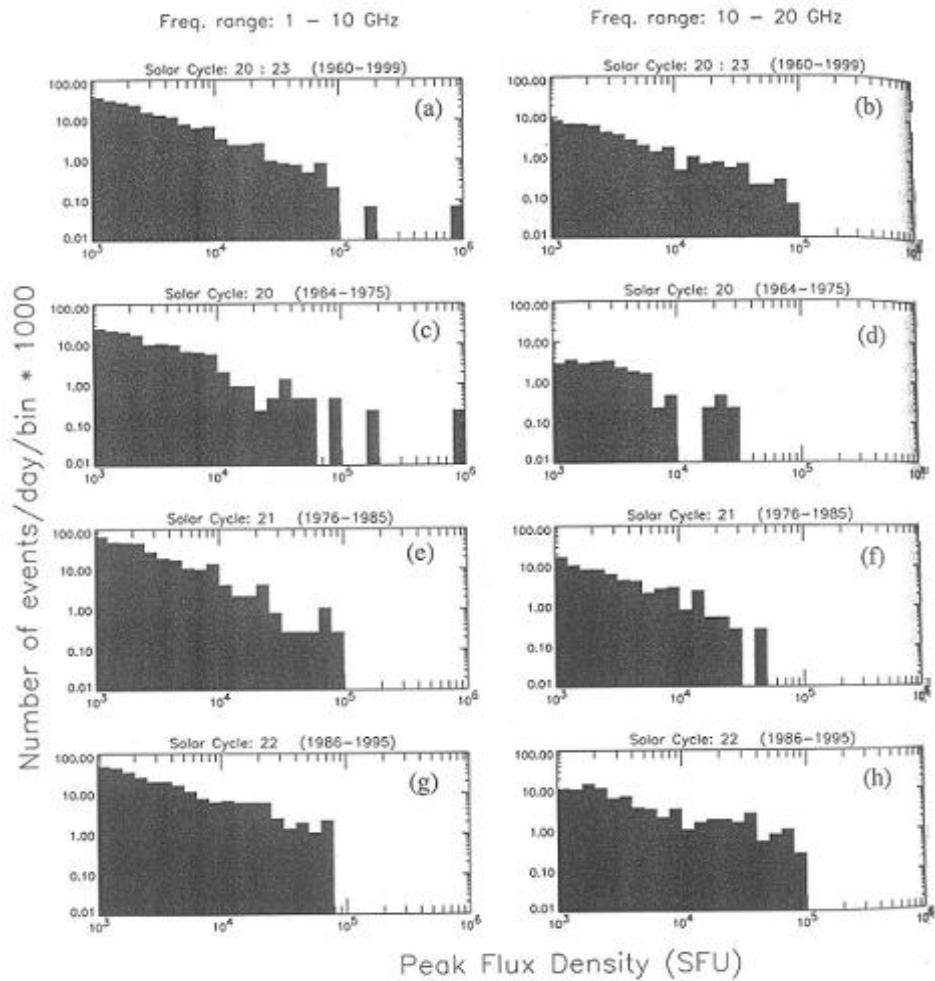
태양으로부터 발생되는 Radio Flare는 SFU(Solar Flux Unit)로 표현된다. 여기에서 Flux라 함은 단위 면적 당, 단위 주파수 당 인가되는 총 전력 밀도를 의미한다. 즉, $1\text{ sfu} = 10^4 \text{ Jansky} = 10^{-22} \text{ W/m}^2/\text{Hz} = -220 \text{ dBW/m}^2/\text{Hz} = -190 \text{ dBm/m}^2/\text{Hz}$ 이다. 이는 다시 말하면 1 sfu 란 단위 면적 당, -190 dBm/Hz 의 전력 밀도가 가해짐을 의미한다. 따라서 $1,000\text{ sfu}$ 란 단위 면적 당, -160 dBm/Hz 의 전력 밀도가 가해짐을 의미하며, 실제 RF 장비에 인가되어지는 실제 전력은 실험 대상 RF 장비의 안테나 빔 폭 및 방향과 대상, RF 장비의 수신기 또는 송신기가 사용하는 주파수 대역폭 등에 의해 결정되어진다. 외국의 논문들에서는 대략 $1,000\text{ sfu}$ 를 무선통신에 영향을 미치기 시작하는 잡음 전력으로 보고 있다(Lanzerotti et al. 2004).

[표 3-2]에서 미 해양대기청의 자료를 중심으로 1960년~1999년까지의 태양폭발이 $1,000\text{ sfu}$ 이상 발생한 건수를 1~10 GHz, 10~20 GHz주파수 범위에서 나타내었다.

[표 3-2] 태양폭발이 1,000 *sfu* 이상 발생한 건수('60년~'99년)

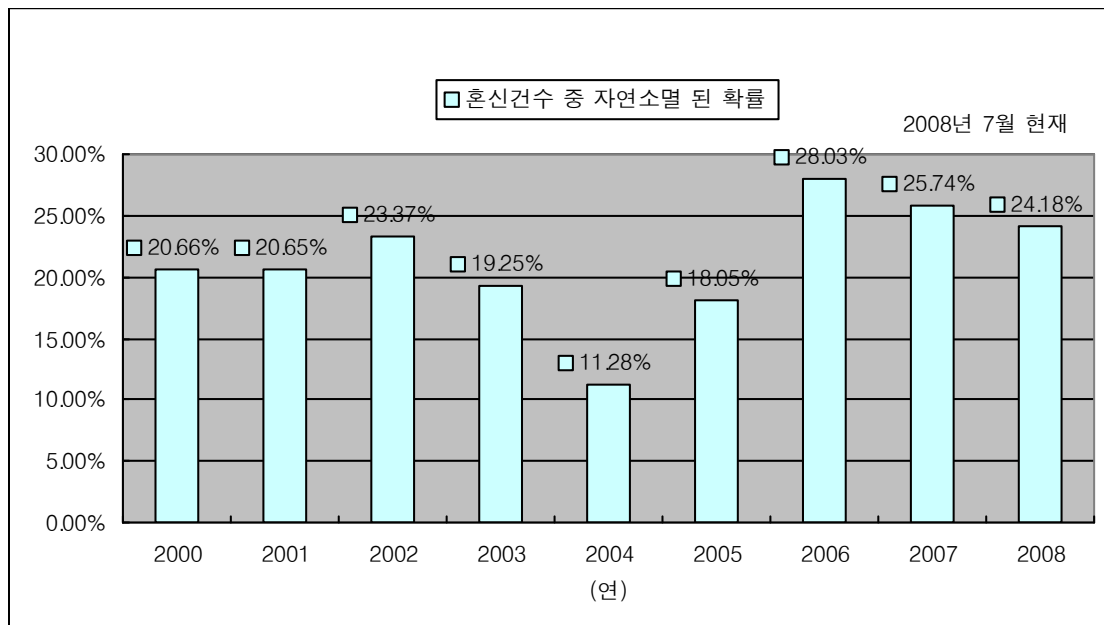
주파수 범위(GHz)	'60년~'99년	'64년~'75년 Cycle 20	'76년~'85년 Cycle 21	'86년~'95년 Cycle 22
1GHz~10GHz	2,882회	624회	1,164회	996회
10GHz~20GHz	720회	103회	270회	329회

[그림 3-2]는 얼마나 자주 태양폭발이 발생하는가를 보여주고 있다.



[그림 3-2] 태양폭발 세기별 빈도수

위 [그림3-2]는 1,000 *sfu* 이상의 태양폭발에 대한 빈도수를 보여주는 그림으로, 그림 a, c, e, g는 1 GHz~10 GHz주파수 대역을 보여주고 있으며, 그림 b, d, f, h는 10 GHz~20 GHz주파수 대역을 보여주고 있다. 그림 a, 그림 b는 1960년 ~1999년까지의 태양절대플럭스에 따른 빈도수를 보여주고 있으며, 그림 c와 d는 20번째 cycle, 그림 e와 f는 21번째 cycle, 그림 g와 h는 22번째 cycle를 보여주고 있다. 그러나 23번째 cycle은 보여주고 있지 않다. 그림에서 보듯이 100,000 *sfu* 태양폭발도 간혹 보이고 있다. 그러나 실제로는 큰 폭발이 일어났을 경우에 대한 수신기의 Saturation 및 정밀 Calibration이 이루어지지 않았음을 감안할 때, 100,000 *sfu* 이상의 폭발도 훨씬 많았으리라 예상된다. 중앙전파관리소의 혼신사례를 분석하면 2000년 1월부터 2008년 7월까지 3,656건이 외래전파, 주파수편차, 혼변조, 회선장애, 불요발사, 자연소멸 등의 원인으로 혼신이 있었던 것으로 나타났다. 그 중 746건 20.4%가 혼신원인이 자연적으로 소멸된 것이었다. [그림 3-3]은 연도별 혼신건수 중 자연소멸 된 확률을 보여주고 있다.



[그림 3-3] 연도별 혼신건수 중 자연소멸 된 확률

위 그림에서 보여주는 수치만으로는 혼신원인이 태양폭발에 따른 것이라 단정할 수 없어서 태양활동 극대기인 2000년을 대상으로 분석한 결과 2000년 자연 소멸된 총 75건 중 급격한 태양활동과 연관 되었던 날은 10건

으로 약 13%가 관련이 있었다. 향후 이에 대한 분석이 필요할 것으로 보이며 실제로 무선통신을 이용하는 많은 사용자들은 혼신 및 무선장애가 있었다 하더라도 잠깐 기다리거나 다시 통신을 시도하는 등의 방법을 간구하였으리라 판단된다.

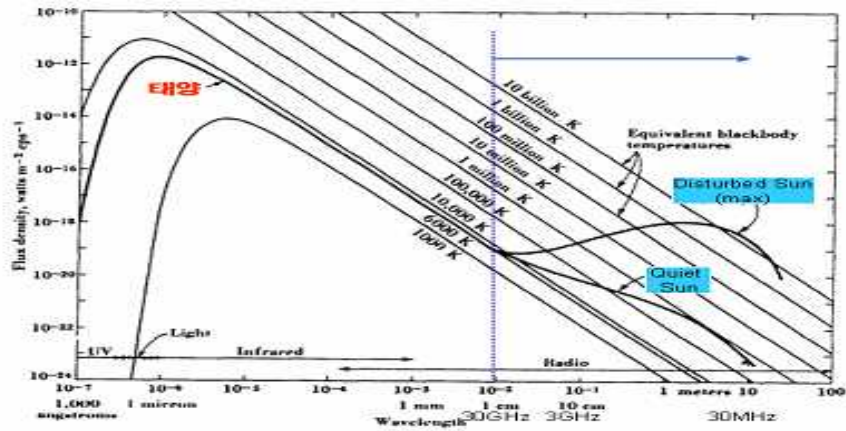
무선 통신 기기 중 각 장비 및 용도별 사용 주파수의 경우는 방송통신위원회 고시에 자세히 나와 있지만, 우리나라에서 대개 많이 사용되어지고 있는 주파수 대역 중, 태양이 폭발하였을 경우 영향을 받을 만한 1 MHz이상 주요기기를 요약하면 다음과 같다.

[표 3-3] 태양폭발에 영향을 받을 만한 주요기기

대상기기	사용주파수
Keyless Entrance	220 MHz, 300 MHz, 424 MHz, 447 MHz 등
이동 통신	800 MHz/25 MHz, 1.8 MHz/30 MHz
GPS	1.2 GHz, 1.6 GHz
RFID	13 MHz, 900 MHz, 2.4 GHz
ISM (Bluetooth, Zigbee, Binary CDMA, WLAN)	2.4 GHz
DMB	2.4 GHz, 13.5 GHz
WLAN	2.4 GHz, 5.8 GHz
Military Radar	8 ~ 12 GHz

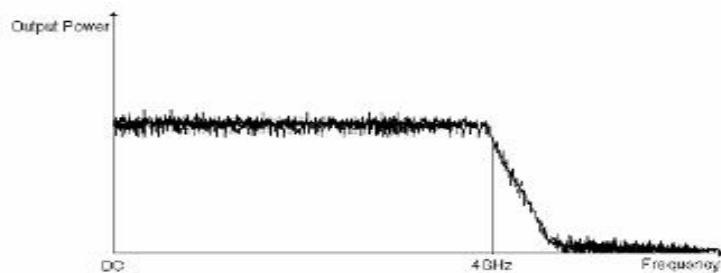
제3절 태양전파 노이즈 발생기 제작

태양폭발 등 급격한 우주환경 변화에 의하여 이동통신, 무선통신 및 GPS 등 Radio Frequency를 사용하는 다양한 무선서비스의 장애를 유발시킬 수 있다. 따라서 본 절에서는 태양폭발이 무선서비스에 실제로 어느 정도 영향을 미치는지 검증하기 위하여 태양에서 발생하는 신호와 유사한 태양전파 노이즈 발생기(Solar Radio Burst Signal Generator)를 제작하였다. 일반적으로 태양폭발에 따른 전파 신호는 다중 대역에 걸쳐 널리 분포하는 연속 전파의 특성을 지니며, 가우시안 특성을 갖는 백색 잡음이다. [그림 3-4]는 태양전파의 특성을 보여주고 있다.



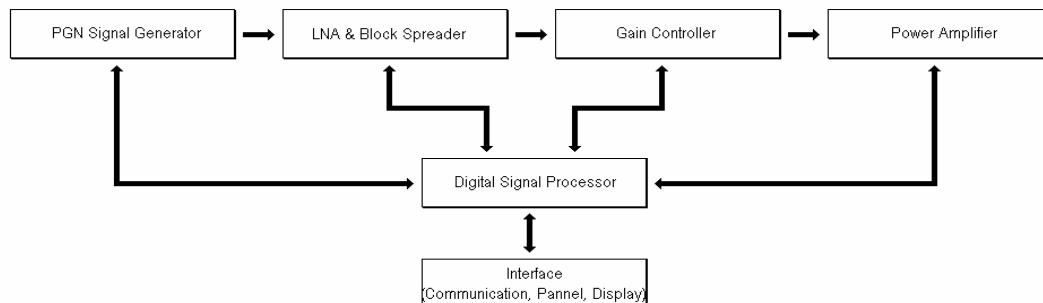
[그림 3-4] 태양전파 특성

제작된 태양전파 노이즈 발생기는 태양폭발을 효과적으로 모사하기 위해서 20 MHz~4 GHz 대역에서 태양전파 노이즈 신호의 확률 분포에 따른 유사 가우시안 잡음이 충분히 일정하게 유지되도록 제작되었으며, 출력의 세기가 전력밀도와 태양절대 플럭스 유닛과 호환되도록 하였으며 디지털로 컨트롤 할 수 있도록 제작하였다. [그림 3-5]는 태양전파 노이즈 발생기의 출력 파형이다.

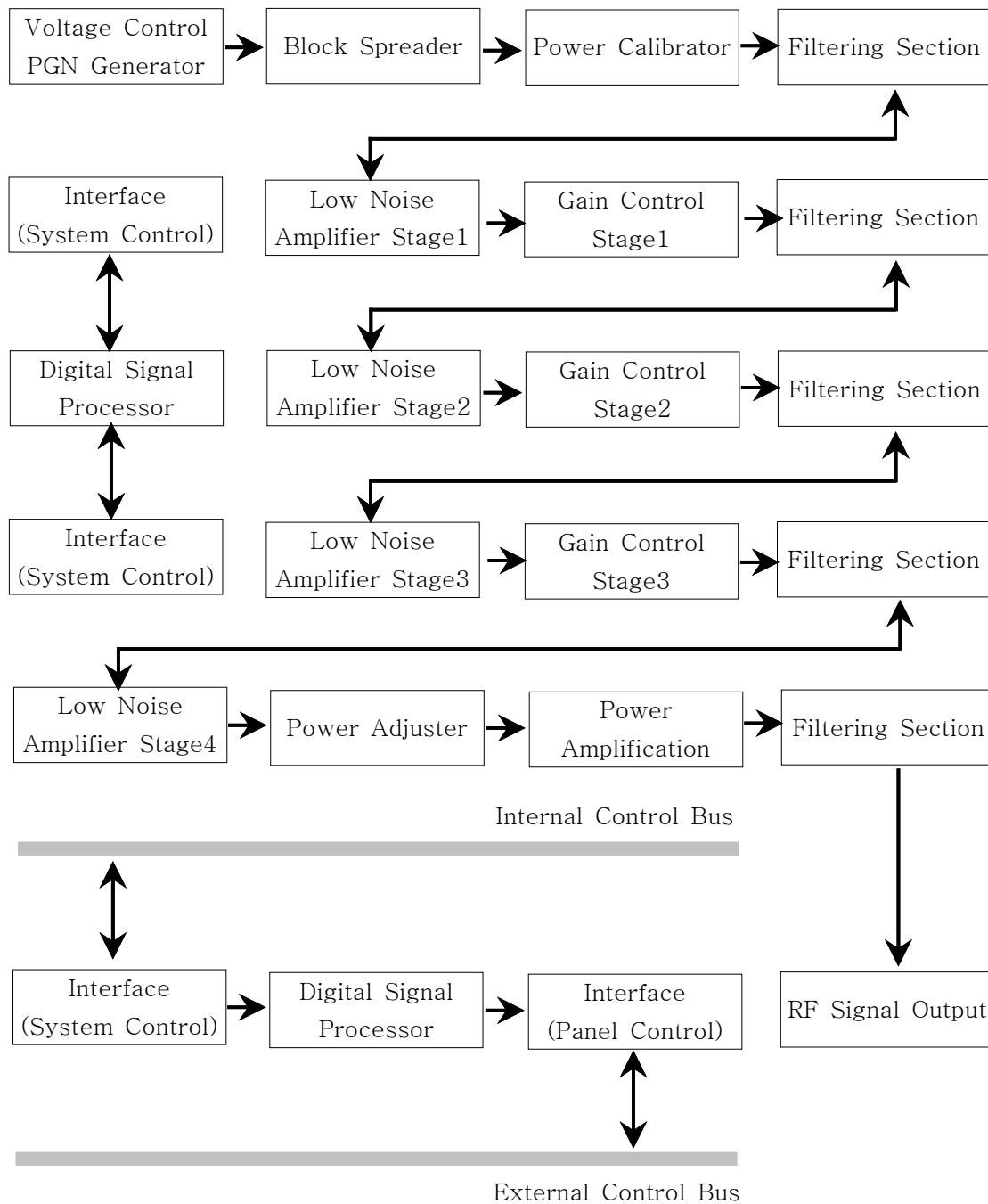


[그림 3-5] 태양전파 노이즈 발생기 출력 파형

[그림 3-6]은 태양전파 노이즈 발생기 블록도이며 [그림 3-7]은 태양전파 노이즈 발생기를 단계별로 보여주는 세부 블록도이다.

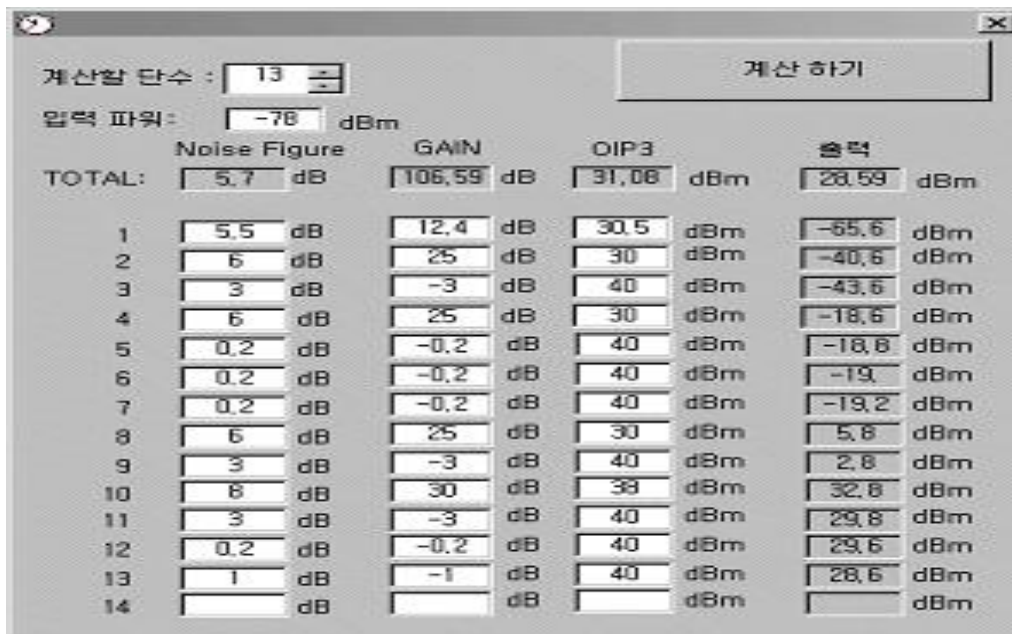


[그림 3-6] 태양전파 노이즈 발생기 블록도



[그림 3-7] 태양전파 노이즈 발생기 세부 블록도

[그림 3-8]은 태양전파 노이즈 발생기 제작을 위한 Power Budget Simulation이며 이를 통한 태양전파 노이즈 발생기는 [그림 3-9]에 보여주고 있다.

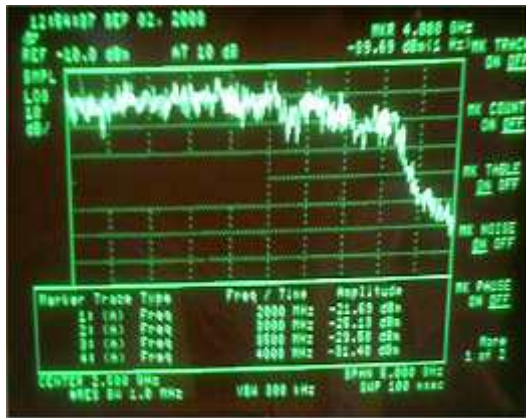


[그림 3-8] 태양전파 노이즈 발생기 Power Budget Simulation



[그림 3-9] 태양전파 노이즈 발생기

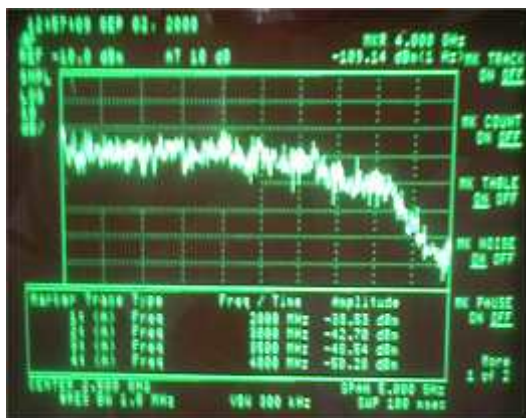
제작된 태양전파 노이즈 발생기는 최소 1dB step으로 가변 시킬 수 있으며, 10dB step으로도 가변할 수 있도록 제작되었으며, 출력세기는 최대 -70dBm/Hz이다. [그림 3-10]은 태양전파 노이즈 발생기의 출력 테스트 결과를 보여주고 있다. 테스트 결과 출력파형이 4GHz 근처에서 떨어지는 양상을 보였으나 모의실험에는 전혀 영향을 주지 않을 정도며, 또한 이를 보정하기 위하여 1MHz 단위로 보정테이블을 작성하였다. [표 3-4]은 보정테이블의 일부를 보여주고 있다.



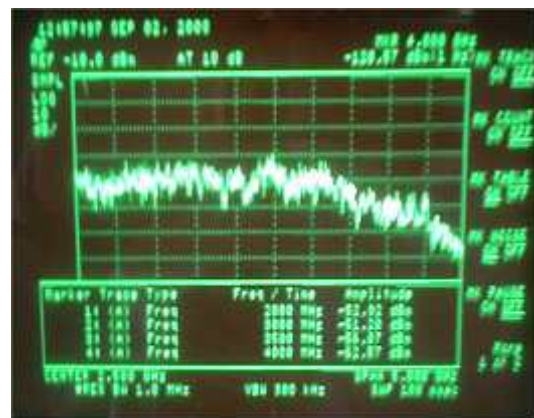
(a) -80dBm/Hz 측정 결과



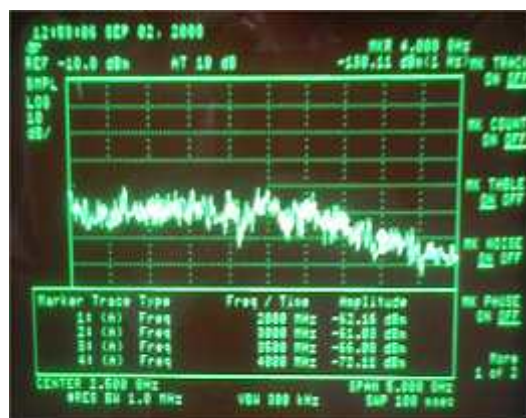
(b) -90dBm/Hz 측정 결과



(c) -100dBm/Hz 측정 결과



(d) -110dBm/Hz 측정 결과



(e) -120dBm/Hz 측정 결과

[그림 3-10] 태양전파 노이즈 발생기 출력 테스트

[표 3-4] 태양전파 출력파형 보정 테이블

Freq (MHz)	-90dBm/Hz Output		-110dBm/Hz Output		-130dBm/Hz Output	
	RF Output	Relative	RF Output	Relative	RF Output	Relative
0~19	-90.0	0.0	-110.0	0.0	-130.0	0.0
20	-83.4	6.6	-104.9	5.1	-124.9	5.1
21	-83.6	6.4	-105.0	5.0	-125.1	4.9
22	-84.0	6.0	-105.2	4.8	-125.4	4.6
23	-84.3	5.7	-105.3	4.7	-125.7	4.3
24	-84.6	5.4	-105.6	4.4	-125.9	4.1
25	-84.9	5.1	-105.8	4.2	-126.0	4.0
26	-85.0	5.0	-106.0	4.0	-126.2	3.8
27	-85.3	4.7	-106.3	3.7	-126.5	3.5
28	-85.4	4.6	-106.6	3.4	-126.7	3.3
29	-85.6	4.4	-106.8	3.2	-126.9	3.1
30	-86.0	4.0	-106.8	3.2	-126.7	3.3

중간 데이터 생략

2,962	-94.6	-4.6	-111.5	-1.5	-130.1	-0.1
2,963	-94.6	-4.6	-111.6	-1.6	-130.2	-0.2
2,964	-94.6	-4.6	-111.7	-1.7	-130.3	-0.3
2,965	-94.7	-4.7	-111.8	-1.8	-130.4	-0.4
2,966	-94.8	-4.8	-111.8	-1.8	-130.5	-0.5
2,967	-94.9	-4.9	-111.9	-1.9	-130.4	-0.4
2,968	-94.8	-4.8	-112.0	-2.0	-130.6	-0.6
2,969	-94.7	-4.7	-112.0	-2.0	-130.6	-0.6
2,970	-94.9	-4.9	-112.0	-2.0	-130.7	-0.7
2,971	-94.8	-4.8	-112.0	-2.0	-130.7	-0.7
2,972	-94.7	-4.7	-112.0	-2.0	-130.7	-0.7
2,973	-94.7	-4.7	-112.0	-2.0	-130.7	-0.7
2,974	-94.7	-4.7	-112.1	-2.1	-130.6	-0.6
2,975	-94.7	-4.7	-112.1	-2.1	-130.5	-0.5

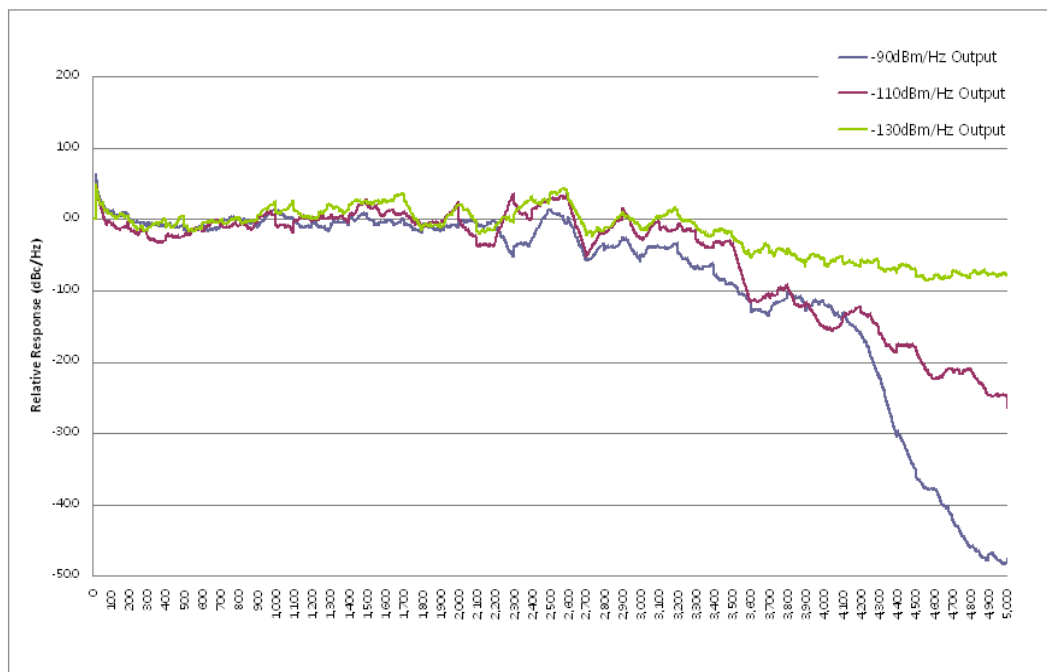
중간 데이터 생략

4,991	-138.3	-48.3	-134.5	-24.5	-137.7	-7.7
4,992	-138.2	-48.2	-134.5	-24.5	-137.8	-7.8
4,993	-138.1	-48.1	-134.6	-24.6	-137.8	-7.8
4,994	-138.1	-48.1	-134.6	-24.6	-137.7	-7.7
4,995	-138.0	-48.0	-134.6	-24.6	-137.7	-7.7
4,996	-138.0	-48.0	-134.6	-24.6	-137.7	-7.7
4,997	-138.0	-48.0	-134.7	-24.7	-137.8	-7.8
4,998	-138.1	-48.1	-134.8	-24.8	-137.9	-7.9
4,999	-138.0	-48.0	-134.9	-24.9	-137.9	-7.9
5,000	-137.5	-47.5	-136.4	-26.4	-137.9	-7.9

[그림 3-11]은 태양전파 노이즈 신호발생기의 주파수에 따른 -90dBm, -110dBm, -130dBm의 출력을 주파수 분석기로 측정한 그림이며, [그림 3-12]는 출력전력과 설정값과의 편차를 보여주는 그림이다.



