

우주 전파 환경 연구 기반 강화 II

2009. 12.

제 출 문

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

2009. 12. 31.

연구책임자 : 배 석 희(전파연구소 이천분소 기술과장)

연구원 : 김 종 윤(전파연구소 이천분소 기술과)

이 환 상(전파연구소 이천분소 기술과)

한 진 욱(전파연구소 이천분소 기술과)

홍 순 학(전파연구소 이천분소 기술과)

유 충 현(전파연구소 이천분소 기술과)

유 훈(전파연구소 이천분소 기술과)

요 약 문

우리나라는 90년대 초부터 강력히 추진하였던 국가 IT 정책의 성공에 힘입어 이동통신, 초고속 인터넷 뿐만 아니라 위성통신 분야 강국으로 성장하였다. 또한 최근에는 소출력 무선기기의 보급으로 유비쿼터스 환경 구현의 세계적 성공모델로 주목받고 있다.

이처럼 모든 기기가 유무선 통신으로 연결되어 있는 유비쿼터스 환경에서 태양흑점 폭발활동과 같은 급격한 우주전파환경변화에 의해 방송통신 서비스 인프라에 장애가 발생하게 되면 그 사회적, 경제적 피해는 상상을 초월할 정도로 막대하게 나타날 수 있다.

최근 우주전파환경 전문가들은 다가올 2013년 태양활동 극대기시에 강력한 태양흑점 폭발 활동을 예견하고 있으며 그에 따라 세계적으로 약 2조 달러의 재산 손실과 피해 복구에 10여년 이상이 소요될 것이라고 경고하고 있다. 미국, 유럽 등 선진 국가에서 이를 위해 예, 경보 서비스에 투자를 아끼지 않는 이유가 바로 여기에 있다.

이러한 뜻하지 않은 자연재해인 우주전파환경 피해를 극복하기 위해서는 더 늦기 전에 새로운 재난관리 차원의 예·경보서비스 선진화와 함께 국가 차원의 준비가 필요한 시점이다. 이에 전파연구소는 2011년 완공 목표로 제주에 「(가칭)우주전파연구센터」의 구축사업을 진행 중이다. 동 센터의 구축을 통해 우주전파환경의 예측과 이의 서비스를 위한 관측 및 분석 시스템 등의 제반 인프라를 구축하고 선진국 수준의 우주전파환경 예·경보 서비스를 실시할 예정이다.

본 연구는 「우주전파연구센터」의 설립에 앞서 우주전파환경 연구 및 관측 기반을 확충하고 우주전파환경 예보 서비스 수행을 위한 역량을 강화하는 것을 목표로 2008년부터 2010년까지 3개년에 걸쳐 추진 중인 ‘우주전파환경 연구기반 강화’의 제 2차년도 과제이다.

본 과제에서 우주전파환경 관측자료 분석 및 전리층 모델관련 연구를 수행하였고, 제주 센터운용에 대비하여 관측인프라 확충과 예보서비스 개선방안에 대해 연구하였다. 또한, 한-미 협력각서 체결 및 공군과의 우주전파환경 업무 협력 양해각서를 체결하고 제1회 우주전파환경 서비스 수요자 컨퍼런스를 개최하는 등 대외협력 강화활동에서 큰 성과를 이루었다.

SUMMARY

Thanks to the government's IT encouraging policy, Korea has grown as an IT power country in the world which has an excellent infrastructure in mobile communications, high-speed internet and satellite communications. Furthermore, Korea is famous for a success model popularizing low-powered IT devices like RFID and USN to set up a ubiquitous communication environment.

Space environment has been recognized as causing problems with new technology since the invention of the telegraph in the 19th century. In a ubiquitous environment, space environment can dramatically affect our lives, primarily through its impact on IT technology. The radio noises and energetic particles from solar storm can disturb radio communication and harm IT systems in space and ground, so it finally can cause a social and economic hazard in today's society.

A catastrophic failure of commercial and government infrastructure in space and on the ground can be mitigated through raising public awareness, improving vulnerable infrastructure and developing advanced forecasting capabilities. It is expected that solar storms will increase in frequency and intensity toward the next solar maximum, expected to occur around 2013. Without preventive actions or plans, the trend of increased dependency on modern space-weather sensitive assets could make society more vulnerable in the future.

The Radio Research Agency started to establish a Space Environment Center in Jeju Island by 2011 and it will allow better prediction on the impacts of space environment on IT systems and even on our daily life.

This study report is the second result of three years's study project to enforce the research base of RRA on the space environment prediction. We believe that these efforts of ours get the Korean Space Environment Center onto the right track giving a reliable service to the public.

목 차

제1장 서 론	11
제2장 전리층 및 지자기 관측자료 분석 연구	13
제1절 태양활동 주기에 따른 한반도 전리층 변화 특성 분석	13
제2절 태양흑점 폭발과 전리층 및 지자기 교란과의 상관관계 분석	22
제3절 전리층 및 지자기 관측자료 분석 프로그램 제작	29
제3장 관측인프라 확충	31
제1절 전리층 전자밀도 관측시설 설치	31
제2절 태양전파 주파수별 분석 시스템 구축	47
제3절 안양 전리층 관측시설 이전 추진	51
제4장 예보서비스 개선방안 연구	54
제1절 영문 인터넷 우주전파환경 정보 서비스 구축	54
제2절 실시간 전리층 상황 문자서비스	56
제3절 미국 우주전파환경예보센터 단기 예보관교육	58
제5장 대외 협력활동 강화	67
제1절 한-미 우주전파환경 협력각서 체결	67
제2절 전파연구소-공군 우주전파환경 업무협력 양해각서 체결	70
제3절 제1회 우주전파환경 수요자 컨퍼런스 개최	71
제4절 우주전파환경 전문가 초청강연 및 자문회의 개최	73
제5절 우주전파환경 관측자료 제공	76
제6절 위성 방송통신 장애 예보	77
제6장 결 론	79
[참고문헌]	80

[부록 1] 안양 foF2 관측값과 IRI 모델 예측값 비교 그래프	81
[부록 2] 태양흑점 폭발시 전리층 및 지자기 관측값 비교 그래프	85
[부록 3] 전리층 및 지자기 관측자료 분석 프로그램 소스코드	95
[부록 4] 관측시스템 일일점검 메뉴얼	137
[부록 5] 추분기 주요 위성별 태양전파 간섭 예측시간	159

표 목 차

[표 1] 1998년 이후 X등급 이상의 태양흑점 폭발 사례	23
[표 2] GPS 수신기	33
[표 3] GPS 안테나	33
[표 4] 운용 프로그램 개요	37
[표 5] 전파연구소 전리층 종합 관측망	51
[표 6] 전리층 문자메시지 경보 코드 등급	57
[표 7] 전리층 문자메시지 경보 코드 해석	57
[표 8] 우주전파환경 수요자 컨퍼런스 참여기관	71
[표 9] 우주전파환경 관측자료 제공성과	76

그 립 목 차

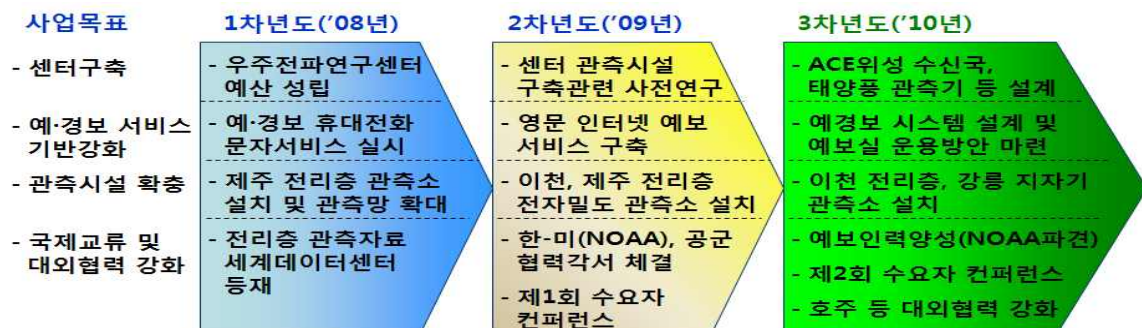
[그림 1] 우주전과환경 연구기반 강화 연구과제 로드맵	11
[그림 2] foF2 관측자료(1973~2008, 안양)	14
[그림 3] 관측 공백기에 IRI 예측값을 대입한 foF2 그래프	15
[그림 4] 정오와 자정시간 대의 foF2 그래프 (1973~2008, 안양)	16
[그림 5] 태양 흑점지수 변화 그래프(SIDC)	17
[그림 6] 안양 foF2 자료와 태양 흑점지수와의 비교	18
[그림 7] 관측자료와 모델링 결과의 비교에 사용한 방법	19
[그림 8] 안양 foF2 관측자료의 IRI 모델 예측값과의 비교	20
[그림 9] 태양흑점 폭발시 전리층 관측값과 IRI 모델 예측값의 비교 (사례 3)	24
[그림 10] 태양흑점 폭발시 지자기 폭풍과 전리층 교란현상과의 비교 (사례 3)	25
[그림 11] 태양흑점 폭발시 전리층 관측값과 IRI 모델 예측값의 비교 (사례 5)	27
[그림 12] 태양흑점 폭발시 지자기 폭풍과 전리층 교란현상과의 비교 (사례5)	27
[그림 13] 전리층 전자밀도 관측시스템 구성도	32
[그림 14] 전리층 전자밀도 관측시스템 구성품	33
[그림 15] 전리층 전자밀도 관측시스템 결선도	34
[그림 16] 이천 관측소 시스템 계통도	35
[그림 17] 이천 관측소 설치 현황	35
[그림 18] 제주 관측소 시스템 계통도	36
[그림 19] 제주 관측소 설치 현황	36
[그림 20] TEC 프로그램 메인 화면	39
[그림 21] TEC 프로그램 Option 설정 화면	40
[그림 22] GET RINEX 흐름도	41
[그림 23] GET TEC 흐름도	42
[그림 24] P1-C1 DCB 획득 결과	42
[그림 25] DOS 창에서 SLOG 실행	43
[그림 26] GPS 수신기로 입력되는 명령어들	44
[그림 27] RINEX 변환 결과	44
[그림 28] RINEX 변환 내용 확인	45
[그림 29] TEC 수집 결과	45

[그림 30] TEC 수집 내용 확인	46
[그림 31] SLI file 내용 확인	46
[그림 32] 태양전파 관측시스템	47
[그림 33] 시스템 구성도	48
[그림 34] 신호분배기 설치	49
[그림 35] 태양전파 주파수 분석시스템 제어부	49
[그림 36] 태양전파 주파수 분석 프로그램	50
[그림 37] 이천분소내 전리층 관측시설 이전 예정지	52
[그림 38] 전리층 관측시설 배치도	53
[그림 39] 영문 홈페이지 메인화면	54
[그림 40] 영문 홈페이지 메뉴 구성도	55
[그림 41] 문자메시지 서비스 포맷	56
[그림 42] 미국 콜로라도 볼더 해양대기청 연구센터 전경 및 SWPC 예보실	58
[그림 43] SWPC 개요	59
[그림 44] SWPC 예보관 교대근무 현황	60
[그림 45] SWPC 주간 메인 예보관(D-shift) 업무 일정표	60
[그림 46] SWPC 주간 보조 예보관 및 야간 예보관 업무 일정표	61
[그림 47] SWPC 우주전파환경 예·경보 발령 체계	62
[그림 48] 미국의 우주전파환경 위성 및 지상 관측망	62
[그림 49] SWPC 관측 및 예보 정보 흐름도	63
[그림 50] SWPC의 우주전파환경 모델 개발 계획	64
[그림 51] SWPC의 우주전파환경 예보 역량 및 역할 분석	64
[그림 52] 전파연구소 우주전파환경 관측시스템 및 서비스 현황	66
[그림 53] 1차 한-미 우주전파환경 협력회의 및 기본협력방안 합의	67
[그림 54] 한-미 우주전파환경 협력각서 체결	68
[그림 55] 국내에 미국 우주전파환경 관측위성(ACE) 수신국 설치	69
[그림 56] 전파연구소-공군 우주전파환경 업무협력 양해각서 체결	70
[그림 57] 제1회 우주전파환경 서비스 수요자 컨퍼런스[1]	71
[그림 58] 제1회 우주전파환경 서비스 수요자 컨퍼런스[2]	72
[그림 59] 위성일식 때의 태양, 위성, 지구의 기하학적 위치	77

제1장 서론

약 11년의 주기성을 가지는 태양활동이 2008년 극소기를 지나 2013년 극대기를 맞이하게 될 것으로 예상되어 향후 수년간 잦은 태양흑점 폭발 등 우주전파환경의 급격한 변화가 우려된다. 태양활동은 태양 표면의 흑점수로 그 활동성을 계측할 수 있는데, 세계 우주전파환경 서비스 기구(ICES)는 2009년 5월 8일 성명을 통해 2013년 5월에 다음 태양활동 주기의 극대기를 맞게 될 것이라고 발표한 바 있다. 태양흑점 폭발은 전파 및 고에너지 하전 입자를 우주공간으로 방출하고 지구에는 전리층 교란, 지자기 폭풍 등의 형태로 그 물리적 영향이 나타나는데 이는 방송통신 시스템의 마비, 대규모의 정전사태 등의 피해를 일으킬 수 있다. 이것은 위성 및 지상 방송통신과 수많은 무선기기, 전자 제품 등에 의존하고 있는 현대의 인류에게 큰 재앙이 아닐 수 없다. 최근 우주전파환경 전문가들은 다가올 2013년의 태양활동 극대기시에 과거 발생된 태양흑점 폭발 활동 중 가장 강력했던 폭발이 재현될 경우 전 세계적으로 약 2조 달러의 재산 손실을 끼치고 피해 복구에 약 10여년의 시간을 요구하게 될 것이라고 경고하고 있다.

이러한 뜻하지 않은 자연재해인 우주전파환경 피해를 극복하기 위해서는 더 늦기 전에 새로운 재난관리 차원의 예·경보서비스 선진화와 함께 국가 차원의 준비가 필요한 시점이다. 이에 전파연구소는 2011년 완공 목표로 제주에 「(가칭)우주전파연구센터」의 구축사업을 진행 중이다. 동 센터의 구축을 통해 우주전파환경의 예측과 이의 서비스를 위한 관측 및 분석 시스템 등의 제반 인프라를 구축하고 선진국 수준의 우주전파환경 예·경보 서비스를 실시할 예정이다.



[그림 1] 우주전파환경 연구기반 강화 연구과제 로드맵

본 연구는 「우주전파연구센터」의 설립에 앞서 우주전파환경 연구 및 관측 기반을 확충하고 우주전파환경 예보 서비스 수행을 위한 역량을 강화하는 것을 목표로 2008년부터 2010년까지 3개년에 걸쳐 추진 중인 ‘우주전파환경 연구기반 강화’의 제 2차년도 과제이다.

2장에서 1973년부터 2008년까지 안양에서 관측한 전리층 자료를 통해 한반도 전리층 전파특성을 분석하고, IRI(International Reference Ionosphere) 모델과 비교하였다. 또한, 1998년 이후 현재까지 발생한 X등급 이상의 태양 흑점 폭발(플레어)의 사례에 대해 우리나라 전리층 및 지자기 관측값을 서로 비교하고, 태양흑점 폭발시 IRI 모델의 예측 정확도 분석을 위하여 태양흑점 폭발 시기의 전리층 관측자료와 IRI 모델의 예측값을 비교·분석 하였다.

3장에서 2009년 이천과 제주에 설치한 전리층 전자밀도(TEC) 관측시설과 이천에 구축한 태양전파 주파수별 분석시스템에 대해 설명하고, 공공기관 지방이전 계획에 따라 추진중인 안양 전리층 관측시설의 이전설치 사업의 진행사항과 계획사항에 대해 정리하였다.

4장은 예보서비스 개선방안 연구의 일환으로 추진한 영문 우주전파환경 정보서비스 시스템 구축사업 및 실시간 전리층 상황 문자서비스에 대해 설명하고 미국 우주전파환경예보센터 단기 예보관 교육 결과를 정리하였다.

5장은 미국 해양대기청(NOAA)과의 협력각서 체결과 공군과의 업무협력 양해각서 체결, 그리고 대외 관측자료 제공 및 예보 서비스 수행성과 등 전파연구소의 대외 우주전파환경 업무 협력활동 결과를 설명하였다. 또한 전파연구소가 국내 우주전파환경 선도 기관으로서의 역할 강화를 위해 추진한 제1회 우주전파환경 서비스 수요자 컨퍼런스에서 도출된 수요기관별 요구사항을 정리하고 향후 전파연구소 우주전파환경 서비스의 방향에 대해 설명하였다.

본 연구의 결과를 바탕으로 3차년도에는 더욱 심도있는 연구를 수행하고 2011년 제주의 「우주전파연구센터」 개소와 더불어 본격적인 대국민 우주 전파환경 예보서비스 수행을 위해 지속적인 연구개발에 매진할 예정이다.

제2장 전리층 및 지자기 관측자료 분석 연구

제1절 태양활동 주기에 따른 한반도 전리층 변화 특성 분석

1. 요약

본 연구에서는 1973년부터 2008년까지 안양에서 관측한 전리층 자료를 통해 한반도 전리층 전파특성을 분석하고, ISO 국제 표준 전리층 모델(TS16457)로 등록 예정인 IRI(International Reference Ionosphere)와 비교하였다. 태양활동 주기 및 계절변화에 따른 장기간(37년간)의 foF2 변화를 태양흑점 지수와 비교·분석한 결과, 변화주기 및 변화폭이 잘 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 IRI-2007 모델 예측치와의 비교를 통해 태양활동 극소기에는 IRI의 국내 정확도가 높지만 태양활동 극대기에는 정확도가 낮음을 확인하였다. 그리고 낮 동안에는 IRI 모델의 예측값이 측정값보다 더 높고 반대로 밤 동안에는 IRI 모델의 예측값이 측정값보다 더 낮게 나타나는 패턴을 확인할 수 있었다. 이것은 향후 한반도 전리층 예보의 정확도 향상을 위해 IRI 모델을 개선하여 사용할 수 있음을 시사한다.

2. 서론

전파연구소는 1966년부터 안양에 전리층 관측기(Ionosonde)를 운영하여 전리층 변화를 감시하고 단파통신 최적 주파수 예보 등 전파예보 서비스를 수행하고 있다.

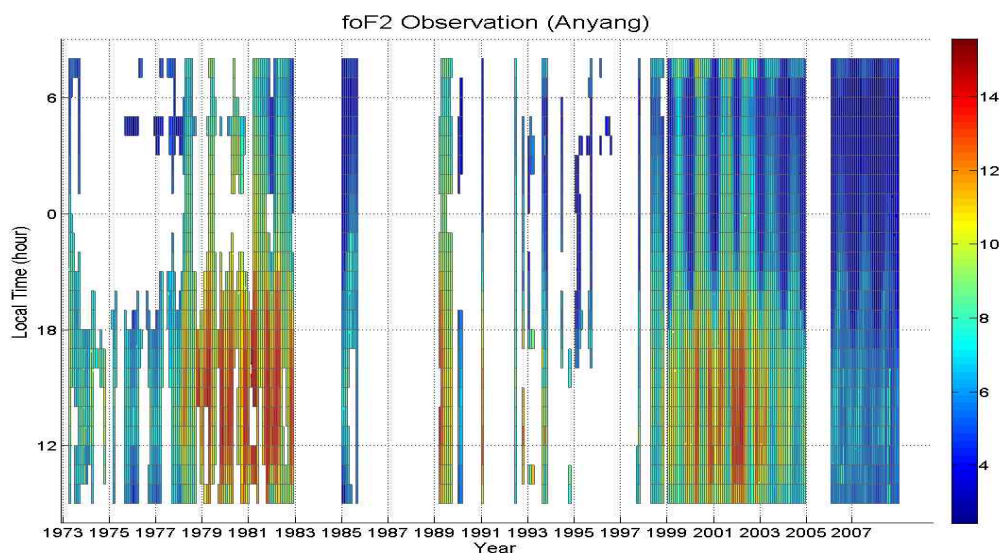
본 연구에서는 1973년부터 2008년까지 안양에서 관측된 여러 전리층 파라미터 중 F2층 임계주파수(foF2)의 변화현상에 대해 분석하고 이를 IRI-2007의 예측치와 비교하였다. IRI는 관측 자료에 기반을 둔 모델이기 때문에 특정 지역이나 특정 기간에 대한 정확도는 그 지역에서의 그 기간 동안의 관측 자료가 IRI에 반영되었는지 여부에 크게 좌우된다.[1] 그러나 아쉽게도 IRI 제작 또는 개선시에 한반도의 전리층 관측 자료가 사용되지 않아 우리나라에서 IRI 모델을 사용하여 전리층 상태를 예보하기 위해서는 예측 정확도에 대한 검증연구가 선행되어야 한다.

3. 본 론

가. 태양활동 주기에 따른 전리층 변화현상 분석

본 연구는 2008년 수행하였던 우리나라 전리층 관측자료와 국제표준 전리층 모델(IRI)과의 비교연구의 차년도 연구이다. 2008년 수행하였던 연구에 사용된 관측 데이터의 취득 기간은 1998년 4월에서 2008년 4월까지로 10년간인데 반해, 본 연구에 사용된 관측 데이터의 취득 기간은 1973년에서 2008년까지로 37년간인 것이 차이점이다. 이는 약 11년 주기의 태양활동 주기 3개(태양주기 21~23)를 완전히 커버하여 태양활동에 의한 전리층 변화를 충분히 설명할 수 있는 긴 기간인 것이 특징이다.

전리층의 일일변화와 계절변화, 그리고 중위권 전리층 특이현상 등을 분석한 결과는 이미 과년도 과제에서 도출되었으므로 과년도 연구보고서를 참조 바라며, 본 연구에서는 태양활동 주기의 변화에 따른 장기간의 전리층 변화현상에 대해 분석하였다.

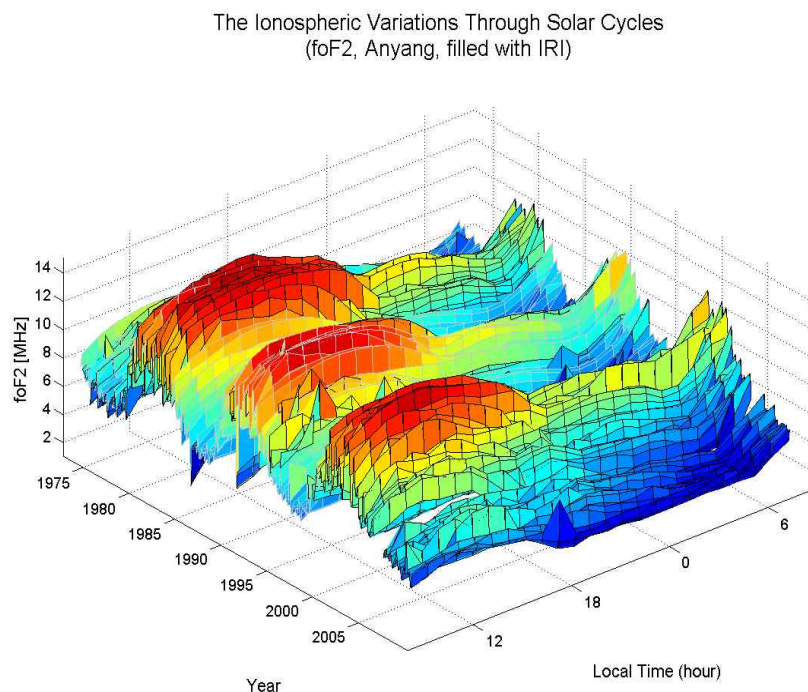


[그림 2] foF2 관측자료(1973~2008, 안양)

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 개략적

이지만 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.[2]

[그림 5]의 그래프는 1973년에서 2008년까지 안양에서 관측된 foF2(F2층 임계주파수)를 표시한 것으로 월 별 관측자료의 시간대별 중앙값을 산출하여 도식화한 것이다. 여기에서 산술 평균을 사용하지 않고 중앙값을 사용한 이유는 관측시스템의 오동작 또는 갑작스런 관측환경 변화로 발생한 특이 관측 자료가 평균값 전체에 영향을 미치는 정도를 줄이기 위함이다. 본 그래프를 통해 관측자료에 공백이 있는 기간과 시간대를 정확히 확인할 수 있다. 장기간 동안 전 시간대에 걸쳐 관측자료가 없는 부분은 관측 시스템의 장애가 발생하였거나 신규 장비로의 교체 작업기 동안의 관측 공백이 원인이다. 또, 특정 시간동안만 관측자료가 없는 부분, 특히 1980년대 이전의 밤 시간 관측자료가 없는 부분은 관측기 작동을 고의로 중단한 것으로 보이는데, 이는 관측기 동작으로 인한 전파간섭 문제 때문인 것으로 사료된다.

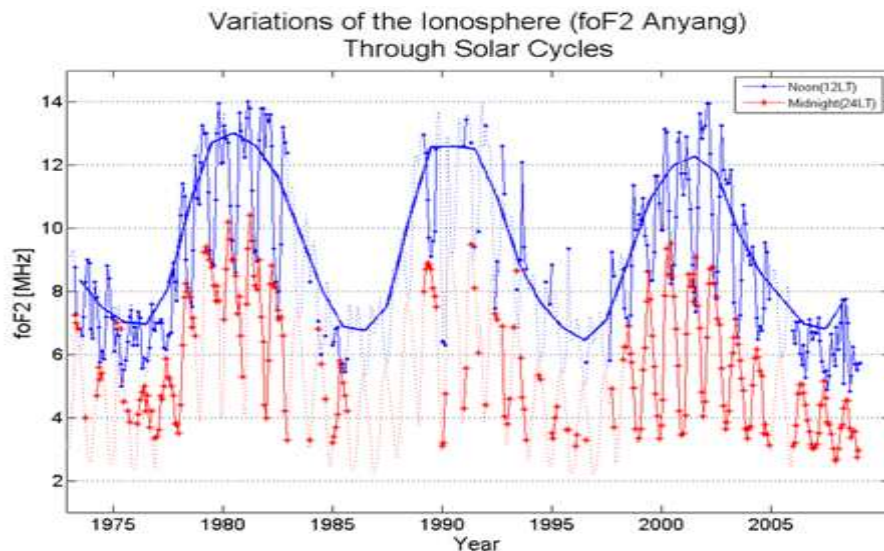


[그림 3] 관측 공백기에 IRI 예측값을 대입한 foF2 그래프

[그림 6]은 [그림 2]의 그래프를 3차원으로 표시한 것으로써 [그림 2]와 다른 점은 관측자료 공백기 부분에 IRI의 예측값을 대입하여 표시하였다는 것이다. IRI 모델에 안양의 위경도 좌표와 시간을 입력하면 안양 관측소 현 위치에서의 각 시간별 IRI 예측값을 구할 수 있다. 사용된 IRI 코드는 IRI-2007 모델로써 포트란으로 제작되었으며 본 연구에서는 Linux 환경에서 GCC 컴파일러를 사용하여 컴파일 하고 Bash shell script를 이용하여 입출력 파라미터를 제어 하였다.

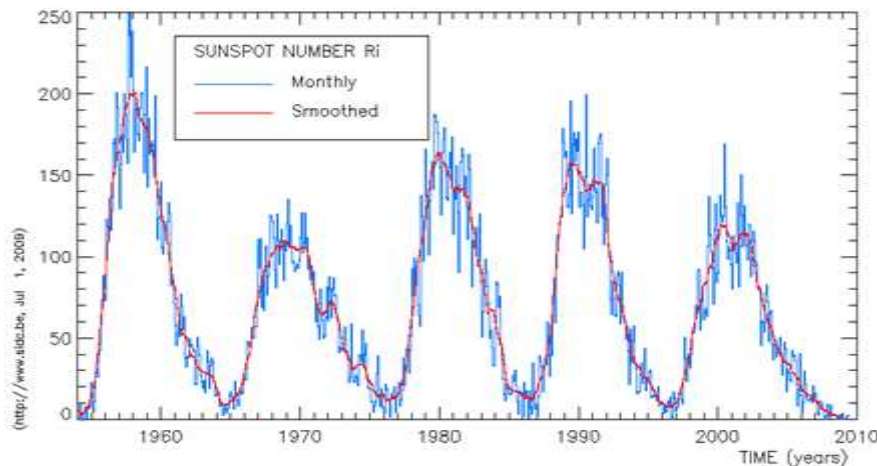
IRI 모델링에서 지자기 폭풍시의 전리층 파라미터 변화를 예측하기 위한 추가 옵션 사항인 foF2 STORM 모델(Storm-Time Empirical ionospheric Correction Model)을 구동시키기 위해 AP index를 입력파라미터로 사용하였고, 모델링 기반 관측자료 데이터 세트로는 URSI coefficient를 사용하였다. IRI는 URSI coefficient와 CCIR coefficient의 두 가지의 모델링 기반 관측자료 데이터 세트를 제공하는데 URSI coefficient는 해양에서 CCIR coefficient는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

본 그래프를 통해 태양활동 주기에 따른 장기간의 foF2 변화 현상을 확인할 수 있는데, 약 11년 주기로 나타나는 태양활동 극대기와 태양활동 극소기를 극명하게 구분하여 확인할 수 있다.



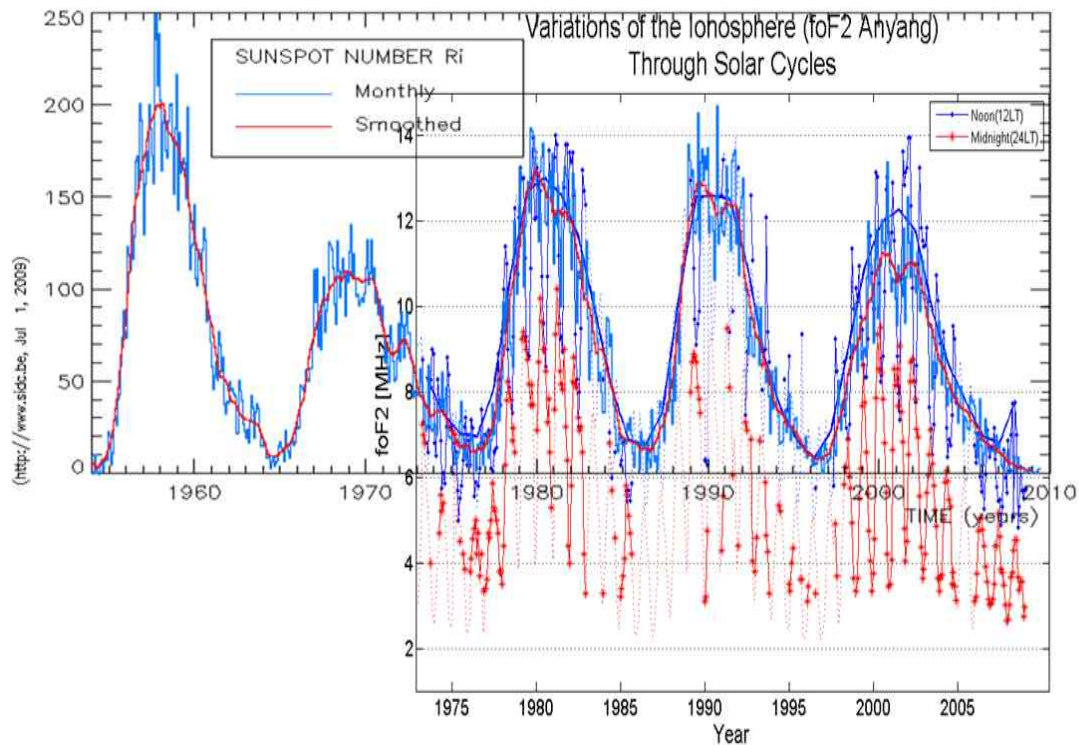
[그림 4] 정오와 자정시간 대의 foF2 그래프
(1973~2008, 안양)

[그림 4]는 [그림 3]에서 정오시간의 자료(청색)와 자정시간(적색)의 자료만을 모아 2차원으로 표현한 것으로 청색 굵은 실선은 정오시간 foF2의 월평균 중간값을 보간법을 사용하여 평탄화한 그래프이다. 가는 점선으로 표시된 부분은 관측이 중단되어 데이터가 존재하지 않는 부분으로 IRI의 예측값을 대신 사용하여 표시한 것을 표현한다. 본 그래프에는 약 11년 주기의 태양활동 극대기 주기에 따른 foF2의 long-term 변화가 잘 나타나 있다. 앞서 설명하였듯이 세 개의 피크는 태양활동 극대기를 정확히 나타내는데 각각 태양활동 주기번호 21~23을 의미한다.



[그림 5] 태양 흑점지수 변화 그래프(SIDC)

[그림 5]는 태양 흑점지수 변화 그래프로 벨기에의 SIDC(Solar Influences Data Analysis Center) 자료이다. SIDC는 벨기에 왕립 관측소(Royal Observatory)의 산하 기관으로 1750년부터 관측된 태양 흑점지수를 보관하고 있으며 태양 흑점지수의 WDC(World Data Center)를 운용 중이다. 여기에서 청색 선은 월평균 흑점지수 그래프이며 적색선은 보간법을 사용하여 흑점지수를 평탄화한 그래프이다. 안양의 foF2 관측자료와 태양활동 주기와 연관성을 좀 더 정확히 파악하기 위하여 [그림 4]의 정오 시간의 foF2 그래프와 [그림 5]의 태양 흑점지수 그래프를 서로 포개어 [그림 6]에서 비교하였다.



[그림 6] 안양 foF2 자료와 태양 흑점지수와의 비교

비교결과 태양활동 주기번호 21, 22 그리고 23에 대해 그 진폭과 주기가 모두 일치함을 확인할 수 있다. 태양활동 주기의 극대기와 극소기간 태양으로부터 방출되는 태양 에너지의 양의 차이는 0.1% 이하라고 알려져 있다.[2] 그러나 이와같은 작은 차이가 전리층 밀도에는 큰 영향을 미치고 태양활동 지수의 예측에 따라 충분히 모델링이 가능함을 보여준다.

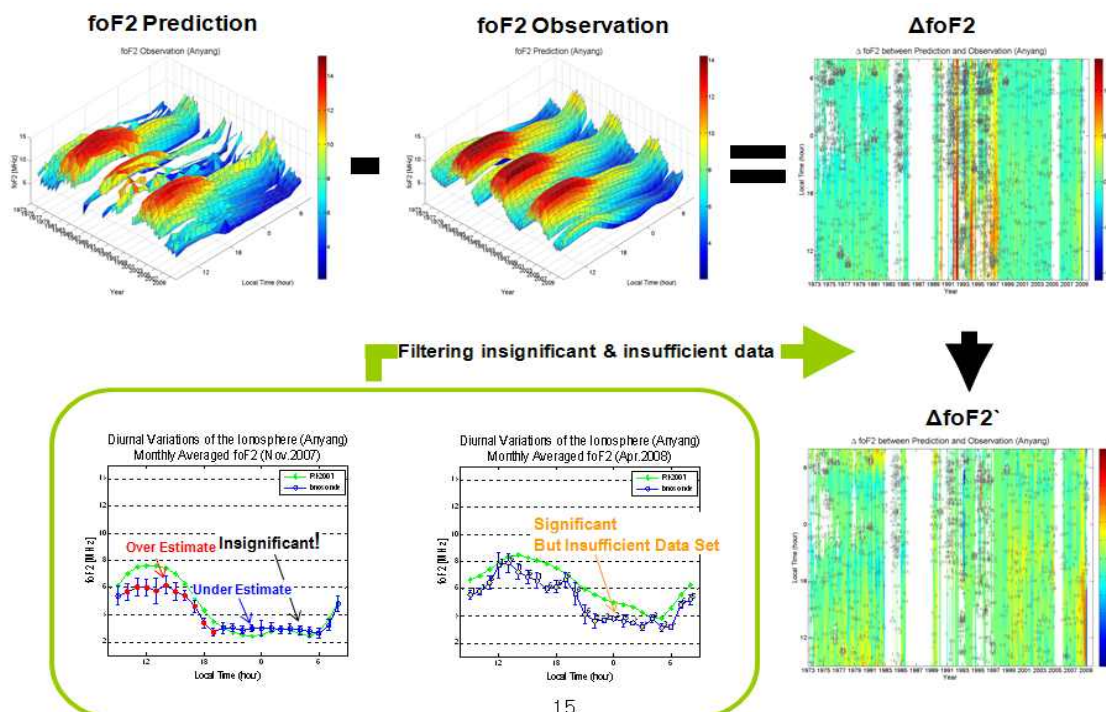
나. IRI-2007 모델 결과와의 비교분석

안양 foF2 관측자료와 IRI-2007 모델 결과와의 비교 분석을 위해 2008년 연구에서 제안하였던 방법을 사용하였다. 사용한 방법을 간단히 설명하면 다음과 같다.

- ① 관측값과 IRI 예측값의 편차($\Delta foF2$)를 구한다.

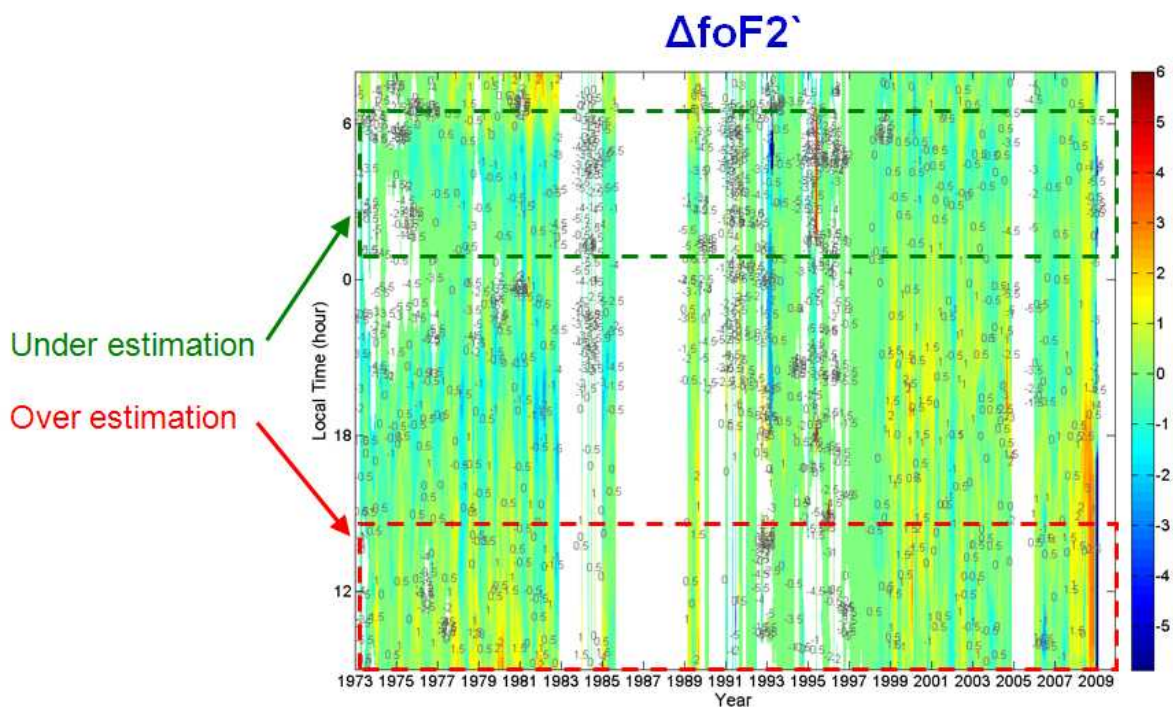
$$\Delta foF2 = foF2_{IRI} - foF2_{OBS} \quad (\text{식 1})$$

- ② 구한 편차(Δf_oF_2) 중 월 관측자료의 수가 충분하여 이상값에 의한 평균값 왜곡이 없는 자료만을 선택하고 나머지는 비교 대상에서 제외한다.
- 관측 자료의 수가 너무 적을 경우에는 몇몇 이상 관측 자료에 의해 월평균 일변화 값이 왜곡될 수 있기 때문에 해당월의 기록된 관측 자료가 15 이하인 경우 비교대상에서 제외하였다.
- ③ 구한 편차(Δf_oF_2) 중 t-검증을 통해 관측값과 IRI 예측값간에 유의한 차이가 있는 자료만을 선택하고 나머지는 비교 대상에서 제외한다.
- 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 30이하)의 차이검정에서는 t-검증법을 사용하는 것이 보다 정확한 결과를 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다.
- ④ 앞의 과정을 통해 구한 $\Delta f_oF_2'$ 에서 시간대별 또는 태양활동 주기에 따른 일관된 패턴을 분석한다.



[그림 7] 관측자료와 모델링 결과의 비교에 사용한 방법

[그림 10]은 관측자료와 모델링 결과의 비교에 사용한 방법을 도식화한 것이다. 1973년에서 2008년까지 foF2 관측 자료와 IRI 모델링 결과에 대해 각각 월평균(중앙값) 일변화를 구하고 그 편차값 ΔfoF2 를 구한 후, 두 평균의 차이가 통계적으로 유의하지 않거나 샘플의 수가 너무 적은 경우의 결과는 제외한 차이값 $\Delta\text{foF2}'$ 을 구하는 과정 보였다. 앞서 태양활동 주기에 따른 전리층 변화현상 분석시에는 관측자료 공백기 동안 IRI 모델의 예측값을 대입하여 태양흑점 지수와 비교하였었고, 이번에는 순수한 관측 자료만을 가지고 IRI 모델의 예측값과 비교하였다.



[그림 8] 안양 foF2 관측자료의 IRI 모델 예측값과의 비교

[그림 8]은 앞서 설명한 일련의 방법을 통해 구한 $\Delta\text{foF2}'$ 의 그래프이다. 본 그래프에서 적색 계열은 IRI 모델의 예측값이 관측값에 비해 높은 부분을 나타내고, 청색 계열은 반대로 IRI 모델의 예측값이 관측값에 비해 낮은 부분을 나타낸다.

IRI 예측값과 관측값간의 차이에 있어 태양활동 주기에 따른 패턴은 찾을 수가 없는데 이는 IRI 모델이 태양활동 주기 변화에 따른 예측면에서 정확함을 의미한다.

그러나, 일일 변화에 따른 패턴은 쉽게 찾을 수 있는데, 낮 시간(적색 점선 박스안의 데이터)에는 IRI 예측값이 관측값에 비해 약간 높은 경향을 나타내고, 새벽시간(녹색 점선 박스안의 데이터)에는 IRI 예측값이 관측값에 비해 약간 낮은 경향을 나타냄을 볼 수 있다.

1973년부터 2008년까지의 foF2 관측값과 IRI 모델 예측값 비교 그래프를 부록 1에 첨부하였다.

4. 결 론

앞서 1973년부터 2008년까지의 관측자료와 IRI 모델의 예측값을 비교하여 그 편차에 있어 일일변화에 따른 패턴을 찾을 수 있었다. 37년간이라는 오랜 기간 동안의 관측 데이터에서 일관적으로 위와 같은 경향성을 보이는 것은 IRI 모델의 개선이라는 관점에서 매우 유리한 결과로서, 향후 약간의 수정을 거친다면 IRI 모델이 우리 한반도의 전리층 상태를 예보하는데 충분히 사용될 수 있음을 의미한다.

따라서, 국내 단파통신 최적 주파수 예보 서비스 등에 IRI 모델을 사용하여 예측 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 태양흑점 폭발과 전리층 및 지자기 교란과의 상관관계 분석

1. 요약

1998년 이후 현재까지 발생한 X등급 이상의 태양흑점 폭발(플레어)의 사례에 대해 우리나라 전리층 및 지자기 관측값을 비교하고 태양흑점 폭발과 전리층 및 지자기 교란과의 상관관계를 분석하였다. 또한 태양흑점 폭발시 IRI 모델의 예측 정확도 분석을 위하여 태양흑점 폭발 시기의 전리층 관측 자료와 IRI 모델의 예측값을 비교·분석 하였다.

분석결과 태양흑점 폭발에 의한 극자외선과 엑스레이, 그리고 고에너지 하전입자의 영향으로 태양흑점 폭발 후 수 시간내에 전리층과 지자기의 교란현상이 동시에 발생하는 것을 확인하였다. 또한 태양흑점 폭발 후 약 2일 내지 3일 후 지구에 도달하는 태양풍의 영향에 의해 지자기 폭풍현상이 발생하고 이에 따른 2차 전리층 교란현상이 발생함을 확인하였다.

태양흑점 폭발시기에 IRI 모델은 Ap 인덱스를 입력 파라미터로 입력한 경우에도 실제 전리층 관측자료와는 큰 차이를 보였다. IRI 모델은 태양흑점 폭발시 수 시간내에 나타나는 극자외선과 엑스레이에 의한 전리층 교란 현상 뿐만 아니라 수 일후 태양풍의 지구도달에 의해 나타나는 지자기 폭풍에 의한 전리층 교란을 예측하는 데에도 사용하기 부적합함을 확인할 수 있었다.

2. 서론

태양흑점 폭발현상이 지구권의 전리층과 자기장에 영향을 끼치는 것은 잘 알려져 있는 사실이다. 또한 많은 연구에서 태양흑점 폭발시기의 여러 전리층 및 지자기 관측값을 분석하여 둘 간의 영향을 분석하고자 노력하였다. 본 연구에서는 전파연구소의 관측자료를 활용하여 태양흑점 폭발과 전리층 교란, 지자기 폭풍간의 상관관계를 살펴보고 IRI 모델이 태양흑점 폭발이 발생했을 경우에 전리층 변화를 어느 정도까지 예측할 수 있는지 확인하는 것을 목표로 하였다.

3. 본 론

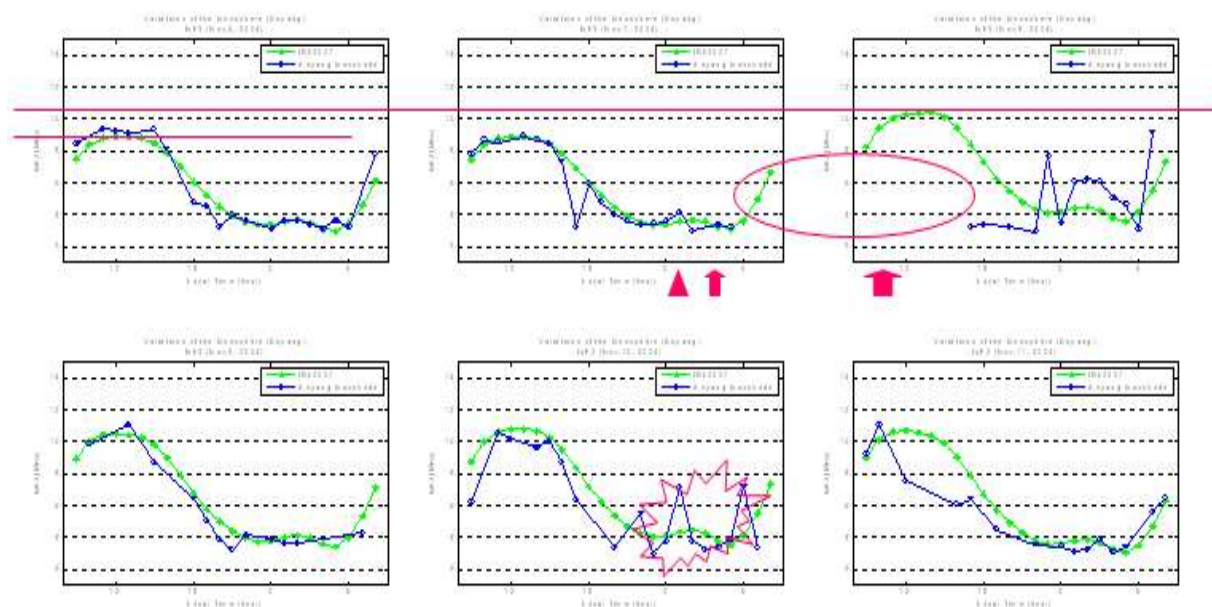
본 연구에서는 태양흑점 폭발과 전리층 교란, 그리고 지자기 폭풍간의 시간적 상관관계를 분석하고자 1998년 이후 현재까지 발생한 X등급 이상의 태양흑점 폭발 26건의 사례를 조사하였다.

[표 1]은 미국 SWPC 홈페이지에서 발취한 1998년 이후 X등급 이상 태양흑점 폭발의 관측자료이다. 본 관측자료 테이블의 왼쪽부터 차례로 설명하면 맨 왼쪽 PARTICLE EVENT의 Start, Maximum 그리고 Proton Flux는 각각 GOES 위성에서 관측된 프로톤 이벤트의 시작 시간, 최대 프로톤 이벤트 관측시간, 그리고 그때의 관측치를 의미한다. 그 다음 ASSOCIATED와 FLARE AND ACTIVE REGION은 태양흑점 폭발(플레어)의 발생시간과 강도(X레이 관측 강도/광학 관측 강도), 태양표면에서의 발생 위치와 흑점 번호를 의미한다.

[표 1] 1998년 이후 X등급 이상의 태양흑점 폭발 사례

Solar Proton Events ('98년 이후 X등급 이상)							
	PARTICLE EVENT			ASSOCIATED	FLARE AND ACTIVE REGION		
	Start (Day/UT)	Maximum	Proton Flux (pfu @ >10 MeV)	CME	Flare Max. (Loc./ Day UT)	Importance (Xray/Opt.)	Location (SWO) Region#
2006							
1	Dec 06/1555	Dec 07/1930	1980	Halo	Dec 05/1035	X9/2N	S07E79 930
2	Dec 13/0310	Dec 13/0925	698	Halo/13 0254	Dec 13/0240	X3/4B	S05W23 930
2005							
	Jan 16/0210	Jan 17/1750	5040	Halo/15 2306	Jan 15/2302	X2	N15W05 720
	Sep 08/0215	Sep 11/0425	1880	E/07 1723	Sep 07/1740	X17/3B	S06E89 808
2004							
3	Nov 07/1910	Nov 08/0115	495	Halo/07 1706	Nov 07/1606	X2	N09W17 696
2003							
	May 28/2335	May 29/1530	121	Halo/28 0050	May 28/0027	X3/2B	S07W17 365
	Oct 26/1825	Oct 26/2235	466	Halo/26 1754	Oct 26/1819	X1/1N	N02W38 484
4	Oct 28/1215	Oct 29/0615	29,500	Halo/28 1054	Oct 28/1110	X17/4B	S16E08 486
5	Nov 04/2225	Nov 05/0600	353	Halo/04 1954	Nov 04/1929	X28/3B	S19W83 486
2002							
6	Apr 21/0225	Apr 21/2320	2,520	W/21 0127	Apr 21/0151	X1/1F	S14W84 9906
	Jul 22/0655	Jul 23/1025	28	Halo/20 2042	Jul 20/2130	X3	SE limb 39
7	Aug 24/0140	Aug 24/0835	317	W/24 0127	Aug 24/0112	X3/1F	S08W90 69
2001							
8	Apr 02/2340	Apr 03/0745	1,110	NW/02 ~2200	Apr 02/2151	X20	N18W82 9393
	Apr 10/0850	Apr 11/2055	355	Halo/10 0530	Apr 10/0526	X2/3B	S23W09 9415
9	Apr 15/1410	Apr 15/1920	951	W/15 1430	Apr 15/1350	X14/2B	S20W85 9415
	Sep 24/1215	Sep 25/2235	12,900	Halo/24 1030	Sep 24/1038	X2/2B	S16E23 9632
	Oct 19/2225	Oct 19/2235	11	Halo/19 1650	Oct 19/1630	X1/2B	N15W29 9661
	Oct 22/1910	Oct 22/2130	24	SE/22 1826	Oct 22/1759	X1/2B	S18E16 9672
	Nov 04/1705	Nov 06/0215	31,700	Halo/ 04 1635	Nov 04/1620	X1/3B	N06W18 9684
	Dec 29/0510	Dec 29/0815	76	E/28 2006	Dec 28/2045	X3	S26E90 9767
2000							
	Jun 07/1335	Jun 08/0940	84	Halo/06 1554	Jun 06/1525	X2/3B	N20E18 9026
10	Jul 14/1045	Jul 15/1230	24,000	Halo/14 1054	Jul 14/1024	X5/3B	N22W07 9077
	Nov 24/1520	Nov 26/2030	940	Halo/24 0530	Nov 24/0502	X2/3B	N20W05 9236
1998							
	May 02/1420	May 02/1650	150	Halo/02 1406	May 02/1342	X1/3B	S15W15
	May 06/0845	May 06/0945	210	W/06 0829	May 06/0809	X2/1N	S11W65
	Aug 24/2355	Aug 26/1055	670	NA	Aug 24/2212	X1/3B	N30E07 8307

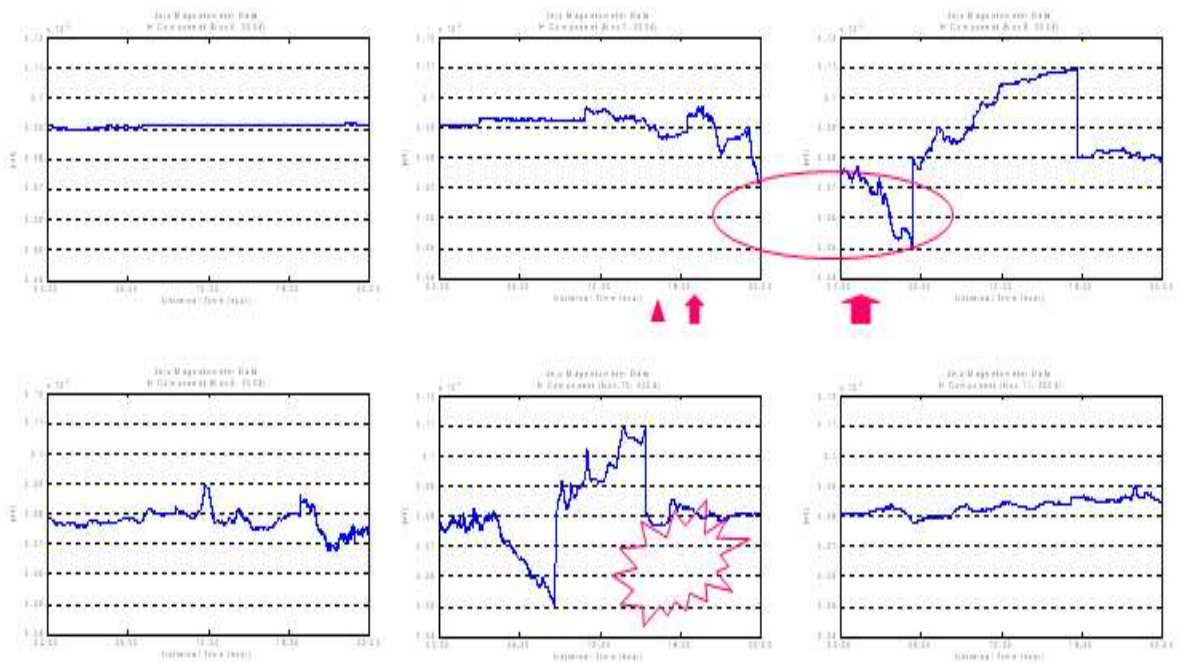
총 26건의 태양흑점 폭발 건수 중 비교적 큰 규모의 10건의 사례에 대해 전파연구소가 보유하고 있는 전리층 및 지자기 관측자료와 비교하였다. 또한 IRI 모델의 예측값과도 비교하여 태양흑점 폭발시기의 IRI 모델의 예측 정확도를 알아보았다.



[그림 9] 태양흑점 폭발시 전리층 관측값과 IRI 모델 예측값의 비교 (사례 3)

[그림 9]는 26건의 태양흑점 폭발 사례 리스트 중 3번 사례인 2004년 11월에 발생한 X2급 태양흑점 폭발 시기의 전리층 관측자료와 그 때의 IRI 모델 예측값을 나타낸다. 그림에서 청색선은 안양에서 관측된 foF2 데이터이고 녹색선은 안양 전리층 관측소의 위경도 좌표와 Ap 인덱스를 입력값으로 사용하여 도출한 IRI 모델 예측값이다.

[표 1]의 3번 사례를 보면, 세계표준시간(UT)으로 2004년 11월 7일 16시 06분에 X2급 플레어가 발생한 후 약 2시간 후 GOES 위성에서 프로톤 이벤트의 관측이 시작되었고 9시간이 경과된 8일 01시 15분에 프로톤 플릭스가 최대치로 관측되었다.



[그림 10] 태양흑점 폭발시 지자기 폭풍과 전리층 교란현상과의 비교 (사례 3)

다시 [그림 9]로 돌아가서 설명하면, 적색 삼각형(▲)은 플레어가 발생한 시간을 나타내고 작은 적색 화살표(↑)와 큰 적색 화살표(↑)는 각각 GOES 위성에서 프로톤 플럭스 이벤트 관측이 시작된 시간과 최대 프로톤 값이 관측된 시간을 의미한다. X레이 또는 광학 관측을 통해 태양흑점 폭발, 즉 플레어 발생을 확인한 시간(▲)에 전리층 foF2의 값에 약간의 bias가 생기는 것을 확인할 수 있는데, 이는 플레어 발생에 따른 X레이 또는 극자외선의 증가에 따라 전리층 밀도가 갑자기 증가한 부분인 것으로 보인다.

또, 그림상의 적색 타원(○) 부근을 살펴보면 foF2 관측값이 갑자기 사라진 부분을 찾을 수 있다. 이 현상의 시작 시간은 GOES 위성에서 프로톤 이벤트를 감지하기 시작한 시간(↑)과 일치하는데, 이것이 바로 태양흑점 폭발 후 2시간 후 GOES 위성의 프로톤 관측기에 감지된 고에너지 입자에 의해 전리층 교란이 발생한 것이라고 할 수 있다. 또한, GOES 위성에서 최대 프로톤 플럭스를 관측한 시간(↑)에 전리층 관측자료가 없고 그 뒷 부분에도 foF2 관측자료가 기존의 일일변화 커브나 IRI 모델의 예측값(녹색 선)과 비교하여 많은 차이를 보이는데 이것은 태양폭발에 의해 발생한 고에너지 입자가 본격적으로 전리층에 영향을 미치기 때문인 것으로 보인다.

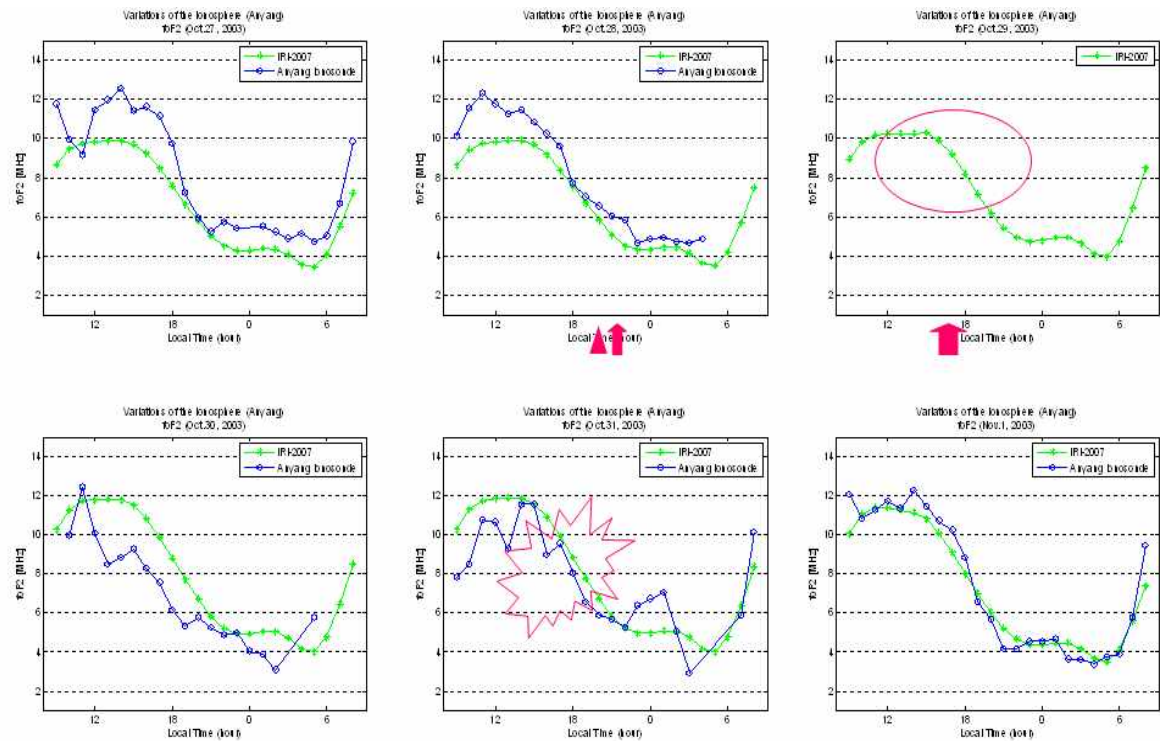
별표(☆) 부근을 살펴보면 foF2 관측값이 교란된 것을 확인할 수 있는데

이것은 태양흑점 폭발 후 약 3일 후 태양풍 자기장(IMF)과 같이 지구권에 도달하는 고에너지 입자에 의해 지자기 폭풍이 발생하고 그 영향으로 전리층 교란이 발생한 때문인 것으로 볼 수 있는데 이는 다음 [그림 10]을 통해 확인할 수 있다.