[그림 3-11] 태양전파 노이즈 신호발생기 출력과형



[그림 3-12] 태양전파 노이즈 출력 설정치와의 편차

제4절 태양전파로 인한 이동통신 단말기 장애분석

태양폭발이 우리에게 미치는 영향은 인공위성, 정보통신, 전기 동력계, 인체, 송유관, GPS(Global Positioning System) 등을 비롯하여 다양하다. 그 중 정보통신 활동에 미치는 영향을 보면 전자밀도는 자외선, X-선 및 고에너지 입자 방출이 증가할 때 커진다. 우주환경의 변동으로 이온층의 전자밀도가 불규칙적으로 변할 때, 지상에서 인공위성으로 보낸 VHF와 UHF파(30 MHz ~ 3 GHz)에 심한 변동이 생겨 이 파장대를 이용한 통신은 장애를 받는다. 군이나 해외방송에서 많이 사용하고 있는 단파 통신은 이온층의 반사를 이용하고 있는 전자와 대기분자와의 충돌로 단파강도가 감소되며, 통신 가능한 주파수 선정에도 큰 지장을 준다. 특히, 우주환경의 변화로 전자밀도가 급증할 경우에는 완전히 통신이 두절되는 경우도 발생한다. 태양 전파폭발에서 방출된 전파는 245 MHz~2.7 GHz에 교란을 일으켜 통신장애를 초래하기도 한다. 따라서 본 절에서는 현재 국민들이 가장 많이 사용하고 있는 무선통신 기기 중 1.8 GHz대역 CDMA 2000 이동통신 단말기와 800 MHz대역 CDMA 이동통신 단말기를 가지고 태양폭발이 어느 정도 세기로 폭발하였을 경우에 통화품질에 영향을 주는지 모의실험을 하였다.

이론상 무선시스템에 영향을 미치는 태양절대 플럭스 값 도출은 Thermal Noise와 Receiver Power가 같을 때 구하면 된다. Thermal Noise Power는 다음과 같다(Dale E. Gary 등).

$$P_T = KTB \quad (1)$$

여기에서

P_T = Thermal Noise Power

K = Boltzmann's constant = 1.381×10^{-23} W/Hz/K

T = Temperature in degrees Kelvin ($K = +273$ Celsius)

B = Normalized bandwidth of 1Hz

Receiver Power는 다음과 같다.

$$P_R = \frac{1}{2}FAB = \frac{1}{2}F\frac{\lambda^2 G}{4\pi}B = \frac{GB\lambda^2 F}{8\pi} \quad (2)$$

여기에서

P_R = Receiver Power

F = Solar Flux

A = 면적

B = Normalized bandwidth of 1Hz

λ = Carrier Wavelength

G = Gain

위 식(1)과 식(2)가 같다고 놓았을 때 태양절대 플럭스(임계값)을 도출할 수 있다. 즉, 아래식과 같다.

$$P_T = P_R \quad (3)$$

$$KTB = \frac{GB\lambda^2 F}{8\pi}$$

$$F = \frac{8\pi KT}{G\lambda^2} \quad (4)$$

위 식(4)를 GHz대역으로 환산하여 정리하면 식(5)와 같이 된다.

$$F = 960 \left(\frac{T}{273} \right) / \left(\frac{G}{10} \right) f^2 \quad (5)$$

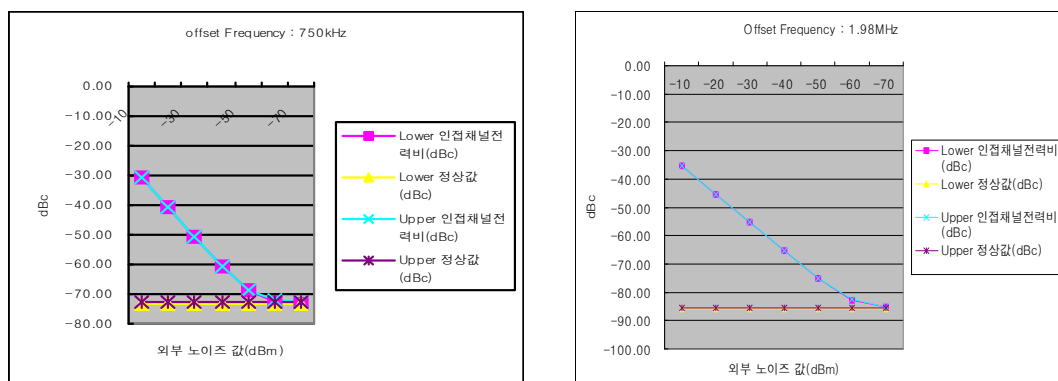
f = GHz단위의 주파수

이론상 1.8 GHz 대역 이동통신 단말기의 경우, 기지국은 안테나 Gain값10, 상온 온도를 30 ℃를 적용할 경우에 태양폭발에 영향을 받을 태양절대 플럭스는 약 3,400SFU가 되며, 단말기는 안테나 Gain값 2, 상온온도 30 ℃에서 약 17,000SFU가 된다.

먼저 본 연구에서는 태양전파 노이즈 발생기가 제작되기 이전에 일반 신호발생기와 주파수 분석기의 CDMA모듈을 이용하여 무선통신 단말기의 어느 항목이 영향을 받는지를 조사하였다. 일반 신호발생기를 이용하여 노이즈 인가는 5MHz 주파수 대역폭으로 -70dBm에서 -10dBm까지의 레벨을 변화시키면서 측정하였다. 시험 측정항목들은 ACPR (Adjacent Channel Power Ratio : 인접채널전력비), Channel Power(채널 전력), Code Domain Power로서 Pilot Channel, Sync Channel, Paging Channel, Total Active Channel 및 Occupied BW(점유주파수 대역폭), Mod Accuracy(변조품질 테스트)로 Roh와 EVM(Error Vector Magnitude), 복조특성 테스트로 FER(Frame Error Rate)이다. ACPR(Adjacent Channel Power Ratio : 인접채널전력비)은 자기 신호가 남의 채널에 얼마나 간섭을 주느냐를 따지는 선형성을 의미하는 것으로 [그림 3-13]은 평상시의 ACPR값과 외부신호 인가시의 값을 비교하였다.

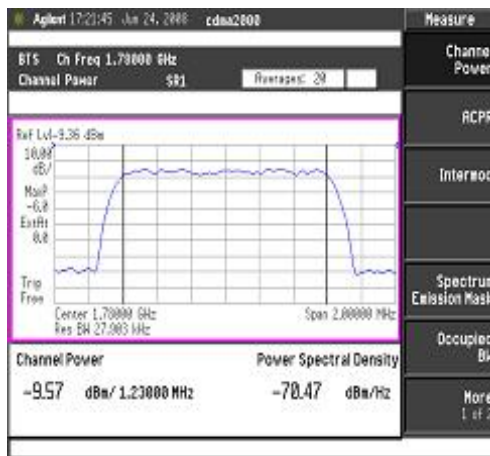


[그림 3-13] ACPR값 비교

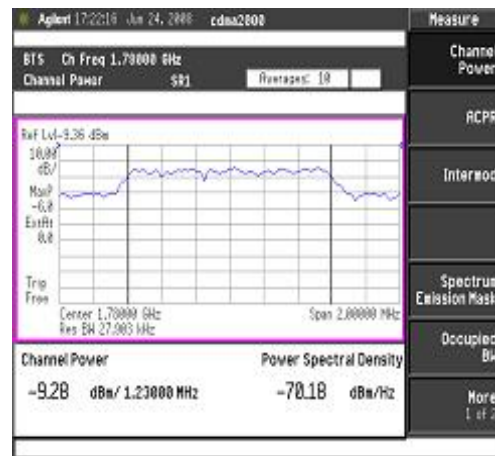


[그림 3-14] 외부 노이즈 변화에 따른 ACPR값 비교

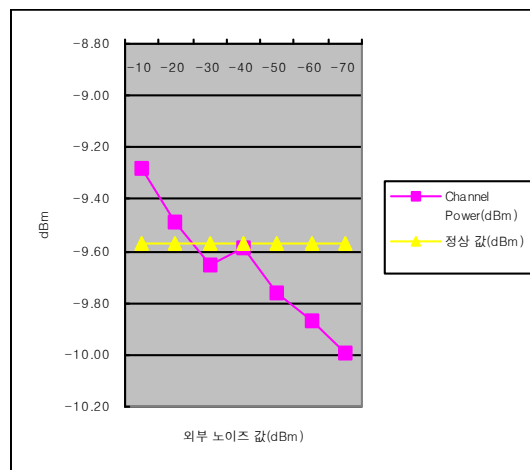
위 [그림 3-14]에서 보듯이 -10dB , -20dB , -30dB 외부 노이즈 인가 시 인접채널 전력비가 -50dBc 이상으로 측정결과 Fail이 발생하였다. 이는 실제 통신환경에서도 무선서비스에 직접적인 영향을 줄 것으로 예상된다. 실제 CDMA 2000 단말기의 기준 인접채널 전력비는 885kHz 에서 -42dBc 이하이어야 하며, 1.98MHz 에서는 -54dBc 이하 이어야 한다. Channel Power(채널전력)는 CDMA의 한 채널 주파수의 대역폭이 1.23MHz 로 이 대역폭 안에서의 전력값을 의미한다. [그림 3-15]은 평상시와 $-10\text{dBm}/5\text{MHz}$ 외부 노이즈 인가시의 채널전력을 비교한 그림과 노이즈 변화에 따른 전력 값을 보여주고 있다.



(a) 외부신호 인가 전



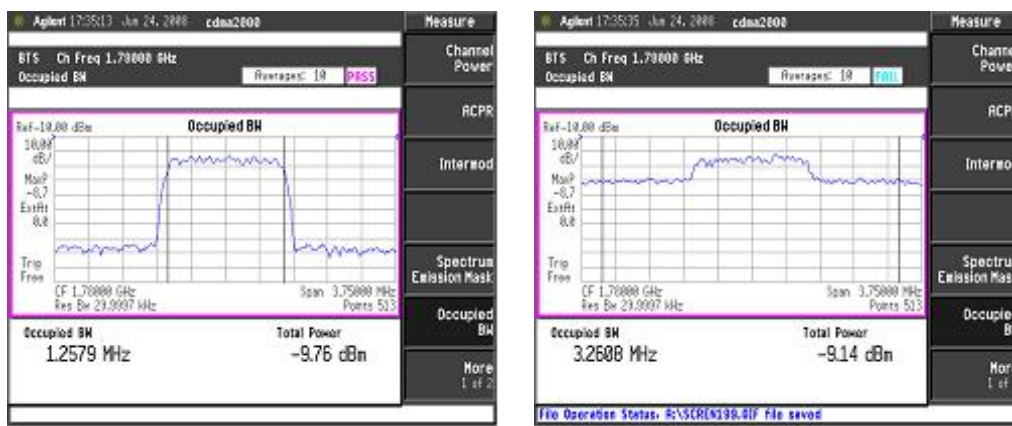
(b) 외부신호 $-10\text{dBm}/5\text{MHz}$ 인가 후



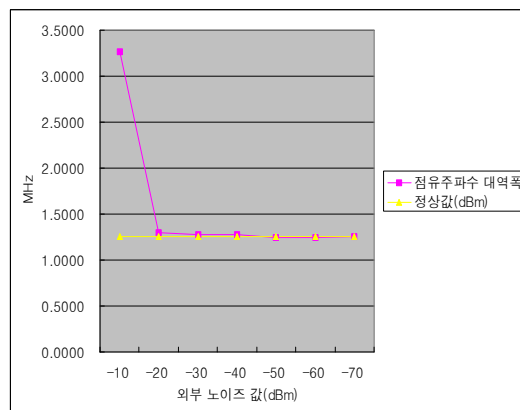
(c) 외부 노이즈 변화에 따른 채널 전력 값 비교

[그림 3-15] 채널전력 값 비교

위 그림에서 보듯이 외부 노이즈 변화에 따른 채널 전력 값 자체는 큰 변화가 없다. 그러나 채널 주파수 대역폭 주변 채널의 전력이 정상시에 비해 상당히 높아져 있는 것을 볼 수 있다. 다음으로 Occupied BW (점유주파수 대역폭)은 한 채널이 점유하고 있는 주파수 대역이다. 그 값은 1.23 MHz 정도이다. 아래 [그림 3-16]은 정상시와 $-10\text{dBm}/5\text{MHz}$ 외부 노이즈 인가시의 점유주파수 대역폭을 비교한 그림과 노이즈 변화에 따른 점유주파수 대역폭을 보여주고 있다.



(a) 외부신호 인가 전 (b) 외부신호 $-10\text{dBm}/5\text{MHz}$ 인가 후

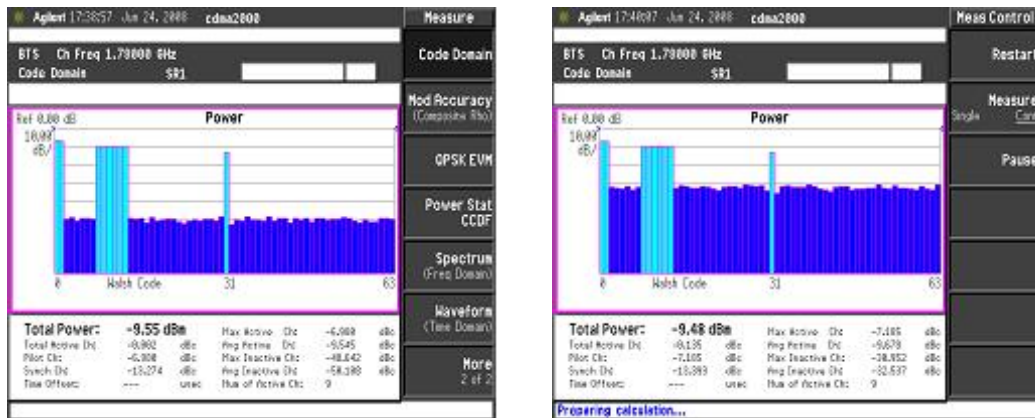


(c) 외부 노이즈 변화에 따른 점유주파수 대역폭 비교

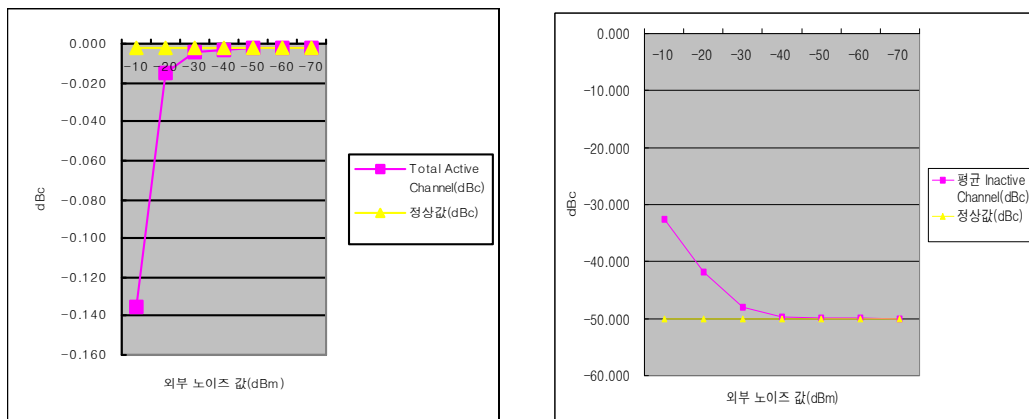
[그림 3-16] 점유주파수 대역폭 값 비교

위 그림에서 보여주듯이 $-20\text{dBm}/5\text{MHz}$ 까지는 외부 노이즈를 인가하여도 점유주파수 대역폭에는 큰 변화가 없었으나, $-10\text{dBm}/5\text{MHz}$ 의 값을 인가하였을 경우에는 점유주파수 대역폭이 3.2688 MHz로 Fail이 발생함을 알 수 있다. 이

럴 경우 주변채널에 영향을 줄 수 있다. CDMA는 64개의 Walsh채널로 되어 있으며, Time 및 Frequency Domain에서 확인할 수 없는 부분을 Code Domain에서 확인하여야 한다. [그림 3-17]은 평상시와 -10dBm/5MHz 외부 노이즈 인가시의 Code Domain 비교한 그림과 노이즈 변화에 따른 Code Domain 값을 보여주고 있다.



(a) 외부신호 인가 전 (b) 외부신호 -10dBm/5MHz 인가 후

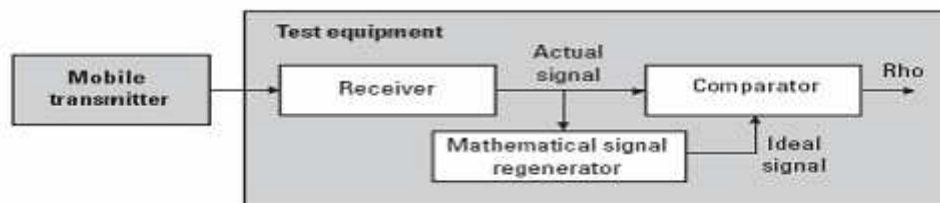


(c) 외부노이즈 변화에 따른 Total Active Channel(아래 좌)
(d) 외부노이즈 변화에 따른 평균 Inactive Channel(아래 우)

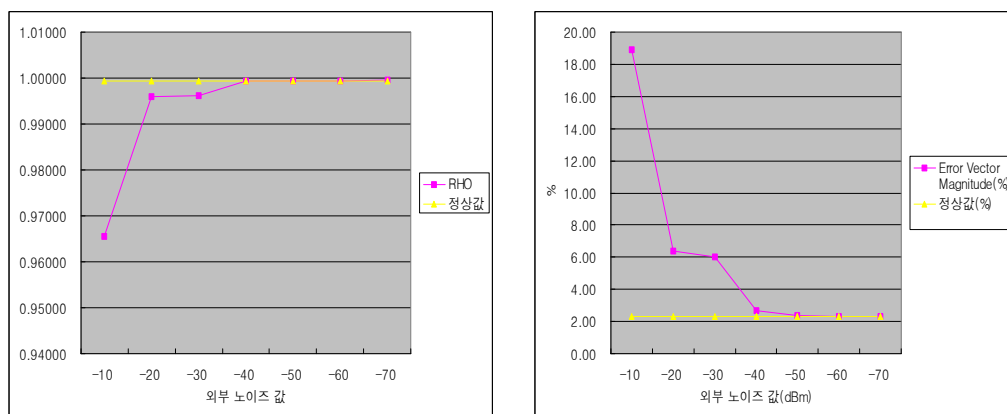
[그림 3-17] Code Domain 값 비교

총 Code Domain상의 Total Active Power값은 0에 가까워야 하나 외부 노이즈가 증가함에 따라서 떨어지고 있음을 보여주고 있다. 또한 Inactive Channel값도 외부 노이즈가 증가함에 따라 증가하고 있다. 그림에서 보이지는 않았지만 Pilot Sync, 평균 Active Channel역시 외부 노이즈 변화에 따

라 변화하고 있었다. 이는 실제 통화품질에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 핸드폰의 통화 품질을 바로 측정할 수 있는 측정항목이 변조 특성과 복조 특성이다. 이 항목들이 정해진 규격안에 들어와야 만이 통화하는 데 있어서 어려움이 없다. 변조특성을 알아볼 수 있는 측정항목은 Rho와 EVM(Error Vector Magnitude)이 있는데 $Rho = 1/(1+EVM^2)$ 의 상관관계를 가지고 있다. Rho는 전체전력에 대하여 상관전력을 비교하는 것으로 변조된 신호에서 이상적인 기준 신호와 측정된 신호간의 상관관계를 비교하여 측정한다. 따라서 완전한 경우에 이 값은 1인된다. 단말기의 경우 0.944정도가 주요 기준값이다. [그림 3-18]은 Rho값 측정하는 블록도를 보여주고 있다. EVM은 수신신호와 Reference신호의 상관관계를 보여주는 것으로 두 신호의 차이를 백분율로 나타낸다. [그림 3-19]은 외부노이즈 변화에 따른 Rho값의 변화와 EVM값의 변화를 보여주고 있다.



[그림 3-18] 변조특성 Rho값 측정



(a) 외부노이즈 변화에 따른 Rho값 변화 (b) EVM변화

[그림 3-19] 변조특성 값 비교

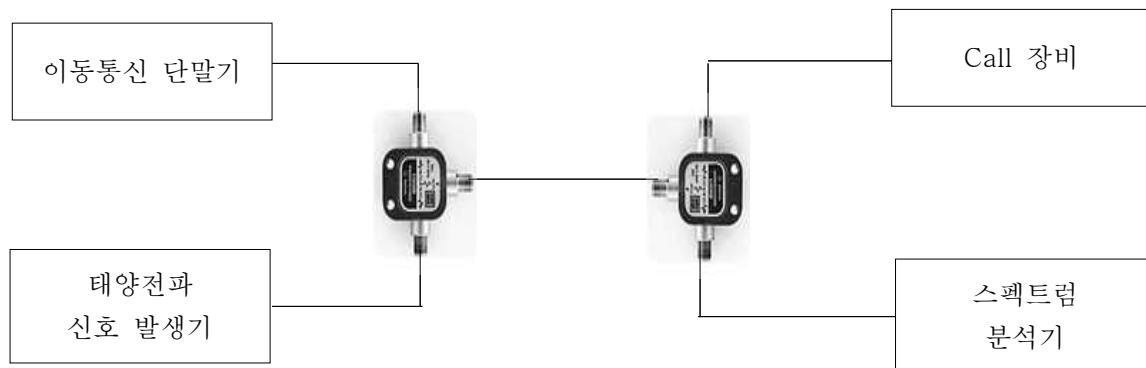
위 측정항목들의 측정결과 외부 노이즈 값을 -30dBm/5MHz 이상 인가하였을 경우에 CDMA 무선서비스에 직접적인 영향을 줄 것으로 예상되었다.

이는 태양전파와 절대 플럭스 값으로 환산하면 10^6 SFU에 해당되는 값이다. 신호발생기와 주파수 분석기에 모듈을 이용한 실험결과 10^6 SFU 이상부터는 통화중 핸드폰 끊김 등 통화에 크나큰 어려움이 있을 것으로 예상되며, 그 이하에서도 소위 안테나 개수가 줄어드는 등 통화 품질에 영향을 줄 수 있을 것으로 예상되었다. 본 장에서 연구의 목적은 실제 태양이 폭발하였을 경우에 이동통신 단말기의 통화품질에 어느 정도 영향을 주는지 알아보기 위한 것이므로 태양전파와 노이즈 발생기를 제작한 후에 실제로 기지국과 단말기 사이에 통화를 할 수 있는 Call장비를 이용하여 모의시험을 하였다.

본 시험은 이동통신 단말기를 이용한 무선통화 시 태양폭발에 의해 실제로 영향을 받는지를 모의 시험하기 위한 것으로 안테나를 사용하지 않고 유선상으로 정량적 수치를 산출하였다. 즉, 실제 태양의 전파 폭발은 태양 방향으로부터 입사해 들어오며, 각 안테나 빔이 지향하고 있는 방향에 따라 그 영향은 달라진다. 이러한 상황이 보다 실제 사용환경에 근접한 것이나, 본 시험은 이러한 상황을 배제하고 전기적 신호 전달 체계에 있어서 각 장비의 수신 장치가 태양폭발에 의한 Radio Flare에 얼마만큼의 내성을 가지고 있으며, 실제 가해지는 영향은 어느 정도인지를 구하는 것 까지를 그 목표로 하고 있다. 따라서 안테나에 의한 결합 정수를 배제하기 위해 본 시험에서는 안테나를 사용하지 않고 시험하였다. 이동통신 단말기의 장애분석 시험은 CDMA 2000 1.8 GHz대역과 800 MHz대역의 두가지 경우를 시험하였다.

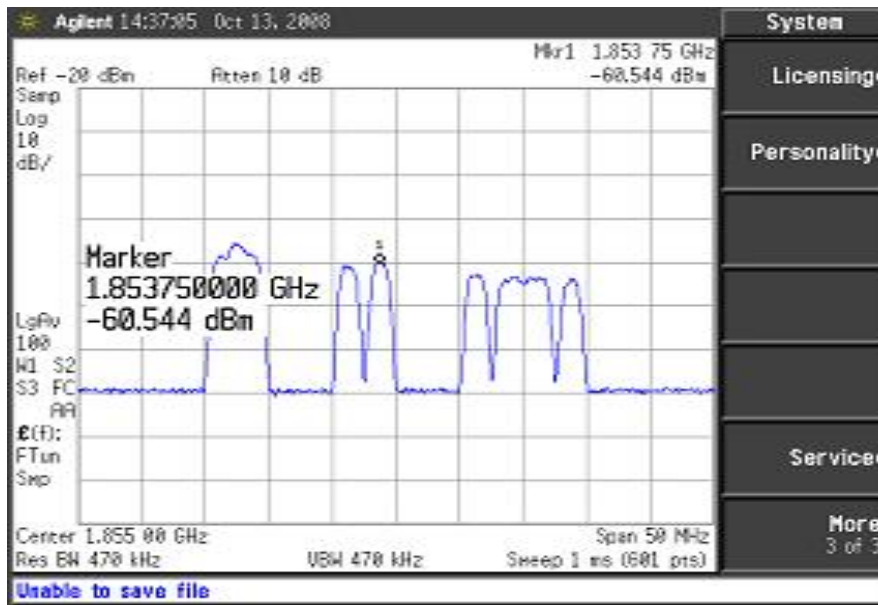
1. 1.8 GHz대역 CDMA 2000 단말기의 장애분석 시험

태양폭발에 따른 1.8 GHz대역 CDMA 2000 단말기의 장애분석 시험을 위하여 [그림 3-20]과 같이 구성하였다. Call장비는 에질런트사의 8924C장비와 83236B장비를 사용하였으며, 디바이더 2개와 태양전파 신호발생기 1.8 GHz 이동통신 단말기를 사용하였다.



[그림 3-20] 1.8 GHz 이동통신 단말기의 장애분석 시험 구성도

시험실 내부에서 평상시의 안테나 기지국을 통한 송신전력을 측정해 본 결과 [그림 3-19]와 같이 1.85375GHz에서 -60.544dBm으로 약 -60dBm이었다. 따라서 Call장치를 통한 기지국 송신전력을 -60dBm으로 놓고 태양전파 신호 발생기의 출력을 조절하면서 통화품질 시험을 하였다. 통화품질 시험은 변조특성인 Rho값과 복조특성인 FER(Frame Error Rate)를 가지고 시험하였다. Rho값의 기준이 0.944이며, FER의 기준은 0.5이다.



[그림 3-21] 안테나 기지국을 통한 송신전력 측정

Dale E. Gary 등이 작성한 논문에 의하면 이론상 1.8 GHz대역에서 무선시스템에 영향을 미치는 태양절대 플럭스는 아래 식에 의해서 안테나 Gain을 2, 온도를 30℃를 적용하였을 경우 17,000SFU이다.

$$F = 960 \left(\frac{T}{273} \right) / \left(\frac{G}{10} \right) f^2 \quad f = \text{GHz단위의 주파수}$$

시험결과 FER가 0.5이상인 되기 시작하는 시점은 19,982 SFU이었다. 이때부터 핸드폰으로 음성을 들을 경우 잡음이 생긴다고 보면 될 것이다. 이는 17,000SFU이라는 이론값과도 거의 일치한다. 25,118 SFU부터는 깨지는 것이 확연해졌다. 그때의 FER값이 1.93, 4.30, 6.60, 8.29, 3.32, 2.00 등 0.5이상의 값이 계속 나타났다. 630,957 SFU에서는 완전히 통신이 끊어졌다. 즉, 통신하고 있던 전화가 끊어지는 현상이 발생하였다. 또한, 199,523 SFU이상 이 되면 Call이 걸리지 않았다. 다시 말하면 199,523 SFU이상에서는 핸드폰으로 다른 사람에게 전화를 걸려고 시도해도 전화가 걸려지지 않는다는 것이다. 태양전파 신호 발생기를 통하여 노이즈가 199,523SFU~63,095SFU까지에서는 Call이 걸리기도 하고 안 걸리기도 하였다. 즉, 핸드폰으로 통화를 할려고 전화를 걸었을 경우, 전화가 걸리지 않는 경우도 발

생한다는 것이다. 변조특성(Rho)은 측정하여 결과가 0.987의 값으로 기준의 0.944을 만족하였다. 참고적으로 Phase Error는 6.1도 이었으며, Frequency Error는 -37.9Hz이었다. 본 시험에서 통화품질 테스트 중 변조특성의 변화를 보고 싶었으나 변조성능에 앞서 복조특성이 더 먼저 기준값 아래로 변화하고 이에 따른 통화가 끊기는 현상이 발생하여 변조로 인한 임계 태양절대 플럭스 값은 측정할 수가 없었다. 이번 시험은 Call장비가 기지국이 되는 단말기에 대해서만 수행한 것이었다. 만일 Call 장비가 단말기가 되고 기지국에 대한 장애분석 시험을 수행한다면 더 낮은 태양절대 플럭스에서 신호가 끊기가 시작할 것으로 판단된다. 향후, 이에 대한 연구가 진행 되었으면 한다.

2. 800 MHz대역 CDMA 2000 단말기의 장애분석 시험

태양폭발에 따른 800 MHz대역 CDMA 2000 단말기의 장애분석 시험 역시 [그림 3-18]과 같이 구성하였다. Call장비는 에질런트사의 8924C장비를 사용하였으며, 디바이더 2개와 태양전파 신호발생기 800 MHz이동통신 단말기를 사용하였다. 평상시 안테나 기지국을 통한 송신전력은 약 -60dBm으로 1.8 GHz 송신전력과 비슷하였다. 그러나 800 MHz 대역은 1.8 GHz대역 이동통신과 달리 일반 환경 하에서는 Call이 걸리지 않았다. 이는 이론상 기지국이 약 1,000 SFU(-160dBm/m²/Hz)부터 단말기의 경우 4,300 SFU부터 외부잡음에 영향을 받는다는 것을 감안할 때 당연한 결과라고 생각되어 질 수도 있다. 그러나 실재 환경에서는 800 MHz 대역에서 충분히 통신이 이루어지고 있음을 볼 때, 800 MHz대역에서의 통신방식은 특별한 기술을 가지고 있음을 짐작하게 한다. 본 연구에서는 이러한 기술을 연구하는 것이 목적이 아닌 실재 어느 정도의 태양폭발이 일어날 경우 800 MHz대역 이동통신 단말기의 통화품질에 영향을 주는지를 판단하는 것이므로 이에 대한 분석은 하지 않기로 한다. 따라서 800 MHz대역 이동통신 단말기의 장애분석 시험은 [그림 3-22]과 같이 챔버 내에서 시험을 수행할 수밖에 없었다.



[그림 3-22] 챔버내에서 800 MHz 이동통신 단말기 장애시험

기지국 송신 출력 -60dBm 를 고려하여 측정한 결과 태양절대 플럭스 단위로 측정한 결과 630,957 SFU에서 신호가 끊기기 시작하였다. 1.8 GHz대역과는 달리 0.8 GHz대역에서는 이론값(약 4,000SFU)과는 상이한 결과이다. 이는 Dale E. Gary등의 연구가 일반적인 무선통신 환경에 적용한 것으로 800 MHz대역의 CDMA 2000의 특수 기술 등에는 적용되지 않는 것으로 판단되다. 위에서 설명하였듯이 본 연구의 목적대로 실제로 태양이 630,000SFU 정도로 폭발한다면 통화품질에 영향을 줄 수 있다는 것을 시험을 통해서 밝혔다는 것이다. 630,957SFU부터 통화 품질이 깨지기 시작하여 복조특성인 FER(Frame Error Rate)가 0.5이상의 값을 가지게 된다. 1,000,000 SFU 부터는 깨지는 것이 확인해졌다. FER값이 1.2, 6.60, 0.84, 2.0 등 0.5이상의 값이 계속 나타났다. 태양전파 노이즈 신호 발생기가 1,995,262 SFU에서는 완전히 통신이 끊어졌다. 즉 위에서 설명하였듯이 통신하고 있던 전화가 끊어지는 현상이 발생한다는 것이다. 1,584,893 SFU이상이 되면 Call이 걸리지 않아 핸드폰으로 전화를 걸려고 해도 전화가 걸려지지 않았다. 통신이 확연히 깨지는 1,000,000 SFU에서의 변조특성(Rho)을 측정한 결과가 0.993으로 기준의 0.944을 만족하였다. 800 MHz대역 역시 통화품질 테스트 중 변조특성의 변화를 보고 싶었으나 변조성능에 앞서 복조특성이 더 먼저 기준값 아래로 변화하고 이에 따른 통화가 끊기는 현상이 발생하여 변조로 인한

임계 태양절대 플럭스 값은 측정할 수가 없었다. 아래 [그림 3-23]은 FER 값이 46.35%까지 올라간 그림이며 [그림 3-24]는 FER 값이 93.68%이상이 되면서 통신이 끊어지기 직전 그림이다.



[그림 3-23] 1,000,000 SFU 이상에서 FER값

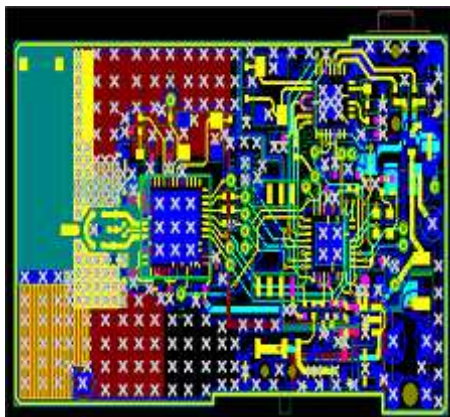


[그림 3-24] 1,995,262 SFU에서 통신이 끊기는 시점의 FER값

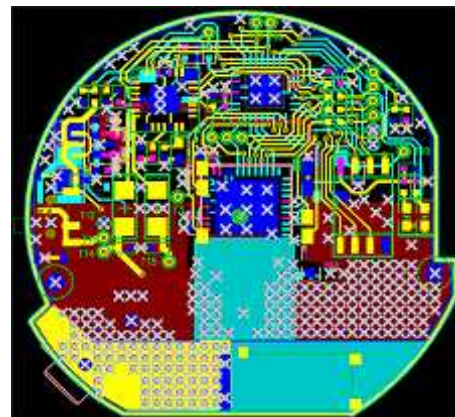
위 결과들은 신호발생기와 주파수 분석기의 CDMA 모듈을 이용하여 측정한 결과와 유사하다. 외부 노이즈 값을 $-30\text{dBm}/5\text{MHz}$ 이상 인가하였을 경우에 직접적인 영향을 줄 것으로 예상했었다. 이는 태양전파 절대 플럭스 값으로 환산하면 1,000,000 SFU에 해당되는 값이다.

제5절 태양전파로 인한 블루투스 장애분석

본 절에서는 태양폭발이 블루투스에 실제로 어느 정도 영향을 미치는지 검증하고 태양이 폭발하였을 경우 태양전파가 지구에 도달하였을 때, 얼마만큼의 태양절대 플럭스가 블루투스 통신에 영향을 미치는지를 모의 실험을 통하여 밝히고자 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 2.402 GHz~2.480 GHz대역의 블루투스 송·수신기를 제작하였다. 이는 기존의 블루투스 시스템들은 채널별로 주파수가 호핑이 되며, 송·수신이 별개로 이루어지지 않아 음성 및 데이터 신호의 송·수신을 분석하는 데는 어려움이 있기 때문이다. 아래 [그림 3-25]은 제작된 송신기 및 수신기의 PCB(Printed Circuit Board)를 보여주고 있다.



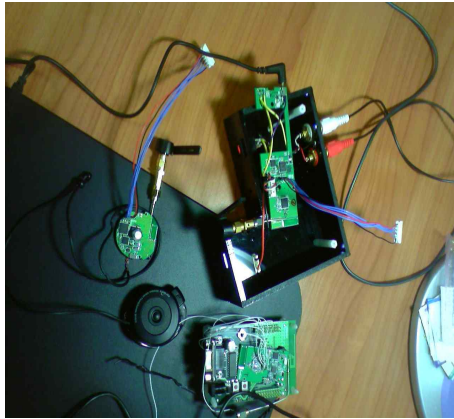
(a) 송신부



(b) 수신부

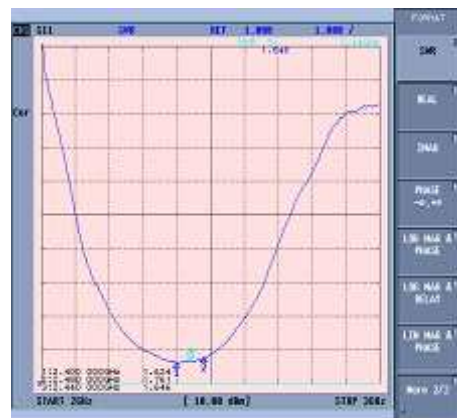
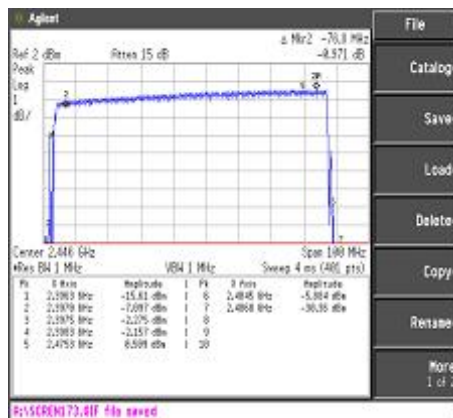
[그림 3-25] 제작된 블루투스 PCB

제작된 블루투스는 단일 채널을 사용하여 음성신호를 최대 10m거리에서 전송할 수 있도록 하였으며, 실험의 편의성을 위하여 SMA 커넥터를 채용하였다. 그리고 내부의 디지털 데이터를 출력할 수 있도록 제작하였다. [그림 3-26]은 블루투스 내부 회로와 완성된 블루투스 외형을 보여주고 있다.



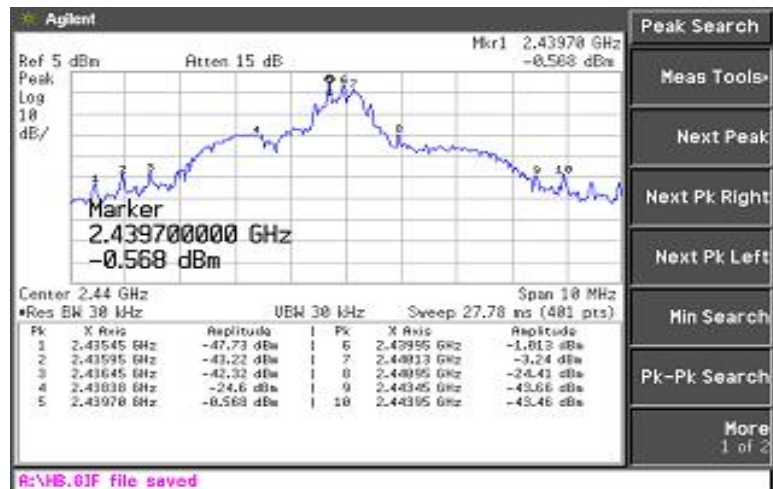
(a) 블루투스 내부 회로 (b) 완성된 블루투스 외형
[그림 3-26] 제작된 블루투스

[그림 3-27]은 설계 주파수인 2.402 GHz~2.480 GHz대역에서의 성능 결과를 보여주고 있다.



(a) 주파수에 따른 출력 값 (b) 주파수에 따른 S11
[그림 3-27] 설계주파수 내에서 성능 결과

위 그림에서 보여주듯이 설계주파수 내인 2.402GHz에서 -0.1dBm, 2.480GHz에서 -0.5dBm값을 보이며 설계 주파수 외인 2.401GHz에서 -2dBm, 2.481GHz에서 -3dBm을 보여준다. 그리고 오른쪽 그림Return Loss역시 2.440GHz에서 1.646의 결과를 보여주는 등 우수한 성능을 보였다. 아래 [그림 3-28]은 단일 채널에서의 출력파형을 보여주고 있다.



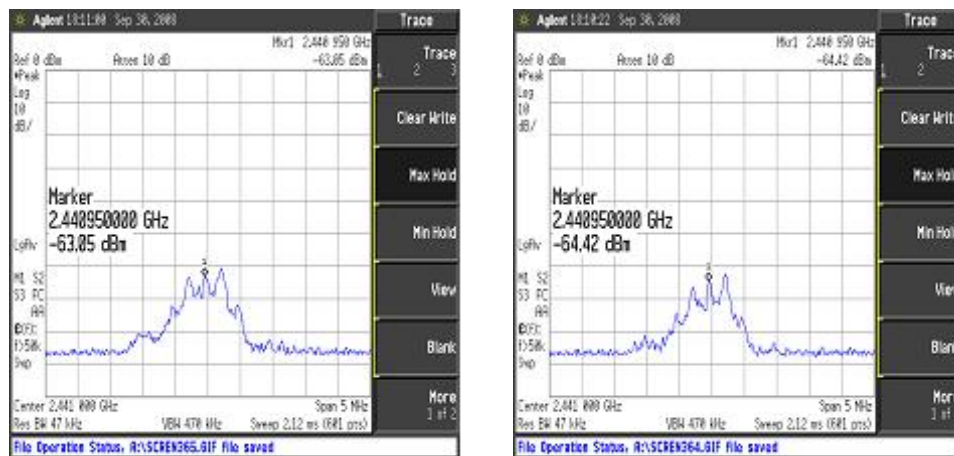
[그림 3-28] 단일 채널에서 출력파형

위 그림에서 보여주듯이 중심주파수는 2.444GHz이며, Logic이 0인 주파수는 2.43970GHz이다. 주파수 편차 역시 250kHz로 좌, 우 모두 500kHz인 스펙안에 들어왔다. 통신채널 바로 첫 번째 인접 채널(1MHz)안에 20dBc포인트가 있어야 하는 점과 두 번째 인접채널(2MHz)안에 40dBc포인트가 있어야 하는 점을 모두 만족하였다. 태양전파로 인한 블루투스 장애분석 시험을 유선상으로 시험하기 위하여 둘 사이의 공간 감쇄량을 구하였다. [그림 3-29]은 블루투스의 거리별 공간 감쇄량을 측정하는 그림이다.



[그림 3-29] 블루투스의 거리별 공간 감쇄량 측정

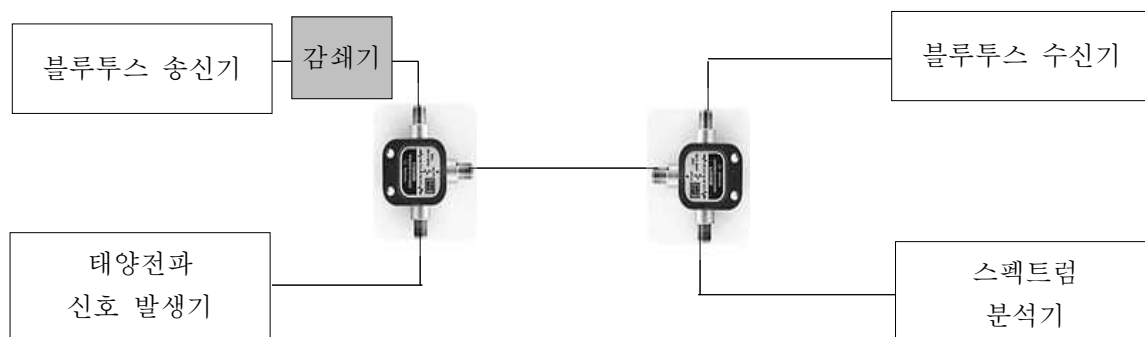
[그림 3-30]은 1m 떨어진 지점의 공간감쇄량을 측정된 결과와 3m 떨어진 지점의 공간감쇄량을 측정된 결과를 보이고 있다.

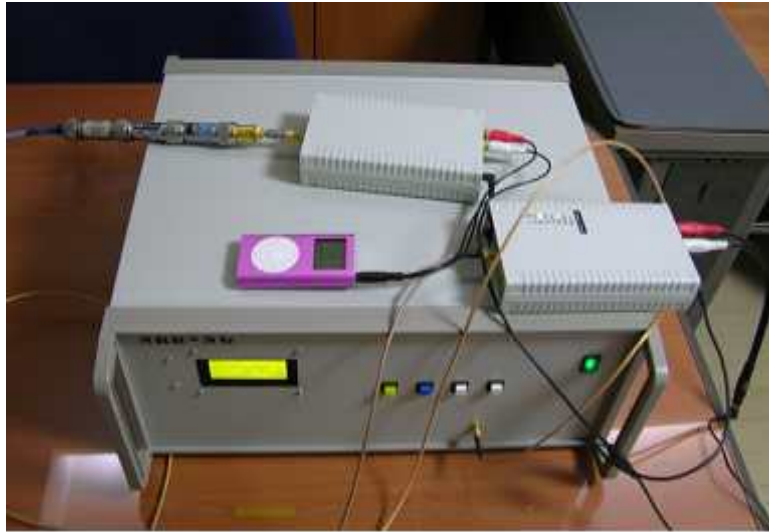


(a) 1m 떨어진 지점 공간감쇄량 (b) 3m 떨어진 지점 공간감쇄량

[그림 3-30] 송신기와 수신기 거리별 공간감쇄량

위 그림에서 보여주듯이 1m 떨어진 지점의 공간감쇄량 측정결과는 -63.05dBm, 3m 떨어진 지점의 공간감쇄량 측정결과 -65.93dBm의 결과를 보였다. 기타 2m의 경우 -64.42dBm, 4m의 경우 -67.99dBm, 5m의 경우 -74.72dBm, 6m의 경우 -78.48dBm을 보였다. 아래 그림은 태양전파로 인한 블루투스 장애분석을 위한 시험 구성을 보여주고 있다. 위에서 측정된 공간감쇄량의 값을 우선으로 측정하기 위하여 거리에 해당하는 값을 감쇄기로 대체하였다.





[그림 3-31] 블루투스 장애분석 시험 구성

태양전파로 인한 블루투스 장애시험을 하는데 있어서 사람의 귀에 의존하여 음성 데이터가 끊기는 지 여부를 판단하는 것은 사람마다 차이가 있어 시험의 신뢰성이 떨어진다. 따라서 블루투스 수신부에 송신부와 통신이 1초에 얼마나 끊기지를 판단할 수 있는 시스템(8bit)을 만들 필요가 있었다. [그림 3-32]은 블루투스 수신부에 데이터 오류 검출부를 제작한 것을 보여주고 있다.



[그림 3-32] 수신기의 데이터 오류 검출부

블루투스 통신은 송신기와 수신기가 실제 사용환경에서 3m이내에서 가장 많이 사용되고 있다. 따라서 1m와 3m 거리에서 태양전파로 인한 장애시험을 수행하였다. 위에서 보였듯이 1m의 경우 송신기와 수신기 사이의 공간감쇄량은 측정결과 -63.05dBm 이었으며, 3m 떨어진 지점의 공간감쇄량은 -65.93 dBm 의 결과를 보였다. 정상상태의 경우에도 블루투스 송신부와 수신부의 통신이 1초에 3번 이하로 끊기는 경우가 발생하였다. 그러나 이 경우 사람의 귀로는 전송 오류가 있는지 여부를 판단할 수가 전혀 없었다. 먼저 송신부와 수신부가 1m 떨어진 지점에 해당하는 거리에서 태양폭발에 따른 전송 오류시험에 대하여 설명하겠다. 블루투스 송신부와 수신부의 통신이 1초에 4번 이상 끊기는 시점은 $6,309\text{SFU}(-152\text{dBm/Hz})$ 이다. 아래 [그림 3-33]은 1초에 4개이상 끊기는 시점의 태양전파 노이즈 신호발생기 그림과 블루투스 데이터 오류 검출부에서의 오류 검출 개수를 보여주고 있다. 태양전파 노이즈 신호발생기는 출력신호 자체를 표시하고 있다. 따라서 아래 태양전파 노이즈 신호발생기에서 표시하고 있는 전력 값에서 실제 블루투스에 리스브되는 전력을 고려하여야 하기 때문에 모두 6dB 를 빼 주어야 한다. [그림 3-31]의 경우 태양전파 노이즈 신호발생기의 출력 표시값은 -146dBm/Hz 이나 여기에서 디바이더에서 손실 값을 고려하여 -152 dBm/Hz 가 되는 것이다. 아마도 청각에 민감한 사람은 이 시점부터 음성이 깨지는 사람도 있을 것으로 판단된다.



[그림 3-33] 1초에 4개이상 전송 오류가 발생하는 시점(1m 거리)

실제로 연구를 수행하면서 본 연구자를 포함한 일반 사람들이 블루투스의 음성이 실제로 끊기는 것을 귀로 느낄 수 있는 시점은 $10,000\text{ SFU}$

(-150dBm/Hz)이며, 이때 1초에 데이터의 전송오류 개수는 20개 이상이였다. 즉, 1초에 20개의 데이터가 전송 오류가 발생하였을 경우에 우리는 귀로 음성이 끊기고 있음을 감지할 수 있는 것이다.



[그림 3-34] 음성이 실제로 끊기는 것을 귀로 느낄 수 있는 시점(1m 거리)

블루투스의 음성데이터를 귀로 듣기에 괴로운 시점은 15,848SFU (-148dBm/Hz)이며, 이때 1초에 데이터의 전송오류 개수는 128개 이상이 되었다. 아래 [그림 3-33]은 음성데이터를 귀로 듣기에 짜증이 날 정도로 듣기 괴롭기 시작하는 시점의 태양전과 노이즈 신호발생기와 전송 오류부 결과를 보여주고 있다.



[그림 3-35] 음성데이터를 귀로 듣기에 괴로운 시점(1m 거리)

블루투스의 송수신이 완전히 끊기는 시점은 31,622SFU (-145dBm/Hz)이였다. 1초에 228개의 데이터의 통신이 끊긴다는 것을 계속 표시하면서 더 이상 작동이 되지 않았다. 즉, 이 시점 이상부터는 아무리 송신부에서 데이터를 수신부에 전송하여도 수신부에서는 데이터를 취득할 수 없었다.



[그림 3-36] 블루투스의 송수신이 완전히 끊기는 시점(1m 거리)

다음으로 송신부와 수신부 사이가 3m 떨어진 지점에 해당하는 거리에서 태양폭발에 따른 전송 오류시험에 대한 시험결과를 설명하겠다. 블루투스 송신부와 수신부의 통신 데이터가 1초에 4개 이상 끊기는 시점은 2,511SFU(-156dBm/Hz)이었다. 아래 [그림 3-37]은 이때의 태양전파 노이즈 신호발생기와 전송오류 검출부를 보여주고 있다.



[그림 3-37] 1초에 4개이상 전송 오류가 발생하는 시점(3m 거리)

음성이 끊기는 것을 귀로 느낄 수 있는 시점은 6,309SFU(-152dBm /Hz)이었으며, 이때 1초에 데이터 전송오류 개수는 16개 이상이다.



[그림 3-38] 음성이 실제로 끊기는 것을 귀로 느낄 수 있는 시점(3m 거리)

블루투스의 음성데이터를 귀로 듣기에 괴로운 시점은 10,000SFU (-150dBm/Hz)이며, 이때 1초에 데이터 전송오류 개수는 130개 이상이 되었다. [그림 3-39]는 음성데이터를 귀로 듣기에 짜증이 날 정도로 듣기 괴롭기 시작하는 시점의 태양전파 노이즈 신호발생기와 전송 오류부 결과를 보여주고 있다. 블루투스의 송수신이 완전히 끊기는 시점은 25,118SFU (-146dBm/Hz)이며, 1초에 228개의 전송오류 개수가 계속 표출되면서 작동이 되지 않았다. 즉, 더 이상 수신부에서 송신부의 데이터 전송을 받아들이지 않고 있었다. 3m 거리에서 태양전파플럭스가 25,118SFU 이상이 되면 블루투스의 송수신이 완전히 작동하지 않음을 알 수 있다.



[그림 3-37] 음성데이터를 귀로 듣기에 괴로운 시점(3m 거리)



[그림 3-38] 블루투스의 송수신이 완전히 끊기는 시점(3m 거리)

블루투스 송수신에 있어서는 송수신 안테나가 태양을 직접적으로 향하였을 경우 위에서 시험한 결과와 같이 통신 장애가 발생할 것이다. 그러나 실제 환경 하에서는 블루투스의 성격상 이동중인 경우가 많기 때문에 통신장애가 발생한다 하더라도 우리가 느끼는 통화품질의 영향은 그리 길지는 않을 것으로 판단된다. 그러나 위의 시험은 최악의 경우를 고려한 것으로 태양폭발에 따른 블루투스가 영향을 받고 있음을 시험을 통하여 밝혔다.

제5절 결론

유선통신 시대에는 태양폭발로 인한 피해가 크지 않았으나, 무선 통신 환경에서는 심각한 피해로 사회·경제적 문제를 초래 할 수 있다. 따라서 본 장에서는 태양폭발 시 태양전파 간섭으로 발생하는 무선서비스 장애로 인한 피해 최소화를 위해 무선통신 장애 간섭분석 연구를 수행하였다. 수행결과 국내에서 사용하고 있는 이동통신 단말기의 경우 1.8 GHz 주파수 대역은 약 20,000SFU이상부터, 0.9 GHz주파수 대역은 약 630,000SFU부터 태양폭발에 따른 통화품질에 영향을 받을 것이다. 그러나 본 시험은 기지국에 대해서는 장애시험을 수행 할 수가 없었으므로, 기지국의 안테나 이득 등을 고려할 때 훨씬 낮은 태양폭발에도 통화품질에 영향을 받을 것으로 예상된다. 블루투스의 경우도 송·수신기 사이의 거리가 3m 떨어진 경우 약 2,600 SFU이상, 1m의 경우 6,300SFU의 태양폭발이 있을 경우에 영향을 받았다. 본 연구를 통하여 태양폭발이 무선서비스에 실제로 어느정도 영향을 미치는지 검증하였고 향후, 더 많은 연구를 통하여 국가차원에서 대응체계를 마련하는 중요 자료로 활용되었으면 한다.

제4장 국제전리층모델(IRI)의 국내 정확도 분석연구

제1절 개요

전리층은 전파를 반사시켜 원거리 단파통신을 가능하게 해주는 매우 유용한 기능을 가지기 때문에 지난 60여 년간 꾸준히 연구되어온 분야로 더 이상 비실용 학문에 머물러 있지 않다. 안정적인 단파통신 운용 및 GPS를 이용하는 항법시스템 등의 신뢰성을 확보하기 위해 전리층 상태를 정확하게 예측하려는 시도가 끊임없이 지속되고 있는데 그 대표적인 사례가 국제전리층모델(IRI : International Reference Ionosphere)이다.

IRI는 URSI와 COSPAR의 공동협력 연구과제로 개발된 범지구적 전리층 모델로서 정확도 및 활용도 면에서 사실상의 국제 표준이나 다름없이 사용되어 왔고, 현재는 국제 표준화 기구(ISO : International Standardization Organization)에 국제 공인 표준 모델로 등록 신청 중이다.

본 연구에서는 과거 약 10년간의 안양 전리층 관측기의 관측 자료와 국제전리층모델(IRI)의 모델링 결과를 비교하여 한반도 지역에서의 IRI 모델 정확도를 검증해 보고 우리나라 전리층 예보수단으로서의 적용 가능성을 확인하는 것을 목표로 하였다. 이를 위해 관측된 여러 전리층 파라미터 중 F2층 최고 파라미터의 변화현상에 대해 분석하고 이를 IRI 모델의 최신 버전인 IRI-2007의 예측치와 비교하였다. IRI는 관측 자료에 기반을 둔 모델이기 때문에 특정 지역이나 특정 기간에 대한 정확도는 그 지역에서의 오랜 기간 동안의 관측 자료가 IRI에 반영되었는지 여부에 크게 좌우된다. 그러나 아쉽게도 IRI 제작 또는 개선시에 한반도의 전리층 관측 자료가 사용되지 않아 우리나라 전리층 예보에 IRI 모델을 사용하기 위해서는 우리나라 상공 전리층에 대한 IRI의 예측 정확도 검증연구가 선행되어야 한다.

관측자료로는 안양(북위 37도 23분 17초, 동경 126도 56분 45초)에 설치되어있는 전리층 관측시스템(DGS-256과 DPS-4D)으로부터 관측된 데이터를 사용하였으며, F2층 임계주파수(f_oF_2), F2층 최대 전자밀도(N_mF_2), 그리고 F2층 최대전자밀도 높이(h_mF_2) 파라미터에 대해 한 시간단위의 월평균(중간값) 일변화를 산출하였다. 본 연구에 사용된 관측 데이터의 취득 기간은 1998년 4월에서 2008년 4월까지 인데, 이는 2001년~2002년의 태양활동 극대기와 2007년~2008년의 태양활동 극소기를 포함하는 지난 태양활동 주기의

전체 한 주기를 거의 모두 커버하는 것이 특징이다.

관측 데이터의 분석결과, 전리층의 일변화, 계절변화 그리고 태양활동 주기에 따른 변화 등 일반적 전리층 변화현상 뿐만 아니라 중위도권 전리층의 특이현상, 즉 일반적인 생각과는 반대로 foF2가 여름보다 겨울에 훨씬 높은 현상을 잘 보여주었다.

관측값과 IRI 모델값의 편차를 구하고 그 편차 중 t-검증을 통해 관측값과 IRI 모델값간에 유의한 차이가 있고 월 관측자료의 수가 충분하여 이상값에 의한 평균값 왜곡이 없는 경우만($\Delta\text{foF2}'$)을 구하여 그 특성을 분석하였다.