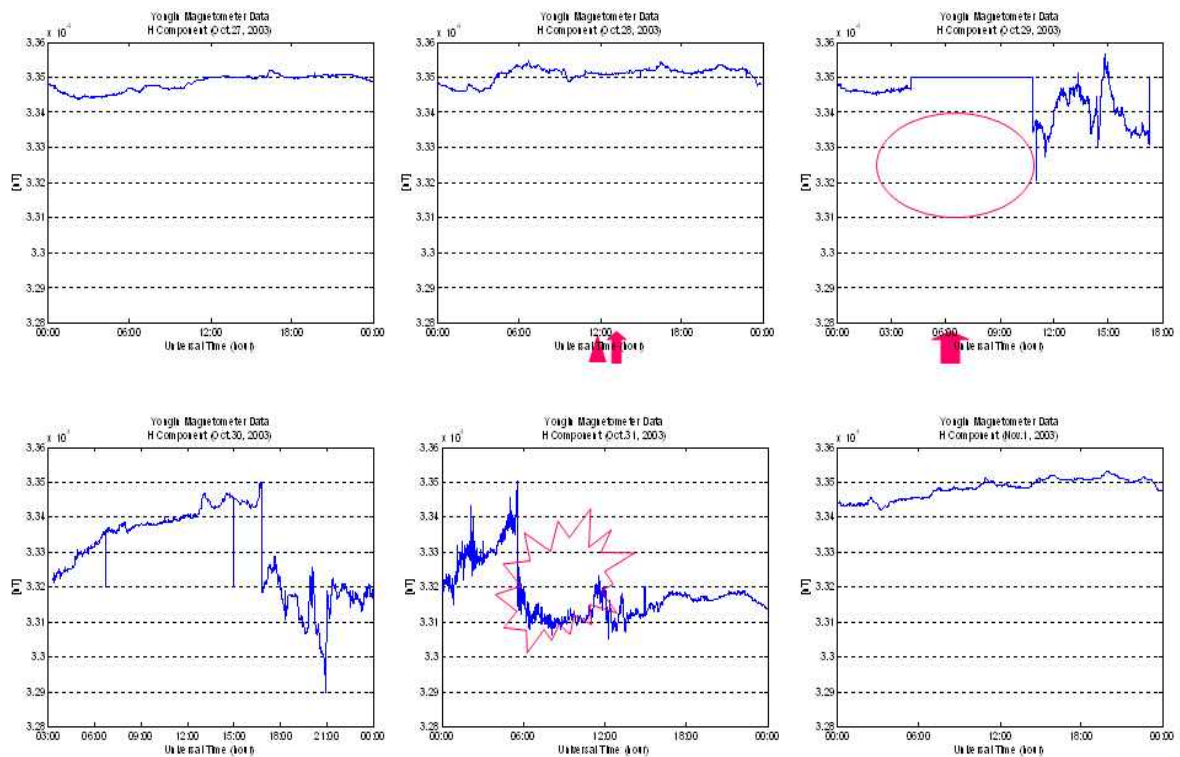
[그림 10]은 같은 시각 제주에서 관측한 지자기 관측자료(H-component) 그래프이다. 이 그래프에서도 적색 삼각형(▲)은 플레어가 발생한 시간을 나타내고 작은 적색 화살표(↑)와 큰 적색 화살표(↑)는 각각 GOES 위성에서 프로톤 플럭스 이벤트 관측이 시작된 시간과 최대 프로톤 값이 관측된 시간을 의미한다. 앞의 [그림 9]의 전리층 교란과 비교하여 같은 시각에 지자기 관측값이 크게 변화됨을 확인할 수 있다. 첫 번째 전리층 교란이 발생하였을 때도 수 시간 전에 지자기 데이터에 이상 현상이 먼저 감지되었고, 두 번째 역시 지자기 폭풍이 시간적으로 먼저 발생하고 전리층 교란이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

[그림 9]에서 foF2에 대한 관측값과 IRI 모델의 예측값을 비교하여 보면 첫 번째 전리층 교란이 발생할 때 IRI 모델의 foF2 예측값은 전리층 교란이 없을 때에 비해 약간 높은 값으로 예측하는 것을 제외하고는 전리층 교란 자체를 설명하지는 못 하는 것으로 확인되었다. 이것은 예전 사례를 가지고 그때의 Ap 인덱스를 입력 파라미터로 입력한 경우에도 실제 전리층 관측자료와는 큰 차이를 보인 것으로써, IRI 모델은 태양흑점 폭발시 수 시간내에 나타나는 극자외선과 엑스레이에 의한 전리층 교란현상 뿐만 아니라 수 일 후 태양풍의 지구도달에 의해 나타나는 지자기 폭풍에 의한 전리층 교란을 예측하는 데에도 사용하기 부적합함을 알 수 있다.

[그림 11]과 [그림 12]는 각각 태양흑점 폭발 사례 리스트 중 5번 사례인 2003년 11월에 발생한 태양흑점 폭발 시기의 안양 전리층 관측자료와 용인 지자기 관측자료이다.



[그림 11] 태양흑점 폭발시 전리층 관측값과 IRI 모델 예측값의 비교 (사례 5)



[그림 12] 태양흑점 폭발시 지자기 폭풍과 전리층 교란현상과의 비교 (사례5)

이와 같이 1998년 이후 발생한 X등급 이상의 태양흑점 폭발 사례 26건 중에 비교적 규모가 큰 10건에 대해 전리층 및 지자기 관측자료를 분석하였다. 그 결과 태양흑점 폭발의 강도와 지구권에 도달할 때 태양풍 자기장(IMF)의 방향등에 따라 그 규모가 바뀌기는 하지만 지자기와 전리층 교란간의 시간차이 면에서는 대부분 위에서 설명한 3번째 사례 비슷한 결과를 얻었다. 비교 결과물은 부록 2에 첨부하였다.

4. 결 론

본 연구를 통해 도출된 태양흑점 폭발이 일어난 후 지상의 전리층과 지자기권에 미치는 영향을 시간대 별로 정리하면 다음과 같다.

- ① 태양흑점 폭발(플레어 발생)(▲), 위성관측(↑)
- ② 극자외선의 증가에 따른 즉각적인 전리층 반응(▲)
- ③ 수 시간 후, 지구도달 고에너지 입자에 의한 지자기, 전리층 교란(○)
- ④ 수 일 후, 지구도달 태양풍 자기장(IMF)에 의한 지자기 폭풍(☆)
- ⑤ 지자기 폭풍에 의한 전리층 교란(☆)

위의 과정은 태양흑점 폭발의 강도와 지구도달 태양풍 자기장(IMF)의 방향(일반적으로 남쪽 방향일 경우 지자기 폭풍의 강도가 커짐)에 따라 그 규모 변에서는 각 사례별로 상이하지만 전리층과 지자기 교란간의 시간 차이에는 거의 일정한 패턴을 보였다. 즉, 태양흑점 폭발이 있고 수 시간 경과 후 전리층, 지자기에 교란이 발생하며 이 후 수 일 경과 후 지자기 폭풍이 발생하며 이에 전리층 교란이 동반되어 나타났다. 이를 통해 지자기 관측자료의 모니터링을 통해 전리층 교란, 즉 HF 통신과 지구-위성간 통신에 장애가 발생함을 미리 예측할 수 있음을 알 수 있다.

또, 태양흑점 폭발시기에 IRI 모델은 Ap 인덱스를 입력 파라미터로 입력한 경우에도 실제 전리층 관측자료와는 큰 차이를 보였다. Ap 인덱스는 관측을 통해 얻어지는 값인데 지자기 폭풍의 영향을 보정하기 위해 Ap 인덱스를 입력 파라미터로 사용했음에도 모델결과가 관측값과 큰 차이를 보인다는 것은 IRI 모델이 태양흑점 폭발이 발생할 때 전리층을 예보하기 위한 목적으로 사용하기에는 부적합함을 의미한다.

제3절 전리층 및 지자기 관측자료 분석 프로그램 제작

전리층 및 지자기 관측자료를 분석 연구에 필요한 데이터 포맷 변환 프로그램과 분석 프로그램 등을 자체 개발하였다. 전파연구소가 보유한 장기간 관측자료의 일괄 분석과 장기간의 IRI 모델링 결과를 자동으로 취득할 수 있도록 하여 데이터 분석 연구에 소요되는 시간을 크게 단축할 수 있었다. 개발한 프로그램의 종류와 간단한 설명은 다음과 같다.

1. 전리층 자료 분석 프로그램

- 1) 목적 : 여러 포맷의 전리층 관측자료와 IRI 모델 결과를 비교 분석할 수 있도록 1일, 1개월, 그리고 1년 단위 그래프 생성
- 2) 특징 : Matlab 언어를 이용, 전파연구소 관측자료 데이터베이스 또는 SAO Explorer(메사추세츠 로웰대학 대기연구소의 관측자료 분석 프로그램)에서 parsing된 전리층 관측자료 파일과 IRI 모델 결과 파일을 반복적으로 자동 호출하여 그래프로 표출하고 그 결과를 jpg파일로 자동 저장
- 3) 프로그램 코드 :
 - ① compareF2DB.m ← 전파연구소 관측자료 데이터베이스 자료 호출용
 - ② compareF2ParameterMatrix.m ← 관측자료와 IRI모델 비교 그래프 생성
 - ③ plotSolarCycles.m ← 태양활동 주기에 따른 특성 그래프 생성

2. IRI 모델 인터페이스 프로그램

- 1) 목적 : 포트란으로 만들어진 IRI 모델의 입력과 출력을 자동으로 처리하여 오랜 기간동안의 모델링 결과를 취득
- 2) 특징 : Linux 환경에서 Fortran언어와 Bash Shell Script를 이용하여 매 시간 단위 IRI 모델 입출력을 원하는 기간동안 반복적으로 자동으로 처리하도록 프로그램 제작
- 3) 프로그램 코드 :
 - ① irifof2.for ← IRI 모델링 메인 프로그램 코드
 - ② script4irifof2_ut.sh ← IRI 모델 입출력 자동처리를 위한 shall script 코드

3. 지자기 자료포맷 변환 프로그램

- 1) 목적 : Binary 형태의 지자기 원시 데이터를 ASCII 형태의 파일로 변환
- 2) 특징 : Linux 환경에서 C언어와 Bash Shell Script를 이용하여 하위 폴더의 관측자료까지 반복적으로 자동 변환하도록 프로그램 제작
- 3) 프로그램 코드 :
 - ① viewfg_rrl04.c ← fluxgate magnetometer 원시 데이터 포맷 변환
 - ② viewpr_rrl04.c ← proton magnetometer 원시 데이터 포맷 변환
 - ③ bin2asc04.sh ← 하위폴더 자료까지 반복적으로 호출하여 자동 변환

4. 지자기 자료 분석 프로그램

- 1) 목적 : 지자기의 일일변화를 분석할 수 있도록 1일 단위 그래프 생성
- 2) 특징 : Matlab 언어를 이용하여 하위 폴더의 모든 데이터 파일들을 반복적으로 자동 호출하여 그래프로 표출하고 그 결과를 jpg파일로 자동 저장
- 3) 프로그램 코드 : PlotMagnetometerData04.m

개발한 프로그램의 소스코드는 부록 3에 첨부하였다.

제3장 관측인프라 확충

제1절 전리층 전자밀도 관측시설 설치

1. 배 경

전파연구소는 안양과 제주에 전리층 관측기(Ionosonde)를 설치·운영하여 태양폭발이 전리층에 미치는 영향을 분석하고 단파대역 전파예보에 활용하고 있다. 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.

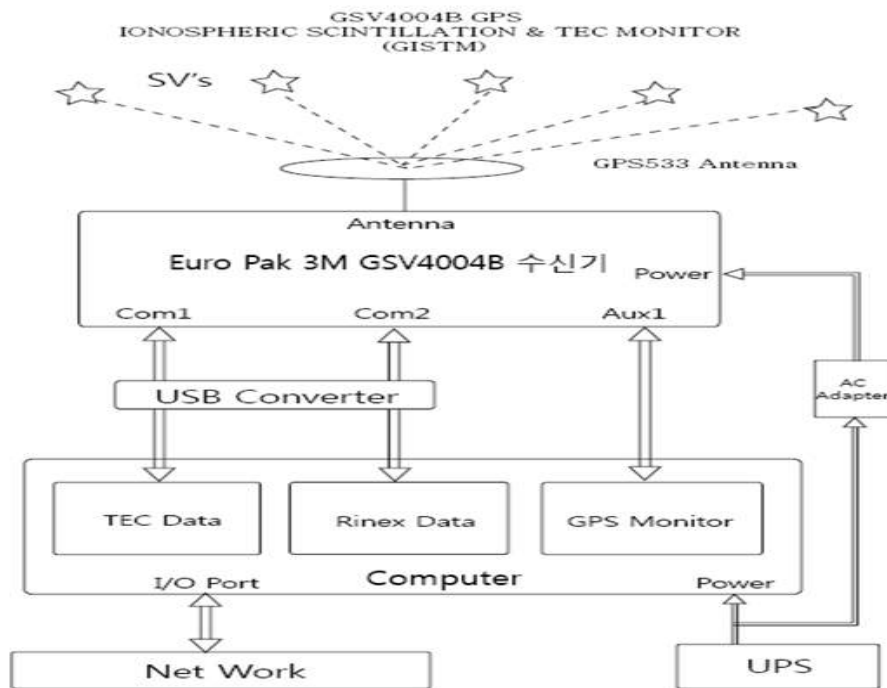
그러나 Ionosonde 관측 특성상 전자밀도의 신뢰성 있는 관측고도 범위가 F2층 이하(300km)로 한정되어 전리층 고층부에 대한 정밀한 전자밀도 관측에는 한계가 있다. 전리층 상층부에 대한 정밀한 전자밀도 관측은 HF 통신 환경을 감시하고 예측하는데는 필수적이지 않으나 지구-위성간 통신에 미치는 전리층 전자밀도 변화를 감시하고 예측하는데 매우 중요한 부분이다.

2. 사업 내용

본 사업은 제주와 이천에 총 2기의 전리층 전자밀도 관측시스템을 설치하여 Ionosonde 관측과 함께 한반도 중남부의 전리층 전자밀도 분포 변화 감시 체계를 구축하는 것을 목표로 하였다.

전리층 전자밀도 관측시스템은 다수의 GPS 위성으로부터 신호를 수신하여 전리층 전자밀도와 신틸레이션(위성신호 페이딩 현상)을 실시간 측정하는 장비로서 지구-위성간 통신에 미치는 전리층 변화 현상 연구에 활용된다.

1) 시스템 구성도



[그림 13] 전리층 전자밀도 관측시스템 구성도

본 시스템의 주요 기능을 수신단부터 처리부까지 정리하면 다음과 같다.

- ① GPS위성으로부터 전리층을 통과하여 수신기에 도착한 신호 수신
- ② 수신된 신호로부터 TEC 계산
- ③ 계산된 TEC 저장 및 모니터
- ④ Raw data로부터 RINEX 데이터 변환 및 저장
- ⑤ GPS 동작 상태 모니터링
- ⑥ 해당 데이터 외부 송출
- ⑦ UPS로부터 전원 공급


2) 시스템 구성품

시스템을 구성하고 있는 장비들은 다음과 같다.




[그림 14] 전리층 전자밀도 관측시스템 구성품

[표 2] GPS 수신기

항목	제원	
모델번호	EuroPak-3M	
동작 전원	4.5v ~ 18VDC, 6W	
주요 특성	L1/L2 GPS + 4 L1 GEO 추적	
온도 특성	-40℃ ~ 85℃	

[표 3] GPS 안테나

항목	제원	
모델번호	GPS 533	
동작 전원	5V, 100mA	
주요 특성	L1/L2 Dual Frequency Active	
온도 특성	-40℃ ~ 85℃	

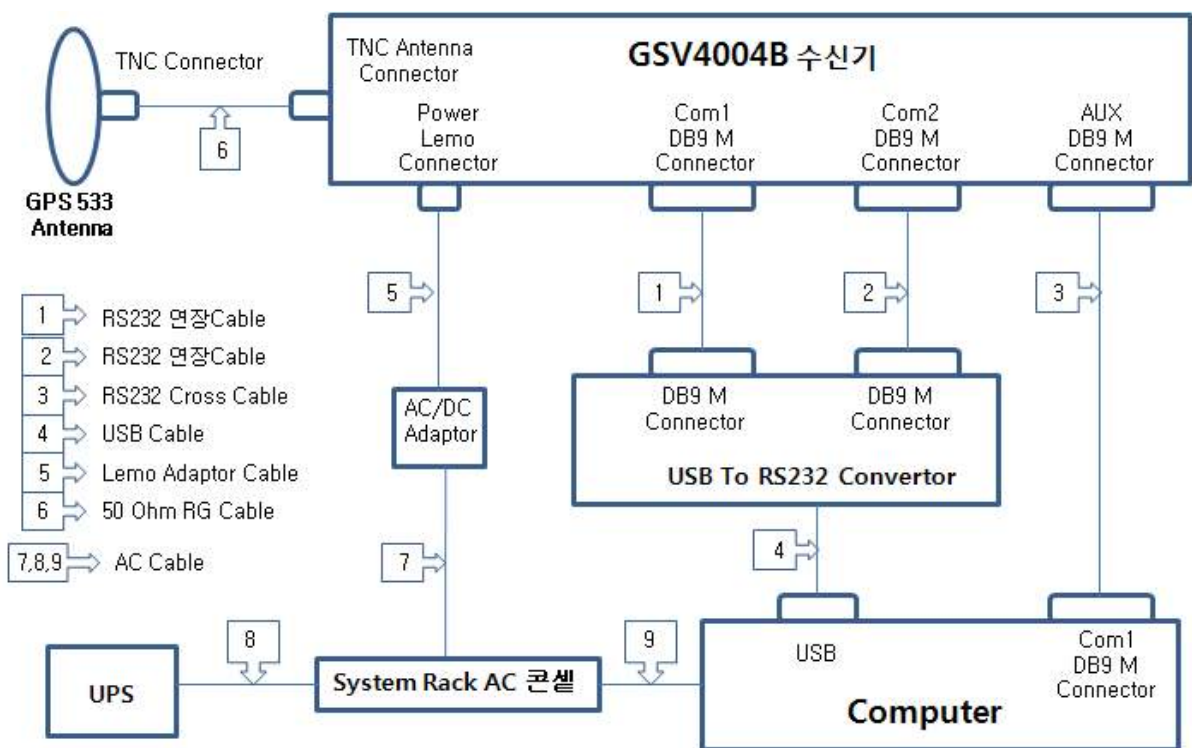
2-3) 안테나 케이블

주요 제원 : 임피던스 50Ω, 길이 30미터

2-4) 전원 어댑터

주요 제원 : PWC1812-760F, Input; AC 100~230V, Output; DC 14V

3) 시스템 결선도



[그림 15] 전리층 전자밀도 관측시스템 결선도

4) 시스템 계통도 및 시설 설치 현황

두 개 관측소에 동일한 기능의 시스템이 설치되어 있으며, 그 시스템의 계통도는 아래와 같다.

3-1) 이천 관측소



[그림 16] 이천 관측소 시스템 계통도



[그림 17] 이천 관측소 설치 현황

3-2) 제주 관측소



[그림 18] 제주 관측소 시스템 계통도



[그림 19] 제주 관측소 설치 현황

3. 운용 프로그램

1) 운용 프로그램 개요

[표 4] 운용 프로그램 개요

이름	On-Line Windows Program TEC	제조사	인성인터내쇼날(주)
실행파일	TEC.EXE		
주요 기능	<p>윈도우용 메인 프로그램</p> <p>특별한 조작없이 자동으로 로그 데이터를 파일에 저장함.</p> <p>설정된 주기로 데이터 파일을 자동으로 생성하는 기능이 있음.</p> <p>아래 실행 파일을 자동으로 일정한 주기로 수행하도록 하는 기능 있음.</p> <pre> graph TD A[초기 설정 수행 Com Port, Baud rate, 데이터 포 터, 관측소 지정, 저장주기 설정] --> B[P1-C1 DCB On-Line 획득] B --> C[파일 생성 및 데이터 저장] C --> D{저장주기 끝?} D -- NO --> C D -- YES --> E[RINEX 변환] D -- YES --> F[TEC 변환] E --> G[파일여름정리 및 저장] F --> G G --> B </pre>		
이름	On-Line DOS program SLOG	제조사	NovAtel
실행파일	Slog.exe		
주요 기능	<p>다양한 명령어 조합인 스크립트를 실행하는 기능</p> <p>SLG 확장자를 갖는 스크립트 파일을 인식하고 수행함.</p>		
이름	Off-Line DOS Utility PARSEISMR	제조사	GSV Silicon Valley
실행파일	Parseismr.exe		
주요 기능	Raw 데이터 파일을 텍스트 파일로 변환함.		
이름	On-Line Windows Program Convert4	제조사	NovAtel
실행파일	CONVERT4.EXE		
주요 기능	GPS의 Raw 데이터를 RINEX 파일로 변환함.		
이름	On-Line Windows Program GPSOLUTION4	제조사	NovAtel
실행파일	GPSOLUTION4.EXE		
주요 기능	GPS의 동작 상황을 실시간으로 모니터링 함.		

2) 운용 프로그램 설치

2-1) 운용 프로그램 종류와 설치

① TEC.EXE

사용자가 기본 '옵션'을 선택할 수 있으며, 프로그램 실행 후 옵션 선택시 자동으로 수행된다. 이천 관측소, 제주 관측소 선택 기능이 있으며, 저장 장소는 사용자가 지정한다. SLOG.EXE, PARSEISMR.EXE, CONVERT4.EXE를 순차적으로 자동으로 실행되도록 만든 GUI. 위의 프로그램 들과 함께 스크립트 원본 파일 2개가 같은 폴더에 존재해야 한다.

② SLOG.EXE

스크립트를 통해 포트 설정, 저장 데이터 포맷 지정, 저장 주기, 저장 파일 이름 등을 지정한다. 저장 시작시 별도의 명령어가 없으면 저장 기간까지 동작을 계속한다. 본 프로그램에서는 편의상 2개의 스크립트 파일을 기본적으로 갖고 있다. RINEX 변환과 TEC 변환용으로 구분되어 있다.

③ PARSEISMR.EXE

ISMR RAW 데이터를 텍스트로 변환하여 파일로 출력해 주는 프로그램.

④ CONVERT4.EXE

GPS의 RAW 데이터를 정해진 Rinex 텍스트로 변환하여 파일로 출력해 주는 프로그램

⑤ GPSOLUTION4.EXE

노바텔 GPS 수신기의 동작 상태를 상세히 모니터링 할 수 있는 전용 프로그램이다. 데이터 저장 기능도 있으나 매번 사용자가 설정을 해 줘야 하는 번거로움이 있다.

2-2) 데이터 폴더 지정하기

RINEX용과 TEC용 데이터를 구분하기 위해 두 개의 폴더를 지정한다. 실행 프로그램과 데이터 폴더는 같은 드라이브에 존재해야 한다.

예: E:\TEC, E:\RINEX

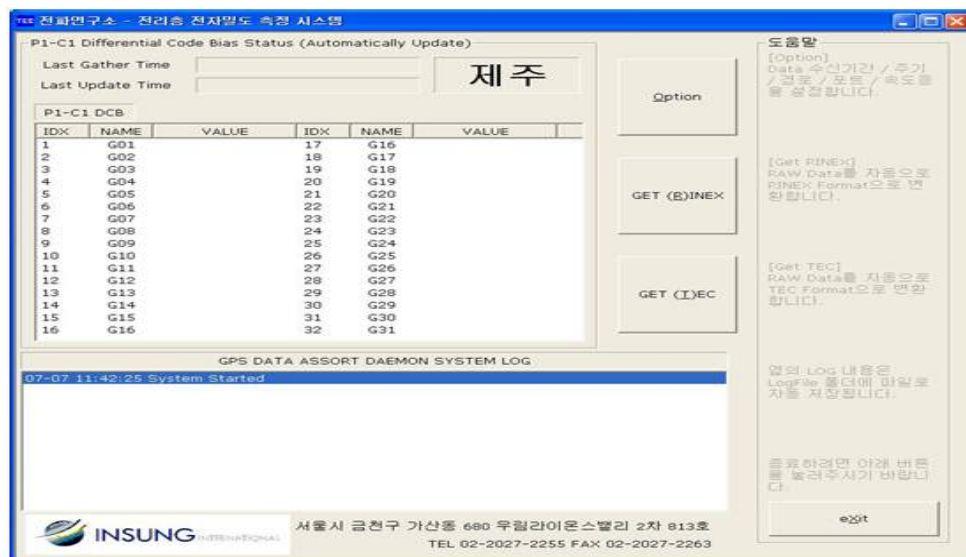
2-3) COM PORT 확인

USB2Serial 드라이버를 이용할 경우 해당 드라이버를 설치하고 자동 설정된 시리얼 포트를 할당한다. TEC.EXE가 COM PORT 선택 제한이 없으므로 자동 설정된 시리얼 포트 지정한다. 데이터 손실을 막기 위해 가능한 최대 BAUD RATE을 이용한다. 본 프로그램에서는 230400 bps를 설정하도록 권장한다. 설정된 포트 번호는 “제어판 → 시스템 → 장치관리자 → 포트”에서 확인할 수 있다.

3) 응용 프로그램 실행

3-1) 프로그램 실행

프로그램들이 모두 담겨있는 폴더에서 IS-TEC 실행 파일을 찾아 실행한다. 바로 가기를 만들어 바탕화면에 옮겨 놓는다.
아래 화면은 실행된 TEC 프로그램의 메인 화면
현재 DCB의 상태값과 기본 설정 관측소 이름 등이 표시됨.

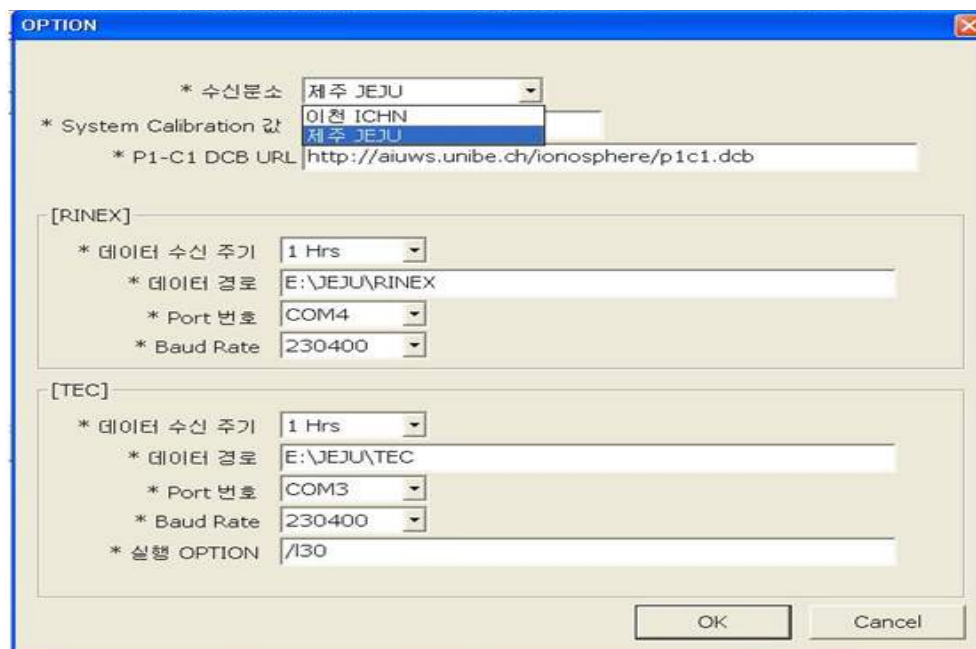


[그림 20] TEC 프로그램 메인 화면

- Option : 데이터 수집 및 변환을 위한 초기 설정
- GET RINEX : 수집된 GPS Raw 데이터로부터 RINEX 포맷 변환하는 기능
- GET TEC : 수집된 GPS Raw 데이터로부터 TEC 데이터 추출해 주는 기능
- 도움말 : 각 버튼의 기능에 대한 설명임.
- EXIT : 프로그램 종료 버튼임. 기본 프로그램은 종료되지만 SLOG는 수행중임

3-2) Option 설정

메인 화면에서 OPTION 버튼을 눌러서 아래의 화면을 확인한다.



[그림 21] TEC 프로그램 Option 설정 화면

- 관측소 선택 : 이천과 제주 관측소 선택 가능
관측소 선택시 안테나 보정값도 자동 선택됨
- System Calibration 값 : 관측소 선택에 따라 자동 선택되나 특정 값으로 변경할 수 있음
- P1-C1 DCB URL : DCB 값을 실시간 ON-LINE으로 가져올 수 있는 사이트의 URL 주소

- 데이터수신주기 : 데이터 파일을 생성하는 주기에 해당함. 즉 1Hrs란 1시간마다 데이터 파일이 새로 생성된다는 의미임. 이때 데이터 파일 이름은 년월일시분 값으로 자동 생성됨
- 데이터경로 : 저장할 파일을 보관할 데이터 폴더를 사용자가 미리 만들어 둔 폴더 이름
- Port 번호 : GPS 시스템으로부터 데이터를 수집할 PC의 포트 번호 (GPS 수신기는 3개 포트 제공함)
- Baud Rate : GPS 시스템으로부터 데이터 수신하는 속도 (Default 230400 bps임)
- 실행 OPTION : SLOG 실행 옵션 (Default L30, 30초마다 실행내용 화면에 표시 옵션)
- OK 버튼 : 모든 설정을 완료하고 자동으로 초기화 수행 및 데이터 저장/변환 시작을 의미함
- Cancel : 설정을 취소함

3-3) GET RINEX 실행

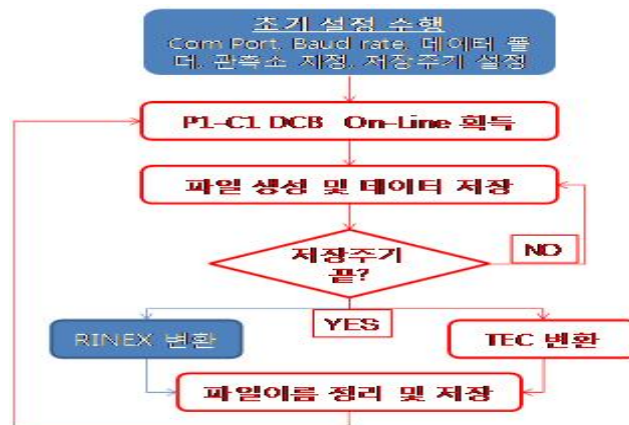
메인 화면에서 'GET RINEX' 버튼을 눌러 실행을 수동으로 수행함



[그림 22] GET RINEX 흐름도

3-4) GET TEC 실행

메인 화면에서 'GET TEC' 버튼을 눌러 실행을 수동으로 수행함

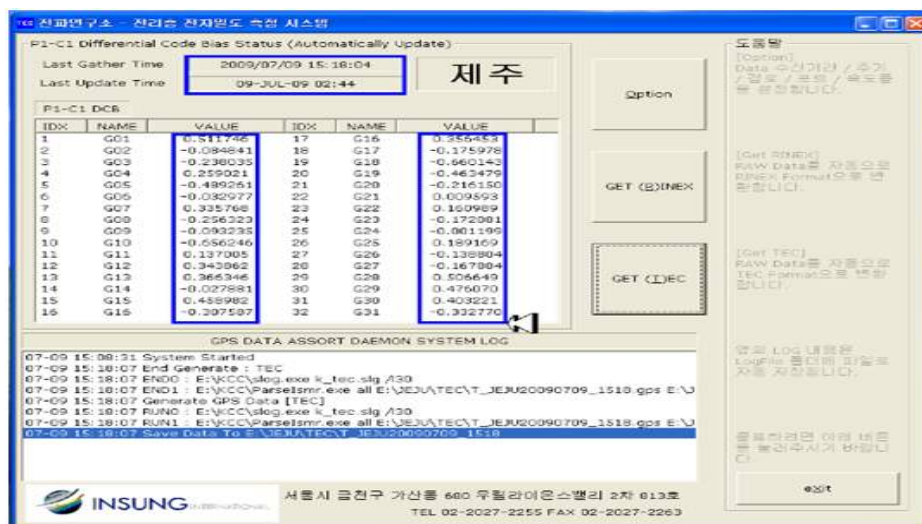


[그림 23] GET TEC 흐름도

4) TEC 프로그램 실행 결과

4-1) TEC CP Offset 값 획득 결과

기본 DCB 획득용 URL을 통해서 획득한 각 위성별 DCB값을 화면에 표시하고 있다. 이때 URL에서 획득된 DCB는 nano second 단위이므로 이를 meter 단위로 환산하여 화면에 표시한다.