IRI 예측치는 관측된 foF2, NmF2, 그리고 hmF2의 태양활동 주기에 따른 변화뿐만 아니라 일변화와 계절변화 등 전리층의 일반 변화현상 모두에 대해 그 패턴면에서 잘 일치하였다. 그러나 낮과 저녁에는 IRI가 foF2를 실제보다 높게 예측하고 밤에는 IRI가 foF2를 실제보다 낮게 예측하는 등 관측 데이터와 IRI 예측치간의 편차에 규칙적인 경향도 발견되었다.

$\Delta\text{foF2}'$ 그래프의 전체 면적에서 IRI 모델값과 관측값간에 차이가 없는 것으로 판정된 부분의 비율이 77.8%를 차지하고, IRI가 높거나 낮게 예측되어도 그 차이가 $\pm 1\text{MHz}$ 를 넘지 않는 부분의 비율이 82.5%로 높기 때문에 foF2 파라미터의 경우 IRI 예측이 실제와 대체적으로 잘 일치한다고 결론 내릴 수 있다. 또한 전리층 임계주파수로부터 전자밀도가 바로 계산되므로 따로 비교하지 않더라도 F2층의 전자밀도 또한 위의 foF2 비교 결과와 같음을 알 수 있다.

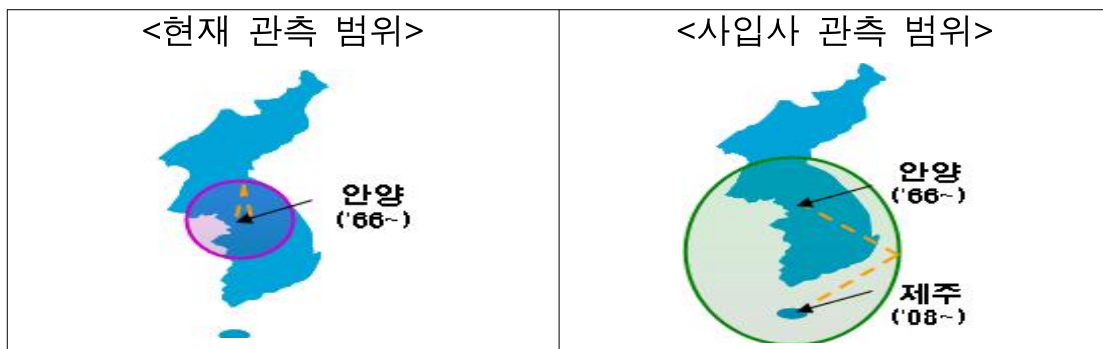
따라서 국내 단파통신 최적 주파수 예보 서비스 등에 IRI 모델을 사용하여 정확도를 높일 수 있을 것으로 예상되며, 향후 GPS 서비스 등 전리층 변화에 민감한 지구-위성간 통신 분야 등으로 예보 서비스를 확대할 수 있을 것으로 기대된다.

제2절 연구 방법

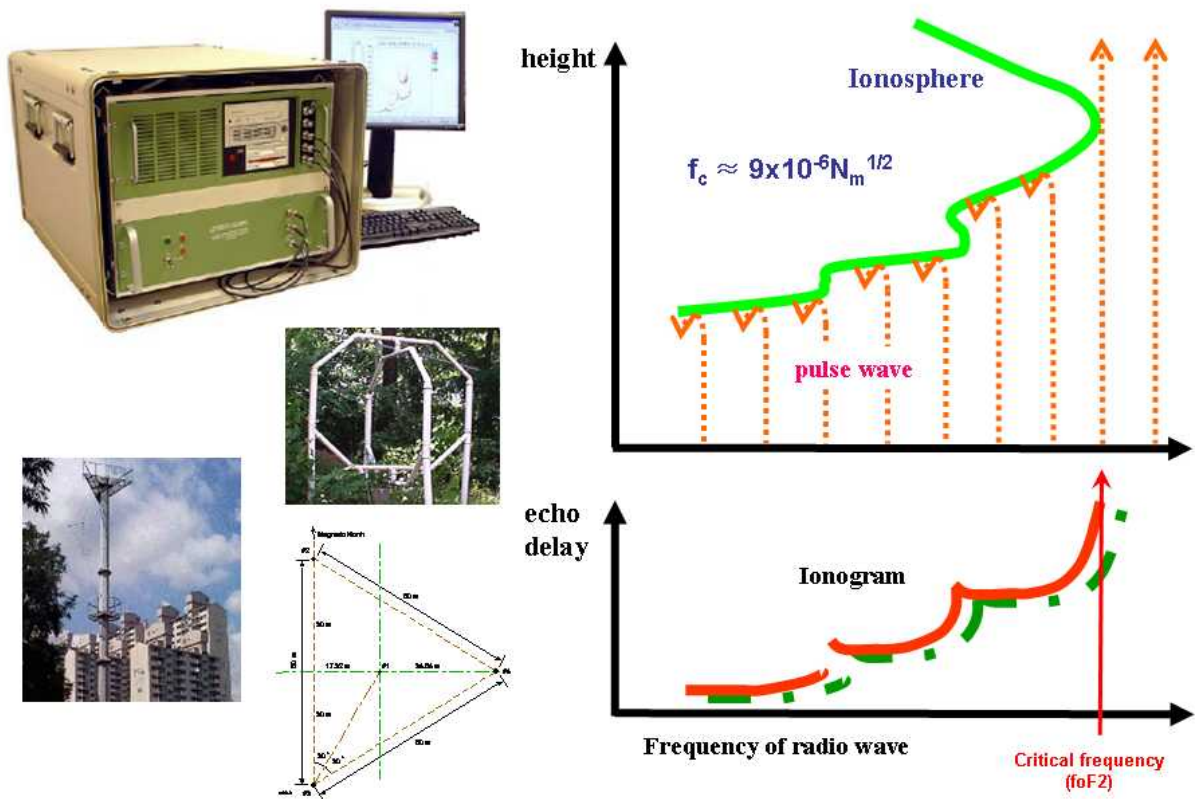
1. 국내 전리층 관측현황

전파연구소는 국내 우주전파환경연구 선도 기관으로서 1966년부터 안양에 전리층 관측기(Ionosonde) 1기를 설치·운영하여 태양폭발이 전리층에 미치는 영향을 분석하고 단파대역 전파예보에 활용하고 있다. 본 전리층 관측기는 국내 유일의 전리층 관측장비로서 URSI에 관측소 코드 AN438로 등록되어 있으며, 2008년 8월부터는 세계데이터센터(WDC : World Data Center)에 관측자료를 실시간 전송 중이다. 또한, 2008년 12월에는 제주에 1기를 추가 설치하여 안양-제주간 사입사(斜入射) 관측을 통해 전국범위의 실시간 최적 단파주파수 서비스 실시를 위한 한반도 전리층 종합 관측체계를 구축하였다.

[표 4-1] 한반도 전리층 종합 관측체계



Ionosonde 관측은 높이에 따른 전리층 플라즈마 전자밀도의 분포를 측정하기 위한 가장 기본적인 방법으로, 전파를 수직 입사하여 전리층 내의 여러 전자층에서 반사되어오는 전파를 측정함으로써 전리층 내 전자들의 분포를 높이에 따른 함수로 나타내 준다. Ionosonde로 관측한 결과를 나타낸 그림을 Ionogram이라고 부르는데, Ionogram은 반사되어 온 전파가 수신된 결과를 나타낸 것이므로 이 그림을 해석하면 관측당시의 전리층 상태를 파악할 수 있다.



[그림 4-1] Ionosonde 관측시스템 및 관측원리

전파연구소가 보유하고 있는 Ionosonde는 미국 메사추세츠 대학 로웰 대기연구센터(UMLCAR : Univ. of Mass. Lowell Center for Atmospheric Research)에서 제작한 DPS-4D 모델이며 관측장비 사양은 [표 4-2]와 같다.

[표 4-2] 전파연구소의 전리층 관측장비(Ionosonde) 사양

수신기	
주파수 수신가능 범위	1 ~ 30MHz
대역폭	34KHz @ 6dB
잡음 특성	11dB (수신기 안테나 전치증폭기에서)
수신기 감도	-130dBm(±6dB)
입력 임피던스	50Ω

송신기	
주파수 범위	1 ~ 30MHz (1KHz 단위로 설정 가능, 2~16MHz 사용중)
1회 관측시간	200sec (프로그램 설정으로 변경 가능)
펄스 폭	533us (30KHz 신호 폭)
최고 펄스 출력	2채널 각 150Watts
송신기 형태	이중 RF MOSFET 증폭기
신호 처리	
관측 고도 범위	0~1200Km (고도 분해능 : 2.5Km 간격)
도플러 범위	$\pm 3 \sim \pm 50$ Hz 범위 (도플러 분해능 : 0.0125Hz)
진폭 분해능	0.01dB 이하
파편광	O/X (오른쪽 & 왼쪽 또는 송수신에 있어 선형)
수신 안테나	
안테나 형식	Active crossed loop - Turnstile antenna (직경 1.5m)
전자회로	전치증폭기 10~30dB 이득 조정
송신 안테나	
안테나 형식	수직교차 롬빅 또는 델타 (2개의 방사 element)
타워 높이	20m~30m

2. 관측자료 및 연구방법 소개

본 연구에서는 관측된 여러 전리층 파라미터 중 F2층 최고 파라미터의 변화현상에 대해 분석하고 이를 국제전리층모델(IRI-2007)의 예측치와 비교하였다. 관측자료로는 안양(북위 37도 6분 5초, 동경 126도 15분 8초)에 설치되어있는 전리층 관측시스템(DGS-256과 DPS-4D)으로부터 관측된 데이터를 사용하였으며, F2층 임계주파수(f_oF_2), F2층 최대 전자밀도(N_mF_2), 그리고 F2층 최대전자밀도 높이(h_mF_2) 파라미터에 대해 한 시간단위의 월평균(중앙값) 일변화를 산출하였다. 여기에서 산술 평균을 사용하지 않고 중앙값을 사용한 이유는 관측시스템의 오동작 또는 갑작스런 관측환경 변화로 발생한 특이 관측 자료가 평균값 전체에 영향을 미치는 정도를 줄이기 위해서이다.

본 연구에 사용된 관측 데이터의 취득 기간은 1998년 4월에서 2008년 4월까지 인데, 이는 2001년~2002년의 태양활동 극대기와 2007년~2008년의 태

양활동 극소기를 포함하는 지난 태양활동 주기의 전체 한 주기를 거의 커버하는 것이 특징이다.

[표 4-3] 관측자료 정보

전리층 파라미터	foF2, hmF2, NmF2
관측 위치	안양 (지리적 경위도 : 동경 126.950, 북위 37.390, 지자기 경위도 : 동경 196.861, 북위 27.742)
관측 기기 및 기간	DGS-256 (1998년 4월 - 2005년 5월), DPS-4D (2005년 11월 - 2008년 4월)

NASA의 FTP 사이트[4]에서 최신 IRI 소스코드를 다운로드 받을 수 있다. 사용된 IRI 코드는 IRI-2007 모델로 포트란으로 제작되었으며 본 연구에서는 Linux 환경에서 GCC 컴파일러를 사용하여 컴파일 하고 Bash shell script를 이용하여 입출력 파라미터를 제어 하였다.

IRI 모델링에서 지자기 폭풍시의 전리층 파라미터 변화를 예측하기 위한 추가 옵션 사항인 foF2 STORM 모델(Storm-Time Empirical ionospheric Correction Model)을 구동시키기 위해 AP index를 입력파라미터로 사용하였고, 모델링 기반 관측자료 데이터 세트로는 URSI coefficient를 사용하였다. IRI는 URSI coefficient와 CCIR coefficient의 두 가지의 모델링 기반 관측자료 데이터 세트를 제공하는데 URSI coefficient는 해양에서 CCIR coefficient는 대륙에서 그 정확도가 상대적으로 높은 것으로 알려져 있다. [1]

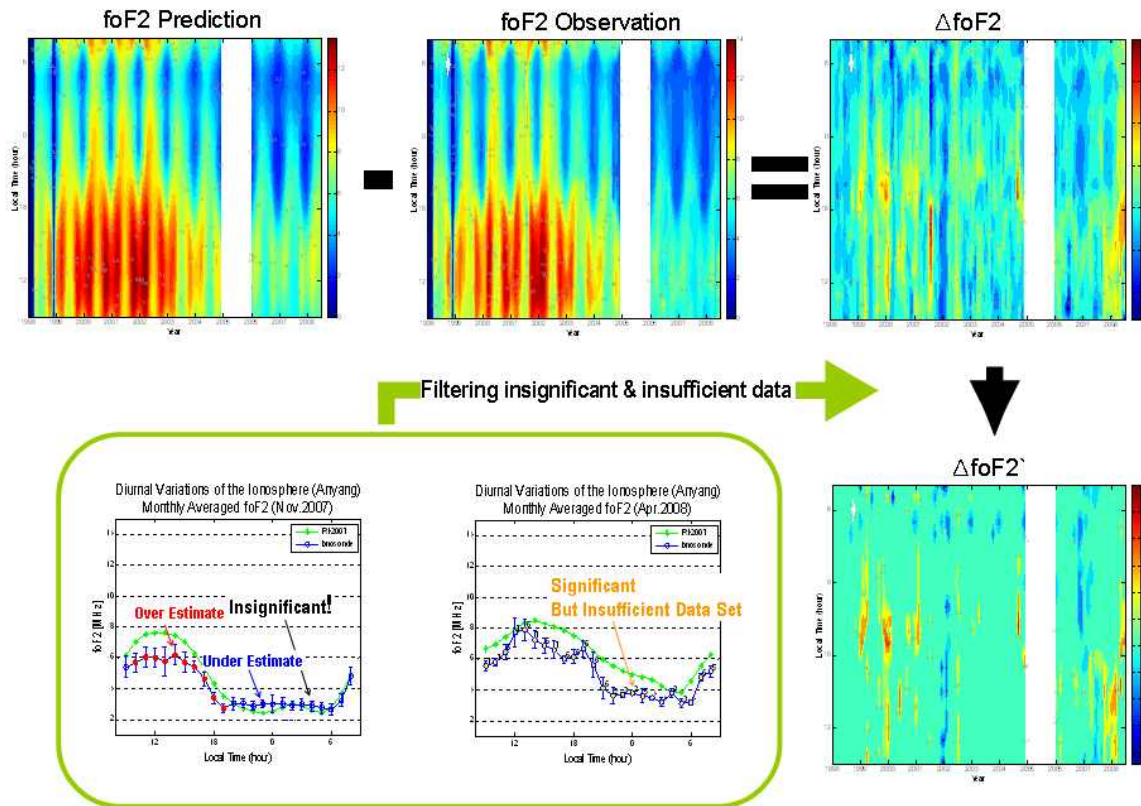
관측 자료의 월평균 일변화 값과 IRI 모델링 자료의 월평균 일변화 값의 차이가 통계적으로 의미가 있는지 여부를 판별하여 IRI의 정확도를 판별하기 위해 t-검증법(t-test)을 사용하였다. 두 집단간의 평균의 차이가 통계적으로 유의한지 (두 자료 간의 차이가 있는지 없는지) 여부를 판단하는 방법으로 t-검증법과 분산분석(ANOVA) 두 가지 방법이 있는데, 소표본(사례수 30 이하)의 차이검정에서는 t-검증법을 사용하는 것이 보다 정확한 결과를 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 비교하고자 하는 값은 F2층

peak parameter의 월평균 일변화에 대한 것으로 각 시간 당 월별 샘플의 수는 당연히 31 이하이다. t-검증법 사용에서 유의수준은 1%를 사용하였는데 유의수준은 대립가설 즉 두 집단의 평균간에 차이가 있다는 가설이 참일 확률이 1%라는 것을 의미한다.

다음의 식에서와 같이 foF2, hmF2 그리고 NmF2에 대해 각각 모델링 결과와 관측 결과의 차이를 구한 후, t-검증법을 이용하여 통계적으로 유의하지 않은 결과는 IRI 정확도 판별에 사용하지 않았다.

$$\begin{aligned}\Delta foF2 &= foF2_{IRI} - foF2_{OBS} \\ \Delta hmF2 &= hmF2_{IRI} - hmF2_{OBS} \\ \Delta NmF2 &= NmF2_{IRI} - NmF2_{OBS}\end{aligned}\quad (\text{식 31})$$

또, 특정 월의 기록된 관측 자료의 수가 너무 적을 경우에는 몇몇 이상 관측 자료에 의해 월평균 일변화 값이 왜곡될 수 있기 때문에 해당월의 기록된 관측 자료가 15 이하인 경우의 결과도 IRI 정확도 판별에서 제외하였다.



[그림 4-2] 의미있는 편차값인 $\Delta foF2'$ 의 산출 방법

[그림 4-2]에서 1998년 4월에서 2008년 4월까지 foF2 관측 자료와 IRI 모델링 결과에 대해 각각 월평균(중앙값) 일변화를 구하고 그 편차값 $\Delta foF2$ 를 구한 후, 두 평균의 차이가 통계적으로 유의하지 않거나 샘플의 수가 너무 적은 경우의 결과는 제외한 차이값 $\Delta foF2'$ 을 구하는 과정 보였다.

3. 국제전리층모델(IRI) 및 주요 전리층 모델

가. IRI(International Reference Ionosphere)

(1) 모델 개요

(가) 분 류 : 일반 모델

(나) 용 도 : 전리층의 일반적인 특성 파라미터 제공

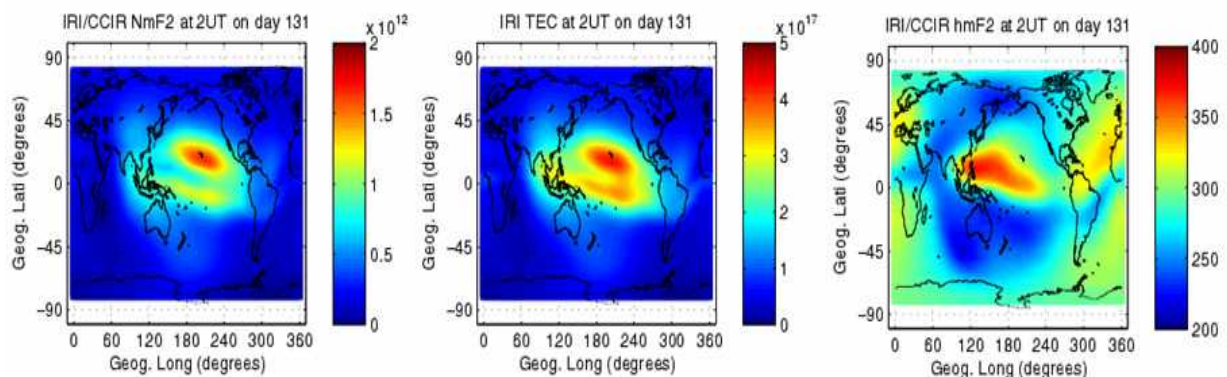
(다) 개 발 자 : IRI 작업그룹

※ COSPAR, URSI의 공동 후원을 통해 운용

(라) 특 징 : 유일하게 지속적으로 업데이트(최근 IRI2007 발표) 되고 있으며 가장 공신력을 인정받는 모델

(2) 주요내용

- (가) 주어진 장소, 시간에 따라 고도 50~2000Km까지의 전자밀도, 전자온도, 이온온도, 이온구성과 흐름, 전자량 등 전리층에 대한 모든 특성 제공
- (나) 전세계 전리층 관측자료의 평균값에 기인하므로 세세한 전리층 변화나 특정지역의 변화 현상 무시
- (다) 주요 관측자료의 소스는 전 세계적으로 분포한 전리층 관측기 (Ionosonde)와 Incoherent scatter radar, 위성, 로켓 직접관측



[그림 4-3] IRI 모델링 결과 (NmF2, TEC, hmF2)

나. Incoherent Scatter Radar 전리층 모델

(1) 모델 개요

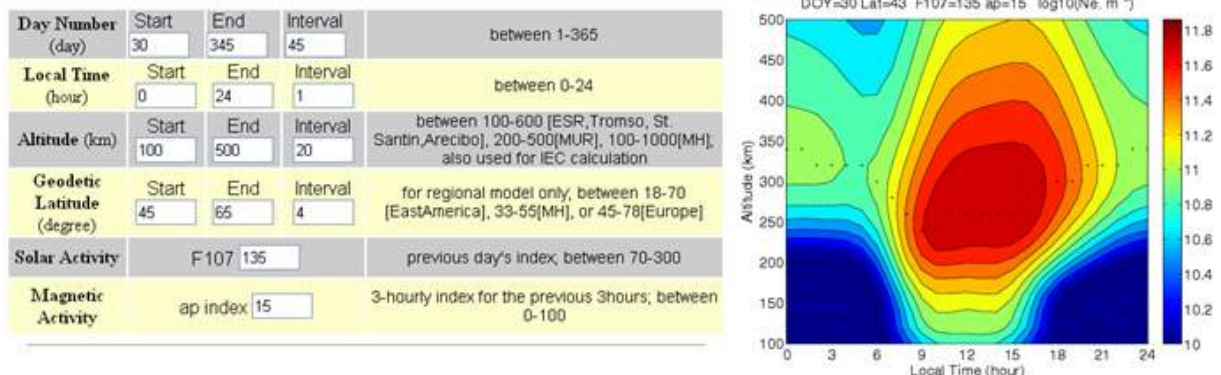
- (가) 분 류 : 일반 모델
- (나) 용 도 : 전리층의 일반적인 특성 파라미터 제공
- (다) 개 발 자 : Shunrong Zhang, John M. Holt

MIT Haystack Observatory

- (라) 특 징 : Incoherent scatter radar의 관측자료를 가지고 개발된 경험적 모델, IRI 모델에 흡수

(2) 주요내용

- (가) 고도 100 - 650 km 사이의 E 층과 F 층에 대해 각각 10~15Km와 25~20Km의 정밀도로 파라미터 표현
- (나) 각 사이트의 데이터는 계절별 변화 예측을 위해 3개월 단위로 묶어지고 일별 변화를 예측하기 위해 1시간 단위로 묶어 평균



[그림 4-4] ICR 모델링 결과 (입력파라미터, 전리층 밀도)

다. IONCAP/VOACAP 모델

(1) 모델 개요

(가) 분 류 : F2 최고치 모델 및 응용 프로그램

(나) 용 도 : 단파 및 중파 통신 예보

(다) 개 발 자 : 미국 상무부 산하 NTIA¹⁾/ITS²⁾

1) National Telecommunications and Information Administration

2) Institute for Telecommunication Sciences

(라) 특 징 : 통신 시스템 성능 예측

(2) 주요내용

(가) IONCAP(Ionospheric Communications Analysis and Prediction Program)은 어떤 위치에서든 HF 전파 진행 파라미터의 평균값을 계산해 줌 (전기장 강도, 통신 신뢰도, MUF, LUF 등) ('83년 개발)

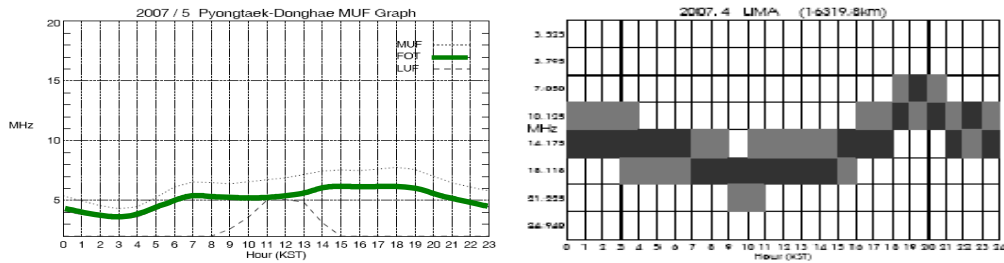
(나) VOACAP(Voice of America Coverage Analysis Program)은 IONCAP로부터 파생된 모델로서 방송 중계국 디자인에 사용될 목적으로 개발되었으나 우수한 사용자 인터페이스로 HF 통신 예측 등에 범용으로 사용됨('93년 개발)

(다) 사용자가 안테나 이득과 각도, 수신기 성능 등을 입력할 수 있고, 그 외 입력 파라미터로 송수신 위치, 송신 출력, 표준시간과 태양 흑점수가 사용됨

(라) 그 외 파생 모델 : REC533¹⁾, ASAP²⁾

1) Recommendation ITU-R P.533-6 - 국제 단파통신망 설계에 사용

2) Advanced Stand Alone Prediction System – 호주 우주환경센터(IPS) 개발



[그림 4-5] VOACAP 모델링 결과 (최적주파수, 전파예보표)

라. WBMOD 전리층 신틸레이션 모델

(1) 모델 개요

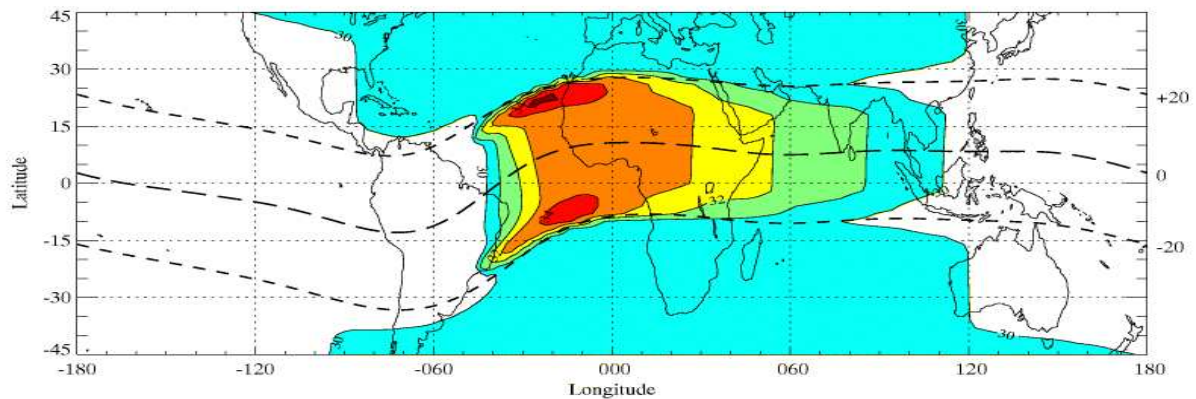
- (가) 분 류 : F2 최고치 모델 및 응용 프로그램
- (나) 용 도 : 위성통신의 전리층 영향 예보
- (다) 개 발 자 : 미국 Northwest Research Associates 社
- (라) 특 징 : 전리층 신틸레이션 영향 예측

(2) 주요내용

- (가) WBMOD(WideBand MODE¹⁾)은 미국정부의 지원으로 개발된 모델로서 사용자가 입력한 시스템의 종류 및 통신 위치, 시간, 지형에 대해 전리층 신틸레이션의 영향을 예측해 줌('97년 개발)
- (나) 전리층 신틸레이션은 전리층 전자밀도의 변동으로 인해 전리층을 통과하는 전파신호에 노이즈가 증가하는 현상으로 고위도 지역과 적도지역의 일몰 직후 심각하게 나타남
- (다) EDIM¹⁾을 기반으로 전리층 전자밀도의 불균일로 인한 통신영향 정도를 나타내는 파라미터인 CkL^2 을 계산하여 표시

1) Electron Density Irregularities Model – 경험적 모델로 위경도, 시간, 태양 흑점수, 지자기수(K_p)에 대한 함수로 전리층 변동값 도출

2) Contour map of Log – 전파가 전리층을 수직으로 통과하며 전자밀도 불균일로 인해 발생하는 전력의 변동값



[그림 4-6] WBMOD 모델링 결과 (적도지역 신틸레이션 영향 예측 결과)

마. PIM 모델

(1) 모델 개요

- (가) 분 류 : 전자밀도 모델
- (나) 용 도 : 전리층 상태 분석
- (다) 개 발 자 : 미국 공군 지구물리연구소
- (라) 특 징 : SEC에서 사용 중

(2) 주요내용

- (가) PIM(Parameterized Ionospheric Model)은 중·저위도의 이론적 모델(GTIM1))과 고위도의 경험적 모델(TDIM2))을 결합하여 지구 전체의 전리층 상태 분석('95년 개발)

- 1) Global Theoretical Ionospheric Model
- 2) Time Dependent Ionospheric Model

- (나) 고도 90~2500Km까지의 전자밀도 분포와 전리층 E층과 F2층의 임계주파수, 전자량 계산

바. FAM 모델

(1) 모델 개요

- (가) 분 류 : 전자밀도 모델
- (나) 용 도 : 전리층 상태 분석
- (다) 개 발 자 : 미국 공군 지구물리연구소
- (라) 특 징 : 이론적 수치 모델에 기초(대부분의 다른 전리층 모델은 경험적 모델임)

(2) 주요내용

- (가) FAIM(Fully Analytical Ionospheric Model)은 이론적인 수치 모델에 기초한 모델로 전자밀도를 지역시간, 위도, 태양 흑점수의 변화에 따라 기술('89년 개발)

사. AE/ISIS Electron Temperature 모델

(1) 모델 개요

- (가) 분 류 : 전자온도 모델
- (나) 용 도 : 전자온도 변화 기술
- (다) 개 발 자 : NASA/Goddard Space Flight Center
- (라) 특 징 : IRI 모델에 흡수됨

(2) 주요내용

- (가) 전리층의 전자온도에 대한 전 지구적 실험적 모델로 ISIS 1 위성과 AE-C 위성의 관측자료에 기초('81년 개발)
- (나) 위도와 지역시간의 함수로써 전자온도의 변화를 기술하며 IRI 모델에 흡수됨

아. Density Dependent Electron Temperature 모델

(1) 모델 개요

- (가) 분 류 : 전자온도 모델
- (나) 용 도 : 전자온도 변화 기술
- (다) 개 발 자 : NASA/Goddard Space Flight Center
- (라) 특 징 : IRI 모델에 흡수됨

(2) 주요내용

- (가) 낮 동안의 전자온도를 전자밀도 $N_e(/m^{-3})$ 와 높이 $h(Km)$ 의 함수로 나타냄('78년 개발)
- (나) AE-C 위성의 관측자료에 기초

자. ISR Ion Drift 모델

(1) 모델 개요

- (가) 분 류 : 이온 구성과 편이 모델

- (나) 용 도 : 전리층의 흐름(Drift) 분석
- (다) 개 발 자 : National Center for Atmospheric Research
- (라) 특 징 : 이온의 속도 분석에 중점
- (2) 주요내용
 - (가) 자기고도 -65도~+65도 고도 300Km에서의 이온 속도 기술
 - (나) 주어진 지자기 경위도, UT, 날짜 등을 이용해서 지자기장에 대해 수직 성분의 drift 속도와 electrostatic pseudo- potential을 구할 수 있는데, 이는 전리층의 전기장을 구하기 위해 사용됨('80년 개발)

차. DY Ion Composition 모델

- (1) 모델 개요
 - (가) 분 류 : 이온 구성과 편이 모델
 - (나) 용 도 : 이온 구성성분 분석
 - (다) 개 발 자 : A. D. Danilov, A. P. Yaichnikov (러시아)
 - (라) 특 징 : 로켓 관측자료에 기초
- (2) 주요내용
 - (가) 전리층의 이온구성 성분을 고도, 태양의 방위각, 위도, 태양의 전파 플럭스와 월수의 함수로 나타냄('85년 개발)
 - (나) 고도, 태양의 방위각, 위도(O+, N+, He+, H+만 해당), 계절(NO+, O+2, O+, Cluster)과 태양활동(Cluster를 제외한 모든 성분)의 변화를 나타내는데 쓰임

[표 4-4] 전리층 모델 분류표

분류	모델명
일반 모델 (General Models)	International Reference Ionosphere Incoherent Scatter Radar Models
F2 최고치모델과응용프로그램 (F2-Peak Models and Applications)	CCIR foF2 and M(3000)F2 Model Maps ISS-b foF2 Maps MINIMUMUF/QSTMUF Model IONCAP/VOACAP Model REC533/ASAP Model WBMOD Ionospheric Scintillation Model

전자밀도모델 (Electron Density Models)	<i>Chiu Ionospheric Model</i> <i>Bent Ionospheric Model</i> <i>Penn State Mk III Model</i> PIM Model FAIM Model SLIM Model
전자온도모델 (Electron Temperature Models)	<i>Density Dependent Electron Temperature Model</i> <i>AEROS Electron Temperature Model</i> <i>AE/ISIS Electron Temperature Model</i> Hinotori Model Intercosmos Model
이온구성과편의모델 (Ion Composition and Drift Models)	<i>Scherliess-Fejer Drift Model</i> <i>Intercosmos Ion Composition Model</i> <i>St. Santin Ion Drift Model</i> DY Ion Composition Model ISR Ion Drift Model

제3절 국내 관측자료와 IRI 예측값과의 비교결과 분석

1. 전리층의 주기적 변화현상 분석

전리층은 태양 극자외선(EUV)에 의한 광전리(photoionization) 현상으로 생성되고 재결합(recombination) 현상에 의해 소멸된다. 광전리 현상은 낮에 태양이 비추는 동안에만 발생하지만 재결합 현상은 밤낮 모든 시간에, 전리층 전 구역에서 발생한다. 전리층의 총 전자 밀도는 광전리 현상과 재결합 현상 두 과정의 불균형의 결과로 나타난다. 전자 밀도는 일반적으로 하루 중 정오에 가장 높는데, 이는 정오에 광전리 현상이 가장 활발하기 때문이다. 태양이 지고 광전리 현상이 멈추면 재결합 현상이 광전리 현상에 방해를 받지 않고 자유 전자들을 먹어치워 전자 밀도는 밤 동안 지속적으로 감소하게 된다. 재결합 현상은 전리층의 모든 층에 대해 절대적 영향을 끼치지 않고 어떤 전자들은 여명과 함께 다시 광전리 현상이 일어날 때 까지 존재한다. 재결합 현상을 통해 전리층 전체가 사라지지 않는 것은 밤 동안에도 전리층을 이용한 단파 통신이 가능한 것으로 확인 할 수 있다.

광전리 현상에 의한 전리층 생성과 재결합 현상에 의한 전리층 소멸이 모두 태양 극자외선의 양에 의존하는 사실로부터 전리층은 태양의 고도 변화에 따른 일일변화, 계절변화 그리고 경위도에 따른 변화현상을 보인다는 사실을 쉽게 유추할 수 있다. 실제로 전리층 변화현상은 기상예보에서 예측하는 기온변화와 매우 유사하다. 일반적으로, 전리층의 전자밀도는 계절적으로 여름, 시간으로는 정오, 위치로는 적도부근에서 가장 높게 나타난다.

이러한 간단한 개념은 우리가 이제 알아볼 안양 전리층 관측자료 분석으로부터의 한반도 전리층 변화현상의 결과와는 약간 거리가 있지만 전리층 변화에 대해 쉽게 이해하는데 도움이 된다. 태양활동 주기에 따라 태양 극자외선의 양이 변화하기 때문에 전리층은 태양활동 주기에 따라서도 변화한다. 전리층 변화에 따라 단파통신, 지구-위성간 통신 등의 무선통신 환경이 변화하기 때문에 전리층 변화현상에 대해 주의 깊게 살펴볼 필요가 있다.

가. 전리층 전자밀도와 임계주파수의 관계

전리층 변화현상을 설명할 때 전리층 전자밀도의 경우에 단위의 생소함으

로 그 의미를 쉽게 이해하기 힘들다. 예를 들어, 단위 세제곱 센티미터당 10의 6승 또는 단위 세제곱 미터당 10의 12승의 값으로부터 무엇을 알 수 있는가? 단파 통신에 사용되는 주파수는 전리층 전자밀도와 어떤 관계를 가지는가? 등의 질문에 대해 우선 알아볼 필요가 있다.

플라즈마주파수(plasma frequency)와 임계주파수(critical frequency)라는 용어를 통해 전리층 전자밀도와 그것이 우리의 관심사인 무선통신환경에 미치는 영향을 쉽게 이해할 수 있다. 가벼운 전자와 무거운 양이온으로 구성된 얇은 플라즈마 층이 있고 외부로부터의 전자기적 속박이 없을 때 전자들은 일정한 주파수로 단순한 진동 운동을 하게 된다. 이때 전자의 밀도와 진동 주파수와의 관계는 $\omega^2 = Ne^2/(\epsilon_0 m)$ 으로 정의 될 수 있고 여기에서 N은 전자밀도, e는 전자의 전하량, m은 전자의 질량, ϵ_0 는 자유공간의 유전율을 각각 의미한다.[5] ω 는 플라즈마 각 주파수(angular plasma frequency)라 불리우고 플라즈마 주파수로 변환하면 $f_N = 2\pi/\omega$ 이고, 상수값을 모두 대입하면 다음의 관계식을 얻을 수 있다.

$$f_N^2 = 80.5N \quad (1.3)$$

여기에서 f_N 은 플라즈마 주파수로 Hz 단위이고 N은 세제곱 미터당 전자의 수로 MKS단위 이다. 전리층의 임계주파수 f_c 는 최대 전자밀도 N_m 과 다음의 관계식을 가진다.

$$f_c \approx 9 \times 10^{-6} N_m^{1/2} \quad (1.4)$$

여기에서 f_c 는 이제 MHz 단위이고 N_m 은 세제곱 미터당 전자의 수이다. E층, F1층, 그리고 F2층 별로 임계주파수가 있는데 각각 f_oE , f_oF1 , 그리고 f_oF2 이다. 예를 들어, 만약 F2층의 최대 전자밀도가 $10^{12}/m^3$ 이면 f_oF2 는 위의 식에 따라 9MHz로 계산된다.

따라서 전리층 변화현상을 설명하는데 전리층 전자밀도를 사용하는 대신 전리층 임계주파수를 사용하여 이해를 도울 수 있다.

안양 전리층 관측시스템은 아이오노존데(Ionosonde) 장비로 매 시간 1~16MHz까지 주파수를 전리층에 수직 발사하여 전리층의 임계주파수와 높이를 측정한다. 이렇게 측정된 임계주파수를 가지고 식 1.4를 통해 전리층의 밀도를 도출하게 된다.

나. 일일변화

D, E, 그리고 F1층 임계주파수의 일일변화는 매우 간단하다. 이 층들은 밤에는 사라지며, 낮 동안의 임계주파수 변화는 태양 천정각의 변화에 거의 전적으로 의존한다고 할 수 있다. 태양 천정각은 천정(관찰자의 위쪽 수직 방향)과 태양이 이루는 각도로 정오에 0° 이며 반대로 태양의 일출과 일몰 때 90° 이다. 천정각을 Z 로하고 태양 활동성을 의미하는 태양 흑점수를 R 이라고 할 때, E층과 F1층의 임계주파수는 다음의 간단한 식으로 표현될 수 있다.

$$f_oE = 0.9 \cdot [(180 + 1.44 \cdot R) \cdot \cos(Z)]^{1/4} \quad (1.1)$$

$$f_oF_1 = (4.3 + 0.01 \cdot R) \cdot \cos(Z)^{0.2} \quad (1.2)$$

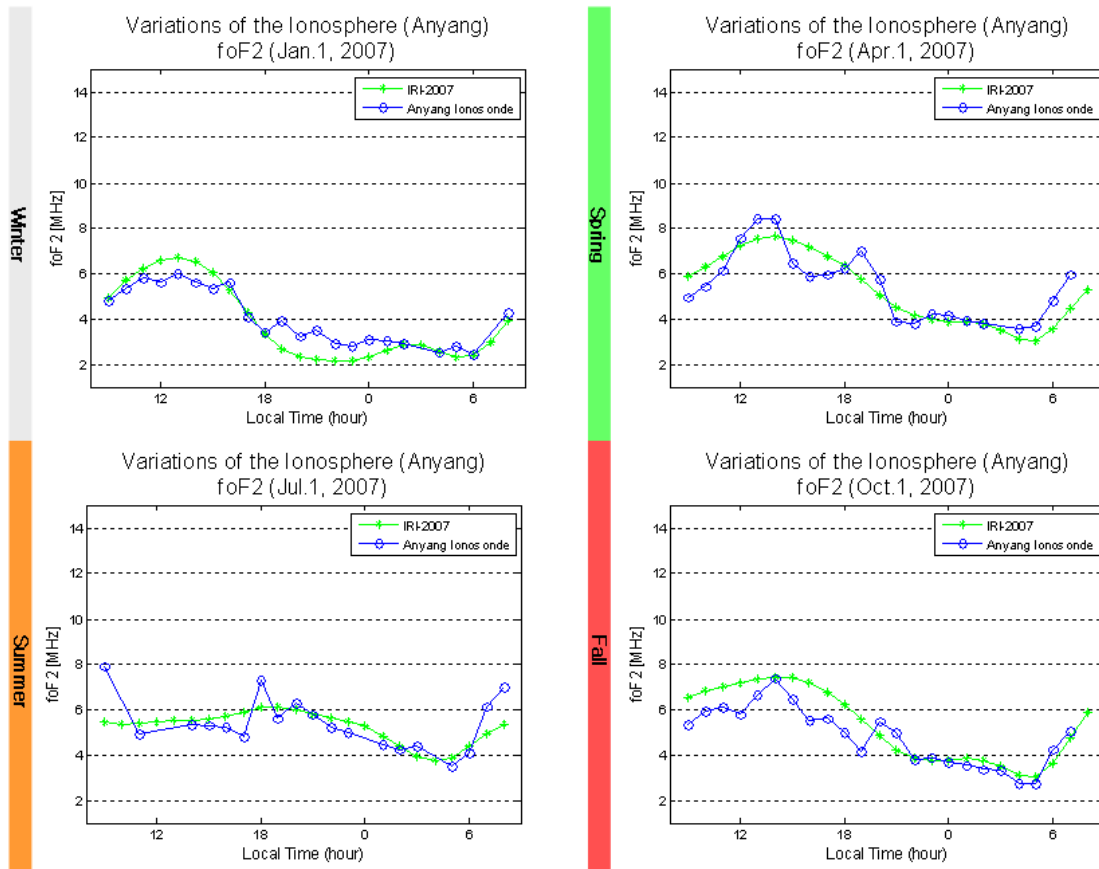
foE와 foF1의 일일변화는 위의 식에서 예측할 수 있듯이 정오, 즉 태양 천정각이 90° 일 때 최대에 이른다. F1층은 정오를 중심으로 양측으로 3~4시간 동안의 낮에만 존재하고 밤에는 사라지지만 E층은 밤에도 완전히 사라지지 않고 보통 0.6MHz 정도의 임계주파수를 유지한다. 그러나 이렇게 매우 낮은 E층의 임계주파수를 관측하거나 실제 통신에 사용하기 힘들기 때문에 밤 동안 E층의 임계주파수는 0이라고 가정하는 것도 틀리지 않다.

단파통신과 관련된 F2층의 임계주파수는 위의 E층이나 F1층의 임계주파수와 같이 태양 천정각과 태양 흑점수의 함수로 간단하게 계산되지 않는다. F2층은 종종 더 복잡한 일일변화, 계절변화 그리고 태양활동 주기에 따른 변화를 보인다. 밤동안의 재결합(recombination)을 통해 이온들이 거의 사라진 일출 바로 전에 foF2는 최저에 이르고, 광전리(photoionization)에 의해 자유 전자의 공급이 시작됨에 따라 foF2는 급속하게 증가한다. F2층은 밤 동안에도 사라지지 않는다는 점에서 E층이나 F1층과 다르다.

[그림 4-7]의 각각의 그래프는 특정일에 관측된 foF2와 그에 대응하는 IRI 모델링 결과를 비교한 그래프로 청색 선은 안양에서 관측된 하루 동안의 foF2 변화를 나타내는데 정오에 전리층 밀도가 최대이고 일출 직전에 최저가 되는 현상을 확인할 수 있다. 앞서 설명하였듯이 임계주파수는 전리층의 전자밀도의 제곱근 값에 비례하므로 foF2의 변화로 F2층 전자밀도의 변화를 설명할 수 있다. 녹색 선은 IRI의 예측결과로서 관측결과와 유사한 일변

화 현상을 보인다. 일변화(하루 동안 시간의 변화에 의한 전리층 변화현상) 뿐만 아니라 계절변화(계절에 따른 전리층 현상)도 비교하기 위해 봄, 여름, 가을, 겨울 각 계절의 대표적인 월인 1월, 4월, 6월, 12월의 특정일(1일)에 대한 하루 동안의 시간별 foF2 변화를 보였다.

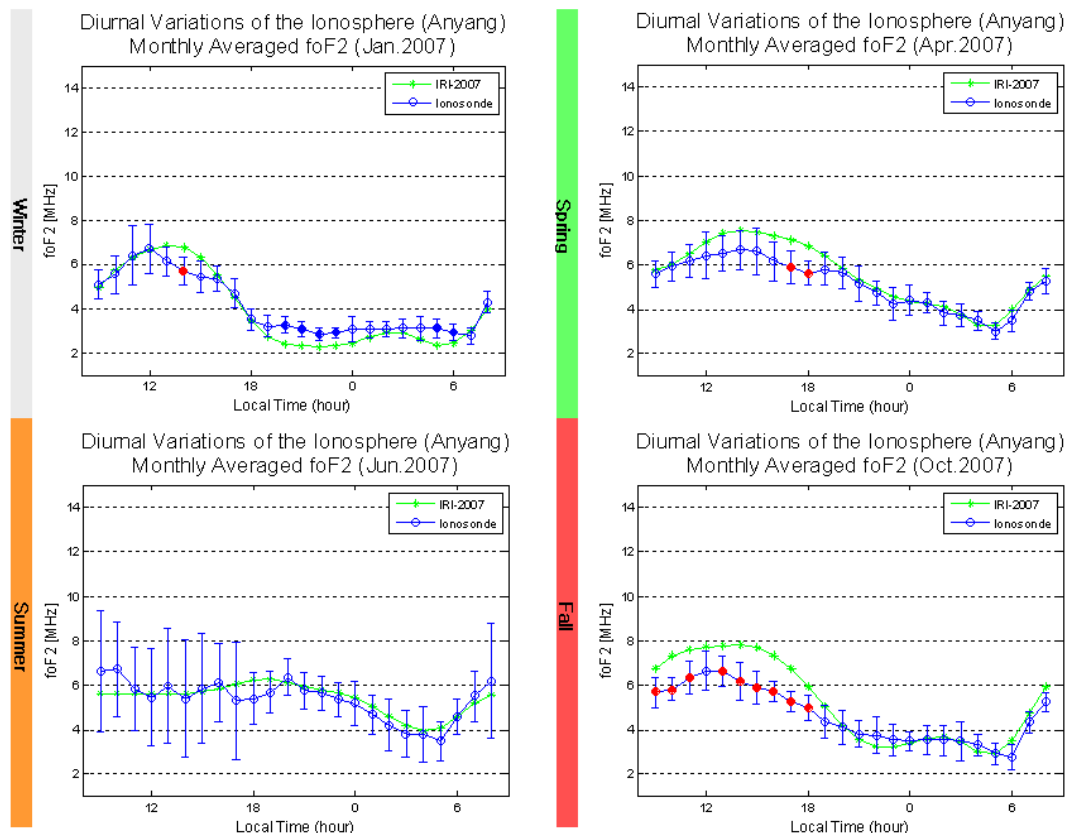
Diurnal & Seasonal Variation



[그림 4-7] 계절별 특정일의 foF2 일일변화

그러나 위의 그래프는 특정일 하루의 변화 값으로 전리층 관측 자료의 평균값을 기초로 하여 제작된 IRI와 비교하기에는 적당하지 않다. IRI는 관측 자료의 평균값에 기인하므로 짧은 시간 동안 산발적으로 발생하는 전리층 변화 이벤트를 예측하지 못한다. 따라서 본 연구에서는 [그림 4-8]과 같이 F2층 파라미터의 관측 자료와 모델링 결과에 대해 각각 월평균(중앙값) 일변화를 구하여 서로 비교하였다.

Diurnal & Seasonal Variation (II)



[그림 4-8] 계절별 월평균 foF2의 일일변화

계절에 따라 약간의 차이가 있지만 관측 자료와 모델링 결과간의 차이가 크지 않고 특히 일변화 현상에 대해 그 패턴면에서(정오에 최고 일출직전 최저) 잘 일치하였다.

다. 계절변화

전리층은 1년을 주기로 계절변화를 보이는데 이것은 일일변화에서와 같이 태양의 천정각이 계절에 따라 변화하고 또한 전리층이 생성되는 중성 대기의 상태가 계절에 따라 변화하기 때문이다. 겨울 정오 태양의 천정각은 항상 여름 정오의 천정각 보다 크기 때문에 전리층 각 층의 임계주파수는 여름보다 겨울이 높게 나타남을 예측할 수 있다. 이러한 현상은 D층, E층 그리고 F1층에서 확인할 수 있지만 중위도의 F2층에서는 좀 다르게 나타난다.

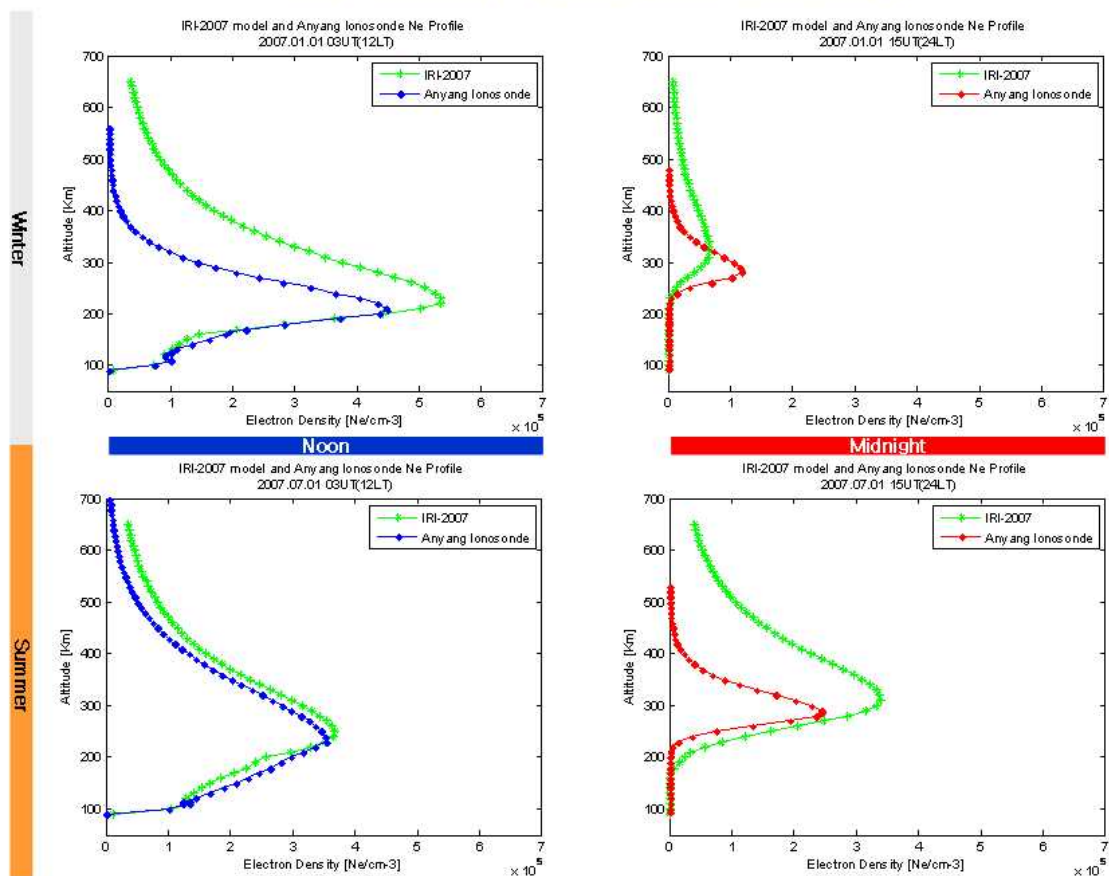
중위도에서 foF2는 겨울 정오에 여름의 정오때 보다 훨씬 크게 나타나는데 이것은 위에서 설명했듯이 일반적인 예측과 반대되는 결과이다. 이러한

현상을 중위도 지역의 계절변화 특이현상(mid-latitude seasonal anomaly)이라고 한다.

[그림 4-7]의 안양 전리층 측정결과에서도 중위도의 계절변화 특이현상을 찾을 수 있는데 겨울(2007년 1월 1일) 정오의 foF2가 여름(2007년 6월 1일) 정오의 foF2보다 훨씬 크게 나타남을 확인할 수 있다.

[그림 4-8]의 월평균 일일변화 그래프에서 각 계절별 일일변화를 비교하여 보면 F2층 전리층 전자밀도가 최대인 정오때의 foF2와 F2층 전자밀도가 최소인 일출 직전의 foF2의 차이가 봄과 가을에 가장 크고 여름에 가장 작다. 또한 여름에는 foF2 관측 자료의 산포가 증가하여 표준편차의 크기가 증가하는데 이는 여름이 다른 계절에 비해 중성 대기의 안정도가 낮은 것을 의미한다.

Mid-Latitude Seasonal Anomaly



[그림 4-9] 중위도 계절변화 특이현상 (안양 관측자료)

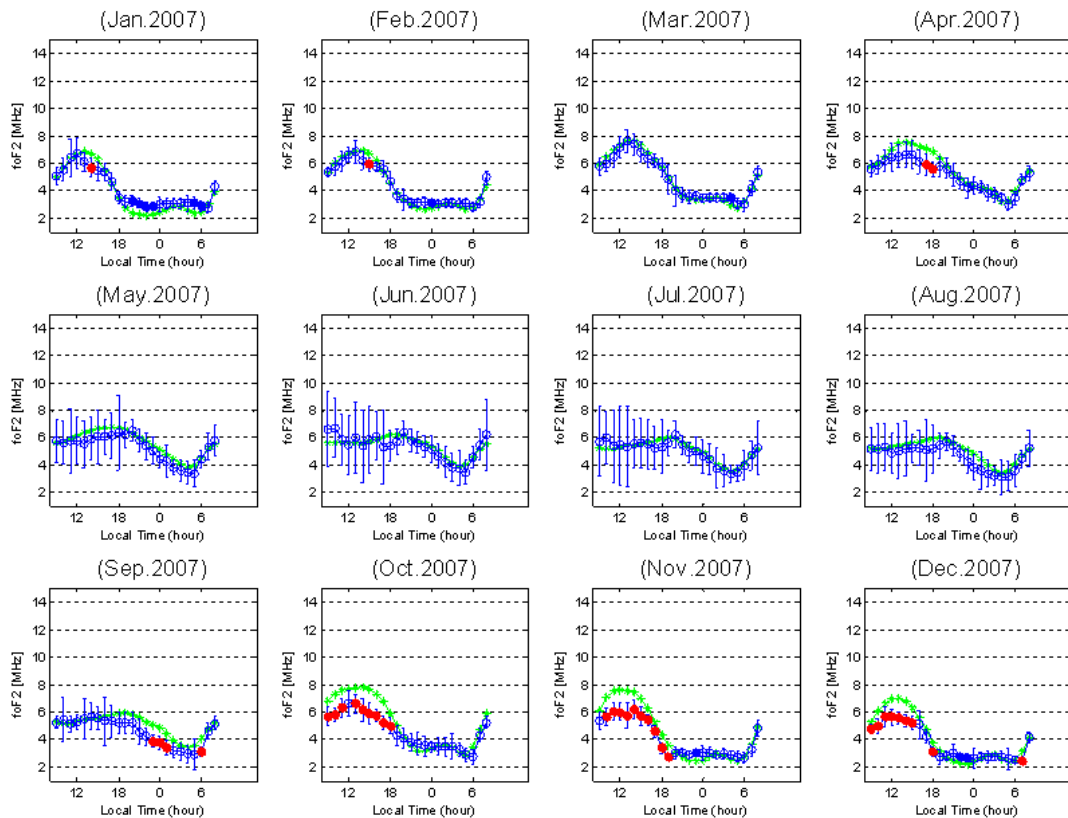
[그림 4-9]는 전리층 높이별 전자밀도 프로파일($N_e(h)$)인데 청색 선과 적색 선이 안양에서 관측된 결과이고 녹색 선이 IRI 예측결과 이다. 이 그래프에서도 겨울(2007년 1월 1일) 정오의 전자밀도가 여름(2007년 7월 1일) 정오의 전자밀도 보다 크게 나타나 중위도 계절변화 특이현상을 잘 보여준다. 밤 동안의 전자밀도 변화도 특이한데 겨울 낮에 높았던 전자밀도가 밤에는 급격하게 낮아지고 여름에는 낮과 밤의 전자밀도의 변화가 크지 않게 나타난다.

또, IRI와 비교할 경우 hmF2를 기준으로 그 이상의 고도에서는 IRI가 더 높은 전자밀도를 보이고 그 이하의 고도에서는 반대로 낮은 전자밀도를 보이는데 이것은 지상에서 전리층으로 전파를 수직으로 발사하여 관측(Bottom-side sounding)하는 안양 전리층 관측기의 특성상 hmF2 위쪽에 대한 관측 신뢰도가 낮기 때문이다.

그 외에 겨울 낮 동안은 NmF2, hmF2 모두 IRI가 높게 예측하고 밤 동안은 낮게 예측하며, 겨울 밤을 제외한 여름 낮과 밤, 겨울 낮 동안은 IRI가 NmF2를 높게 예측하고 특히 여름 밤에 IRI와 관측자료의 차이가 가장 크게 나타났다.

[그림 4-10]은 안양에서 관측된 foF2의 월평균 일변화 그래프로 한 시간 간격의 자료에 대해 1년 동안의 월별 중앙값을 구하였다. 이러한 그래프를 1998년부터 2008년 까지 구하였는데 관측 자료와 IRI 모델링 결과의 차이를 쉽게 판별하기 위해 t-검증법을 사용하고 유의한 차이에 대해만 적색 또는 청색 점으로 표시하였다. 적색은 IRI가 관측값에 비해 foF2를 높게 예측한 것을 의미하며 청색은 IRI가 관측값에 비해 foF2를 낮게 예측한 것을 의미한다. 겨울의 낮 동안을 제외하고 대체적으로 관측 자료와 IRI가 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 전리층의 계절변화 면에서 보면 위의 다른 그래프와 마찬가지로 여름은 다른 계절에 비해 낮 동안에는 전리층 밀도 변화가 크지 않고 관측 자료의 산포 또한 크게 나타났다. 또, 춘추분을 기점으로 전리층 밀도의 최대와 최소의 차이가 증가하는 현상을 뚜렷이 확인할 수 있다.