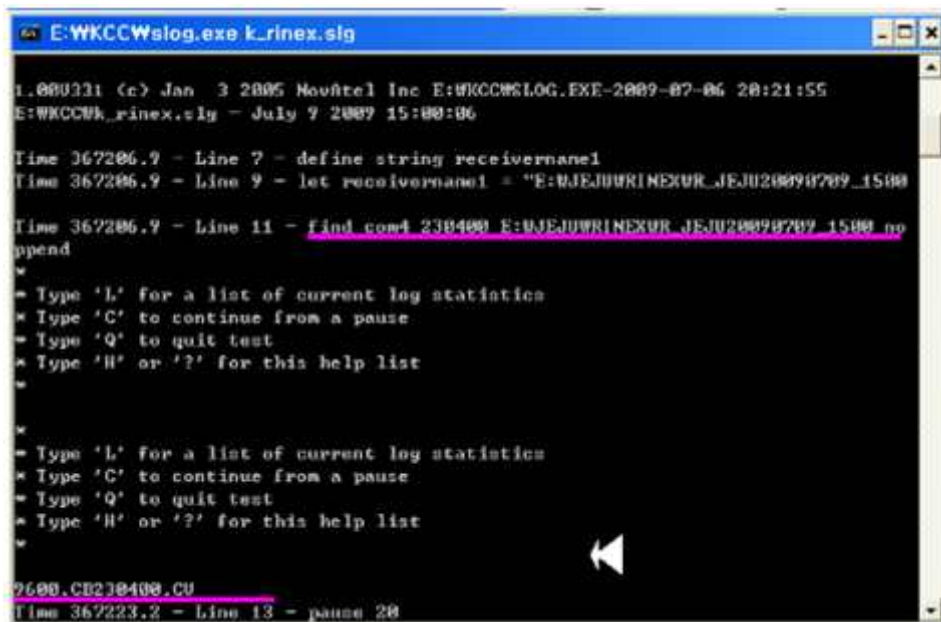


[그림 24] P1-C1 DCB 획득 결과

- “Last Gather Time” : 가장 최근 DCB 획득을 시도한 시간
- “Last Update Time” : 획득한 DCB가 업데이트 된 시간
- 화면 아래의 “GPS DATA ASSORT DAEMON SYSTEM LOG”는 스크립트를 통해 수행되는 상태를 나타내고 있으며, 이 내용은 별도의 파일에 저장되어 관리되고 있음.

4-2) SLOG 실행 결과

SLOG는 DOS 창에서 실행되는 프로그램이므로 DOS COMMAND 창이 실행되어야 함.



```

E:\WKCCW\slog.exe k_rinex.sig

1.080131 (c) Jan  3 2005 NovAtel Inc E:\WKCCW\SLOG.EXE-2009-07-06 20:21:55
E:\WKCCW\k_rinex.sig - July 9 2009 15:00:06

Time 367206.9 - Line 7 - define string receivername1
Time 367206.9 - Line 9 - let receivername1 = "E:\RJE\JWRINEXUR_JEJU20090709_1500"
Time 367206.9 - Line 11 - find cmd 23B400 E:\RJE\JWRINEXUR_JEJU20090709_1500.no
ppend
*
* Type 'L' for a list of current log statistics
* Type 'C' to continue from a pause
* Type 'Q' to quit test
* Type 'H' or '?' for this help list
*
*
* Type 'L' for a list of current log statistics
* Type 'C' to continue from a pause
* Type 'Q' to quit test
* Type 'H' or '?' for this help list
*
2600.C0210400.CU
Time 367223.2 - Line 13 - pause 20
  
```

[그림 25] DOS 창에서 SLOG 실행

- DOS COMMAND 창에서 SLOG가 스크립트 내의 명령어를 순차적으로 수행하는 것이 확인됨.
- 이때 SLOG에서 수집한 스크립트 명령어는 GPS 시스템으로 다시 입력됨.

```

9688.CB238488.CU
Time 367223.2 - Line 13 - pause 28
There are 3.516 seconds remaining. Press 'C' to continue early
Time 367226.7 - Line 15 - pause 18
There are 9.969 seconds remaining. Press 'C' to continue early
Time 367236.7 - Line 17 - send * "log versionb onnewr"
Time 367236.7 - Line 18 - send * "log rangeb online 1.8Wr"
Time 367236.8 - Line 19 - send * "log rauphomb onnewr"
Time 367236.8 - Line 20 - send * "log bestposb online 60.8Wr"
Time 367236.9 - Line 21 - send * "log almanach onnewr"
Time 367236.9 - Line 23 - pause 3488
There are 3479.77 seconds remaining. Press 'C' to continue early

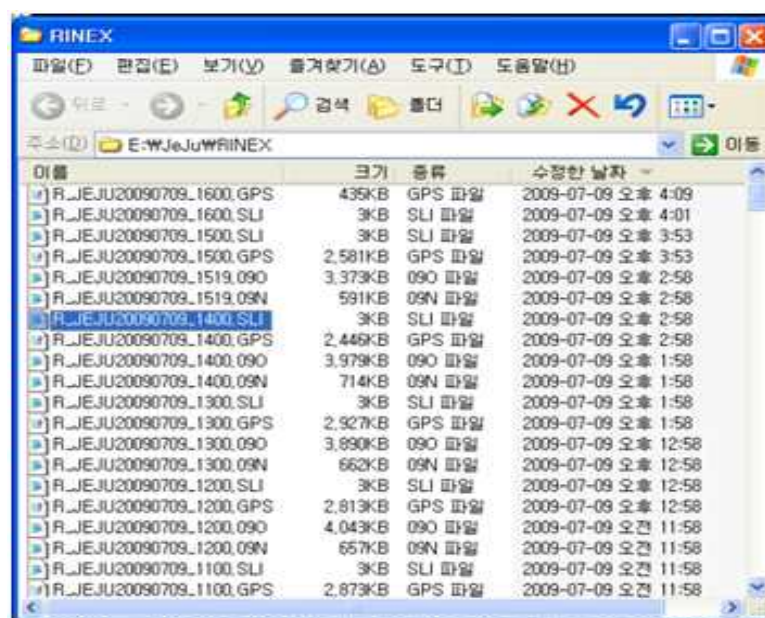
```

[그림 26] GPS 수신기로 입력되는 명령어들

- 데이터 패킷 저장 명령어가 실행된 직후 GPS 포트로부터 해당 데이터 출력되기 시작함.
- 지정된 데이터 파일이 GPS 데이터 수집하면서 파일 사이즈가 커지기 시작함.

4-3) RINEX 파일 생성

위 과정을 통해서 수집된 GPS RAW 데이터 파일과 자동으로 RINEX 포맷으로 변환된 결과이다.



[그림 27] RINEX 변환 결과

GPS RAW 데이터 파일은 [.GPS] 확장자를 가지며 변환된 RINEX 데이터 파일은 같은 파일 이름에 [.09O]와 [.09N] 등의 확장자를 갖게 된다. 이 확장자의 의미는 09년 Observation, 09년 Navigation이다.

[그림 28] RINEX 변환 내용 확인

변환된 RINEX 데이터 파일의 내용을 확인하면 위 그림과 같은 결과를 확인할 수 있다.

4-4) TEC 파일 생성

TEC 수신 과정을 통해서 수집된 GPS RAW 데이터 파일과 자동으로 추출된 TEC 결과이다.

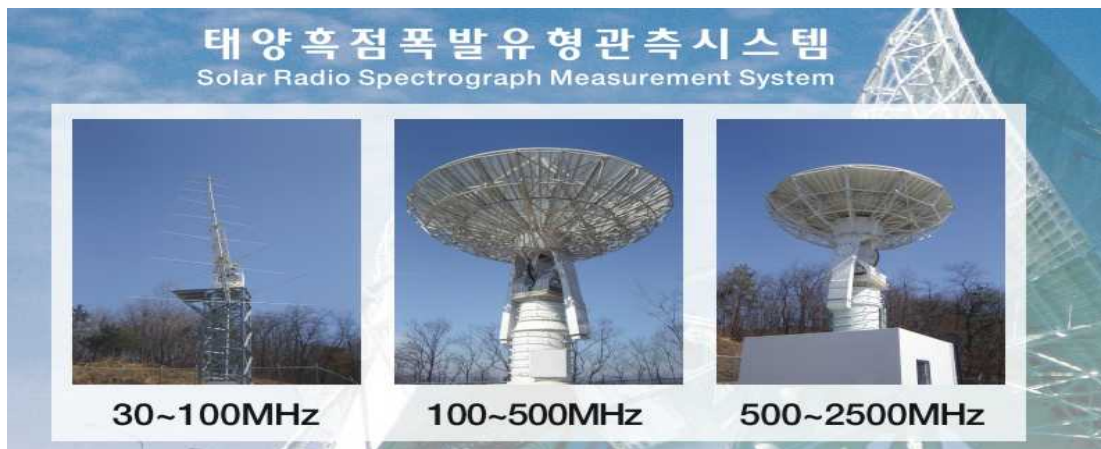
이름	크기	종류	수정된 날짜
T_JEJU20090707.1000.SLI	4KB	SLI 파일	2009-07-07 오전 10:58
T_JEJU20090707.1000.GPS	76KB	GPS 파일	2009-07-07 오전 10:22
T_JEJU20090707.0858.TEC	4KB	TEC 파일	2009-07-07 오전 9:58
T_JEJU20090707.0858.SLI	4KB	SLI 파일	2009-07-07 오전 9:57
T_JEJU20090707.0858.GPS	16KB	GPS 파일	2009-07-07 오전 8:59
T_JEJU20090707.0800.TEC	141KB	TEC 파일	2009-07-07 오전 8:58
T_JEJU20090707.0800.SLI	4KB	SLI 파일	2009-07-07 오전 8:58
T_JEJU20090707.0800.GPS	167KB	GPS 파일	2009-07-07 오전 8:57
T_JEJU20090707.0658.TEC	4KB	TEC 파일	2009-07-07 오전 7:58
T_JEJU20090707.0658.SLI	4KB	SLI 파일	2009-07-07 오전 7:57
T_JEJU20090707.0658.GPS	16KB	GPS 파일	2009-07-07 오전 6:59
T_JEJU20090707.0600.TEC	147KB	TEC 파일	2009-07-07 오전 6:58
T_JEJU20090707.0600.SLI	4KB	SLI 파일	2009-07-07 오전 6:58
T_JEJU20090707.0600.GPS	170KB	GPS 파일	2009-07-07 오전 6:57
T_JEJU20090707.0458.TEC	4KB	TEC 파일	2009-07-07 오전 5:58
T_JEJU20090707.0458.SLI	4KB	SLI 파일	2009-07-07 오전 5:57
T_JEJU20090707.0458.GPS	16KB	GPS 파일	2009-07-07 오전 4:59

[그림 28] TEC 수집 결과

제2절 태양전파 주파수별 분석 시스템 구축

1. 배 경

전파연구소는 30MHz에서 2.5GHz까지의 태양전파를 수신하는 태양전파 관측 시스템을 운영중이다. 그러나 본 관측시스템은 태양흑점 폭발시 태양전파 폭발의 유형을 관측하는 용도이므로 본 관측시스템을 이용하여 주파수 별 태양전파 노이즈의 세기를 측정하는 것은 불가능하였다. 따라서 본 태양전파 주파수별 분석시스템 구축사업을 통해 이를 개선하고 태양흑점 폭발시 태양전파 노이즈가 지상의 다양한 무선통신 서비스에 미치는 영향을 분석하는데 활용하고자 한다.



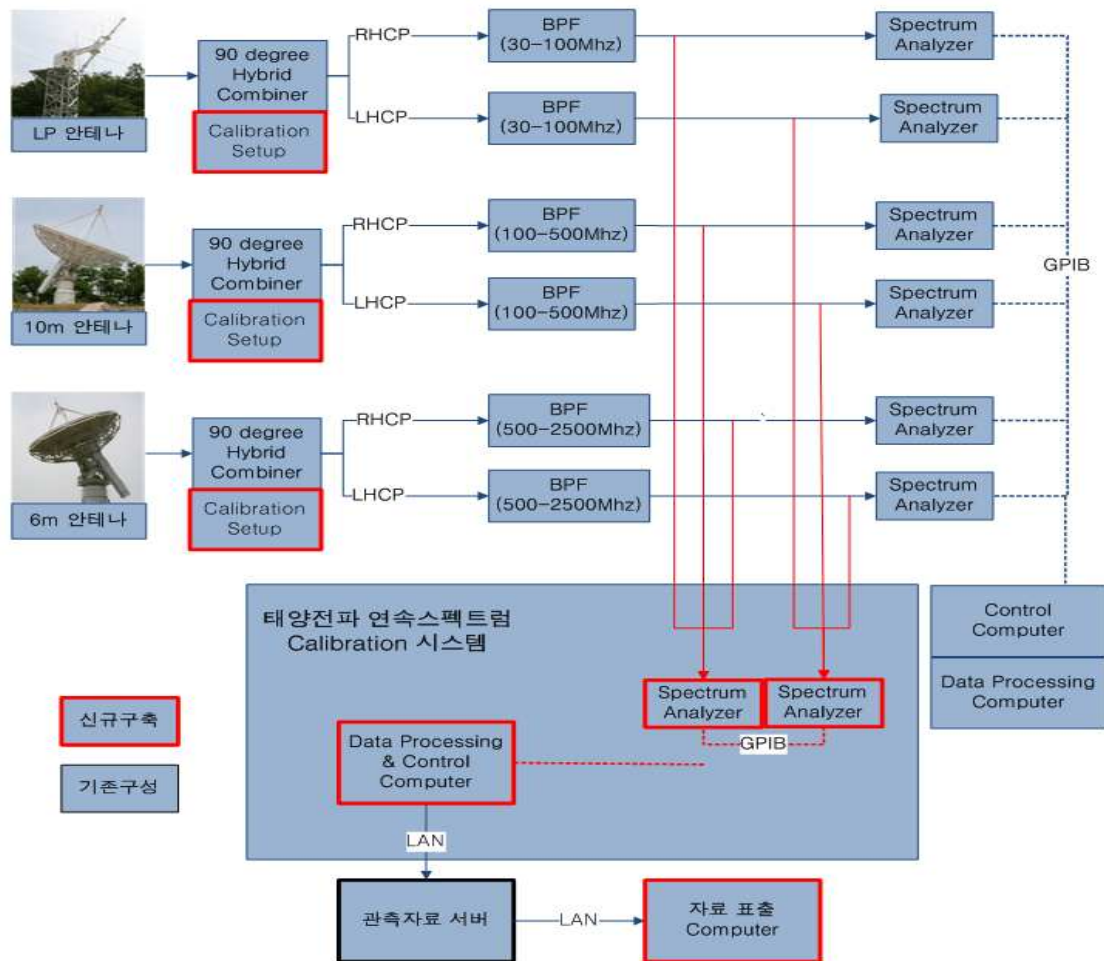
[그림 32] 태양전파 관측시스템

2. 추진 내용

태양전파 주파수별 분석 시스템 구축사업의 주요 내용은 다음과 같다.

- ① 6m, 10m 파라볼라 및 LP 안테나의 이득 측정 및 케이블 감쇄값 측정을 통한 관측값 보정(30MHz ~ 2500MHz 사이의 태양전파 연속스펙트럼 측정 자료의 calibration을 통해 무선통신에 장애를 일으키는 전파잡음 기준 설정)
- ② 각 수신 주파수대역별 절대값 산정을 위한 기준신호 관측 및 수치화 체계 구축
- ③ 기존 관측 시스템과 별도의 독립적인 측정 체계 구축

전체 시스템의 구성도는 다음 그림과 같다. 기존 태양전파 관측시스템의 고유 기능인 태양전파폭발 유형관측 기능을 유지하기 위해 기존 신호 라인에 3dB 신호 분배기를 사용하여 주파수 분석시스템을 구성하였다.



[그림 33] 시스템 구성도

RHCP : Right Handed Circular Polarization

LHCP : Left Handed Circular Polarization

BPF : Band Pass Filter

GPIB : General Purpose Interface Board

Calibration Setup : 기준 신호 관측을 위한 수신단의 변경부분

(안테나 이득과 케이블 손실 측정을 위한 일체의 구성 포함)

사용한 신호분배기는 500kHz에서 3GHz까지 작동하는 3dB 신호분배기(ZAPD-2-252+) 총 10개를 사용하여 좌현, 우현 편파 각각에 대해 신호 분배(divider)와 결합(combiner) 기능을 구현하였다. [그림 34]의 왼쪽 사진에서 뒷 열 신호분배기 3EA는 분배(2:1)의 기능을 담당하고 앞 열 신호분배기 2EA는 결합(2:1)의 기능을 담당한다.



[그림 34] 신호분배기 설치

[그림 35]의 왼쪽 사진과 같이 분배된 신호를 별도의 스펙트럼 분석기와 연결하고 오른쪽의 사진과 같이 스펙트럼 분석기 제어 프로그램을 제작하여 시스템을 구성하였다. 또한 스펙트럼 분석기 제어 프로그램을 통해 Reference Level과 Reference Band Width 등을 설정할 수 있도록 하였다.

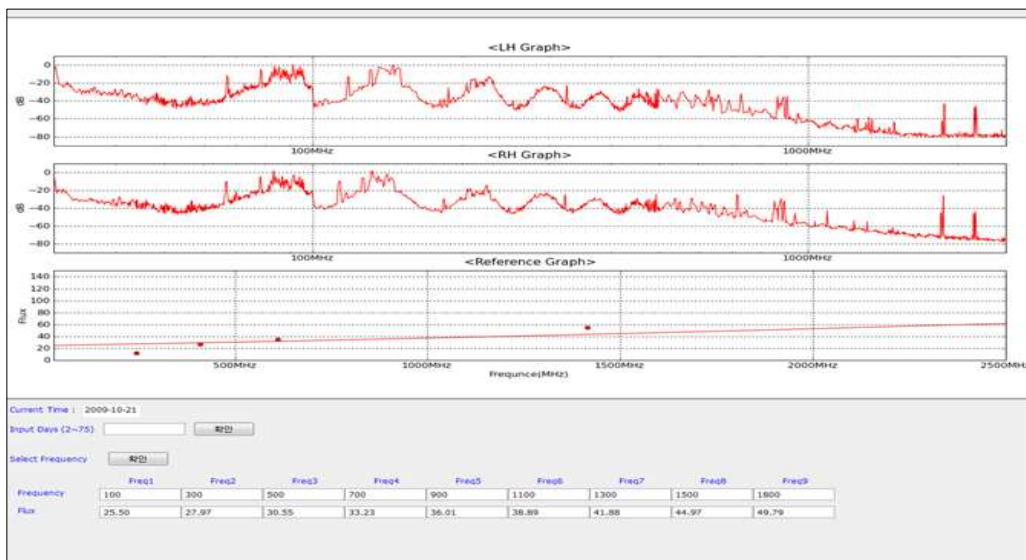


[그림 35] 태양전파 주파수 분석시스템 제어부

[그림 36]은 태양전파 주파수 분석시스템의 분석 프로그램 화면이다. 위쪽 2줄의 그래프는 각각 30MHz에서 2.5GHz까지 수신한 좌현편파 태양전파 스펙트럼과 우현편파 태양전파 스펙트럼을 나타내고, 3번째 줄의 그래프는 미국 해양 대기청(NOAA)의 주파수별 절대 플럭스 reference 데이터 그래프를 나타낸다. 그래프 아래에서 플럭스 값을 알고자 하는 주파수를 입력하면 입력된 주파수 값에 대응되는 플럭스 값을 표출한다. 표출 방법은 다음과 같다

- 단위 : SFU¹⁾(or 전력속밀도 or 전계강도)
- 주파수별 선택 가능
- 선택한 주파수에 대한 절대플럭스 표출 기능

태양전파 관측기 calibration에서 산출된 주파수별 안테나 이득 및 케이블 손실은 테이블 형태로 제공하여 필요시 운영자가 그 값을 수정하여 분석프로그램에 적용가능 하다.



[그림 36] 태양전파 주파수 분석 프로그램

기존의 태양전파 연속스펙트럼 관측기는 태양전파 플럭스의 상대적인 크기만을 측정하였는데 태양전파 절대 플럭스 값 측정을 위한 기준 주파수 신호로 여러 가지 방법 중 미국 SWPC의 태양전파 절대 플럭스 실측값 비교 방안을 적용하였다.

자료처리 컴퓨터에서 분석된 자료는 이천 분소에 위치한 자료중계 컴퓨터로 LAN을 이용하여 전송한 후 수집 및 이용이 가능하도록 구성하였다.

1) SFU(Solar Flux Unit, 10^{-22} W/m²·Hz) : 태양에너지 밀도를 측정하는 단위

제3절 안양 전리층 관측시설 이전 추진

1. 배 경

전파연구소는 1966년 개소와 더불어 국내 유일의 전리층 관측시스템을 안양에 설치하여 운용 중이다. 전파연구소는 이의 운용을 통해 전리층이 방송통신 시스템에 미치는 영향을 분석·연구하여 방송사, 해운사, 군 등에 단파대 전파예보 서비스 실시하였다. 2006년부터는 단파대역 전파특성을 실시간 국민에게 제공하는 맞춤형 전파예보 서비스인 「전파예보 인터넷 서비스」를 실시하였고, 2008년에는 제주에 전리층 관측시스템을 추가 설치하여 선진국 수준의 전리층 종합 관측망 구축하였다. 또한, 현재 안양 및 제주 전리층 관측 자료는 우주전파환경 관련 국제기구인 세계데이터센터(WDC)²⁾에 실시간으로 제공 중이다.

2. 추진 내용

정부의 공공기관 지방이전 계획에 의거 안양 전리층 관측시설의 이전이 불가피함에 따라 전파연구소 전리층 종합 관측망³⁾의 효율적인 운용을 위해 수도권내에 전리층 관측시설의 이전·설치를 추진하였다.

[표 5] 전파연구소 전리층 종합 관측망

지역범위 관측망	전국범위 관측망
	

2) 세계데이터센터(WDC) : 미국 등 12개국 52개 센터가 있으며 태양 및 지구물리 관련 데이터 취득, 보관, 제공 서비스 수행

3) 전리층 종합 관측망 : 전리층 관측시스템(안양-제주)간 전리층 반사를 이용한 단파 교신망으로써 전국범위의 전리층 정밀관측 및 실시간 최적 단파통신 주파수 서비스 시스템

가. 부지 선정

전리층 종합 관측망 유지를 위한 수도권내 지역 중 전리층 관측을 위한 전파환경이 우수하고 부지확보에 드는 시간과 비용을 절감할 수 있는 이천 분소를 이전·설치 예정부지로 선정하였다. 선정된 부지의 특성은 다음과 같다.

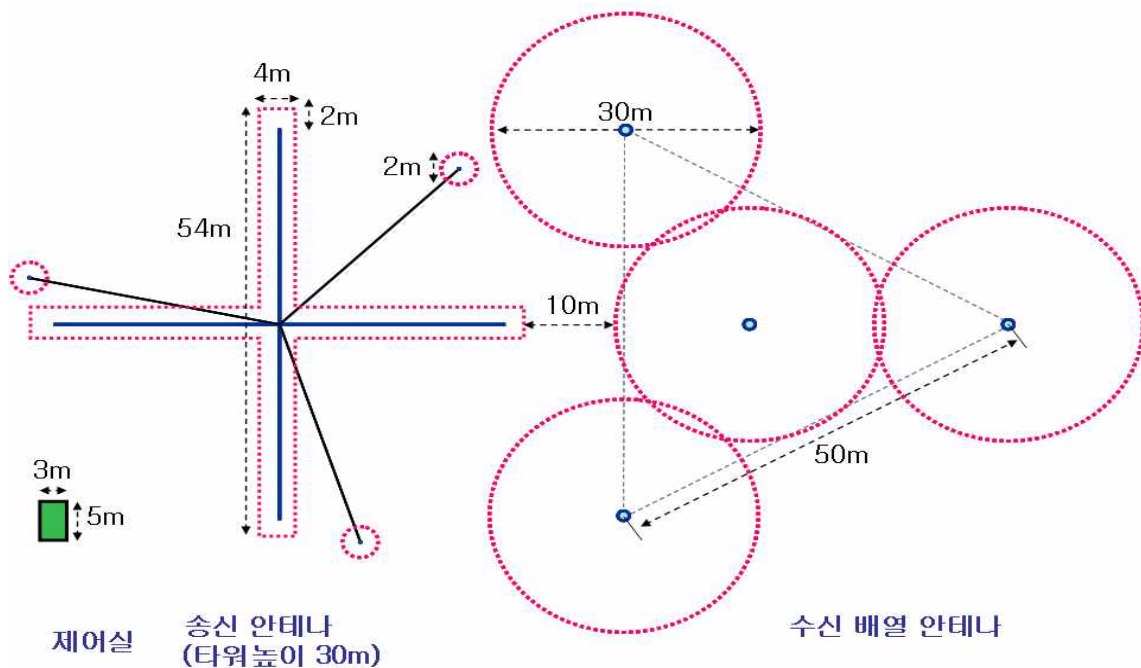
- (장점) 주변에 전파 노이즈 발생 시설이 없어 전리층 관측환경이 우수하고, 2차선 도로와 인접하여 관측시설의 설치 및 관리가 용이
- (단점) 이전 예정지는 임야(보존산지) 지역으로 관측시설 설치를 위해 산지전용허가 신청 및 용도변경 등의 행정절차가 수반됨



[그림 37] 이천분소내 전리층 관측시설 이전 예정지

나. 관측시설 배치

2009년 1월 제주 전리층 관측시설의 설치를 위해 방한한 전리층 관측시스템 제조사(미국 메사추세츠 대학 고층대기연구소) 전문가 2명과 함께 이천분소 전리층 관측시설 설치 예정부지를 답사 후 관측시설 배치안을 최종 결정하였다. 관측의 신뢰도가 손상되지 않는 범위에서 부지정비 면적을 최소화하기 위해 수신 안테나 간격을 기존 60m에서 50m로 줄이고 송신 안테나 타워와 수신 안테나 배열과의 간격도 10m로 줄여 설계하였다.



[그림 38] 전리층 관측시설 배치도

다. 추진일정

본 전리층 관측시설은 40여년간 안양 현 위치에서 지속 운용되어 관측 자료의 연속성에 대한 학문적 가치 매우 높으며 세계데이터센터(WDC) 등 국제기구와의 협력 및 전리층 종합 관측망 운용을 통한 실시간 최적 단파 주파수 서비스 지속 추진을 위해 이전·설치로 인해 발생하는 관측공백을 최소화하는 것이 필요하다. 이를 위해, 이전·설치시 재활용이 불가능한 송·수신 안테나 등 부대시설의 신규구매를 추진하고 신규 부지에 설치완료 전까지 안양 전리층 관측기의 운용을 계속하는 것으로 계획하였다.

그러나 예산 배정의 지연과 안양청사 부지를 매입한 우정사업본부의 퇴거 요청에 따라 부득이 2009년 8월 6일 안양 전리층 관측기 운용을 중단하고 이천분소로의 이전사업을 추진하였다.

또한, 한반도 전리층 종합 관측망의 원활한 유지보수 및 운용을 위해 기존 장비(DPS-4)를 신규 장비(DPS-4D)로 업그레이드하여 설치하는 것으로 계획 변경하여 2010년 9월까지 사업을 완료할 예정이다.

제4장 예보서비스 개선방안 연구

제1절 영문 인터넷 우주전파환경 정보 서비스 구축

전파연구소는 우주전파환경 국제협력 강화와 관측자료의 교류 및 예보 서비스 개선을 위해 영문 우주전파환경 홈페이지를 구축하였다.

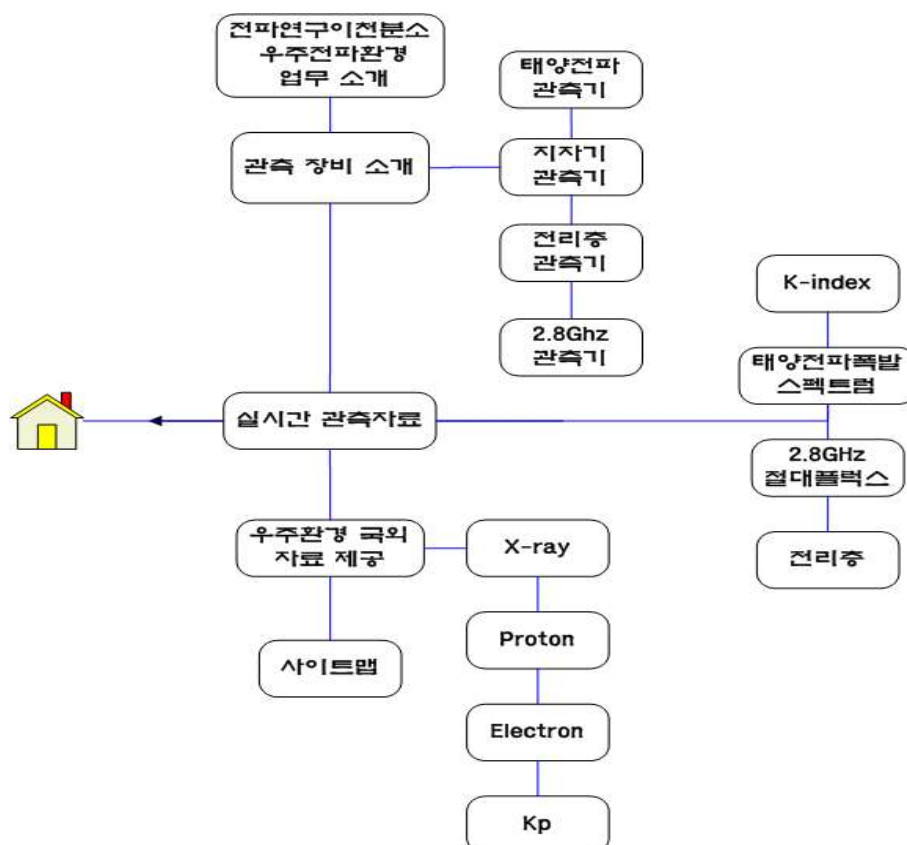


[그림 39] 영문 홈페이지 메인화면

본 영문 홈페이지는 전파연구소가 세계우주환경서비스기구(ICES)의 지역 정보센터(RWC)를 유치하는 것을 목적으로 기존의 우주전파환경 홈페이지(인터넷 우주전파환경정보서비스 : solaradio.rrl.go.kr)의 영문화를 추진하였고 전파연구소의 관측자료를 전면 배치하여 타국의 지역정보센터와의 차별화를 꾀하였다. [그림 39]의 메인화면의 관측자료는 좌측상단부터 우측하단까지 각각 이천 지자기 K지수, 2.8GHz 태양전파 절대 플럭스, 제주 전리층 관측자료(Ionogram), 30MHz~2.5GHz 태양전파 스펙트럼 관측자료이다.