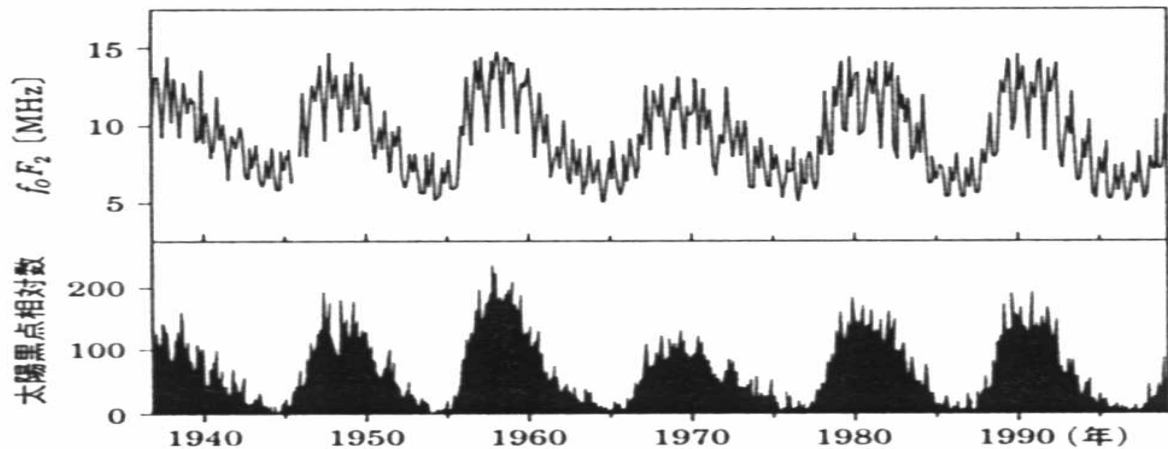
Diurnal & Seasonal Variation (Monthly Median Averaged Values)



[그림 4-10] foF2 월평균 일일변화 그래프

라. 태양활동 주기에 따른 변화

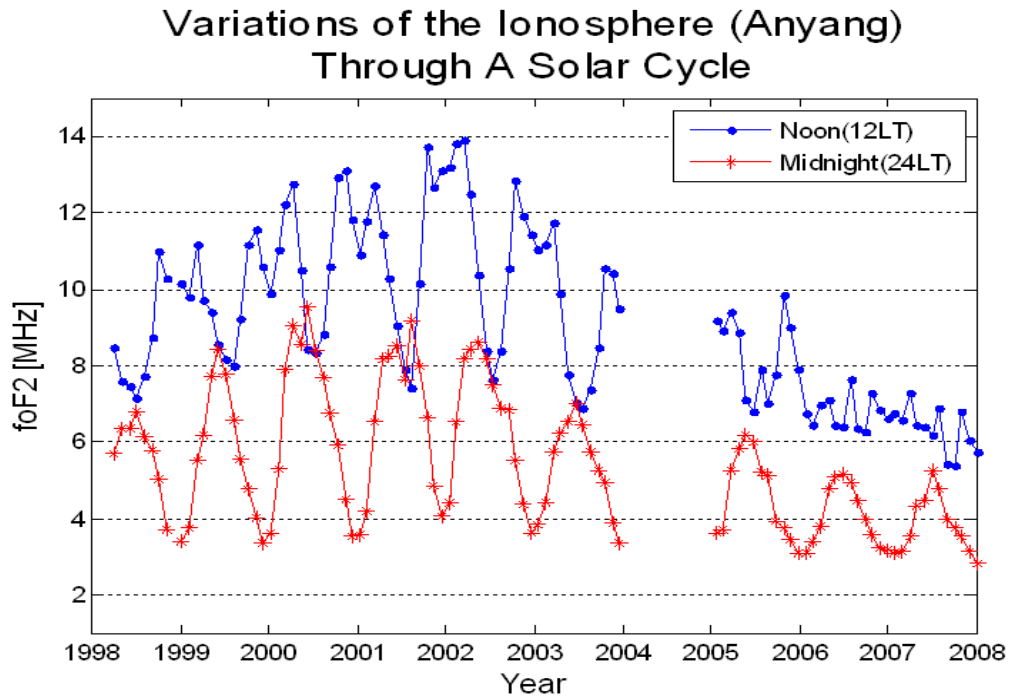
전리층의 월평균 일변화에 대해 예측하기는 쉽지만 특정일의 일별 변화에 대해 예측하거나 설명하기 힘든 것과 마찬가지로 태양활동 주기에 따른 전리층의 변화를 세밀하게 설명하기는 어렵다. 그러나 태양의 활동성을 개략적이지만 간단한 형태로 표현하고 있는 태양흑점 지수를 이용하면 태양활동 주기에 따른 전리층 변화를 효과적으로 설명할 수 있다. 하루 중 매 특정 시간에 관측된 foF2의 월평균 값(예를 들어 매 정오의 foF2 월평균값)과 그 달의 흑점지수의 평균값을 구한 후 또 그 두 값들의 년 평균값을 구하여 비교해 보면 둘 사이에 선형관계가 있음을 확인할 수 있다. [그림 4-11]은 태양의 활동성 변화에 따라 전리층 밀도의 변화를 보여주는 매우 잘 알려져 있는 그래프이다.



[그림 4-11] foF2의 변화와 태양흑점수와의 관계

[그림 4-12]는 1998년 4월부터 2008년 4월까지의 매 정오와 자정에 안양에서 관측된 foF2의 월평균 값을 표현한 그래프이다. 정오 시간의 월평균 foF2(청색)와 자정 시간의 월평균 foF2(적색) 변화 모두 약 11년 주기의 태양활동 주기를 나타내고 있는 것을 확인할 수 있다. 그러나 특이한 사항은 정오의 월평균 foF2 값보다 자정의 월평균 foF2 값이 태양활동 극대기의 피크 위치(2000년~2001년)를 더 정확히 보여주는데 이는 그간의 연구결과와는 상이한 결과로 여러 태양활동 주기를 커버하는 오랜 기간의 관측 자료를 가지고 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

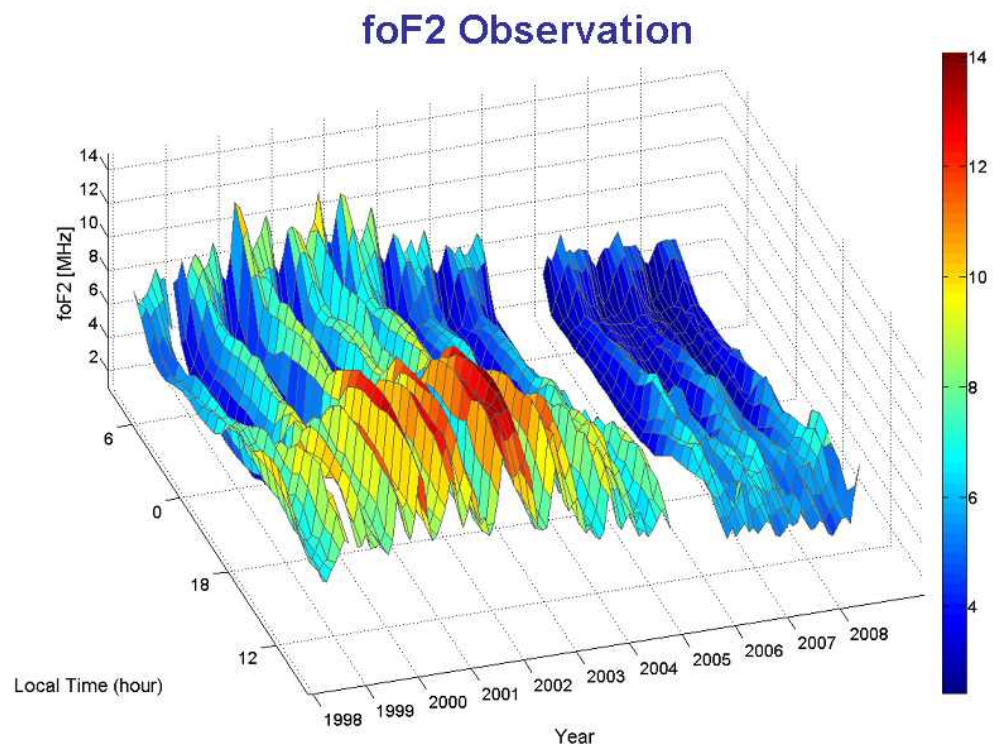
1년을 주기로하는 계절변화에 있어 정오의 월평균 foF2 값과 자정의 월평균 foF2 값이 서로 뒤집어놓은 듯이 상반된 형태를 보이는데, 이는 겨울 정오의 foF2가 여름 정오의 foF2보다 높고 겨울에는 낮과 밤의 전리층 밀도차가 크지만 여름에 낮과 밤의 차가 줄어드는 중위도 전리층 특이현상을 나타내는 것이다. 또, 정오의 월평균 foF2 값은 쌍봉의 형태를 보이는데 이것은 정오의 태양 천정각이 가장 작아지는 시점이 춘추분을 기점으로 발생하여 그 때 전리층 밀도가 연중 최대가 되기 때문이다.



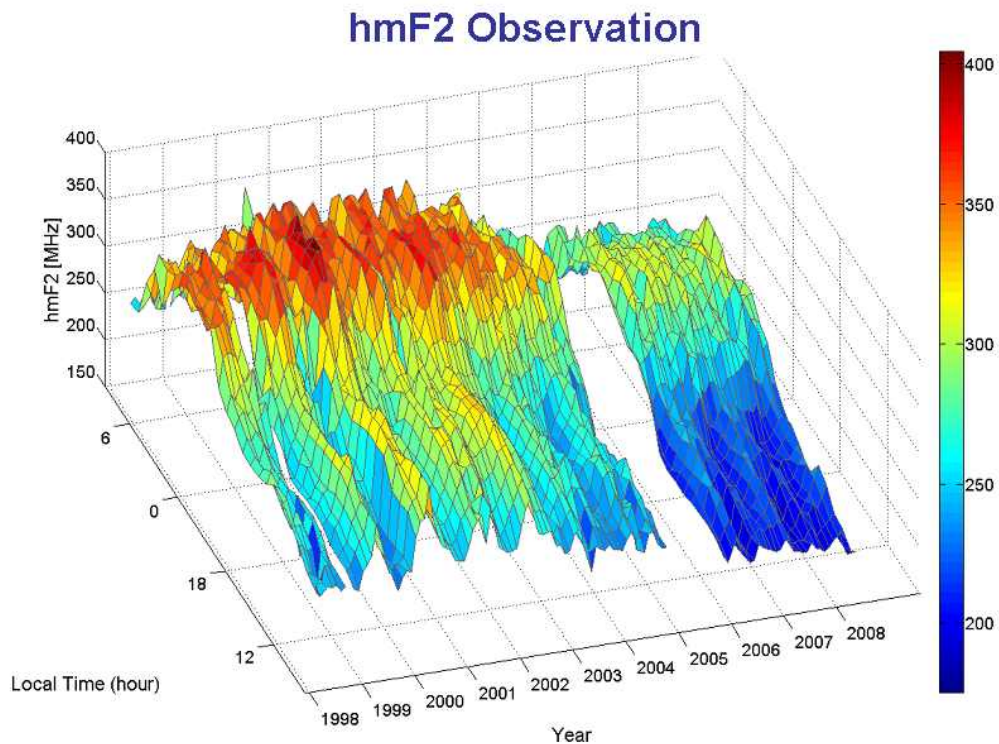
[그림 4-12] 10년간 안양 foF2 월평균값의 변화 그래프

[그림 4-13]과 [그림 4-14]는 각각 1998년 4월에서 2008년 4월까지의 안양에서 관측된 foF2의 월평균 일변화와 hmF2의 월평균 일변화 그래프를 3차원으로 도시한 것이다. 일일변화, 계절변화 그리고 태양활동 주기에 따른 전리층 밀도 변화현상 및 F2층 높이 변화현상 모두를 잘 확인할 수 있다.

foF2의 변화현상은 앞의 절들에서 설명한 것으로 대신하고, hmF2의 일일변화, 계절변화 그리고 태양활동 주기에 따른 변화 현상에 대해서 설명하도록 하겠다. hmF2는 F2층 최대 전자밀도 점의 높이를 의미한다. 앞서 전리층 밀도 프로파일 그래프에서 살펴보았듯이 전리층 밀도는 일출과 함께 급격히 증가했다가 일몰과 함께 서서히 줄어들게 된다. 이때 전리층 최대밀도 점의 위치는 더 높은 고도로 옮겨 가게 되는데 이는 대기의 아래쪽은 중성대기의 밀도가 위쪽에 비해 높기 때문에 재결합 현상이 더 활발히 일어나기 때문이다. hmF2도 계절변화를 보이는데 중위도 지역에서는 앞서 살펴본 바와 같이 겨울의 낮이 여름의 낮보다 전자밀도가 더 높고 최대밀도 점의 고도도 더 높게 나타난다. 또 태양활동 극대기에 전자밀도가 더 높아지는 것과 마찬가지로 최대밀도 점의 고도도 태양활동 극소기에 비해 높게 나타나는 특성을 확인 할 수 있다.



[그림 4-13] 관측된 foF2 월평균 일변화의 10년 누적 그래프



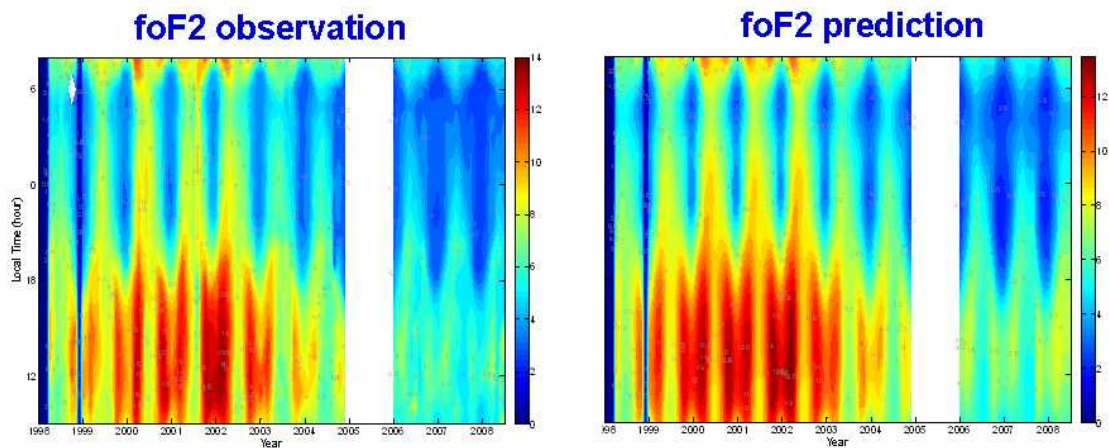
[그림 4-14] 관측된 hmF2 월평균 일변화의 10년 누적 그래프

2. F2층 임계주파수(foF2) 및 최대 전자밀도 비교(NmF2)

앞서 설명한 바와 같이 전리층 변화현상을 설명하는데 전리층 전자밀도를 사용하는 대신 전리층 임계주파수를 사용 할 수 있다. 본 절에서는 1998년부터 2008년까지 안양에서 관측된 F2층 임계주파수와 IRI 모델링 결과를 비교하였다. 또한, 제 2절에서 소개한 방법과 같이 관측값과 IRI 모델값간의 차이값 중에서 통계적으로 유의하지 않거나 샘플의 수가 너무 적은 경우의 결과는 제외하여 IRI의 국내 정확도를 판별하는데 오차를 최소화 하였다.

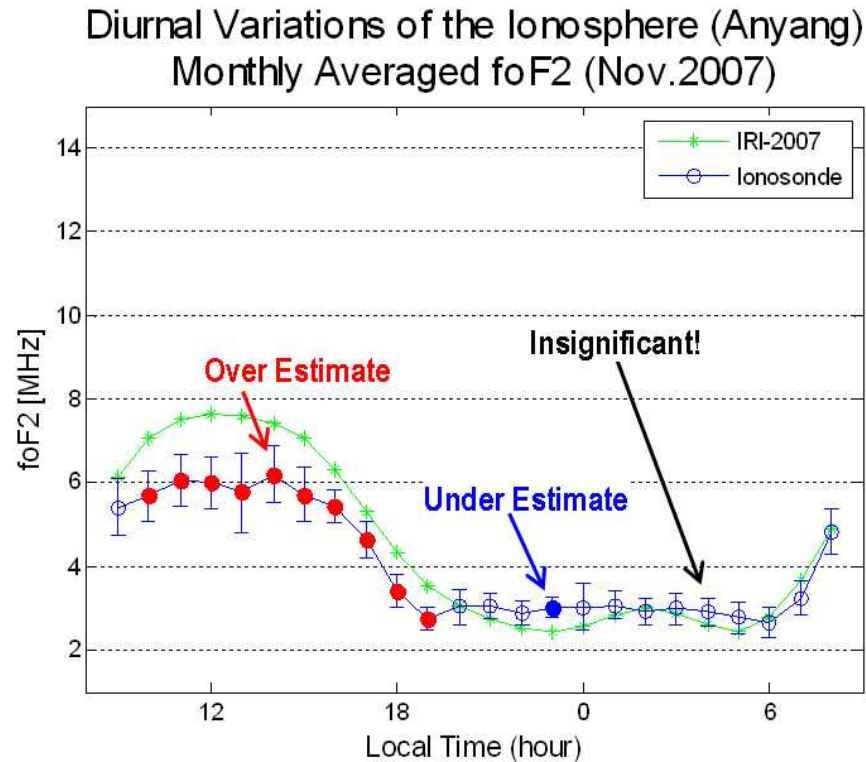
[그림 4-15]는 각각 1998년 4월에서 2008년 4월까지의 안양 foF2의 월평균 일변화 그래프와 같은 시공간적 조건하에서 모델링 된 IRI foF2 예측값의 월평균 일변화 그래프를 foF2의 값의 분포에 따라 등고선으로 표현한 그래프이다. 일일변화, 계절변화 그리고 태양활동주기에 따른 전리층 변화현상 등 전체적인 그래프의 양상에 있어 잘 일치함을 확인할 수 있다. 여기에서 발견된 특이 사항은 우리가 알고 있는 태양활동 극대기는 2000년에서 2001

년에 걸치는 기간인데 반해 관측값과 모델값 모두 2001년에서 2002년 사이에 foF2 극대값을 가진다는 사실이다. 이에 대한 원인을 밝히기 위해서는 앞서 지정한 바와 같이 여러 태양활동 주기를 커버하는 오랜 기간의 관측 자료를 가지고 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.



[그림 4-15] foF2 월평균 일변화의 10년 누적 그래프

이제 본격적인 국내 foF2 관측값과 IRI 모델값의 본격적인 비교를 위하여 월평균 일변화 그래프로 돌아가 보겠다. [그림 4-16]은 2007년 11월에 관측된 foF2의 시간별 월평균 값과 IRI 모델값의 시간별 foF2의 시간별 월평균 값을 비교한 그래프이다. 청색 라인이 관측된 foF2의 시간별 월평균 값이고, 녹색 라인이 IRI 모델값이다. 관측값 그래프에는 관측값의 산포를 알아보기 위하여 평균값을 중심으로 각 시간별 월 표준편차를 에러바를 통해 표현하였다.



[그림 4-16] foF2 월평균값의 관측값과 IRI 모델값 비교

IRI 그래프가 관측값 그래프에 비해 위쪽 또는 아래쪽으로 많이 떨어져 관측값 그래프의 에러바 바깥쪽에 있을 경우 관측값과 IRI 모델값은 같지 않다고 판별 할 수 있다. 반대로, 관측값 그래프의 에러바 안쪽으로 IRI 결과 그래프가 들어와 관측값 그래프와 근접해 있는 경우 관측값과 IRI 모델값이 서로 다르다고 판별 할 수 없을 것이다. 그러나 이러한 방법은 이해하기 쉬우나 작위적인 방법으로 좀더 정확한 판별법이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 관측값과 IRI 모델값이 서로 같은지 다른지 여부, 즉 관측값과 비교하여 IRI 모델링의 예측이 정확한지 아닌지 여부를 판별하기 위하여 통계학에서 사용하는 t-검증법을 채용하였다. t-검증법은 어떤 두 집단간의 평균의 차이가 통계적으로 유의한지(두 자료 간의 차이가 있는지 없는지) 여부를 판단하는 방법으로 표본의 사례수가 30이하이고 정규분포하는 집단간의 차이검정에서 정확한 결과를 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 차이검정을 하고자 하는 두 집단은 각 1개월간 관측된 foF2의 매 시간대별 집합(예를 들어 2007년 11월의 매 오전9시에 측정된 30개의 foF2 관측값들)과 같은 시공간적 조건하에서 모델링된 IRI의 예측값의

집합이므로 모두 30개 이하의 샘플수(우천시 등 기상상태가 좋지 않은 경우 foF2가 관측되지 않을 수 있으므로 일수가 31일까지 있는 달에도 관측값은 30개 이하라고 할 수 있음)를 가지고 있고 대부분의 집합이 정규분포를 따른다.

우선 t-검증법을 통해 관측값과 IRI 모델값이 서로 다르다고 판별되면 IRI 모델이 그 달의 시간대에서 정확하지 않다고 할 수 있다. 이때 IRI 그래프가 관측값 그래프에 비해 위쪽에 있으면 IRI가 국내 관측값에 비해 높게 예측하였고, IRI 그래프가 관측값 그래프에 비해 아래쪽에 있으면 IRI가 국내 관측값에 비해 낮게 예측하였다고 최종 판별하였다. 여기에서, t-검증의 유의수준을 1%로 선택하였는데 이는 일종오류(IRI 모델의 예측값이 관측값과 다르지 않다는 귀무가설이 참인데 이를 거짓으로 판별할 확률)를 범할 확률을 줄이기 위해서 이다.

다시 [그림 4-16]을 보도록 하자. 위의 방법을 통해 IRI가 관측값에 비해 높게 예측한 값은 적색으로 낮게 예측한 값은 청색으로 표시하였다. 그 외 마커면의 색이 없는 부분은 IRI의 예측값이 관측값과 다르지 않은 부분, 즉 IRI의 예측값이 정확하다고 판별할 수 있는 부분이다.

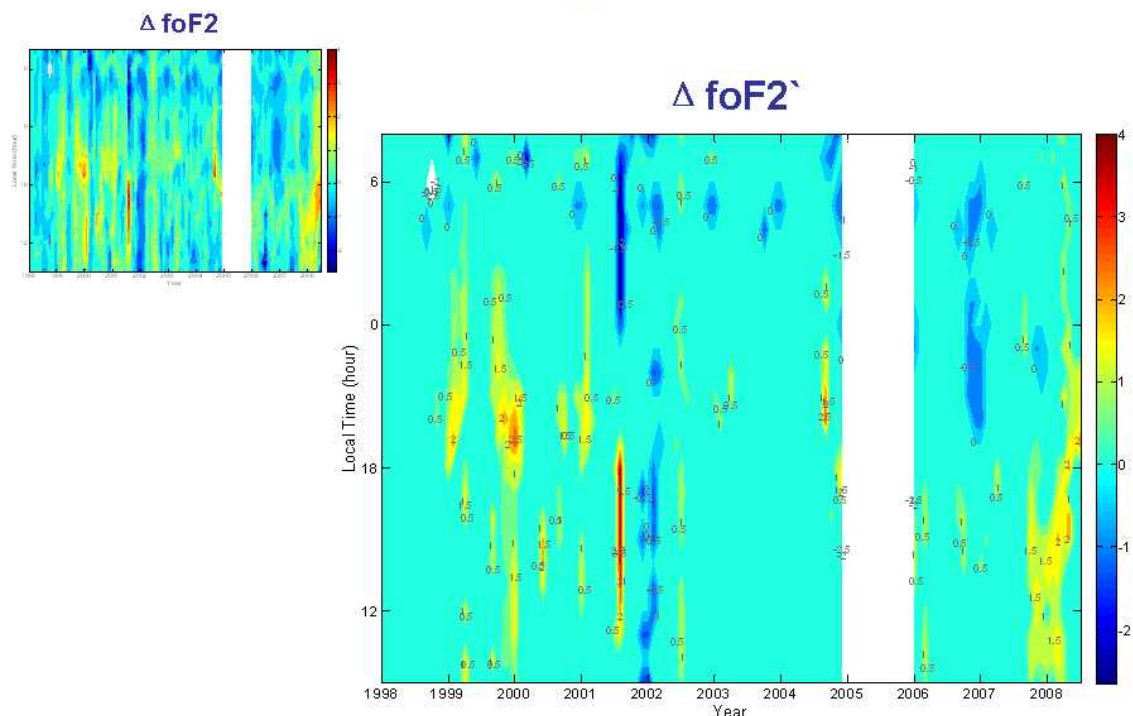
또, 특정 월의 기록된 관측 자료의 수가 너무 적을 경우에는 몇몇 이상 관측 자료에 의해 월평균 일변화 값이 왜곡될 수 있기 때문에 해당월의 기록된 관측 자료가 15 이하인 경우의 결과도 IRI 정확도 판별에서 제외하였다.

[그림 4-17]에서 작은 그래프로 표시한 $\Delta foF2$ 는 단순히 IRI 모델값에서 관측값을 뺀 편차만을 구한 그래프이고 $\Delta foF2'$ 는 $\Delta foF2$ 중에서 t-검증을 통해 관측값과 IRI모델값간에 유의한 차이가 있고 월 관측자료의 수가 15이상으로 이상값에 의한 평균값 왜곡이 없는 경우만을 표시한 그래프이다. IRI 모델값에서 관측값을 뺀 차이를 $\Delta foF2$ 로 정하였으므로 적색 계열이 IRI가 foF2를 관측값보다 높게 예측한 부분이고 청색 계열이 IRI가 foF2를 관측값보다 낮게 예측한 부분이다.

$\Delta foF2'$ 그래프를 통해 foF2 관측값과 모델값 사이에 시간대별 규칙적인 차이가 발견되는데, 10년치 foF2 관측 및 IRI 모델링 자료 중 극대값이 있는 2001년에서 2002년까지의 기간([그림 4-14]에서 확인)을 제외하고 일몰 직후와 정오 부분에는 IRI가 관측값에 비해 foF2를 높게 예측하고 일출 직

전과 자정 부분에는 IRI가 관측값에 비해 foF2를 낮게 예측하는 특징이 있다. 다시 말해 낮과 저녁에는 IRI가 foF2를 실제보다 높게 예측하고 밤에는 IRI가 foF2를 실제보다 낮게 예측하는 경향이 있다고 할 수 있다. 그러나 $\Delta \text{foF2}'$ 그래프의 전체 면적에서 IRI 모델값과 관측값간에 차이가 없는 것으로 판정된 부분의 비율(77.8%)이 높고, IRI가 높거나 낮게 예측되어도 그 값이 $\pm 1\text{MHz}$ 를 넘지 않는 경우의 면적 비율이 82.5%로 매우 높기 때문에 foF2 파라미터의 경우 IRI 예측이 실제와 대체적으로 잘 일치한다고 결론 내릴 수 있다. 또한 전리층 임계주파수로부터 전자밀도가 바로 계산되므로 따로 비교하지 않더라도 F2층의 전자밀도 또한 위의 foF2 비교 결과와 같음을 알 수 있다.

Deviation of foF2 between observation and IRI prediction



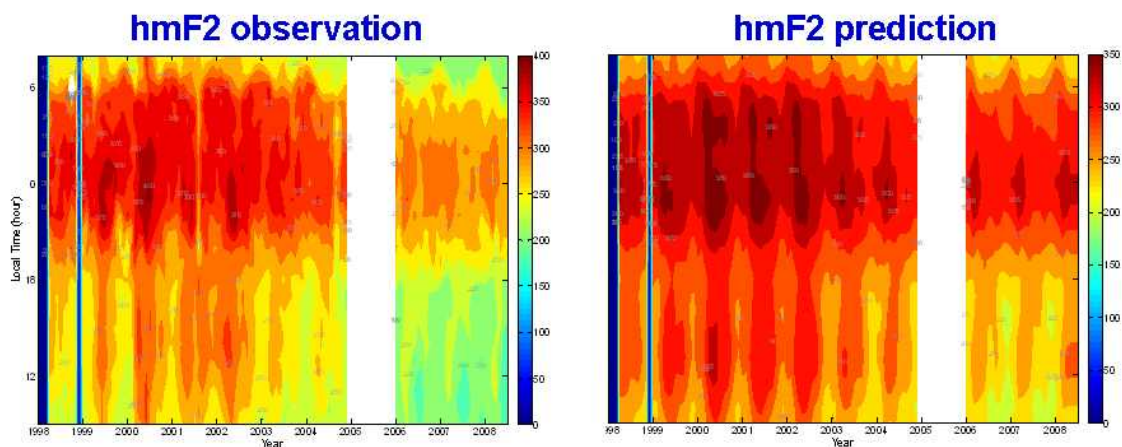
[그림 4-17] foF2 모델값과 관측값간의 편차

3. F2층 최대 전자밀도의 고도(hmF2) 비교

본 절에서는 1998년부터 2008년까지 안양에서 관측된 hmF2와 IRI 모델값을 비교하였다. 앞서 foF2 비교에 사용했던 방법과 마찬가지로 관측값과 IRI 모델값간의 편차 중에서 통계적으로 유의하지 않거나 샘플의 수가 너무

적은 경우의 결과는 제외하고 그 결과를 분석하였다. hmF2의 경우에는 앞 절의 foF2 비교 결과와 상이하게 나타났다.

[그림 4-18]은 각각 1998년 4월에서 2008년 4월까지 안양에서 관측된 hmF2의 월평균 일변화 그래프와 같은 시공간적 조건하에서 모델링 된 IRI hmF2 예측값의 월평균 일변화 그래프를 등고선으로 표현한 그래프이다. 중성대기의 밀도가 높을수록 재결합 현상에 의한 전자밀도 감소현상이 더 활발히 나타나므로 하루 중 밤에 최대 전자밀도 점의 고도인 hmF2는 더 높은 고도로 옮겨 간다. 따라서 낮보다 밤에 hmF2의 크기가 더 크게 나타나는 일일변화 현상을 보이게 된다. 또, 계절 및 태양활동 주기에 따른 전리층의 밀도 변화현상과 더불어 hmF2의 크기도 같이 변화하는데 이러한 일일변화, 계절변화 그리고 태양활동주기에 따른 전리층 변화현상 등 전체적인 그래프의 양상에 있어 관측값과 모델값이 잘 일치함을 확인할 수 있다.