영문 홈페이지는 아래의 내용을 포함한다.

- 전파연구소이천분소의 우주전파환경 업무 소개
- 태양전파 연속스펙트럼 관측기, 태양전파 2.8GHz 절대플럭스 관측기, 지자기관측기, 전리층관측기 등 자체 관측 장비 소개
- 지자기 K 지수, 태양전파 스펙트럼, 태양전파 2.8GHz 절대 플럭스, 전리층 Ionogram 등 자체 관측 자료 제공 및 설명
- 태양 위성 영상 및 X-ray flux 등 외국의 관측 자료 제공 및 설명



[그림 40] 영문 홈페이지 메뉴 구성도

영문 홈페이지의 개발언어는 기존 홈페이지가 사용중인 개발언어(JSP, PHP)를 고려하여 호환성을 확보하도록 개발하였다. 또한 영문 홈페이지에 표출되는 관측자료는 각 자료의 생성주기마다 갱신되며, 최신의 자료 표출을 원칙으로 하였으며 표출되는 관측자료의 주기는 장비의 이상으로 인한 관측자료가 생성되지 않을 시에도 가장 최신의 자료를 표출하도록 하였다.

제2절 실시간 전리층 상황 문자서비스

현재 전파연구소는 문자메시지를 이용하여 태양복사활동, 태양입자활동 및 지자기폭풍에 대한 정보를 관련 기관 업무 담당자에게 제공 중이다. 본 사업은 기존의 문자메시지 서비스에 자체 관측자료를 이용하여 한반도에 특화된 우주전파환경정보 서비스를 추가하는 것으로서 실시간 전리층 감시 결과를 제공하여 HF통신 최적주파수 예측에 활용코자 하였다.

문자메시지 전송은 대전정부통합전산센터에 설치되어 있는 문자메시지 전송 서버를 통하여 전달되도록 개발하였으며 문자메시지로 제공되는 정보는 안양 및 제주에 설치되어 있는 전리층 관측기의 15분 주기 측정값을 기반으로 하였다.



[그림 41] 문자메시지 서비스 포맷

문자메시지로 제공되는 정보는 코드화하여 문자메시지의 1회 전송 용량을 초과하지 않도록 구성하며 코드에 대한 설명을 웹페이지에 제공하며 문자메시지로 제공되는 정보코드는 코드 구성에 필요한 전리층 관측 자료의 가공 및 웹서버로의 전송, 코드 화 등 일련의 과정을 자동으로 생산하는 프로그램을 웹서버에 설치하였다. 문자메시지로 제공되는 정보등급은 문자메시지를 코드화 하여 발송 할 수 있고, 사용자의 요구에 따라 주기적인 정보

전송도 가능하다. 또한, 문자메시지 관리페이지는 관리기능, 전송대상, 메시지 전송여부, 전송 주기, 전송정보의 종류를 선택할 수 있도록 개발하였다.

[표 6] 전리층 문자메시지 경보 코드 등급

구분	조건 (fof2@IRI -fof22@Meas)	관측정보	SMS 코드 예시
3등급 (심각)	7 MHz 이상	fof2, 고도	RRA1InoC3_090215121560500 RRA2InoC3_090215121560500 RRA3InoC3_090215121560500
2등급 (주의)	7MHz 이내	"	RRA1InoC3_090215121560500 RRA2InoC3_090215121560500 RRA3InoC3_090215121560500
1등급 (일반)	3MHz 이내	"	RRA1InoC3_090215121560500 RRA2InoC3_090215121560500 RRA3InoC3_090215121560500

[표 7] 전리층 문자메시지 경보 코드 해석

관측기	관측시간	전리층 현황	F층 임계주파수	fof2 고도
RRA1	_0902151215	InoC3	60	500
RRA1 : 안양 RRA2 : 제주 RRA3 : 사립사	2009년 2월15일 12시 15분 관측	3등급 (심각)	fof2 임계주파수 6MHz	fof2 고도 500km

문자메시지 관리페이지는 기존의 우주전파환경정보 서비스 시스템 상에 구축하고 정보제공 대상자의 추가 및 삭제 기능을 제공하였고, 문자메시지 정보제공 대상자는 대상자의 휴대전화 번호, 이름, 소속 등의 정보를 운영자가 수정 관리 가능하다. 또, 문자메시지 관리페이지는 보안을 고려하여 암호를 이용한 로그인 기능을 가지며, 웹페이지에 링크를 제공하지 않고, 직접 주소를 입력하여 접근하도록 개발하며, 방화벽 내의 내부 망에서만 사용이 가능하도록 개발하였다.

제3절 미국 우주전파환경예보센터 단기 예보관교육

1. 서 론

전파연구소는 급격한 우주전파환경 변화로부터 국내 방송통신 시스템을 보호하기 위해 2011년 완공 목표로 제주에 「(가칭)우주전파연구센터」의 구축사업을 진행 중이다. 「우주전파연구센터」 설립을 통해 우주전파환경의 예측과 이의 서비스를 위한 관측 및 분석 시스템 등의 제반 인프라를 구축하고 본격적인 대국민 우주전파환경 예·경보 서비스를 실시할 예정이다. 「우주전파연구센터」의 주요업무인 예·경보 서비스의 고도화를 위해 전파연구소는 세계 여러 선지기관과의 업무협력 강화를 추진중인데 그 첫 번째로 세계 최고의 우주전파환경 관측 인프라와 예보서비스 기술력을 자랑하는 미국립 우주전파환경예보센터(SWPC)와 협력각서(LOA)를 체결하였다.

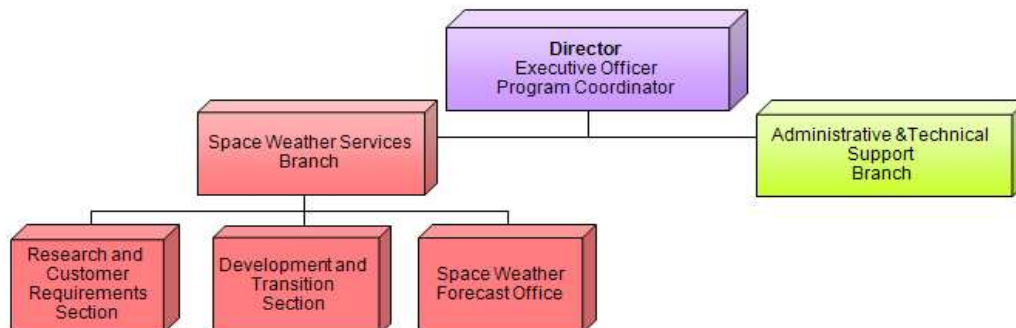


[그림 42] 미국 콜로라도 볼더 해양대기청 연구센터 전경 및 SWPC 예보실

5월 4일에서 5월 15일까지 2주간 실시된 이번 SWPC 단기 예보관 교육(5.4.~5.15, 2주)도 이와 관련된 것으로, SWPC의 선진 우주전파환경 업무 현황을 파악하고 양국의 협력사항을 사전 조율 할 수 있는 중요한 기회가 되었다. 또 이에 앞서 1주간 국제 우주전파환경 워크숍(2009 Space Weather Workshop)에 참석하여 2008년 수행한 우리 연구소의 전리층 모델관련 연구결과를 발표하고 우주전파환경 관련 최신 국제 연구동향을 분석하였다.

✓ SWPC (Space Weather Prediction Center)

- 소 속 : 미국 상무성(DoC) > 해양대기청(NOAA) > 기상국(NWS) > 9개 예보센터 중 1개
- 특 징 : 우주전파환경 예·경보를 담당하는 미국 정부 기관, 세계최고 수준의 관측 인프라 및 예보 기술력 보유
- 연 혁 : 1945년 SEC(Space Environment Center)로 설립, 2007년 SWPC로 개칭
- 규 모 : 2부 3과 60여명, ('09예산 \$7.6M)



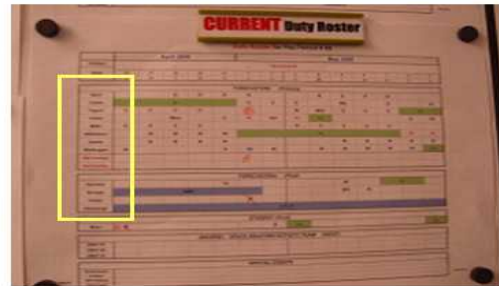
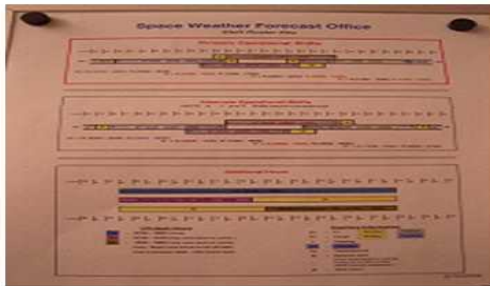
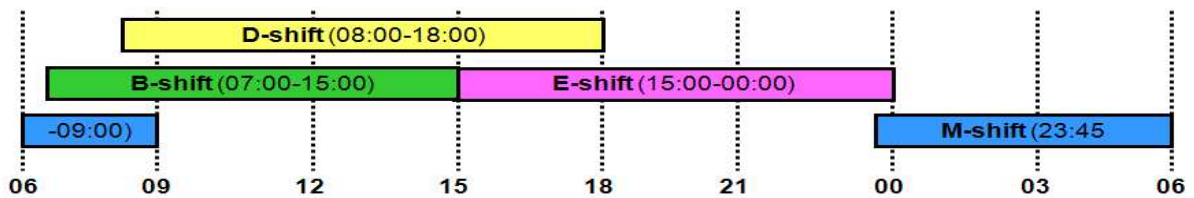
❖ SWPC는 자체 운용 관측시스템 및 위성 없음(NASA, 미공군, NOAA NESDIS 관측자료 사용)

[그림 43] SWPC 개요

2. 본 론

SWPC는 미국 상무성(DoC)의 해양대기청(NOAA) 소속 정부기관으로 1945년부터 태양활동이 지구에 미치는 영향에 대한 예보 및 경보 업무를 수행하고 있다. 조직은 2분과 3부서의 총 45명의 정규 인력과 20여명의 협력 연구팀으로 구성되어 있으며 그 중 예보실은 군 파견 장교 2명을 포함하여 9명이 24시간 3교대로 근무 중이다.

예보관 교대근무시간표(현지시각)



운용인력: 9명 (군 2명 포함)

[그림 44] SWPC 예보관 교대근무 현황

Timeline for D Shift Duties

0800 - 1800 MDT (UTC - 6 hrs)

(08 March 2009 to 01 November 2009)

Time (UTC)	Action
APX 1600	Sign in, check mail and debrief B shifts and M Shifts
NLT 1500	Update WWV Forecast
APX 1600	Coordinate preliminary 7-day forecast with AFWA
APX 1615	Enter middle and high latitude K-index forecasts
APX 1630	Provide daily ISS briefing to SRAG/AFWA Space Operations Agency (SOA) Group
APX 1700	Proof PRF text (Tuesdays)
NLT 1800	Update WWV Forecast
APX 1945	Coordinate final flare and geomagnetic forecasts with AFWA
APX 2000	Prepare Solar Synoptic Analysis
APX 2045	Coordinate final 10.7 cm flux forecast with AFWA
NLT 2100	Update WWV Forecast
APX 2115	Enter text parts of SGARF
NLT 2120	Enter geomagnetic mid and high latitude probability forecasts
NLT 2130	Enter region, whole disk, 3-day flare and PCAF forecasts
NLT 2130	Enter 10.7 cm forecast
NLT 2130	Enter 7-day magnetic forecast
NLT 2130	Edit and issue DATAQ
NLT 2145	Edit and issue Boulder GEOADVICE
NLT 2200	Review and issue SGARF
APX 2300	Review and issue SRS
NLT 2400	Update WWV Forecast
NLT 2400	Complete Handover Sheet, brief E Shift

General Duties

- Review Watches, Warnings, Alerts and Summaries
- Check Special Support Log
- Document customer system effects
- Issue Space Weather Bulletins when necessary
- Edit Events and Regions
- Check solar wind data
- Empty trash

08:00 Sign in, 메일체크, B, M 근무자로부터 브리핑
WWV(전화녹음) 예보 업데이트09:00 미공군과 7일 예보 사전 조율
중위도, 고위도 K인덱스 예보 입력
NASA에 일일예보상황(ISS) 보고

10:00 매주 화요일 주간 우주전파환경 리포트 작성

11:00 WWV 예보 업데이트

12:45 미공군과 flare와 geomagnetic 예보 최종 조율

13:00 태양활동상황개요(Solar Synoptic Analysis) 준비
AFWA와 10.7cm 플레어 예보 최종 조율14:00 WWV 예보 업데이트
SGARF의 text 부분 입력
중위도, 고위도 geomagnetic probability 예보 입력
region, whole disk, 3일 플레어, PCAF 예보 입력
10.7cm 예보 입력
7일 지자기 예보 입력
DATAQ 작성 및 발령
Boulder GEOADVICE 작성 및 발령

15:00 SGARF 검토 및 발령

16:00 SRS 검토 및 발령

17:00 WWV 예보 업데이트
handover sheet 작성완료, E 근무자에 브리핑

[그림 45] SWPC 주간 메인 예보관(D-shift) 업무 일정표

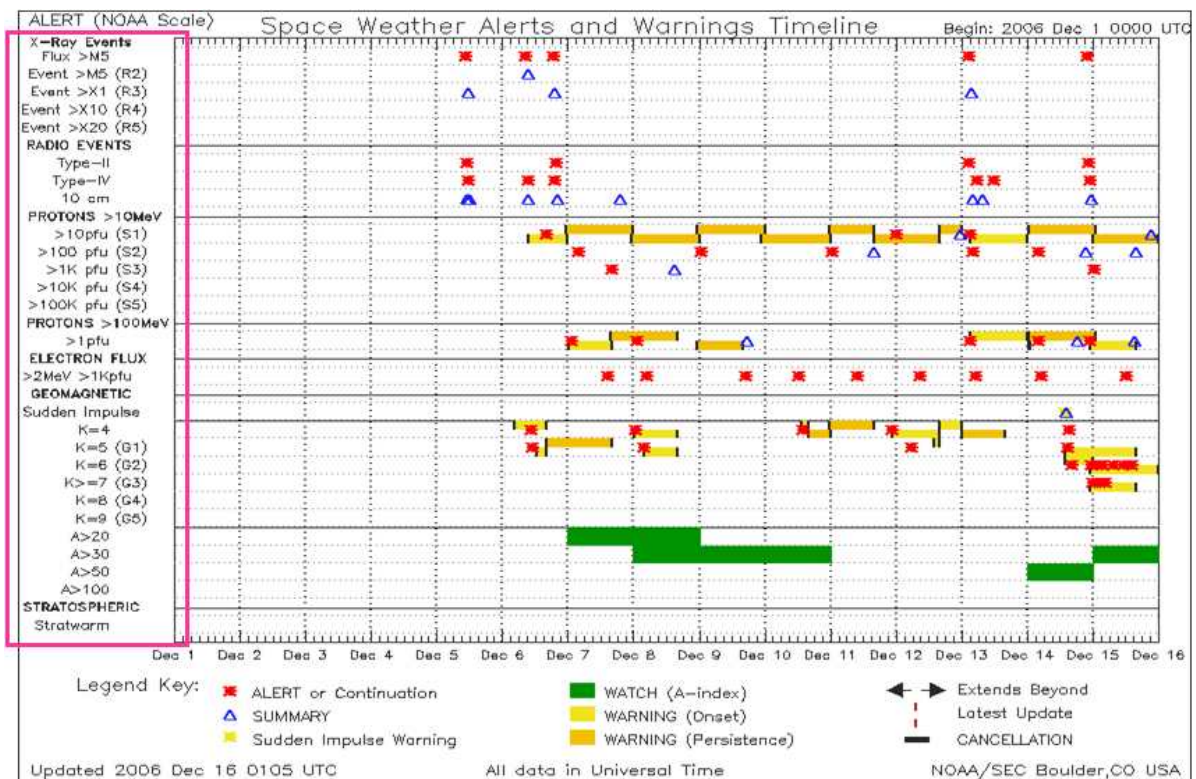
Timeline for M, B, and E Shift Duties 0000 - 2400 MDT (UTC -6 hrs)			
Time (UTC)	Action	Time (UTC)	Action
M Shift & M* Shift (0545 - 1500 UTC)		E Shift & E* Shift (2100 - 0600 UTC)	
0630	Verify BOU and Planetary K-indices are in Solar Indices Log	2130	Verify BOU and Planetary K-indices are in Solar Indices Log
0800	Send Daily Report to the NCEP SDM (<i>sdm@noaa.gov</i>) (send Daily Report by 0500 EST or 0900 UTC)	2135	Check with Forecaster for predicted $A_{fr} \geq 20$ and issue watch (cs)
0900	Issue >2 MeV Electrons Alert update as necessary (GOES12)	2145	Verify DATAQ was transmitted (COMEDS Scroll)
0930	Verify BOU and Planetary K-indices are in Solar Indices Log	2200	Verify Boulder GEOALERT was transmitted (COMEDS Scroll)
0945	Ensure Verizon phone is charged and functional (call Verizon phone (303-579-6586) from x3171 and visa versa)	2215	Verify SGARF was transmitted (COMEDS Scroll & RWC Boulder email)
1000	Update ACE Tracking Schedule - post under glass Fax Synoptic Drawing to Sac Peak (SD #04)	0030	Verify BOU and Planetary K-indices are in Solar Indices Log
1230	Verify BOU and Planetary K-indices are in Solar Indices Log		Check and enter missed X-ray events
B Shift (1300 - 2100 UTC) / B* Shift (1200 - 2000 UTC)			Review, enter missing events, QC and print Edit New Events
1345	Start dynamic displays on center console monitors Do final preparation for SWPC Briefing (SWPC Form 13) (weekdays)		Review and issue 245 Noise Storm and Burst products
1400	Prepare Daily Space Weather Discussion (M - F)	0045	Verify SRS was transmitted
1430	Deliver SWPC briefing (M - F)	0100	Save 24 hr Geomagnetic Summaries from AFWA (XXXX52 KWGC)
1445	Start new Briefing Sheet (SWPC Form 13)		Issue Proton Alert update as necessary
1510	Deliver Daily Space Weather Discussion (M - F)	0115	Rotate previous month's Forecast Center files the 3rd of each month
1530	Verify BOU and Planetary K-indices are in Solar Indices Log	0220	Enter College K- & A-indices from USGS into Solar Indices Log
1600	Enter Mt. Wilson sunspot data		Enter Fredericksburg K- & A-indices from USGS into Solar Indices Log (Scale AFred if not received from USGS) (Indices received in RWC Boulder email)
1730	Encode Coronal Hole Data	0230	Update 27-day chart (include days 1 - 5 overlap): AFred _____; 10 cm _____ (AFred and 10 cm are for previous UTC day. Round AFred; 10 cm is Noon value)
1745	Fax Synoptic Drawing to AFWA (SD #01)		Print Solar Indices Log for previous day and file
1830	Verify BOU and Planetary K-indices are in Solar Indices Log	0230*	Edit and issue SGAS *NLT 0230
2015	Verify WWV Log entries match OUS Log	0300	Verify SGAS was transmitted (COMEDS Scroll & RWC Boulder email)
2020	Prepare new WWV log (SWPC Form 20)	0315*	Review and issue GEOALERT *NLT 0315
		0330	Verify BOU and Planetary K-indices are in Solar Indices Log
		0345	Verify GEOALERT WWA was transmitted (COMEDS Scroll & RWC Boulder email)

SWPC Form 2 (MDT)

08 March 2009

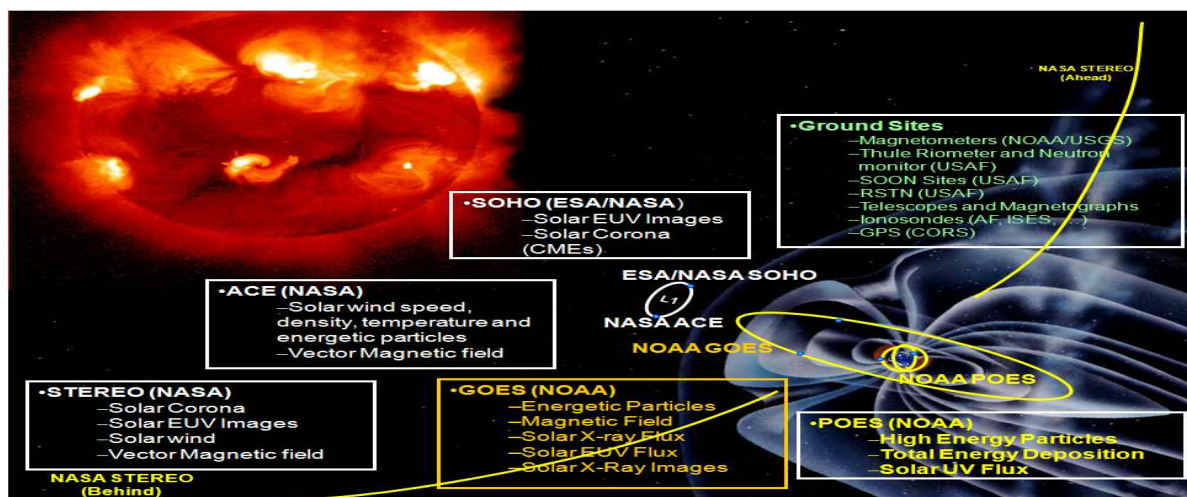
[그림 46] SWPC 주간 보조 예보관(M & B-shift) 및 야간 예보관(E-shift) 업무 일정표

SWPC는 다양한 종류의 우주전파환경 전용 관측위성 및 지상 관측망으로부터 관측자료를 수집하고 이를 분석하여 지구에 미치는 영향의 정도에 따라 5등급으로 나누어 예·경보를 발령하고 이의 전달을 위해 인터넷 홈페이지, 이메일, 자동음성시스템, 기상상황 전달 시스템(NWW) 등 다양한 매체를 사용 중이다.



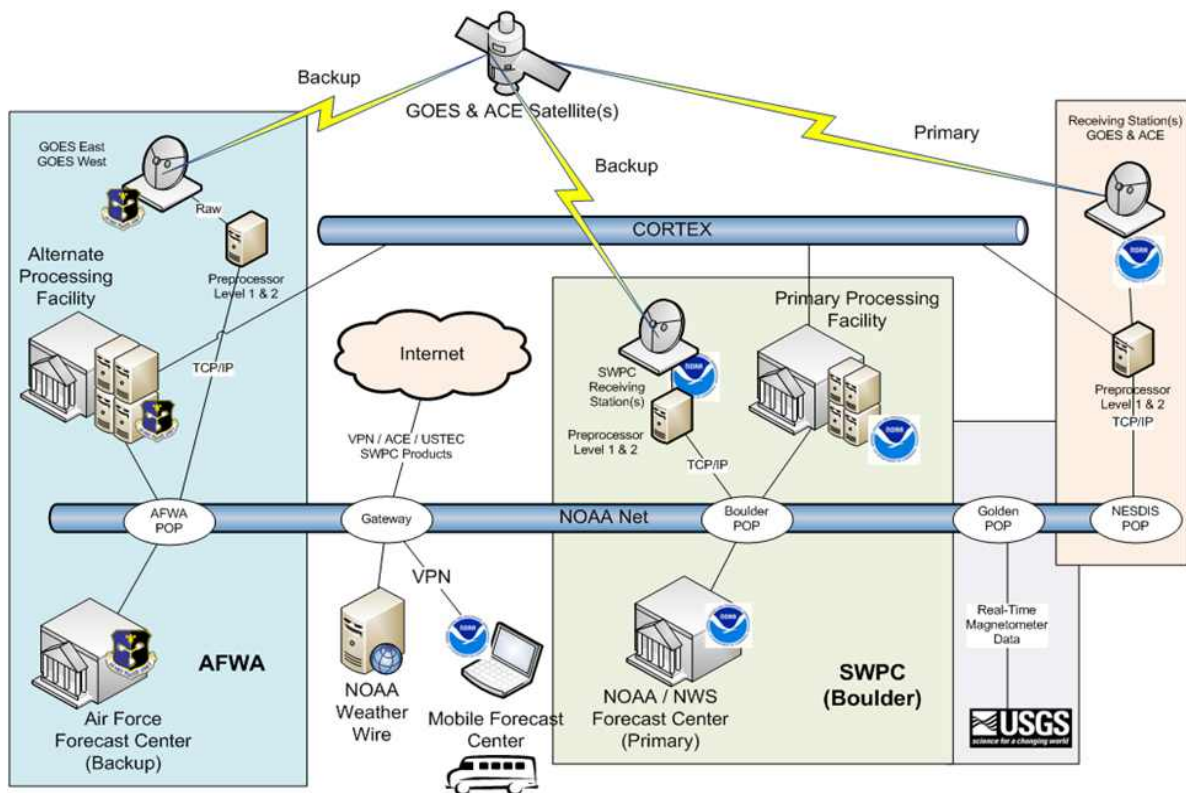
[그림 47] SWPC 우주전파환경 예·경보 발령 체계

그러나 특이한 점은 SWPC는 자체적으로 관측위성 및 지상 관측시스템을 운용하지 않는다는 점인데, 위성관측은 NOAA 소속의 국립환경위성데이터 센터(NESDIS)와 NASA의 위성사업을 활용하고 지상관측은 전 세계 곳곳에 위치해 있는 미공군의 관측망을 통해 자료를 수집한다.



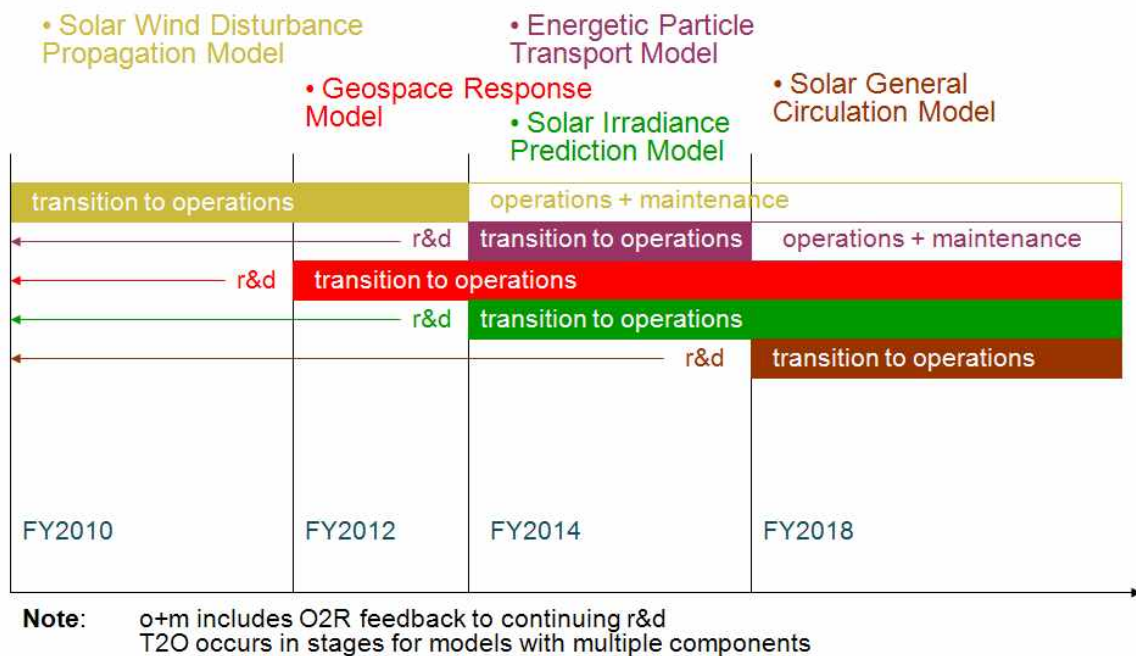
[그림 48] 미국의 우주전파환경 위성 및 지상 관측망

SWPC의 조직도에서도 볼 수 있듯이 고객의 요구사항을 분석하기 위한 부서(Research and Customer Requirement Section)와 이의 효과적인 전달 시스템을 개발하기 위한 부서(Development and Transition Section) 그리고 예보실(Space Weather Forecast Office)로 나누어 우주전파환경 분석과 예보 발령 그리고 고객에 요구에 맞춘 전달 시스템 운용에 조직의 역량을 집중하고 있다.



[그림 49] SWPC 관측 및 예보 정보 흐름도

특히 급격한 우주전파환경 변화에 가장 영향을 받기 쉬운 위성 통신 시스템을 보호하고 극 궤도를 운항하는 항공기의 안전과 직결되어 있는 극지방 통신 환경 등을 예측하기 위한 여러 가지 전파환경 모델을 개발하는데 많은 투자를 하고 있다.



[그림 50] SWPC의 우주전파환경 모델 개발 계획

또한 1996년부터 매년 국제 우주전파환경 워크숍(Space Weather Workshop)을 개최하여 통신, 위성운용 및 항법, 항공, 우주개발, 전력분야 등 전 세계 관련 산업계, 학계, 군 및 정부 기관 간의 우주전파환경 교류의 장을 제공하는 등 국제 우주전파환경 선도기관으로서의 역할도 충실히 수행하고 있다.

✓ SWPC는 왜 예보서비스를 잘 하는가?

- 위성 등 고급 관측자료 확보(ACE, GOES, POES, SOHO, STEREO...)
- 오랜 관측자료 및 예보자료 보유(1945년~)
- 우수한 예보관 보유(관측자료 분석 및 상황 대처 능력)
- 체계화된 예보 시스템(NOAA Space Weather Scale) 및 상황 전달 시스템(WWV, Product Subscription Service, NWW...)

✓ SWPC는 왜 선도기관인가?