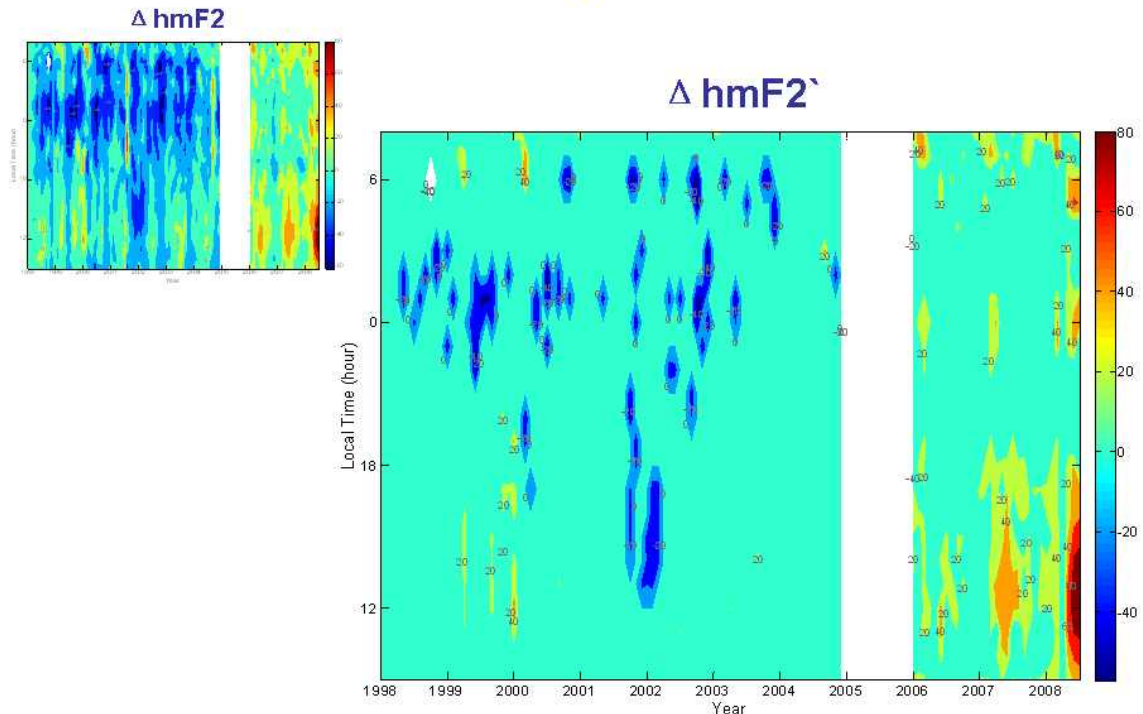


[그림 4-18] hmF2 월평균 일변화의 10년 누적 그래프

[그림 4-19]에서 작은 그래프로 표시한 ΔhmF2 는 단순히 IRI 모델값에서 관측값을 뺀 편차만을 구한 그래프이고 $\Delta\text{hmF2}'$ 는 ΔhmF2 중에서 t-검증을 통해 관측값과 IRI모델값간에 유의한 차이가 있고 월 관측자료의 수가 충분하여 평균값 왜곡이 없는 경우만을 표시한 그래프이다. IRI 모델값에서 관측값을 뺀 차이를 ΔhmF2 로 정하였으므로 적색 계열이 IRI가 hmF2를 관측값보다 높게 예측한 부분이고 청색 계열이 IRI가 hmF2를 관측값보다 낮게 예측한 부분이다. 여기에서 매우 특이한 점이 확인되는데 2005년을 기점으

로 그 이전에는 IRI가 hmF2를 관측값에 비해 낮게 예측하고 2005년 이후에는 IRI가 hmF2를 관측값에 비해 높게 예측하고 있다는 사실이다. 이는 2005년에 안양 전리층 관측기를 교체한 것과 깊은 관련이 있는 것으로 보인다. 1998년부터 2005년까지 안양에서 DGS-256 모델의 관측기를 운용하였고 2005년 11월 이후에 같은 제조사의 DPS-4D로 교체하여 운용 중이다. 지상에서 전파를 발사하고 전리층에 반사되어 돌아오는 반사파를 통해 전리층 특성을 관측하는 Ionosonde의 관측원리 때문에 hmF2 이상의 고도에 대해서는 전자밀도 프로파일의 관측자료가 정확하지 않다고 알려져 있다. 이 사실에 비추어 관측된 hmF2 또한 Ionosonde의 관측방법의 특성상 정확도가 떨어지며 이 관측기의 정확도는 DGS-256에 비해 DPS-4D에서 개선되었을 가능성이 있어 제조사 측에 문의하였으나 아직 답변을 받지 못하였다. 만약 DPS-4D의 관측값이 정확하다면 IRI 모델이 여름의 정오 시간대를 중심으로 관측값에 비해 hmF2를 높게 예측하는 경향이 있다고 할 수 있다. 그러나 이에 대해서는 제조사로부터의 직접적인 답변을 듣거나 같은 관측기 모델을 운용하는 다른 나라 관측소의 관측자료 분석을 통해 확인 후 결정해야 할 것이다.

Deviation of hmF2 between observation and IRI prediction



[그림 4-19] hmF2 모델값과 관측값간의 편차

제4절 결론

서론의 연구배경에서 밝혔듯이 본 연구의 목표는 국내 전리층 관측자료와 IRI 모델링 결과를 비교하고 그 정확도를 분석하여 IRI 모델을 국내 전리층 예보의 수단으로 사용하는 것이 적당한지 여부를 판별하는 것이었다. 이를 위하여 1998년부터 2008년까지의 10년간의 안양 전리층 관측자료를 통해 2007년에 끝난 지난 태양활동주기의 한 주기(11년)의 대부분에 대해 관측자료와 최신 IRI모델인 IRI-2007로 모델링한 결과를 비교하여 보았다. 이렇게 긴 기간의 국내 관측자료를 가지고 IRI 모델의 국내 정확도를 분석하여 발표한 것은 본 연구가 최초이다. 비교한 전리층 파라미터는 F2층 파라미터로 foF2, NmF2 그리고 hmF2이다.

hmF2의 경우 안양 Ionosonde 관측기 교체기를 전후로 관측값과 모델값간의 비교 결과가 상이하게 나타나 IRI 모델의 정확성 분석 이전에

DGS-256과 DPS-4D의 관측기 모델간의 hmF2 관측값의 정확성 검토가 선행되어야 할 것이다.

foF2와 NmF2의 경우 서로 같은 물리적 특성을 서로 다른 파라미터로 표현한 것에 불과하므로 둘 중 어느 한 파라미터에 대해서만 비교하여 다른 파라미터에 적용하여도 된다. 본 연구에서는 효용성 및 단위에 대한 직관적 이해가 쉬운 foF2를 선택하여 관측값과 IRI 모델값간의 비교 연구를 수행하였다.

관측값과 IRI 모델값의 편차를 구하고 그 편차 중 t-검증을 통해 관측값과 IRI 모델값간에 유의한 차이가 있고 월 관측자료의 수가 15이상으로 충분하여 이상값에 의한 평균값 왜곡이 없는 경우만을 구하여 그 특성을 분석하였다. 그 결과 낮과 저녁에는 IRI가 foF2를 실제보다 높게 예측하고 밤에는 IRI가 foF2를 실제보다 낮게 예측하는 경향이 발견되었다. 그러나 $\Delta\text{foF2}'$ 그 래프의 전체 면적에서 IRI 모델값과 관측값간에 차이가 없는 것으로 판정된 부분이 많은 부분(77.8%)을 차지하고, IRI가 높거나 낮게 예측되어도 그 값이 $\pm 1\text{MHz}$ 를 넘지 않는 부분이 82.5%이므로 foF2 파라미터의 경우 IRI 예측이 실제와 대체적으로 잘 일치한다고 결론 내릴 수 있다. 또한 전리층 임계 주파수로부터 전자밀도가 바로 계산되므로 따로 비교하지 않더라도 F2층의 전자밀도 또한 위의 foF2 비교 결과와 같음을 알 수 있다.

따라서 전리층의 최고 전파통신 응용분야인 단파통신에서 가장 중요한 F2층의 임계주파수 및 GPS 서비스 등 지구-위성간 통신에 유용한 F2층 전자밀도를 예측하는데 국내에서도 IRI를 사용하는 것이 타당하다고 할 수 있다.

제 5 장. 결 론

우주전파환경 변화의 요인으로 플레어 발생 및 코로나 물질방출등이 있는데 이는 지구-태양사이에 막대한 영향을 미친다. 특히, 고에너지 입자들은 지구자기권과 결합하여 여러 가지 물리적 현상을 일으킨다. 이러한 현상은 지상 및 위성을 이용한 통신의 품질에도 영향을 주기 때문에 통신의 품질개선을 위한 기초 연구가 활성화 되어야 한다. 최근, 우주인 등 인류의 활동영역이 우주공간으로 급속히 확대되어 감에 따라 우주 공간상에 운용되는 위성 통신과 과학위성, 군사위성, 정밀 유도무기 그리고 우주정거장에 이르기까지 많은 장비가 운용되고 있다. 2012년 태양활동 극대기가 되므로 지구주변의 환경에 커다란 변화가 예상되며 모든 기기와 사물이 유무선 네트워크로 연결된 유비쿼터스 환경에서는 막대한 경제적 사회적 손실을 가져올 수 있기에 이에 대한 피해를 최소화하고 안정적인 환경 구현을 위해 우주전파환경 연구역량 강화가 필요하다.

본 연구에서는 2장에서 우주전파환경 관측자료 서버 교체를 통해 데이터 저장 공간 확보·웹을 통한 자체 관측자료 제공 및 관측자료 분석 프로그램을 개발하였다. 또한 우주전파환경 예·경보 서비스를 개선하기 위해 우주전파환경 예보기준(안) 마련 및 금년도 우주전파환경 경보 발생빈도 조사, 전파예보 서비스 개선, 추분기 인공위성 일식 측정, 우주전파환경 홍보 동영상 제작 및 우주전파환경 예·경보 가이드를 마련하였다. 3장에서는 태양폭발 시 태양전파 간섭으로 발생하는 무선서비스 장애로 인한 피해 최소화를 위해 무선통신 장애 간섭분석 연구를 수행하였다. 먼저 태양폭발이 주요 무선서비스에 영향을 줄 수 있는 태양폭발의 강도 및 과거 관측 자료를 통계·분석하였으며 태양폭발로 인한 무선서비스에 영향을 검증할 수 있도록 태양전파 노이즈 신호발생기와 블루투스를 제작하였다. 또한 이를 토대로 태양폭발이 무선서비스에 실제로 어느정도 영향을 미치는지 국내에서 사용하고 있는 1.8 GHz 주파수 대역과 0.9 GHz 주파수 대역의 이동통신 단말기와 블루투스 장비를 가지고 통화품질에 대한 영향과 전송오류에 대한 시험을 수행하였다. 수행결과 태양절대플럭스가 약 2,500SFU 이상부터는 블루투스에 영향을 주었으며 이동통신 단말기도 약 20,000SFU 이상의 태양폭발이

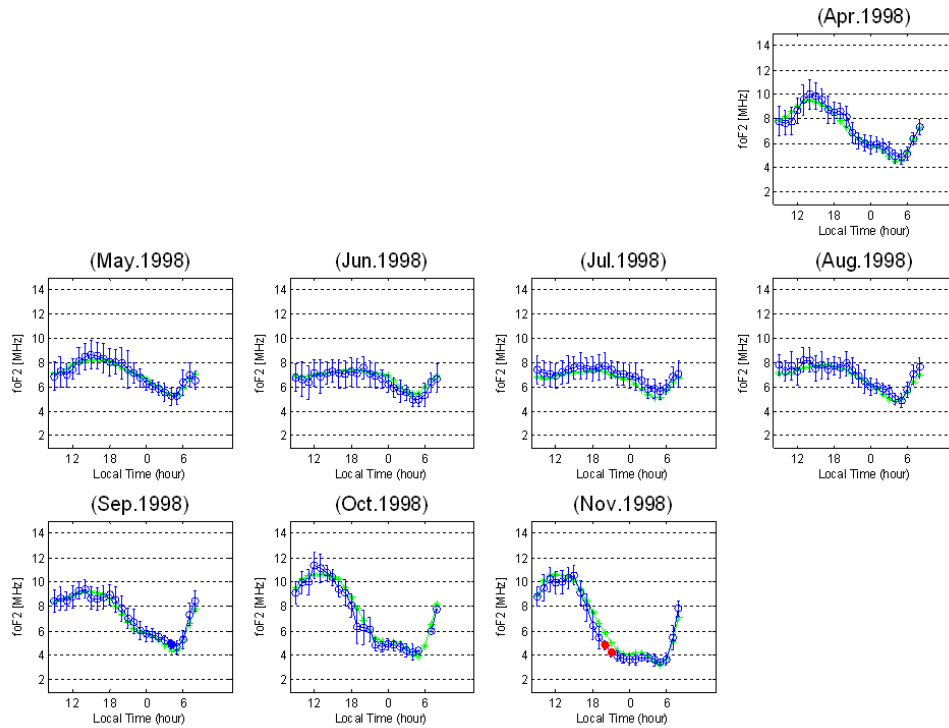
있다면 통화품질이 영향을 받을 수 있음을 시험을 통하여 밝혔다. 향후, 더 많은 연구를 통하여 국가차원에서 대응체계를 마련하는 중요 자료로 활용되었으면 한다. 4장에서는 과거 약 10년간의 안양 전리층 관측기의 관측 자료와 국제전리층모델(IRI)의 모델링 결과를 비교하여 한반도 지역에서의 IRI 모델 정확도를 검증해 보고 우리나라 전리층 예보수단으로서의 적용 가능성을 확인하는 것을 목표로 하였다. 이를 위해 관측된 여러 전리층 파라미터 중 F2층 최고 파라미터의 변화현상에 대해 분석하고 이를 IRI 모델의 최신 버전인 IRI-2007의 예측치와 비교하였다. 비교결과 IRI 예측이 실제와 대체적으로 잘 일치한다고 결론 내릴 수 있었다. 따라서 국내 단파통신 최적 주파수 예보 서비스 등에 IRI 모델을 사용하여 정확도를 높일 수 있을 것으로 예상되며, 향후 GPS 서비스 등 전리층 변화에 민감한 지구-위성간 통신 분야 등으로 예보 서비스를 확대할 수 있을 것으로 기대된다.

향후 본격적인 유비쿼터스 시대 및 2012년 태양활동 극대기 도래에 따라 무선기반 서비스 장애피해 최소화를 위해 노후화된 관측기 교체, 신규 관측기 도입 등을 통해 지속적인 연구기반 강화를 추진하고 우주전파환경 분석 능력 극대화를 통해 무선통신사업자, 위성체사업자, 군 등 관련기관에 신뢰성 있는 예·경보서비스를 제공하고자 한다.

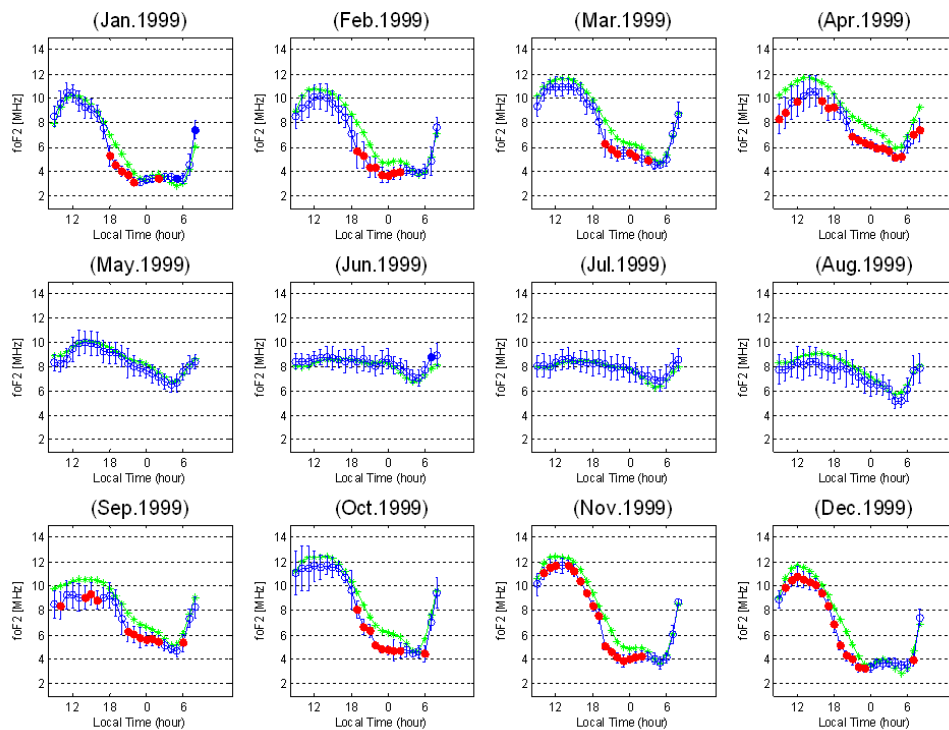
참 고 문 헌

- [1] Dale E. Gary, "Effects of Solar Radio Bursts on Wireless Systems
- [2] Bala, B, "Noise in wireless systems produced by solar radio bursts", Radio Science, 37(2) 2002
- [3] Kenneth Davies, Ionospheric Radio, Peter Peregrinus Ltd., 1990
- [4] Physics of the Solar System, Bruno Berotti Ltd, 2003
- [5] D. Bilitza, B.W. Reinisch, "International Reference Ionosphere 2007: Improvements and new parameters", Advances in Space Research 42, pp. 599-609, 2008
- [6] E.A. Araujo-Pradere et al, "Characteristics of the ionospheric variability as a function of season, latitude, local time, and geomagnetic activity", Radio Science, Vol.40, 2005
- [7] Leo F. McNamara, "The Ionosphere: Communications, Surveillance, and Direction Finding", Krieger Publishing Company, 1991
- [8] [Ftp://nssdcftp.gsfc.nasa.gov/models/ionospheric/iri](ftp://nssdcftp.gsfc.nasa.gov/models/ionospheric/iri)
- [9] Davies, K. Ionospheric Radio. Peter Peregrinus Ltd., London, 1990.

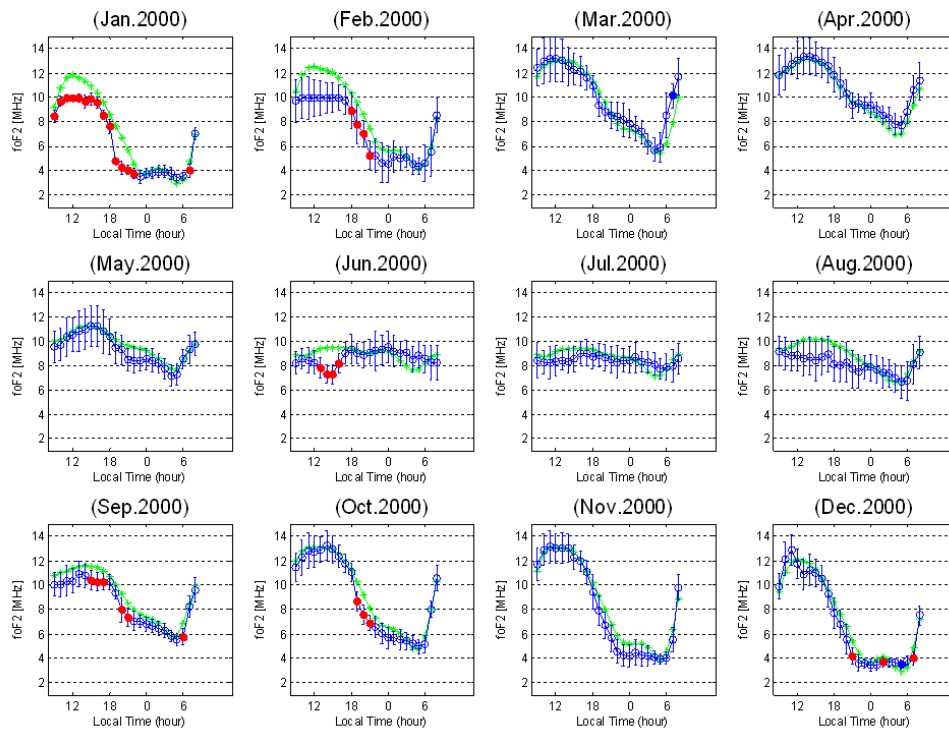
[부록 1] F2층 임계주파수(foF2) 비교 그래프



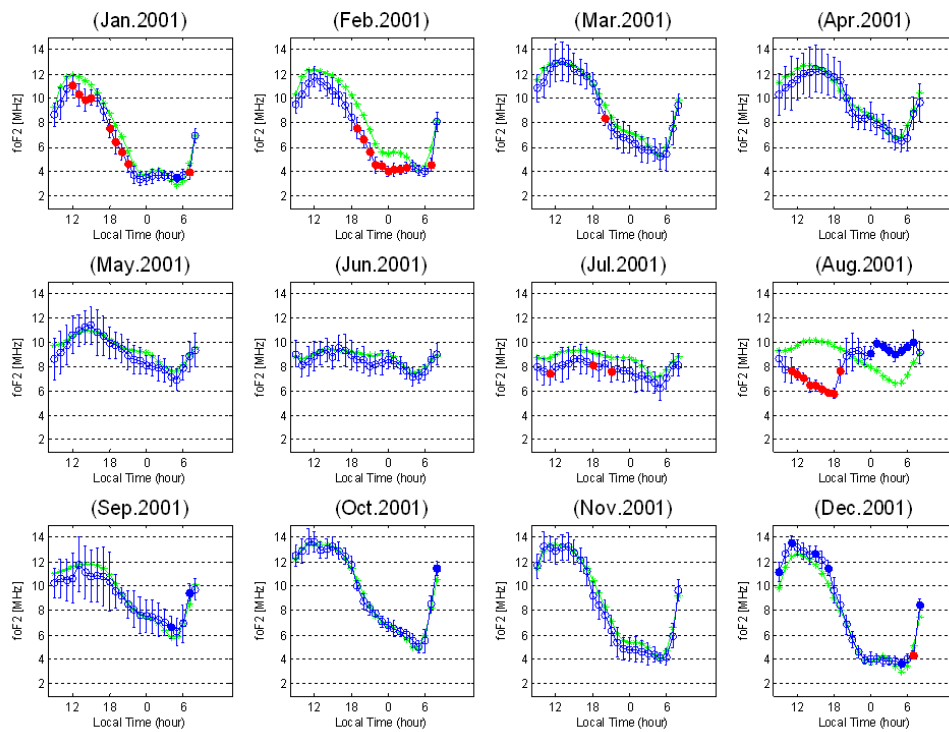
[그림 1] 1998년 foF2 월평균 일변화 비교



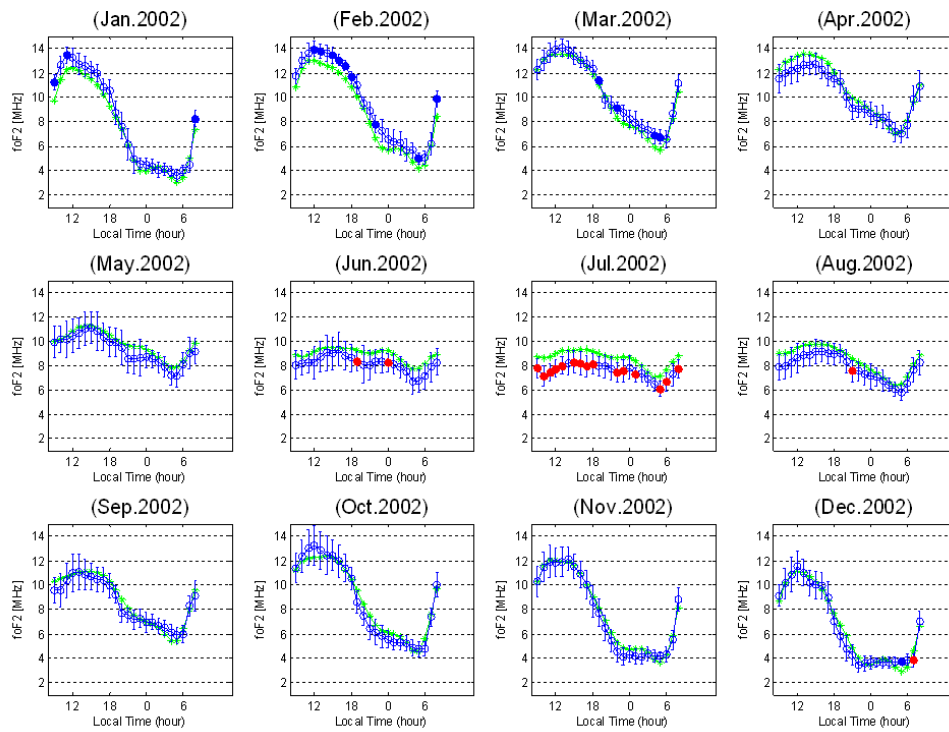
[그림 2] 1999년 foF2 월평균 일변화 비교



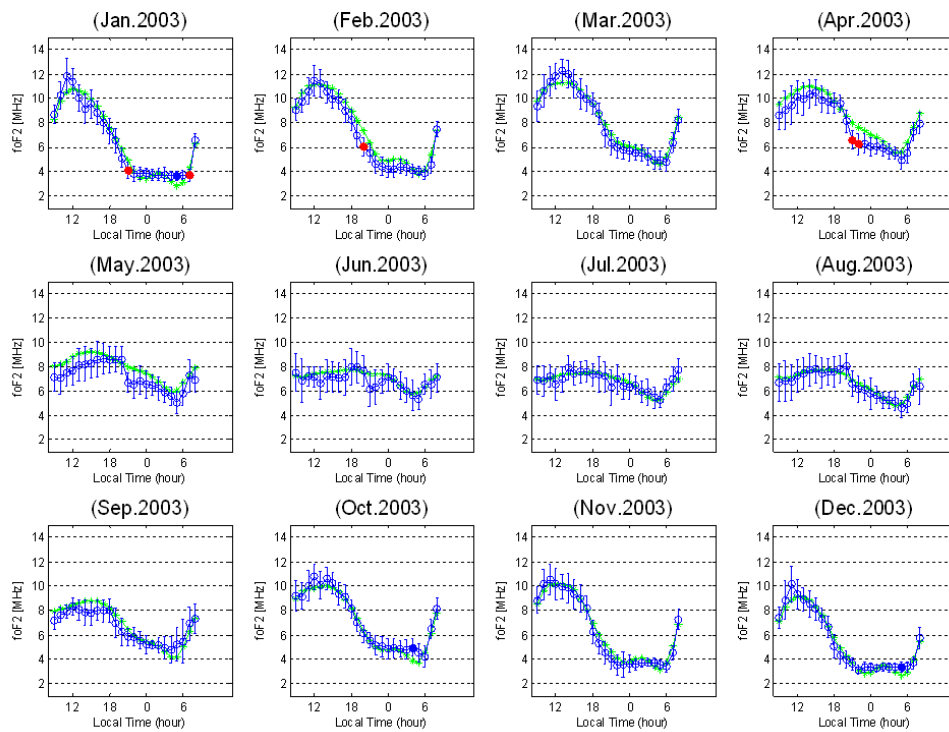
[그림 3] 2000년 foF2 월평균 일변화 비교



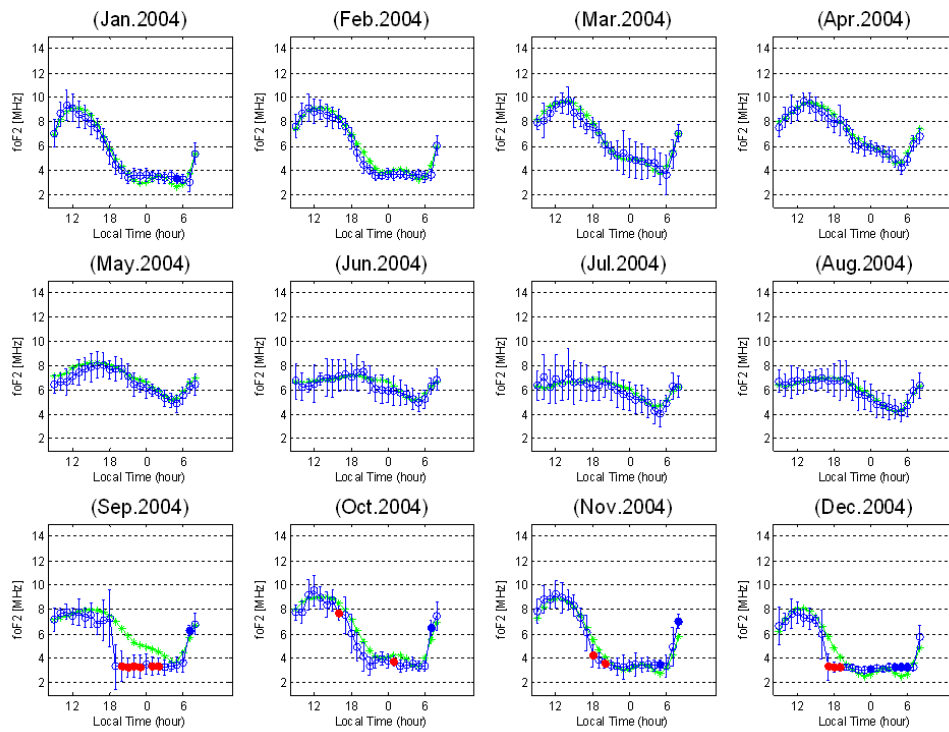
[그림 4] 2001년 foF2 월평균 일변화 비교



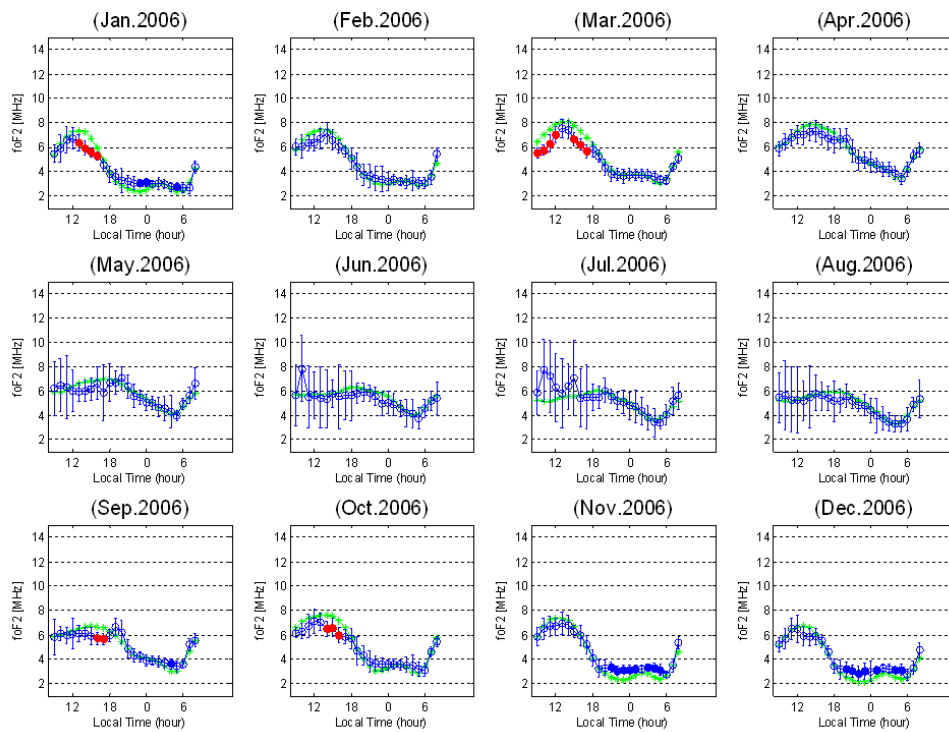
[그림 5] 2002년 foF2 월평균 일변화 비교



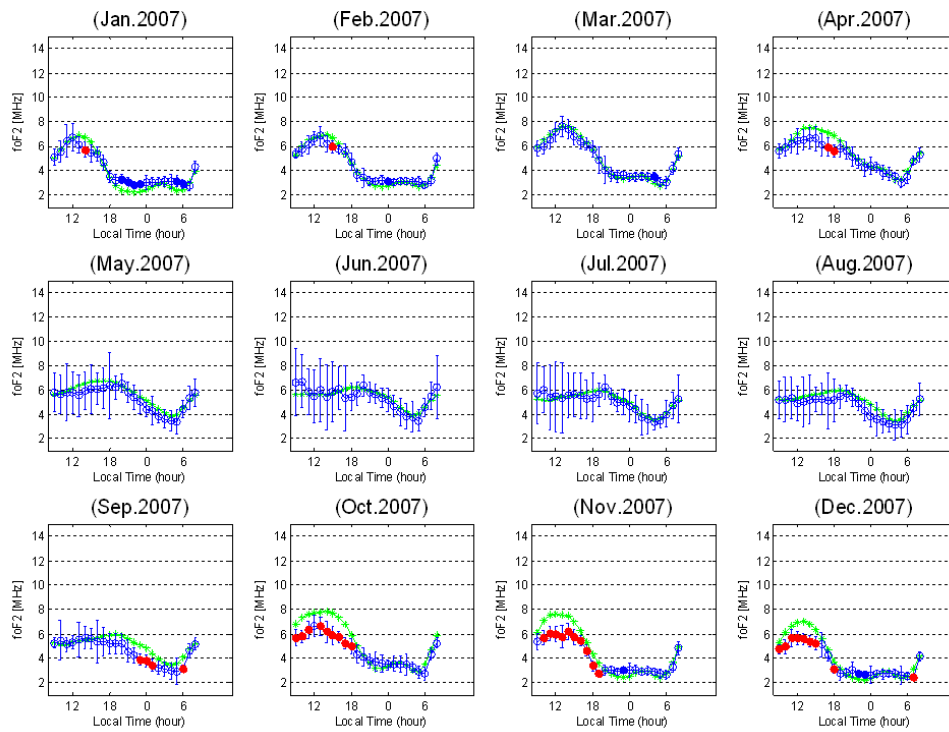
[그림 6] 2003년 foF2 월평균 일변화 비교



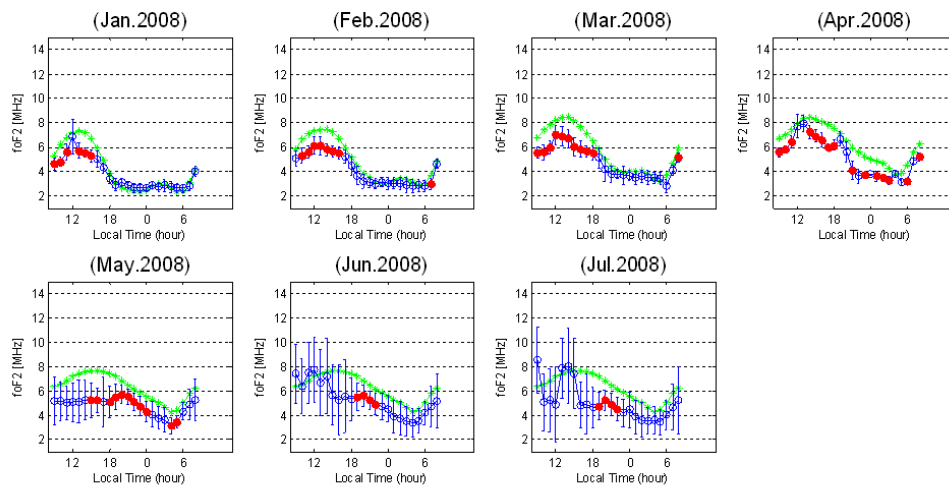
[그림 7] 2004년 foF2 월평균 일변화 비교



[그림 8] 2006년 foF2 월평균 일변화 비교

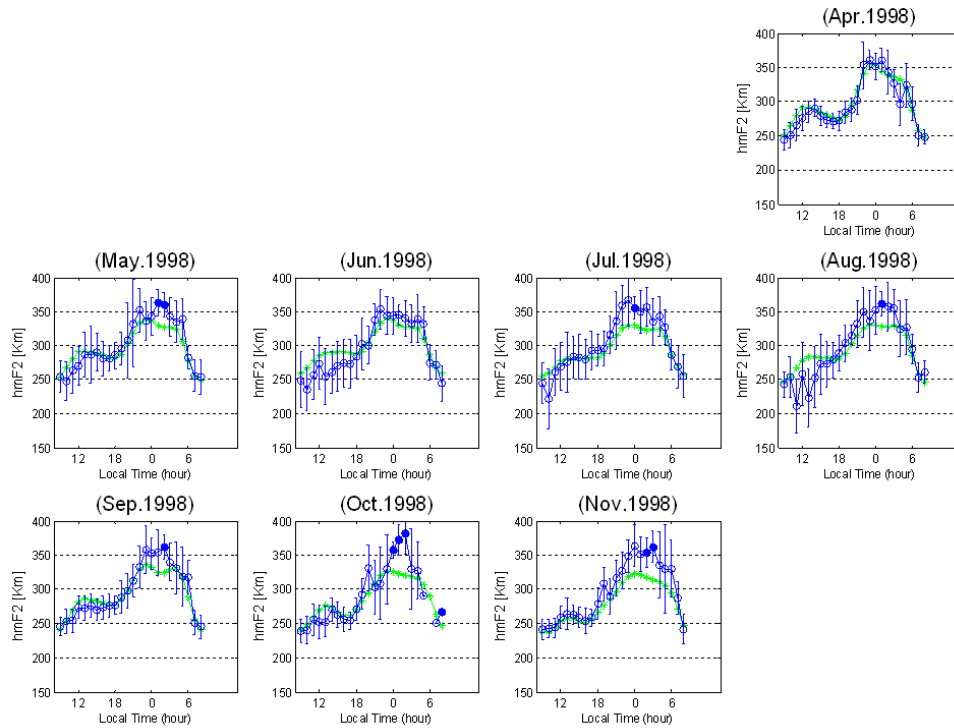


[그림 9] 2007년 foF2 월평균 일변화 비교

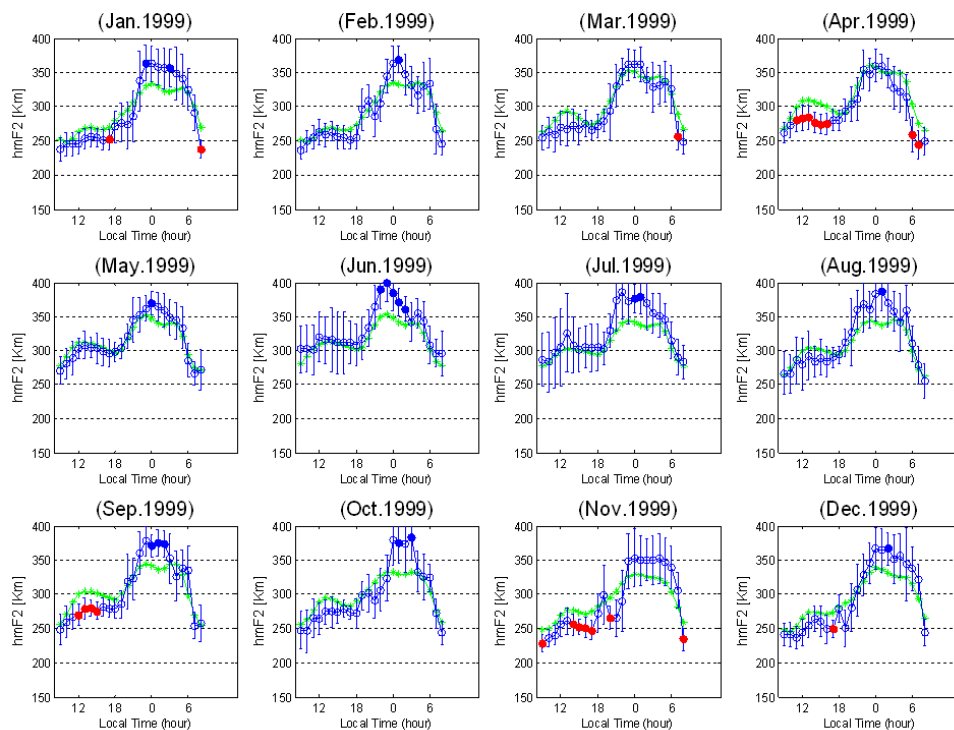


[그림 10] 2008년 foF2 월평균 일변화 비교

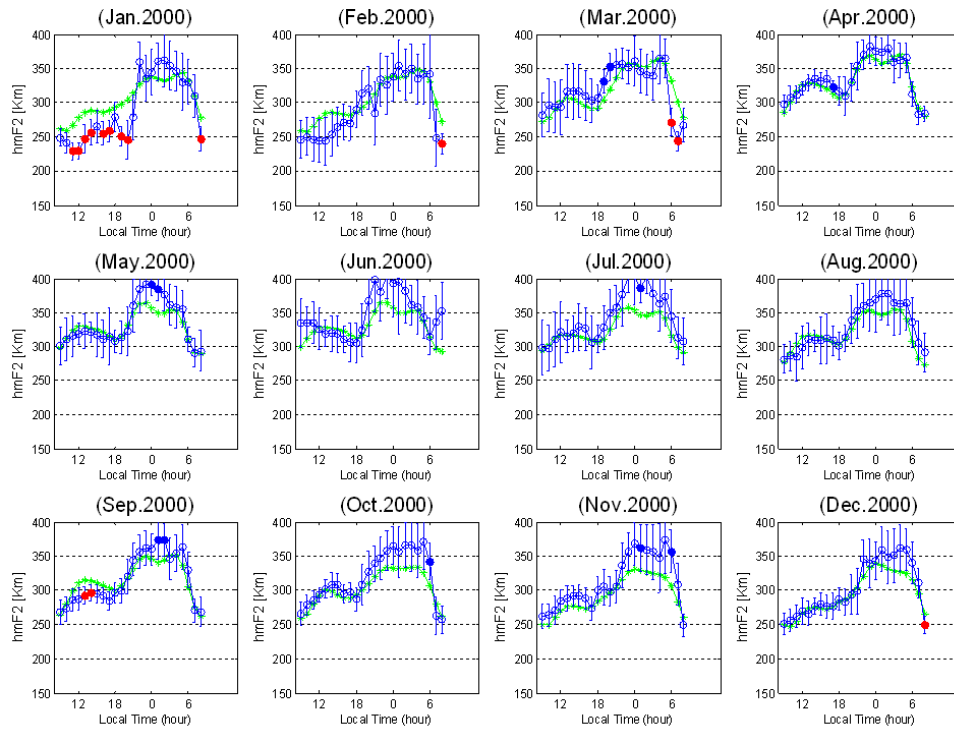
[부록 2] F2층 최대 전자밀도의 고도(hmF2) 비교 그래프



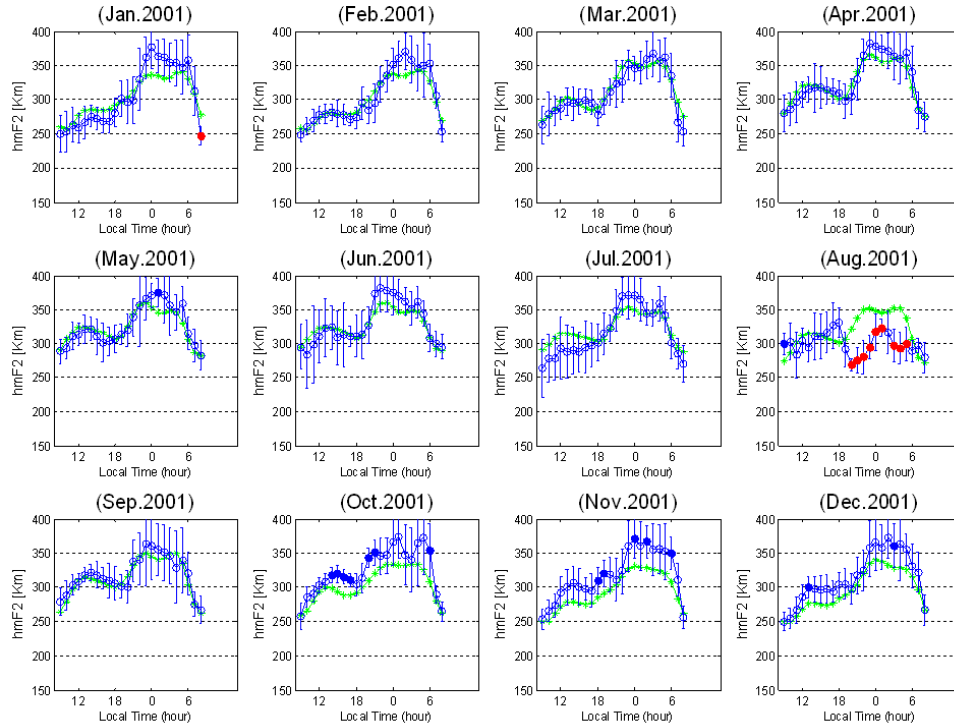
[그림 11] 1998년 hmF2 월평균 일변화 비교



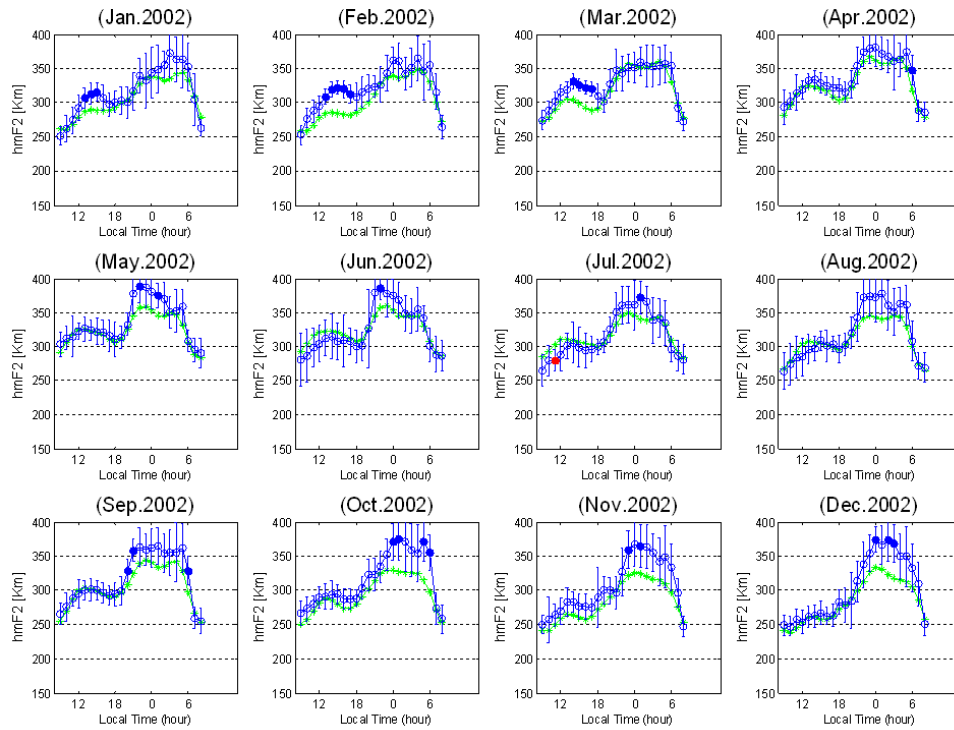
[그림 12] 1999년 hmF2 월평균 일변화 비교



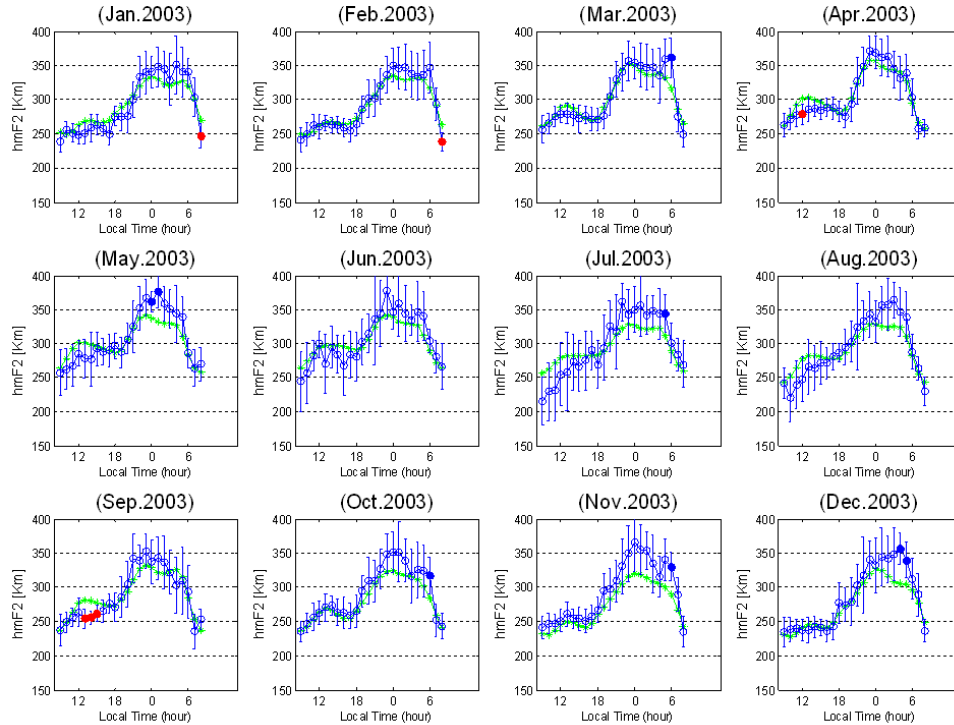
[그림 13] 2000년 hmF2 월평균 일변화 비교



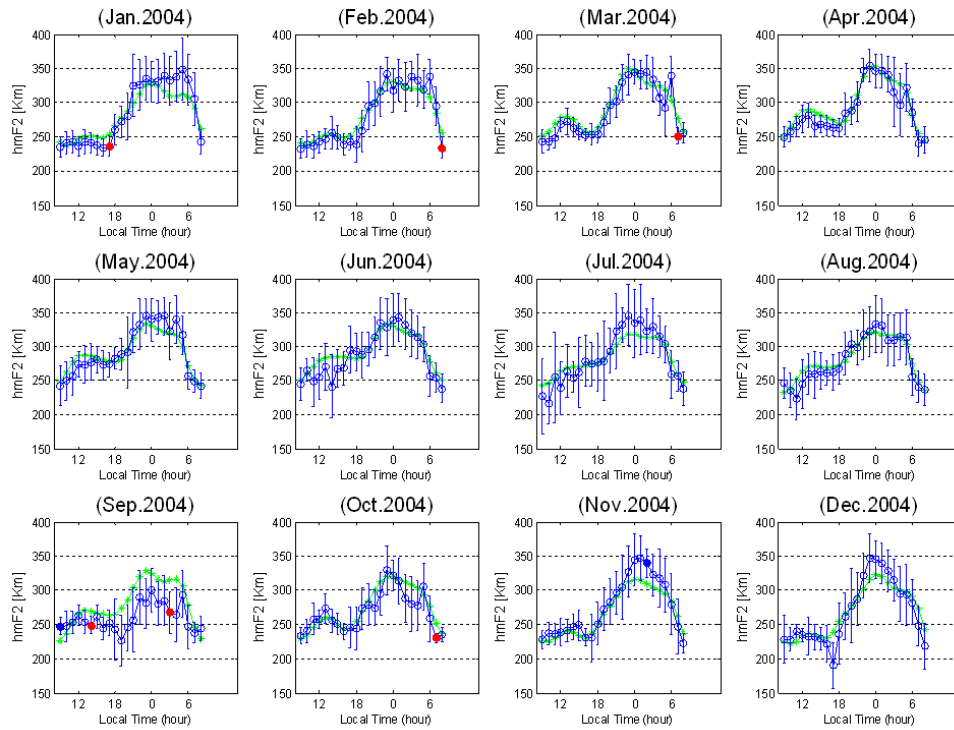
[그림 14] 2001년 hmF2 월평균 일변화 비교



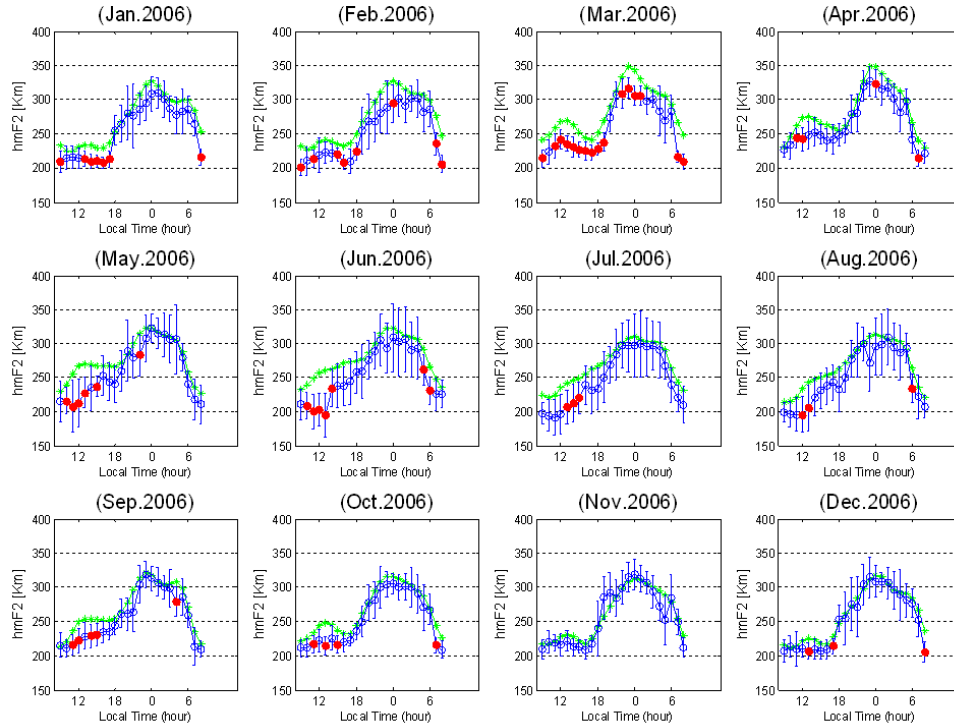
[그림 15] 2002년 hmF2 월평균 일변화 비교



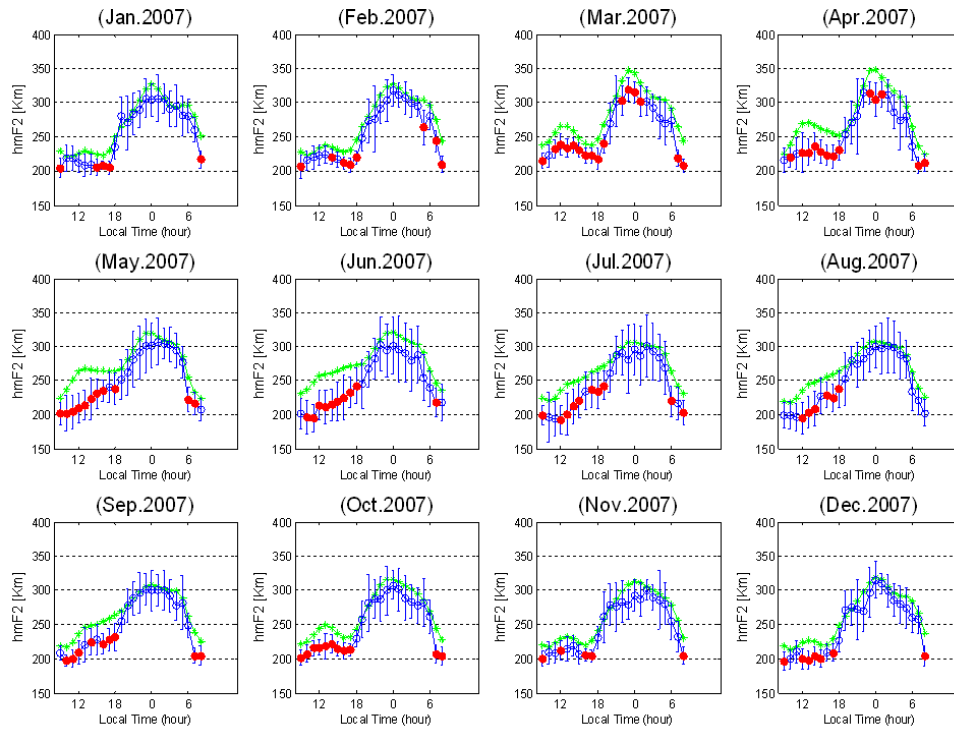
[그림 16] 2003년 hmF2 월평균 일변화 비교



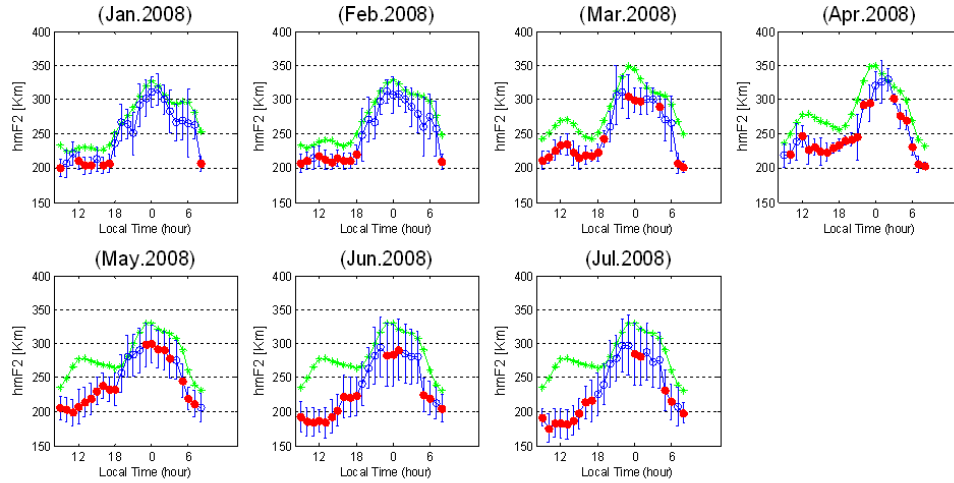
[그림 17] 2004년 hmF2 월평균 일변화 비교



[그림 18] 2006년 hmF2 월평균 일변화 비교



[그림 19] 2007년 hmF2 월평균 일변화 비교



[그림 20] 2008년 hmF2 월평균 일변화 비교