- 고객(항공, 우주산업, 전력 등)이 필요로 하는 예보 결과물 제공
- 유관기관(NASA, 공군, 민간 예보서비스 등)과의 긴밀한 협조체제 유지
- Space Weather Workshop 주최(정보 제공, coordination)
- 다양한 관측자료 확보 및 예보모델 개발에 투자(비전 제시)

[그림 51] SWPC의 우주전파환경 예보 역량 및 역할 분석

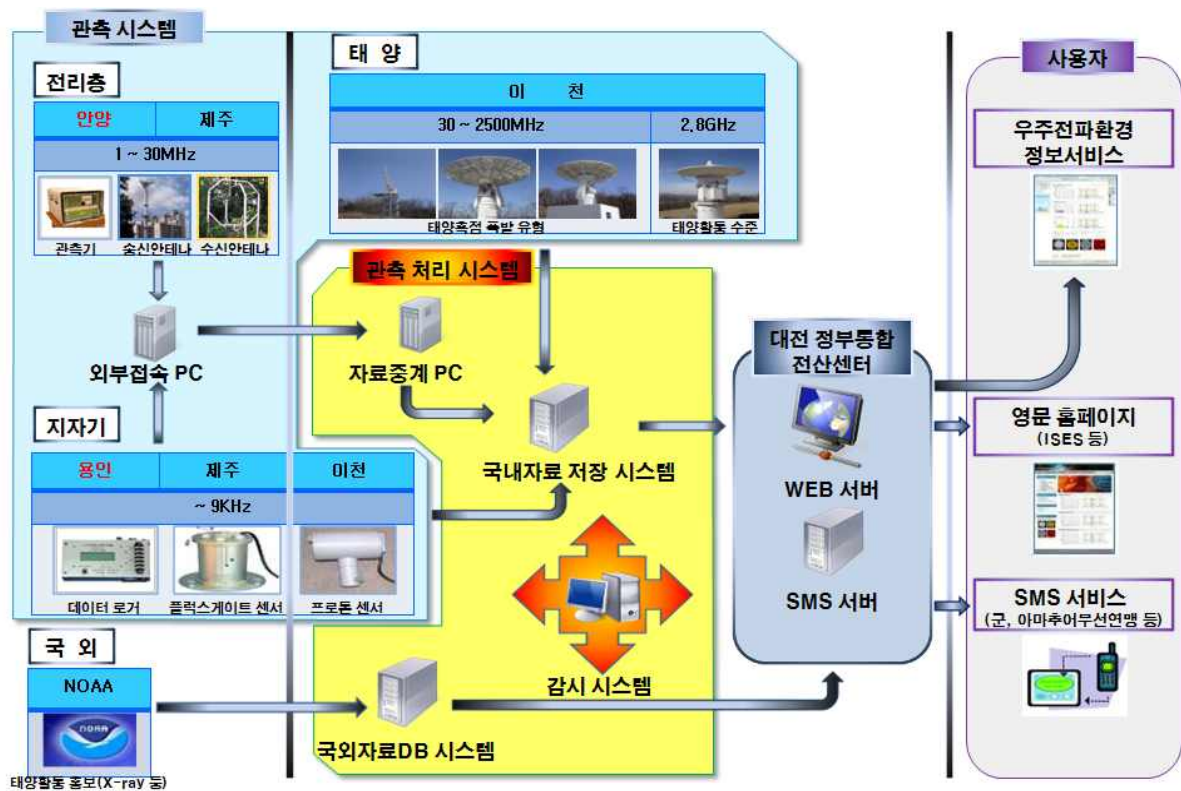
3. 결 론

전파연구소는 한미 우주전파환경 업무협약을 통해 SWPC에 우주전파환경 예보관을 파견하여 구축중인 「우주전파연구센터」의 운용에 필요한 전문 예보인력을 양성하고 미국 우주전파환경 전용 위성의 수신국을 국내에 설치하여 고급 관측자료를 실시간 수집할 수 있도록 할 계획이다. 또한 호주, 유럽, 일본 등의 여러 국가의 우주전파환경 전문기관과의 업무협력도 추진하고 각 국가의 노하우와 장점을 전파연구소가 설립중인 우주전파환경연구센터의 예·경보 시스템에 반영할 것이다.

우리 전파연구소가 SWPC와 같은 우주전파환경 선도기관으로 발돋움하기 위해서는 해외 선진 기관과의 업무협력을 통해 선진 기술을 도입하고 위성자료 등 고급 관측자료를 확보하는 것이 시급하나, 국내에서 활용할 수 있는 인적, 물적 자원을 충분히 활용할 수 있는 것도 매우 중요하다. 이를 위해 전파연구소가 매 해 가칭 「한국 우주전파환경 컨퍼런스」를 주최하여, 국내 여러 산학연에 나뉘어져 각각 수행되고 있는 관련 프로젝트와 인력간의 교류를 장려하고 업무 조율을 이끌어내는 활동을 수행하는 것도 필요할 것으로 생각된다.

제4절 관측시스템 일일점검 매뉴얼

관측시스템의 운용상태 및 관측자료의 취득상황에 대한 일일 모니터링을 위하여 관측시스템의 일일점검 매뉴얼을 작성하여 업무에 활용하였다. 2009년 12월 현재, 이천과 제주에 각각 나누어 운용 중인 전리층 관측시스템 1식, 지자기 관측시스템 2식, 전리층 전자밀도 관측시스템 2식, 태양흑점폭발 유형 관측시스템 1식, 태양활동 수준 관측시스템 1식 그리고 전파연구소 우주전파 환경정보시스템(홈페이지)의 운용 상태 점검을 목적으로 각 관측시스템으로의 접속 방법 및 데이터 취득 방법의 단계별 화면으로 표시 누구나 쉽게 따라할 수 있도록 하였다.



[그림 52] 전파연구소 우주전파환경 관측시스템 및 서비스 현황

관측시스템 일일점검 매뉴얼은 부록 4에 수록하였다.

제5장 대외 협력활동 강화

제1절 한-미 우주전파환경 협력각서 체결

전파연구소는 2009년 12월 10일(현지시각) 미국 해양대기청(NOAA)⁴⁾ 본부에서 해양대기청 소속 기상업무국(NWS)⁵⁾과 한미 양국의 우주전파환경 예·경보 업무에 관한 협력각서(LOA)를 체결하였다.

이번 양 기관간의 협력각서 체결은 지난 5월 20일 전파연구소에서 개최한 ‘제1차 한미 우주전파환경 협력회의’를 통해 전파연구소장과 미국 해양대기청 기상국 비키 나돌스키 부국장간에 합의한 기본 협력방향을 바탕으로 협력 활동 내용을 구체화하여 정식 협약으로 체결한 것이다.



[그림 53 1차 한-미 우주전파환경 협력회의 및 기본협력방안 합의
<김춘희 전파연구소장(왼쪽)과 미국 해양대기청 기상국 비키 나돌스키 부국장(오른쪽)>

4) NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration) : 국립해양대기청이라고 하며 국립정보통신청(NTIA(National Telecommunications and Information Administration)과 함께 미국 상무부(Department Of Commerce) 산하에 있는 외청 중 한 기관으로 미국 내 기상업무와 해양업무를 대표하는 기관

5) NWS(National Weather Service) NOAA 기상국이라고 하며미국 내 기상업무를 총괄하는 NOAA 산하에 있는 외부국(Line Office)중의 하나, 우리나라의 기상청과 같은 기능을 하고 있음



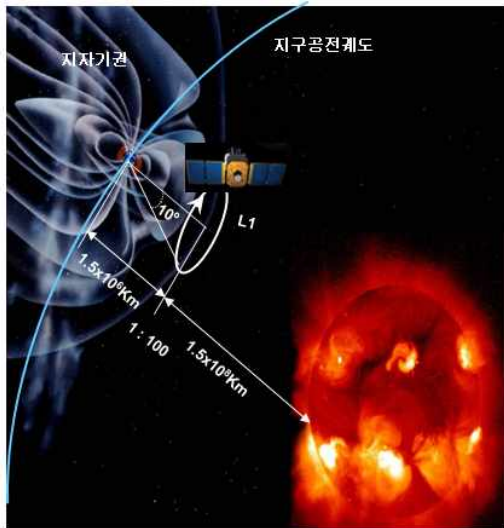
[그림 54] 한-미 우주전파환경 협력각서 체결
<김춘희 전파연구소장(왼쪽)과 미국 해양대기청 기상국 존 헤이즈 국장(오른쪽)>

양 기관은 협력각서에서 ▲ 우주전파환경 관측자료의 실시간 상호교류 ▲ 국내 우주전파환경 전문인력의 양성을 위한 전파연구소 직원의 미국 우주전파환경예보센터(SWPC)⁶⁾ 파견근무 ▲ 국내에 미국 우주전파환경 관측위성(ACE) 수신국의 설치와 운용을 통한 양기관의 자료공유 등에 합의하고 이를 위한 제반 협력사항을 구체화 하였다.

협력각서(LOA, Letter of Agreement)는 언론에 자주 등장하여 잘 알려져 있는 양해각서(MOU) 보다 좀 더 구체적인 수준의 협약문서로, 양 기관의 협력의지 뿐만 아니라 세부적인 협력사항을 문서화하여 약정하는 용도이다.

이로써 전파연구소는 단기적으로는 정확한 우주전파환경예·경보서비스를 위해 필수적인 정확하고 빠른 정보를 확보하고 전문 예보인력을 양성할 수 있는 기반을 마련하였다. 이러한 기반을 통해 전파연구소는 현재 2011년 완공을 목표로 제주에 설립중인 「(가칭)우주전파연구센터」의 예·경보 서비스 기능을 고도화할 수 있게 되었다.

6) SWPC(Space Weather Prediction Center) : 우주전파환경예보센터라고 하며, NWS 산하 기관으로 우주전파 환경예보 업무를 총괄하는 센터



※ ACE : Advanced Composition Explorer

□ ACE위성 개요

- 발 사 : 1997년 발사, 2024년까지 운용 가능
- 위 치 : 태양-지구 중력 중심점(150만Km 상공)
- 역 할 : 자기장 방향, 에너지입자 밀도 등 관측
- 수신국 : 미국, 영국, 독일(추진중)

□ 미국과의 협력계획

- 2011년까지 제주에 ACE위성 수신국 설치 운영
- 차기 우주전파환경 전용 관측위성 사업 참여

☐ 기대효과

- 24시간 신속 정확한 예·경보 서비스 수행에 기여

[그림 55] 국내에 미국 우주전파환경 관측위성(ACE) 수신국 설치

또한, 장기적으로는 우주전파환경 예·경보를 선도하는 미국과의 지속적인 협력체계를 바탕으로 전 세계적으로 추진되고 있는 우주전파환경 예보 협력사업에 적극 참여하여 우리나라가 우주통신개발 강국으로 도약하는데 전파연구소가 주도적인 역할을 할 계획이다.

제2절 전파연구소-공군 우주전파환경 업무협력 양해각서 체결

전파연구소는 대한민국 공군과 10월 16일(금) 전파연구소 회의실에서 우주전파환경 분야 관측 및 예보 인프라 공동활용 등을 주요 내용으로 하는 양해각서(MOU)를 체결하였다.



[그림 56] 전파연구소-공군 우주전파환경 업무협력 양해각서 체결
<김춘희 전파연구소장(왼쪽)과 공군전력기획참모부장 소장 김영민(오른쪽)>

양 기관은 양해각서를 통해 ▲ 우주전파환경 관련 기반체계 구축 협조 및 자산 공동 활용 ▲ 우주전파환경 분야 전문인력 공동 양성 ▲ 우주전파환경 관련 공동 연구, 관측자료 공유 등에 합의했다.

특히, 이번 협정으로 양 기관은 국가 우주전파환경 예·경보 체계 선진화를 위한 비전을 공유함과 동시에 전파연구소가 제주에 구축중인 「우주전파연구센터(가칭)」를 비롯한 양 기관의 첨단 관측 및 예보 인프라를 공동으로 활용하기로 하여 2백억원에 달하는 시설구축 예산의 중복투자 방지 효과도 거두었다.

또한, 양 기관의 우주전파환경 예·경보 역량을 모아 관련분야 활성화를 위한 시너지 효과를 창출함으로써 국가 우주전파환경 예·경보 체계를 선진화 하는데 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

제3절 제1회 우주전파환경 수요자 컨퍼런스 개최

전파연구소는 제1회 우주전파환경 서비스 수요자 컨퍼런스를 10월 29일 개최하였다. 본 컨퍼런스는 태양흑점 폭발 등 태양활동 시 발생하는 급격한 우주전파환경 변화에 직간접적으로 영향을 받는 국내 방송·통신 및 재난 관련 유관기관 관계자들이 모여 수요기관별 요구사항을 수렴하고 발전 방향에 대해 토론하기 위해 마련되었다. 우주전파환경 서비스의 주요 수요기관인 육군, 공군 등과 KBS, KT 등 방송·통신사, 그리고 행정안전부, 기상청, 항공우주연구원, 천문연구원 등 국내 우주전파환경 관련 50여 기관 100여명의 전문가들이 참여 하였다.

[표 8] 우주전파환경 수요자 컨퍼런스 참여기관

분류	기관명
산 업	KBS, KT, 티유미디어, 대한항공 등
학 계	전자파학회, 경희대학교, 충남대학교 등
연구기관	전자통신연구원, 항공우주연구원, 천문연구원, 표준과학연구원 등
군	합동참모본부, 육군, 공군, 해군
정 부	방송통신위원회, 행정안전부, 국토해양부, 기상청, 국가정보원
기 타	통신위성·우주산업연구회, 한국전자파학회, 아마추어무선연맹, 관측장비 제조회사 및 우주환경전문회사 등



[그림 57] 제1회 우주전파환경 서비스 수요자 컨퍼런스[1]



[그림 58] 제1회 우주전파환경 서비스 수요자 컨퍼런스[2]

컨퍼런스에서는 「우주전파연구센터」의 효율적인 구축 및 운용을 위하여 ①수요기관별 요구사항 파악 및 반영방안, ②예·경보 서비스의 질적 제고를 위한 유관기관 간 협력 방안, ③우주전파환경 변화로부터 국가 방송통신 인프라의 보호 및 공공안전을 위한 동 센터의 역할과 운용방안 등이 발표되고 심도 있게 논의되었다. 컨퍼런스에서 제기된 주요 내용은 다음과 같다.

< 수요자 주요 요구사항 >

- 국내 뿐만 아니라 국외 지역의 주파수별 맞춤 예보 서비스(KBS, 항공청)
- 굳건한 우주전파환경 인프라 구축 및 군과의 유기적인 협력체계 구축(공군)
- 각 군과의 개별협력 대신 합동참모본부를 통한 전군차원의 협력체계 요청(육군, 합참)
- 관련 산업 저변확대 및 독자예보를 위한 관측장비의 국산화(하이게인안테나)
- 우주전파환경 예·경보 서비스 고도화를 위한 지속 투자 및 정책 발굴(경희대)
- 자국적 위성 보호를 위한 맞춤 예보 서비스(KT)
- 상호 데이터 및 정보 교류를 통해 천문연구원과의 공조체제 구축(천문연)
- 방송통신정책 연구를 통해 우주전파환경 분야의 정책개발에 노력(전파진흥원)
- 재난안전체계에 우주전파환경분야 접목 방안 추진(행정안전부)
- 국내외 자료공유 부분에서 기여 희망(기상청)

컨퍼런스에서 도출된 의견은 우주전파환경으로부터의 피해를 최소화하기 위한 정책수립 뿐만 아니라 우리나라가 우주통신 강국으로 도약하는데 밑거름이 될 것이다.

제4절 우주전파환경 전문가 초청강연 및 자문회의 개최

우주전파환경이 방송통신 시스템에 미치는 영향 등에 대한 최신 연구동향을 파악하고, 「우주전파연구센터」의 예·경보 서비스에 대한 자문 및 협력방안 협의를 위하여 총 3회에 걸쳐 국내외 우주전파환경 전문가 초청강연 및 자문회의를 실시하였다.

1. 제1차 전문가 초청강연 및 자문회의 (전리층 분야)

7월 21일 이천분소에서 미국 존스홉킨스대학교 응용물리연구소의 길효섭 박사 등 전리층 분야 국내외 전문가 4명을 초청하여 강연 및 자문회의를 실시하였다.

<전리층분야 초청강연 내용>

- 강연 1. 지구의 전리층(길효섭 박사, 존스홉킨스대 응용물리연구소)
 - 전리층 변화 메커니즘 및 태양폭발로 인한 이상 현상 등 소개
 - 한반도의 전리층 특이현상 및 지자기 폭풍의 영향등에 대해 토의
- 강연 2. 전리층과 전파환경(오승준 박사, (주)에스이랩)
 - 전리층변화와 전파환경과의 일반적인 상관관계 및 영향 소개
 - 향후 위성통신에 영향을 미치는 전리층 신틸레이션 모델 개발계획 소개
- 강연 3. GPS 기반 전리층 상시감시 연구(정종균 박사, 천문연구원)
 - GPS 오차 중 가장 큰 부분을 차지하는 전리층 영향에 대한 예측방법 등
 - 공군 탄도미사일의 정밀도 향상을 위한 전리층 밀도 예측에 관한 토의
- 강연 4. 극지 고층대기 연구(지건화 박사, 해양연구원 극지연구소)
 - 신설되는 남극 제2기지의 전리층 등 우주전파환경 관측 시설에 관한 소개
 - 향후 전파연구소가 운용중인 전리층 관측기와 동일 장비 설치 희망

최근 연구된 전리층의 발달 메커니즘에 대한 소개로 육군, 공군 및 산업 분야 관계자 등 참석자들의 커다란 호응을 얻었고 심도있는 토의가 진행되었다. 특히, HF통신, 위성통신, GPS 항법시스템 등에 영향을 미치는 전리층 변화현상에 대한 상호 이해도가 높아졌다. 자문회의에서는 「우주전파연구센터」의 구축 및 운용과 관련하여 관련분야 선도기관으로서 전파연구소의 역할 및 업무방향에 대해 논의하였다. 자문회의 결과로는 ①전파연구소 주관

우주전파환경 수요자 워크숍의 연내 개최 및 정례화 추진 요구 ②관측장비의 국산화 추진방안 및 연구과제 발굴 추진 희망 ③육군, 공군과의 협력체계 강화 및 천문연구원 등과의 상호 공동연구 필요 등이 도출되었다.

2. 제2차 전문가 초청강연 및 자문회의 (태양전파 분야)

8월 27일 일본 나고야대학교 태양지구환경연구소의 Masayosi KOJIMA 교수 등 태양전파 및 태양풍 분야의 국내외 전문가 4명을 초청하여 강연 및 자문회의를 실시하였다.

<태양전파분야 초청강연 내용>

- o 강연 1. 태양 진동학 소개 및 응용(장현영 교수, 경북대학교)
 - 태양 내부구조를 직접적으로 도출할 수 있는 태양 진동학 소개
 - 최근 이슈화되고 있는 태양 후면 흑점 감시 응용방법 제안
- o 강연 2. 태양전파가 방송통신 시스템에 미치는 영향(박용선 교수, 서울대학교)
 - 지상 통신망에 영향을 미치는 태양폭발의 모니터링 및 장애 회피방법 소개
 - 18GHz까지의 넓은 주파수 범위의 새로운 경보 시스템 구축 방안을 제시
- o 강연 3. 태양풍의 지상 감시를 위한 태양풍 관측시스템(KOJIMA 교수, 나고야 대학)
 - 태양풍 관측시스템의 관측원리 및 관측결과를 활용한 연구사례 소개
 - 일본, 호주, 멕시코, 러시아, 유럽 등의 태양풍 관측장비 소개 및 장단점 비교
- o 강연 4. 우주전파환경 감시를 위한 태양 관측장비 소개(김정훈 대표, (주)SETSystem)
 - 다양한 위성 및 지상 태양 관측장비의 종류 및 국내외 운용 현황 소개
 - 태양활동 모니터 및 예보를 위해 국내에 구축 필요한 관측장비 제안

강연에서 지상 통신망에 영향을 미치는 태양폭발의 모니터링 방법 및 장애 회피방안 등이 제시되어 태양활동 감시 및 경보의 중요성에 대한 이해도가 높아졌다. 또한, 태양활동 감시를 위한 다양한 종류의 지상 관측장비에 대한 소개로 산업분야 관계자 등 참석자들로부터 큰 관심을 받았다. 자문회의에서 우주전파환경연구센터에 신규 설치 예정인 태양풍 관측기와 태양전파 노이즈 관측기의 구축 및 활용 방안에 대한 토론을 통해 ①관측장비의 국산화 가능성 및 이를 위한 산학연 협력 의지 확인 ②우주전파환경연구센터 구축사업을 통해 설치할 관측장비와 이후 연차적으로 도입할 장비의 결정 및 개발방안 협의를 위해 산학연 공동연구 요구 등이 제기 되었다.

3. 제3차 전문가 초청강연 및 자문회의 (지자기 분야)

11월 25일 일본 지자기 관측시스템 제조사(TierraTecnica社)의 Nobuhito ONISHI 대표 등 지자기 분야 국내외 전문가 4명을 초청하여 강연 및 자문회의를 실시하였다.

<지자기분야 초청강연 내용>

- o 강연 1. 지자기 관측시스템 원리 및 응용분야(ONISHI 대표, 일본 TierraTecnica 社)
 - 지자기 관측기술의 원리 및 다양한 응용분야별 관측기 특성 소개
 - Magnetic Theodolite 사용법 현장교육
- o 강연 2. 우주전파환경과 전파통신(이동훈 교수, 경희대학교 우주과학과)
 - 태양활동이 지자기 권과 위성 및 지상의 전파통신에 미치는 영향 소개
 - 전파연구소가 운용하는 지자기 관측기기의 자료해석과 응용분야 제시
- o 강연 3. 지자기장 교란과 전리층 변화(최정립 박사, 한국과학기술원 물리학과)
 - 지자기장 변화와 전리층 변화와의 상호작용 메커니즘 소개
 - 과거 태양활동에 따른 지자기 및 전리층 변화 사례와 분석방법 소개
- o 강연 4. 지진전조현상 분석을 위한 지자기 관측자료 활용(오석훈 교수, 강원대학교)
 - 우주전파환경분야 이외의 관측자료 활용분야인 지진관련 연구동향 소개
 - 전파연구소 지자기 관측자료를 이용한 국내 연구결과 소개

강연을 통해 태양활동과 지구자기장의 상호작용을 통한 우주전파환경 변화 메커니즘과 지구자기장 관측기술 및 응용분야에 대해 파악하였다. 특히, 지구자기장 센서 검교정기기(Magnetic Theodolite) 사용법 교육을 통해 지구자기장 절대값 데이터의 자체 보정기술을 습득할 수 있는 좋은 계기가 되었다. 자문회의에서는 2010년 완료 예정인 강릉 지자기 관측소 구축사업과 관련하여 토론하였는데 예정 부지는 주변 도로 등 노이즈 발생원과의 충분한 이격거리를 확보하여(6번국도:600m, 7번국도:700m) 입지조건이 매우 우수함을 확인하였다. 또한, 향후 국내 여러기관(전파연구소, 기상청, 지자연, 천문연 등)에서 각각 운용중인 지자기 관측시설의 관측자료를 통합 관리하는데 전파연구소가 주도적 역할을 해야 한다는 요구사항이 제기되기도 하였다.

제5절 우주전파환경 관측자료 제공

전파연구소의 전리층 및 지자기 관측자료는 그 신뢰도가 우수하고 우주전파환경 분야뿐만 아니라 전파통신 환경 분석 및 지진 전조현상 연구 등 다양한 분야에 활용될 수 있기 때문에 국내외 다수의 학계 및 연구기관으로부터 요청을 받아 자료제공 서비스를 수행하고 있다. 2009년 한 해 동안의 우주전파환경 관측자료 제공 내역은 다음과 같다.

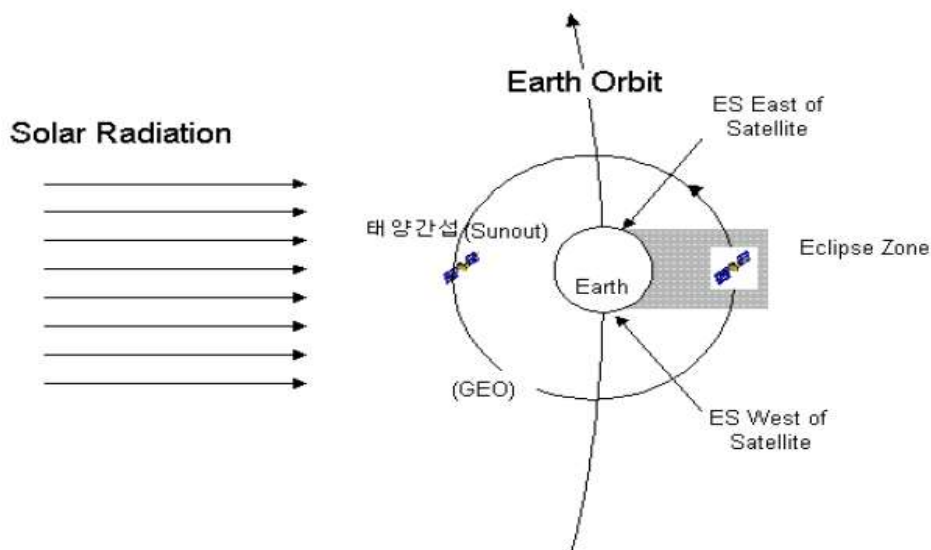
[표 9] 우주전파환경 관측자료 제공성과

번호	제공일	요청기관	사용목적	관측자료
1	1.13.	천문연구원 우주과학연구부	우주전파환경 연구	안양 전리층 관측자료와 IRI 모델 예측값과의 비교결과(foF2, hmF2) (1998.4.~2009.7.)
2	1.16.	KAIST 과학영재교육원	교육자료	이천 지자기 K-index (2008.10.1.~2009.1.15.)
3	1.19.	WDC (NOAA NESDIS)	관측자료 공유	제주 전리층 관측자료(SAO) (2009.1.19~)
4	1.30.	충남대학교 천문우주학과	우주전파환경 연구	안양 전리층 관측자료 (2008.4.~2009.1.)
5	3.10.	육군 정보통신학교	HF통신실험	안양-제주 사입사 관측자료 (2009.6.8.~9.)
6	7.16.	서울대학교 지구과학교육과	지진전조현상 연구	이천 지자기 관측자료 (2009.3.1.~31.)
7	7.20.	한국해양연구원	해양조사	제주 지자기 관측자료 (2009.6.8~15. / 7.12.~14.)
8	8.19.	(주)유에스티21	해양조사	이천, 제주 지자기 관측자료 (2009.7.25.~27.)
9	8.20.	서울대학교 지구과학교육과	지진전조현상 연구	이천 지자기 관측자료 (2009.1.1.~6.30.)
10	9.11.	KAIST 물리학과	우주전파환경 연구	안양 전리층 Drift 관측자료 (1998.4.~2007.12.)
11	9.16.	서울대학교 지구과학교육과	지진전조현상 연구	이천, 제주 지자기 관측자료 (2009.9.1.~5.)
12	10.6.	천문연구원 우주과학연구부	우주전파환경 연구	제주 전리층 및 지자기 관측자료 (2009.7.19.~24.)
13	10.13.	강원대학교 지구시스템공학과	지진전조현상 연구	이천 지자기 관측자료 (2004.1.1.~2009.9.1.)

제6절 위성 방송통신 장애 예보

전파연구소는 9월 16일, 추분(9월 23일)을 지나며 태양과 위성, 지상 수신국이 일직선상으로 놓여있게 되는 위성일식의 영향으로 발생하는 방송통신 장애 현상을 예보하였다. 올 해 전파연구소가 위성별 위성일식 현상의 규모와 시간을 예보함으로써 2008년 추분기에 발생하였던 무궁화위성 5호의 자세 제어 문제와 이에 따른 방송통신 서비스 장애사례와 같은 피해를 미연에 방지할 수 있었다.

위성일식 현상에 의한 태양전파 간섭이란 태양, 위성, 지구의 순서로 배열되어 위성을 향하고 있는 지구국의 안테나의 빔영역에 태양이 들어오기 때문에 발생하는 현상으로 고온의 태양에서 나오는 광대역의 잡음으로 인해 지구국 안테나의 온도가 갑자기 상승하여 발생하는 전파장애를 의미한다.



[그림 59] 위성일식 때의 태양, 위성, 지구의 기하학적 위치

위성방송의 대표적인 장애형태는 간헐적인 화면 모자이크 현상과 같은 화면 열화현상이 대부분이나, 간혹 위성 수신기가 방송 신호를 아예 수신하지 못하여 신호약함 표시화면(Blue Screen)이 수 분간 지속되는 현상이 발생할 수도 있다. 그러나 위성일식 기간동안 위성과 지상 관제국과 간의 통신 두절로 위성의 자세제어에 문제가 발생할 경우에는 장애 현상이 훨씬 심각하게 나타나게 된다. 실제로 2008년 추분기에 무궁화위성 5호에 자세제어

문제가 발생하여 외국방송의 중계 서비스 등 20여개의 방송통신 서비스가 약 14시간동안 두절되는 피해가 발생하였던 사례가 있다.

위성일식 현상에 의한 태양전파 간섭 현상은 매년 춘·추분기에 반복적으로 발생하는데, 전파연구소는 태양과 위성의 궤도정보와 지구국의 위치, 그리고 수신 안테나의 빔폭 등의 정보를 통해 비교적 정확하게 예측하고 예보함으로써 관련 기관들이 사전에 대응할 수 있도록 하고 있다.

전파연구소가 예보하였던 총 17종의 위성별 전파간섭 예측시간은 부록 5와 같다.

제6장 결 론

본 연구과제는 「우주전파연구센터」의 설립에 앞서 우주전파환경 연구 및 관측 기반을 확충하고 우주전파환경 예보 서비스 수행을 위한 역량을 강화하는 것을 목표로 2008년부터 2010년까지 3개년에 걸쳐 추진 중인 ‘우주전파환경 연구기반 강화’의 제 2차년도 과제이다.

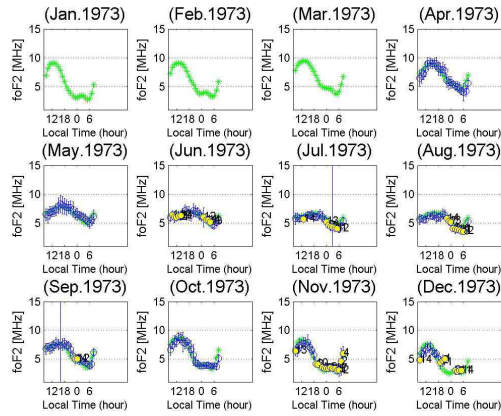
본 과제에서 우주전파환경 관측자료 분석 및 전리층 모델관련 연구를 수행하였고, 제주 센터운용에 대비하여 관측인프라 확충과 예보서비스 개선방안에 대해 연구하였다. 또한, 한-미 협력각서 체결 및 공군과의 우주전파환경 업무협력 양해각서를 체결하고 제1회 우주전파환경 서비스 수요자 컨퍼런스를 개최하는 등 대외협력 강화활동에서 큰 성과를 이루었다.

본 연구의 결과를 바탕으로 전파연구소는 더욱 심도있는 연구를 수행하고 2011년 제주의 「우주전파연구센터」 개소와 더불어 본격적인 대국민 우주전파환경 예보서비스 수행을 위해 지속적인 연구개발에 매진할 예정이다.

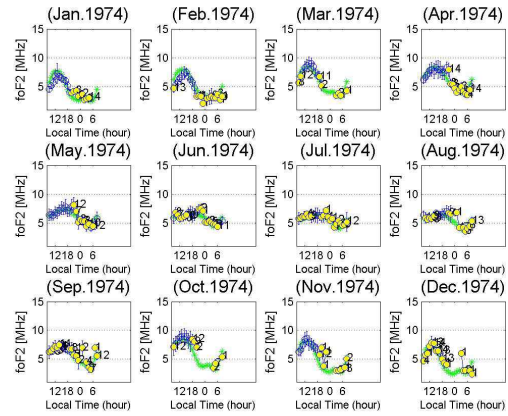
[참고문헌]

- [1] D. Bilitza, B.W. Reinisch, "International Reference Ionosphere 2007: Improvements and new parameters", *Advances in Space Research* 42, pp. 599-609, 2008
- [2] Michael Ram, "The Terrestrial Cosmic Ray Flux: Its Importance for Climate", *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, Volume 90, 3 November, 2009
- [3] 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
- [4] 전파연구소 연구보고서, 우주전파환경 연구기반 강화 I , 2008
- [5] Leo F. McNamara, "The Ionosphere: Communications, Surveillance, and Direction Finding", Krieger Publishing Company, 1991
- [6] Davies, K. *Ionospheric Radio*. Peter Peregrinus Ltd., London, 1990.
- [7] 전파연구소 연구보고서, 태양에 의한 위성 전파교란 예보연구, 1998.

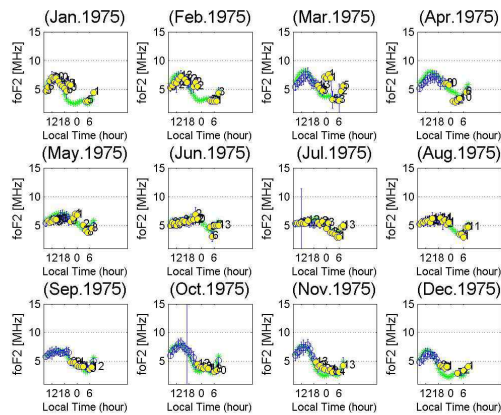
[부록 1] 안양 foF2 관측값과 IRI 모델 예측값 비교 그래프 (1973년~1998년)



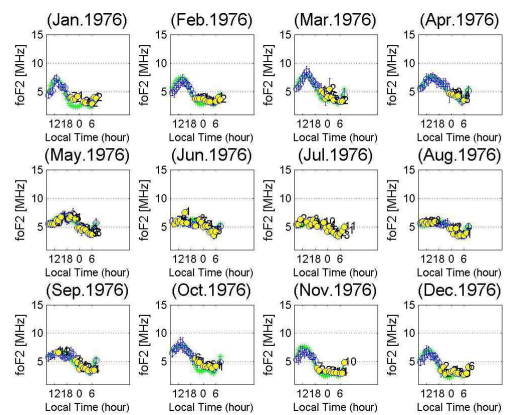
[그림 1-1] 안양 foF2 vs IRI (1973년)



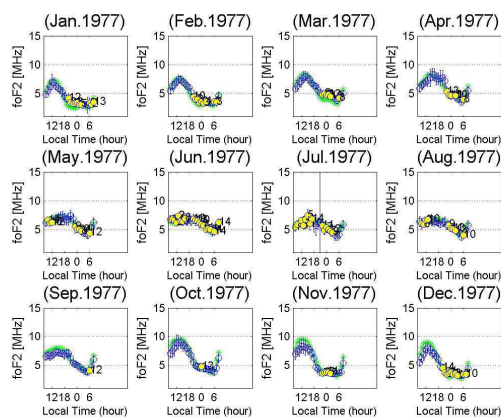
[그림 1-2] 안양 foF2 vs IRI (1974년)



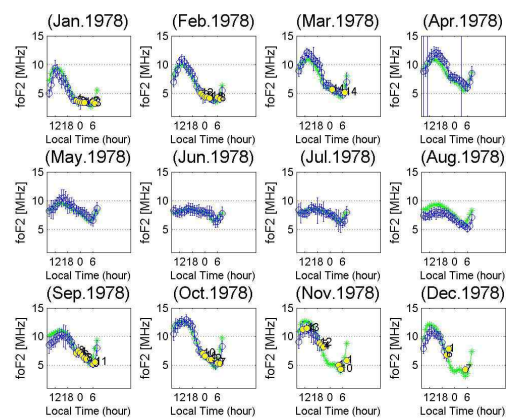
[그림 1-3] 안양 foF2 vs IRI (1975년)



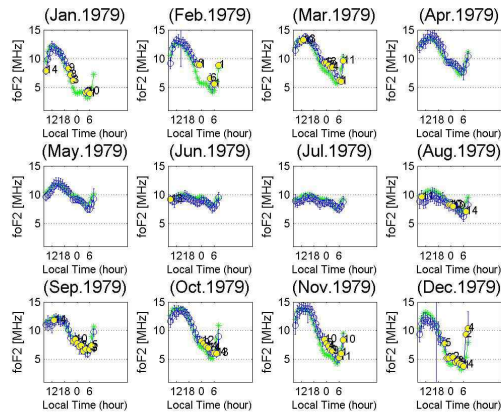
[그림 1-4] 안양 foF2 vs IRI (1976년)



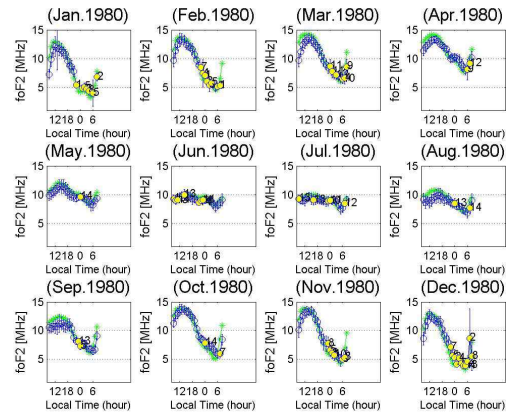
[그림 1-5] 안양 foF2 vs IRI (1977년)



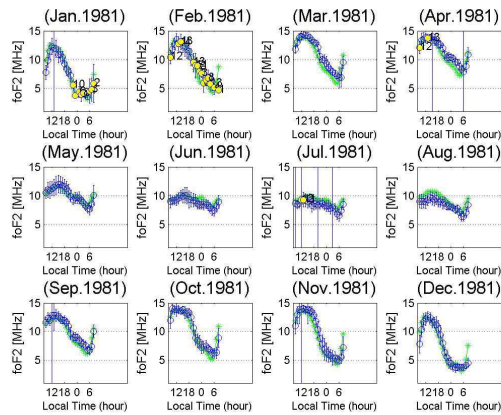
[그림 1-6] 안양 foF2 vs IRI (1978년)



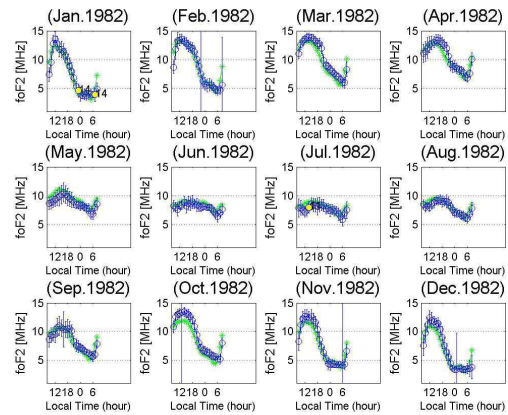
[그림 1-7] 안양 foF2 vs IRI (1979년)



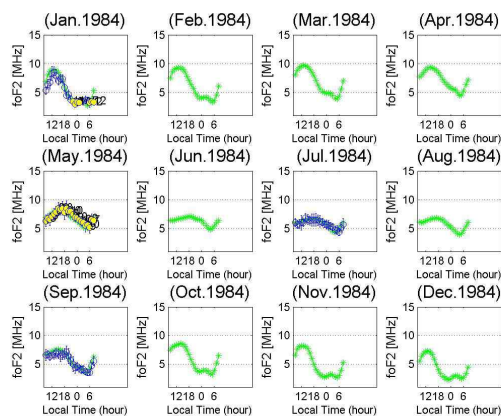
[그림 1-8] 안양 foF2 vs IRI (1980년)



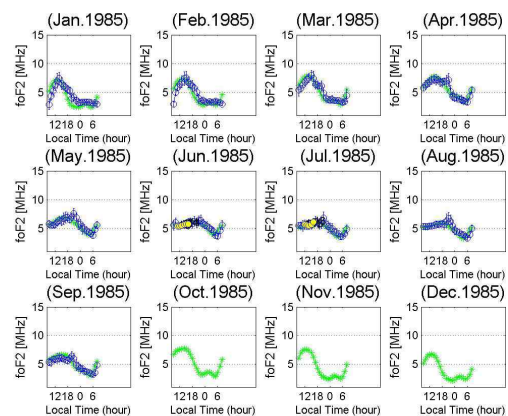
[그림 1-9] 안양 foF2 vs IRI (1981년)



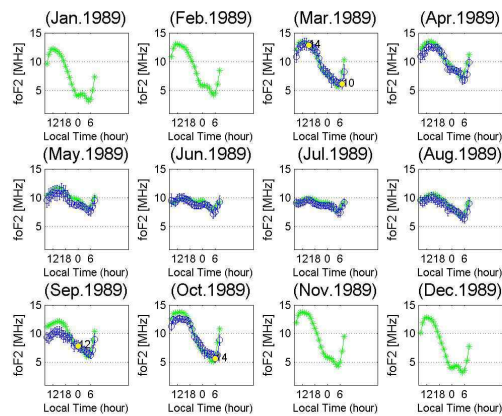
[그림 1-10] 안양 foF2 vs IRI (1982년)



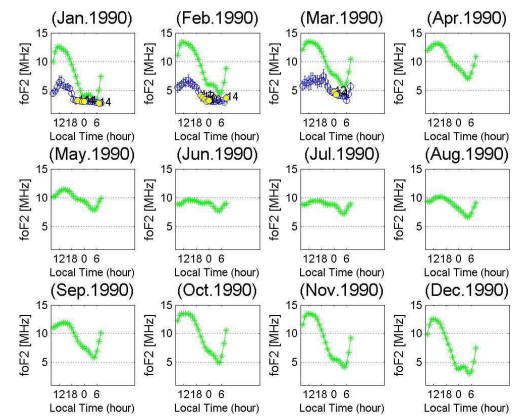
[그림 1-11] 안양 foF2 vs IRI (1984년)



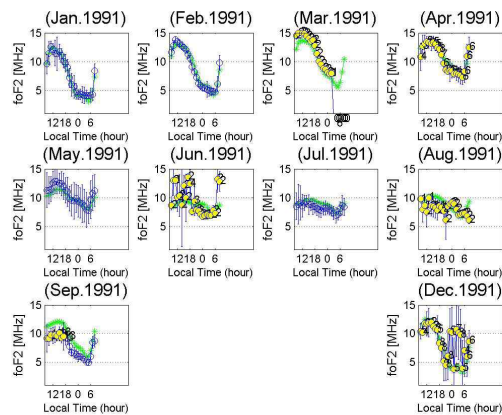
[그림 1-12] 안양 foF2 vs IRI (1985년)



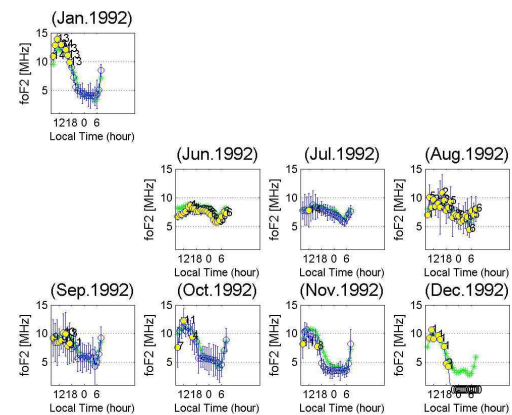
[그림 1-13] 안양 foF2 vs IRI (1989년)



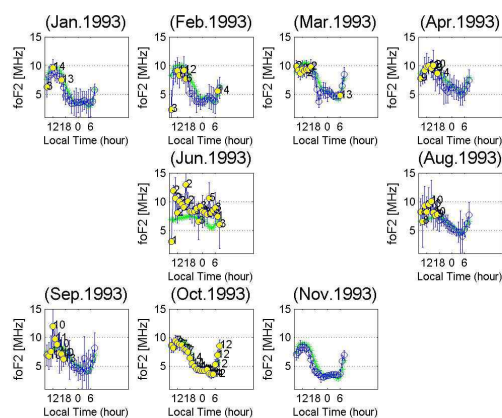
[그림 1-14] 안양 foF2 vs IRI (1990년)



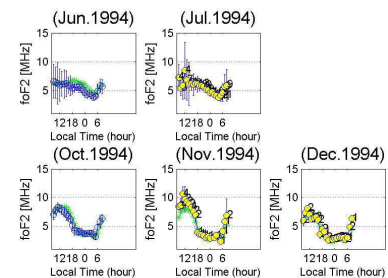
[그림 1-15] 안양 foF2 vs IRI (1991년)



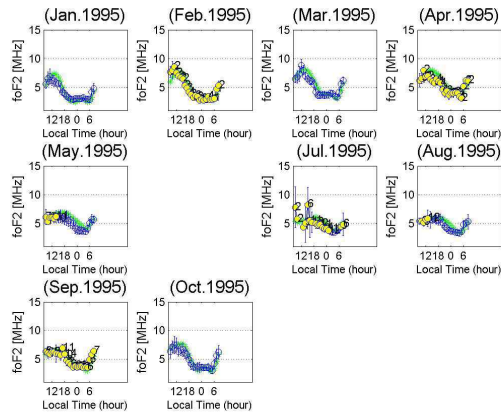
[그림 1-16] 안양 foF2 vs IRI (1992년)



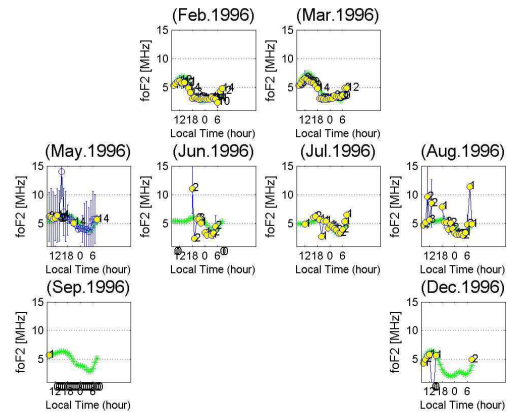
[그림 1-17] 안양 foF2 vs IRI (1993년)



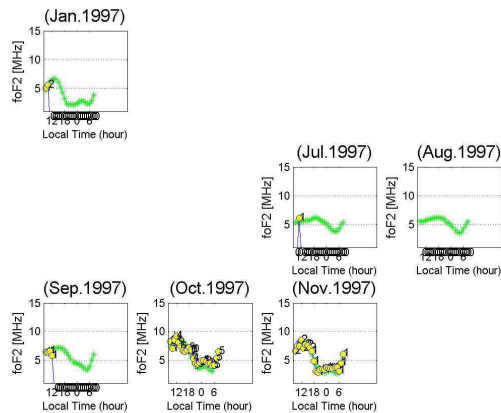
[그림 1-18] 안양 foF2 vs IRI (1994년)



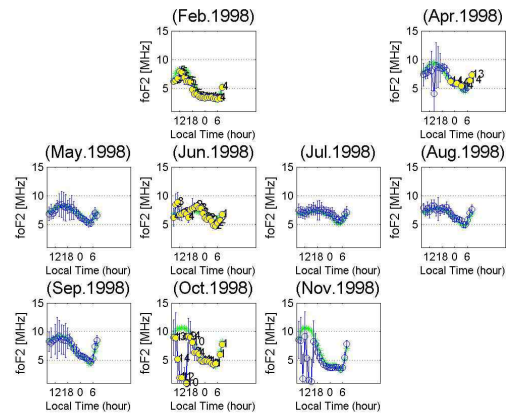
[그림 1-19] 안양 foF2 vs IRI (1995년)



[그림 1-20] 안양 foF2 vs IRI (1996년)



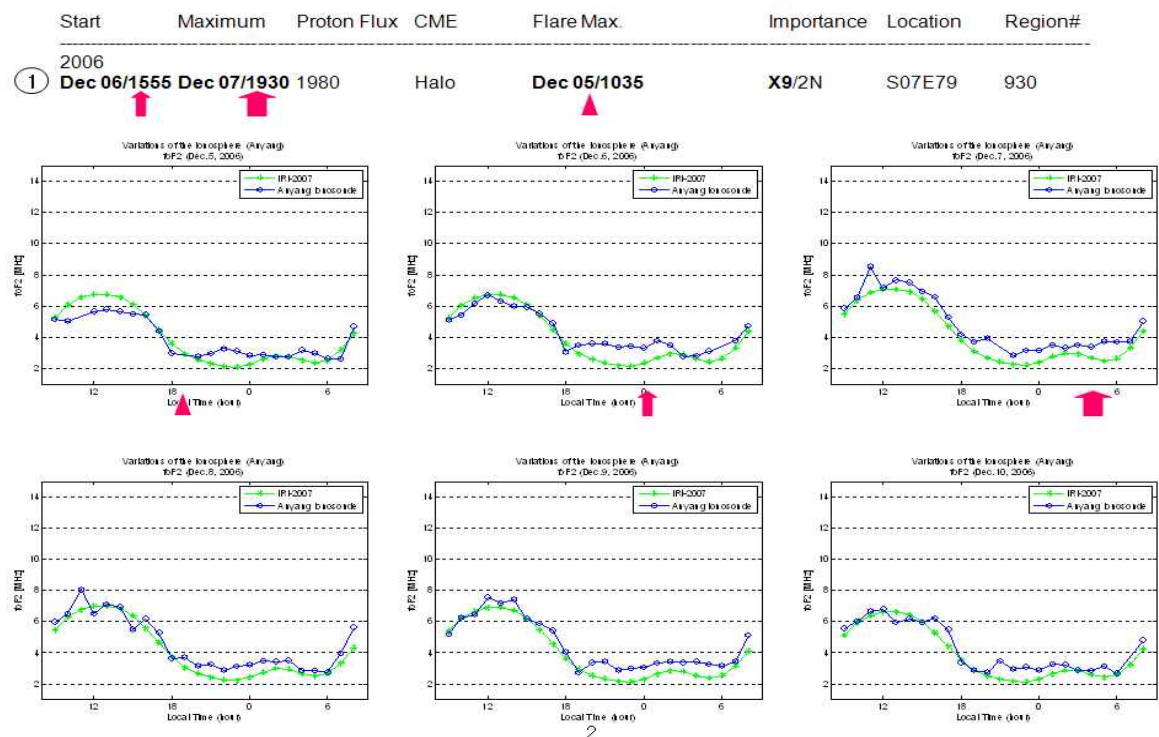
[그림 1-21] 안양 foF2 vs IRI (1997년)



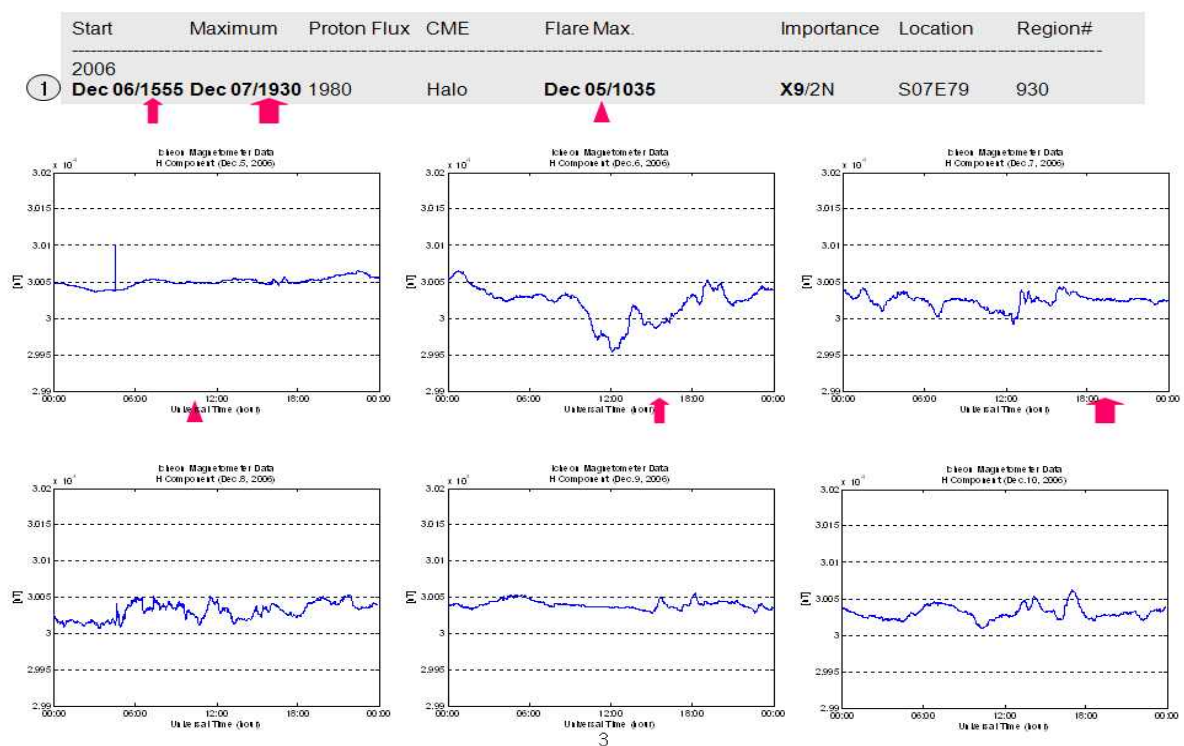
[그림 1-22] 안양 foF2 vs IRI (1998년)

※ 1998년~2008년 자료는 2008년도 연구과제 ‘우주전파환경 연구기반 강화 I’ 연구보고서 참조요망

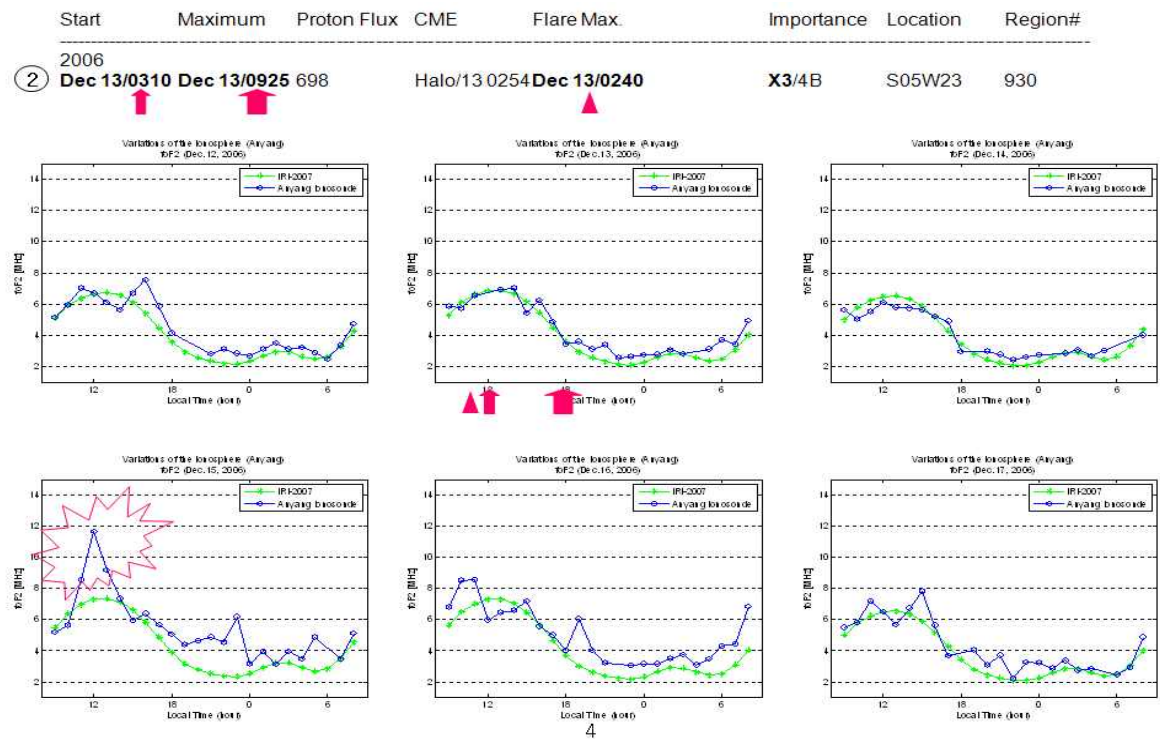
[부록 2] 태양흑점 폭발시 전리층 및 지자기 관측값 비교 그래프



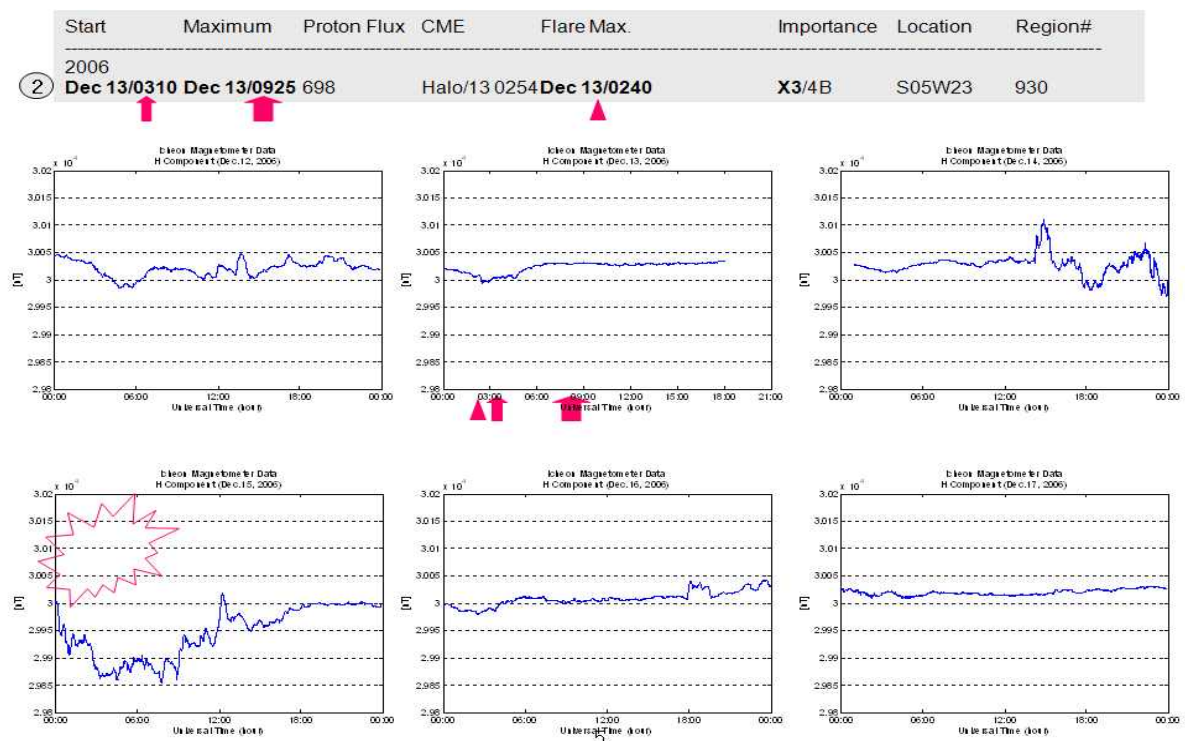
[그림 2-1] 안양 전리층 관측자료 (태양 플레어 사례 1, X9급, 2006.12.6.)



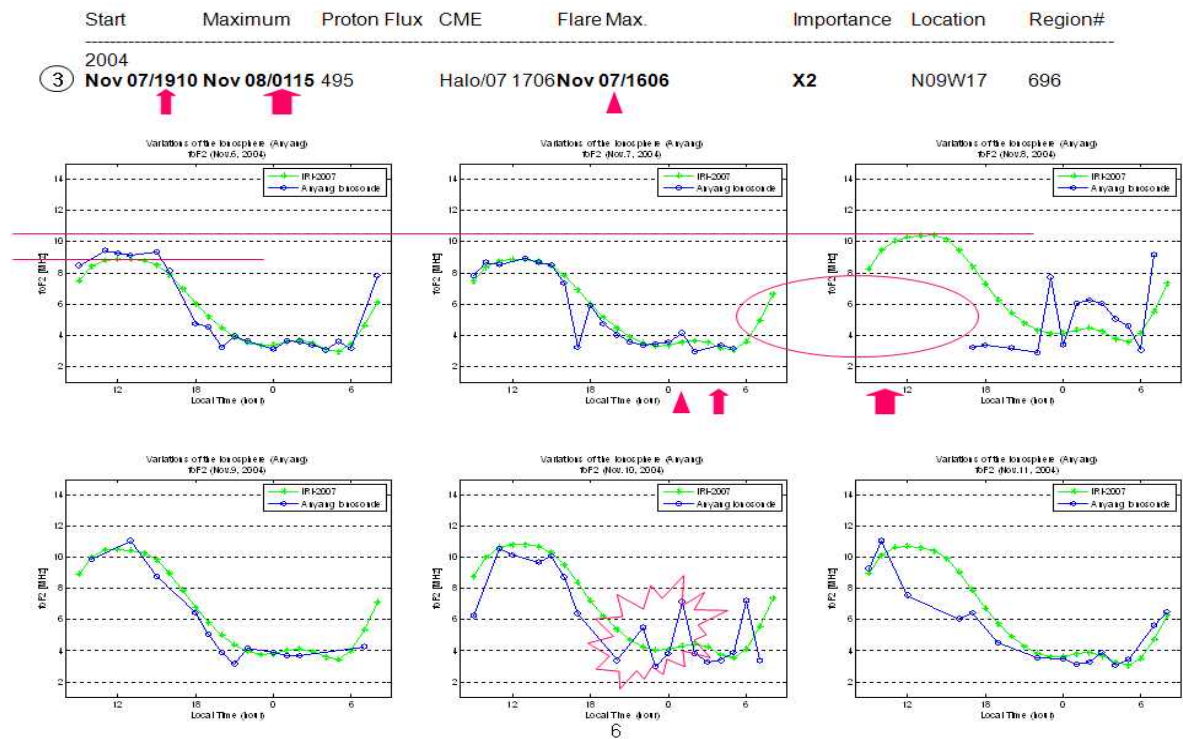
[그림 2-2] 이천 지자기 관측자료 (태양 플레어 사례 1, X9급, 2006.12.6.)



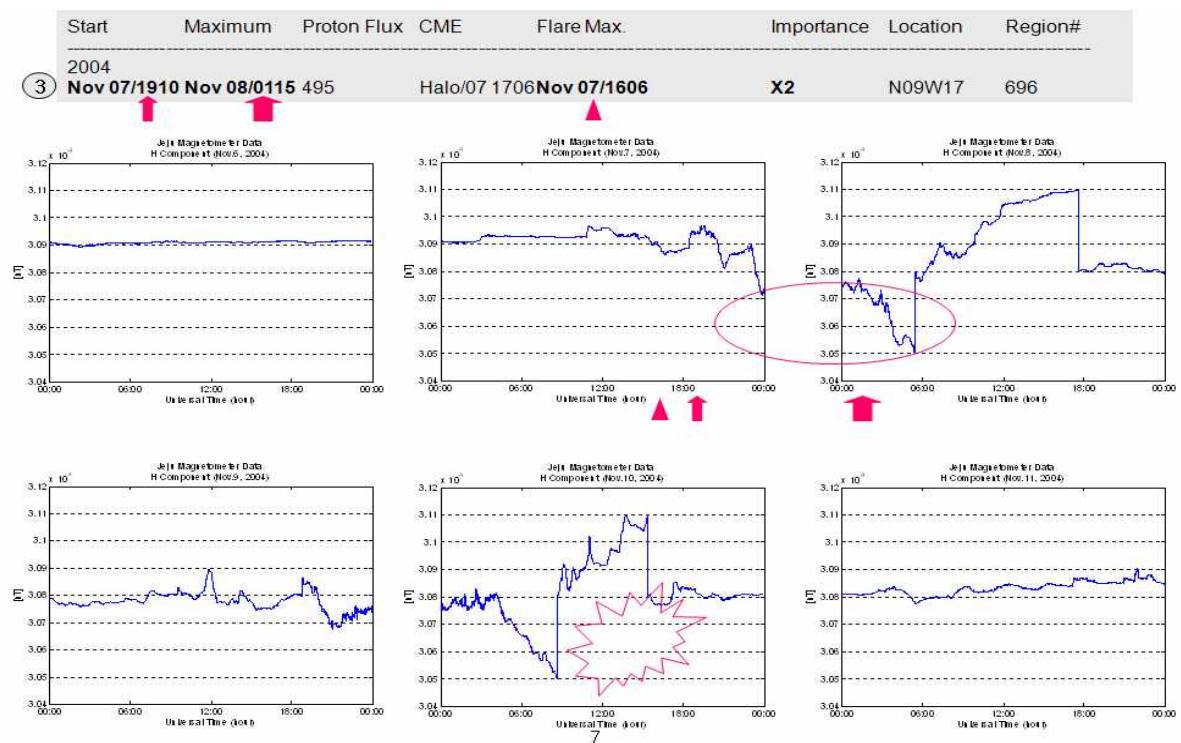
[그림 2-3] 안양 전리층 관측자료 (태양 플레어 사례 2, X3급, 2006.12.13.)



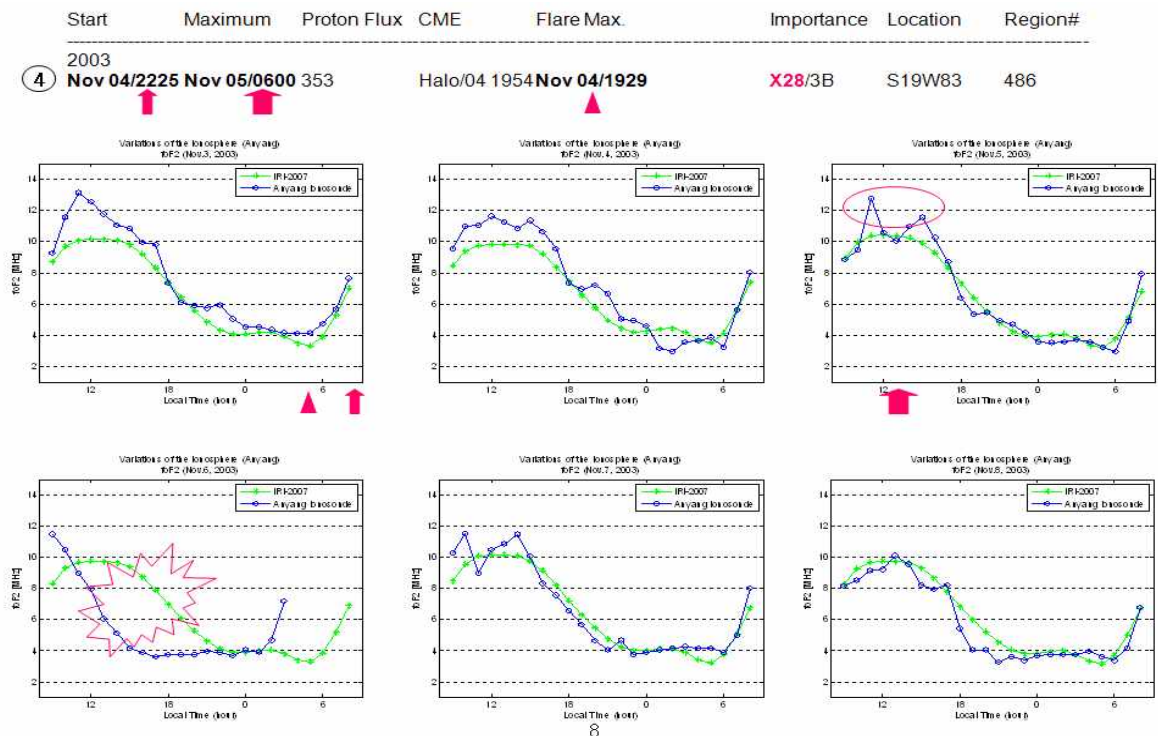
[그림 2-4] 이천 지자기 관측자료 (태양 플레어 사례 2, X3급, 2006.12.13.)



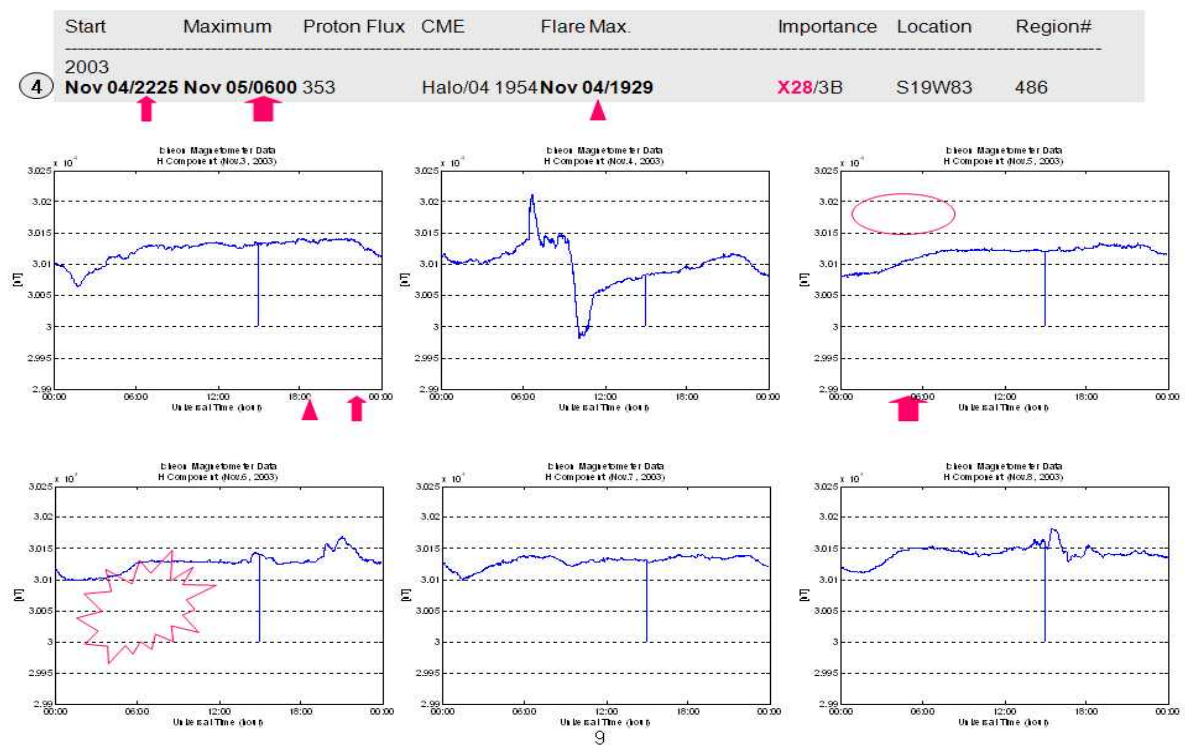
[그림 2-5] 안양 전리층 관측자료 (태양 플레어 사례 3, X2급, 2004.11.7.)



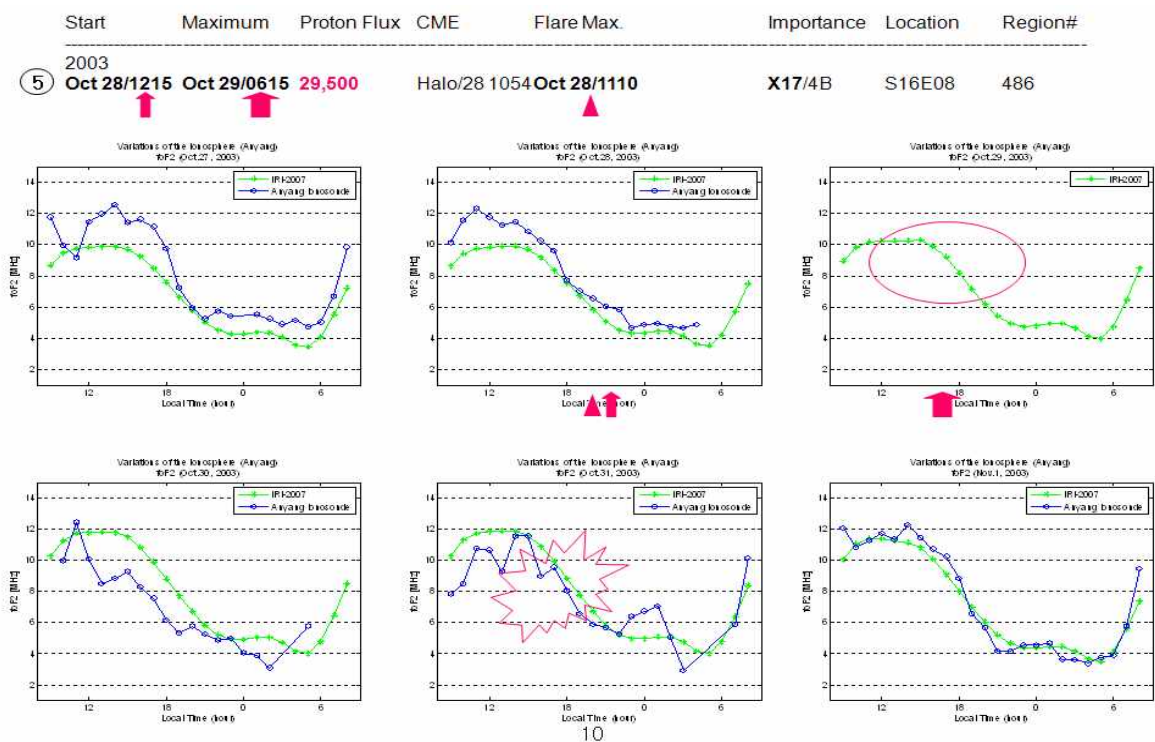
[그림 2-6] 제주 지자기 관측자료 (태양 플레어 사례 3, X2급, 2004.11.7.)



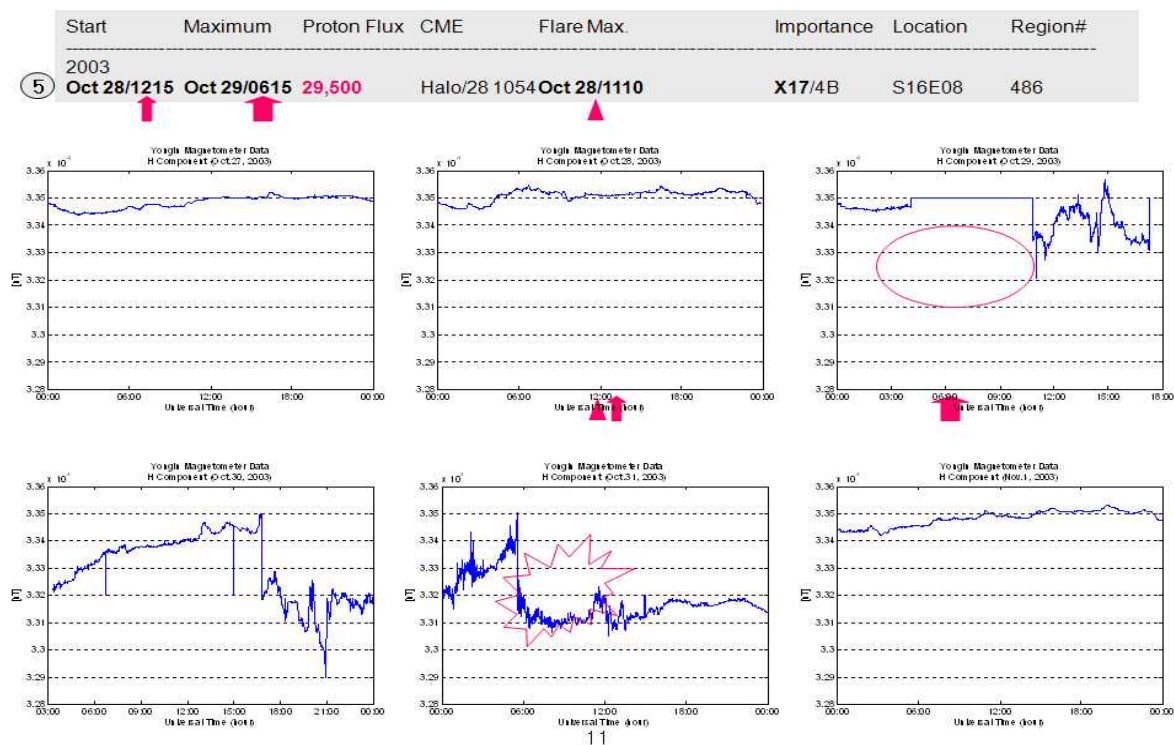
[그림 2-7] 안양 전리층 관측자료 (태양 플레어 사례 4, X28급, 2003.11.4.)



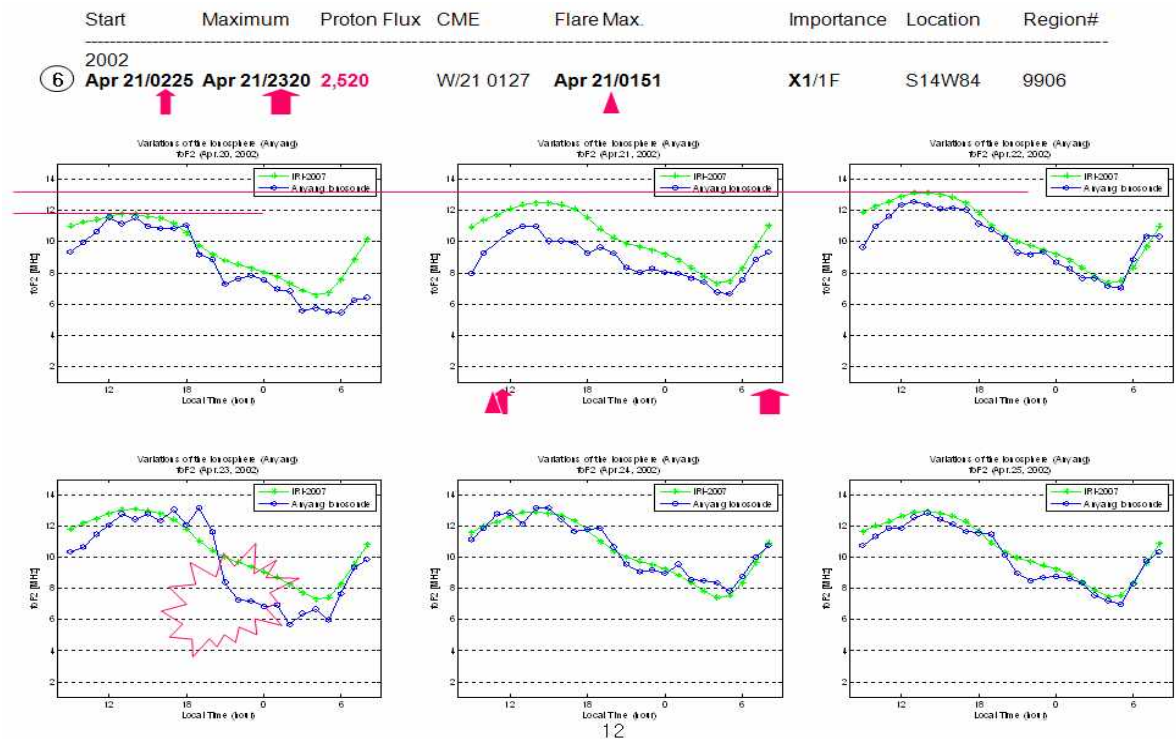
[그림 2-8] 이천 지자기 관측자료 (태양 플레어 사례 4, X28급, 2003.11.4.)



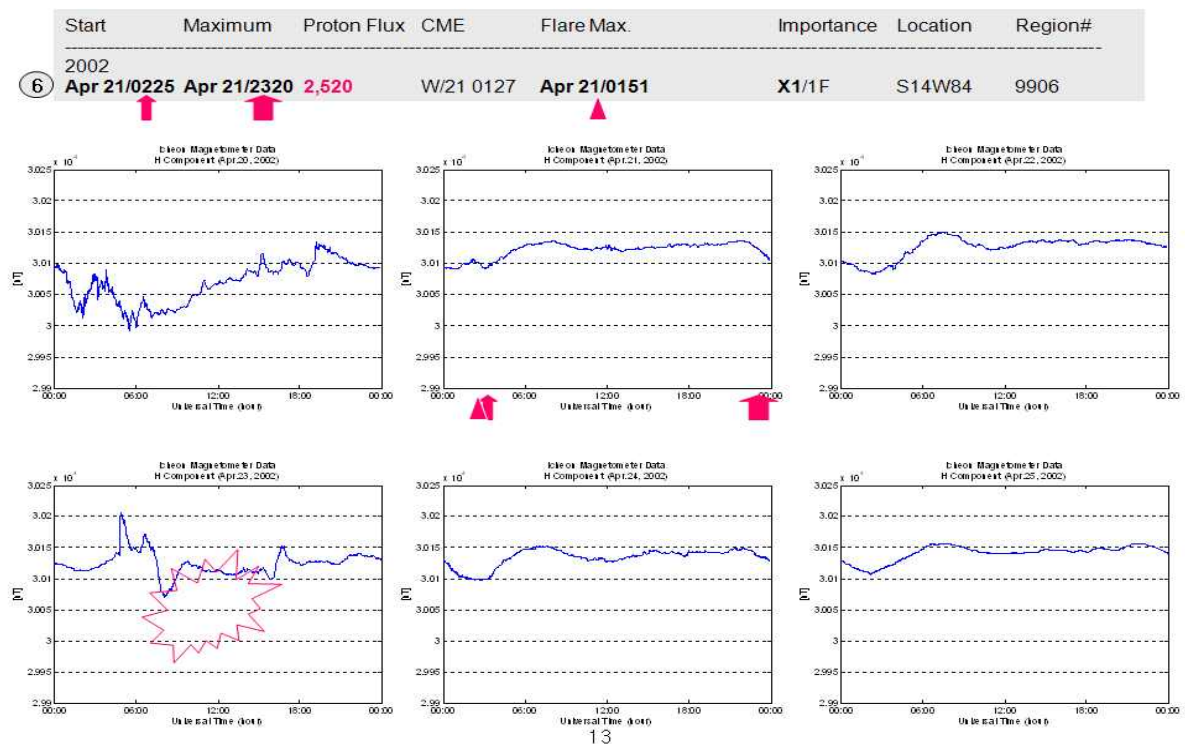
[그림 2-9] 안양 전리층 관측자료 (태양 플레어 사례 5, X17급, 2003.10.28.)



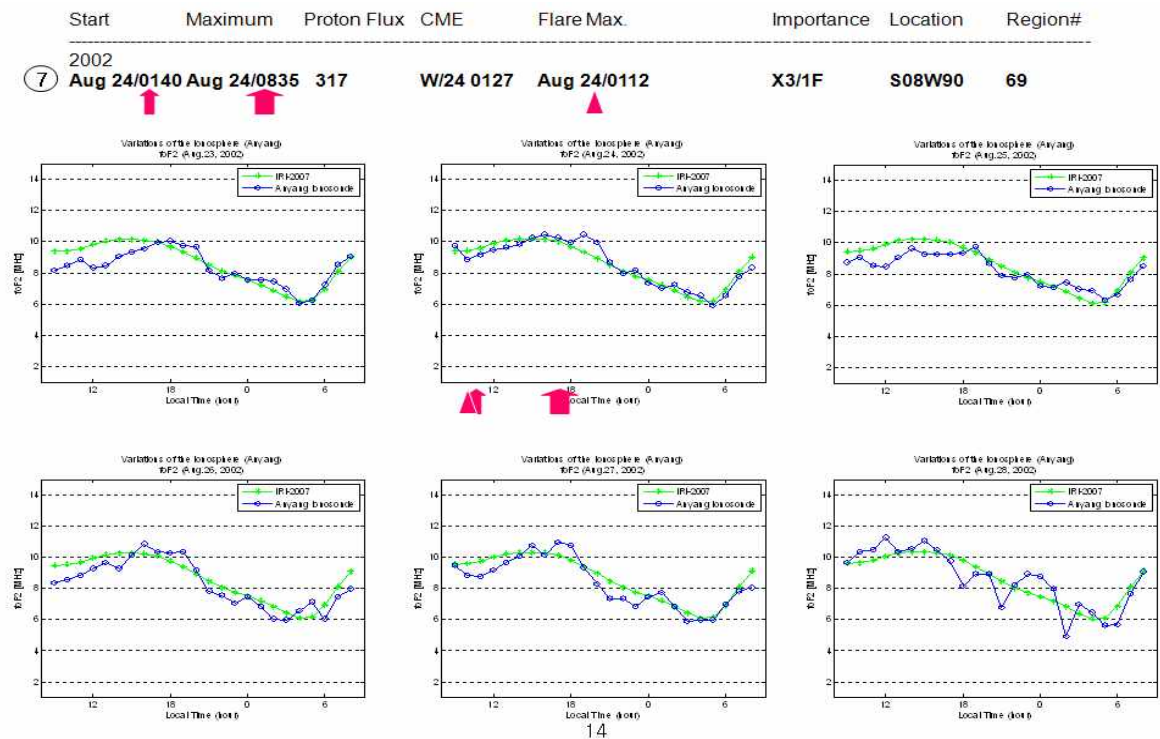
[그림 2-10] 용인 지자기 관측자료 (태양 플레어 사례 5, X17급, 2003.10.28.)



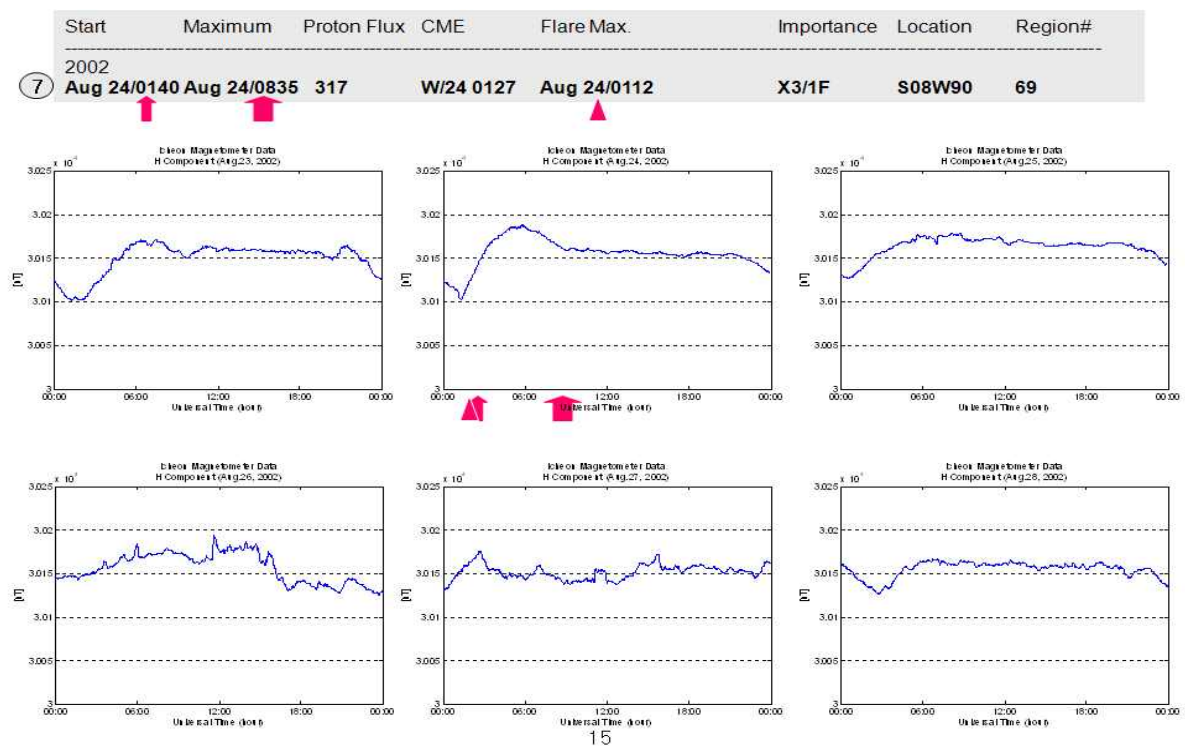
[그림 2-11] 안양 전리층 관측자료 (태양 플레어 사례 6, X1급, 2002.4.21.)



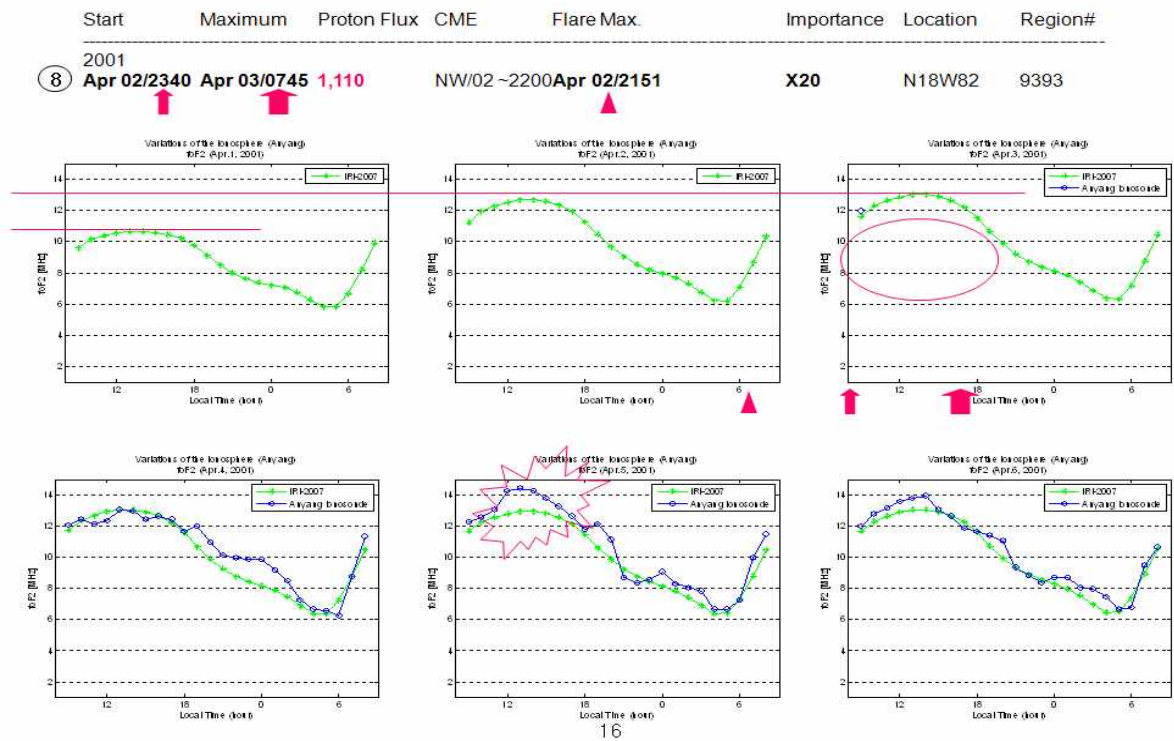
[그림 2-12] 이천 지자기 관측자료 (태양 플레어 사례 6, X1급, 2002.4.21.)



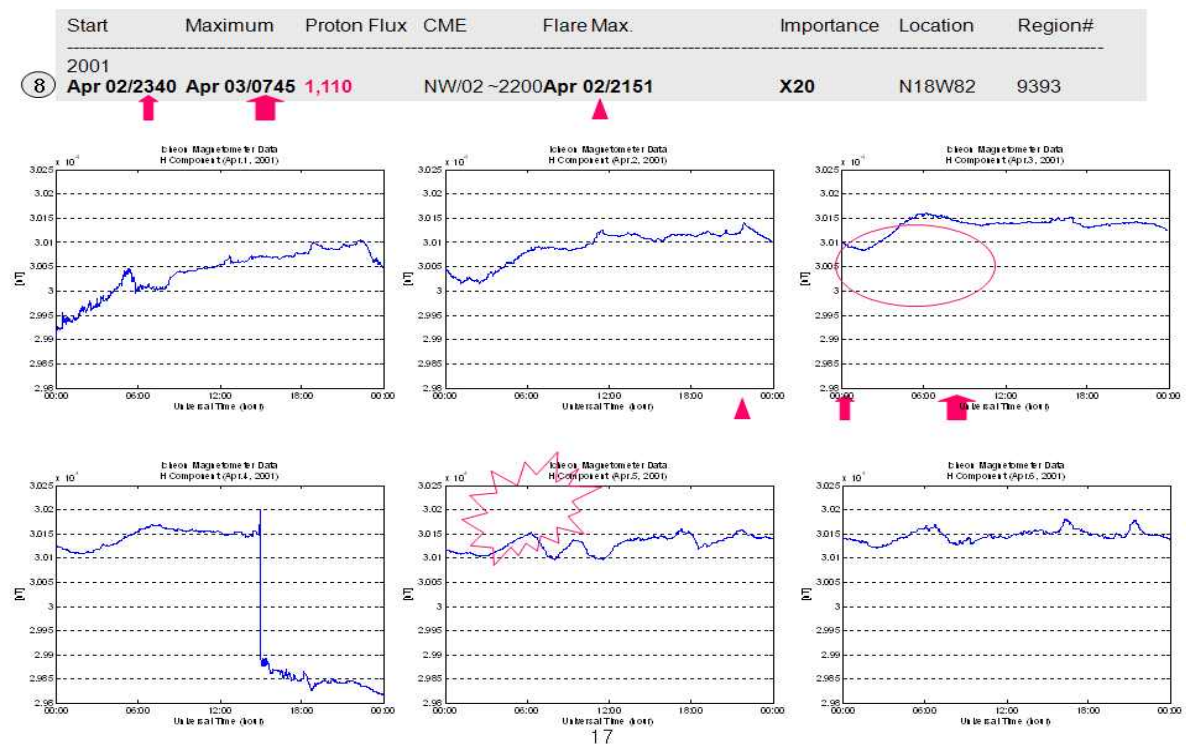
[그림 2-13] 안양 전리층 관측자료 (태양 플레어 사례 7, X3급, 2002.8.24.)



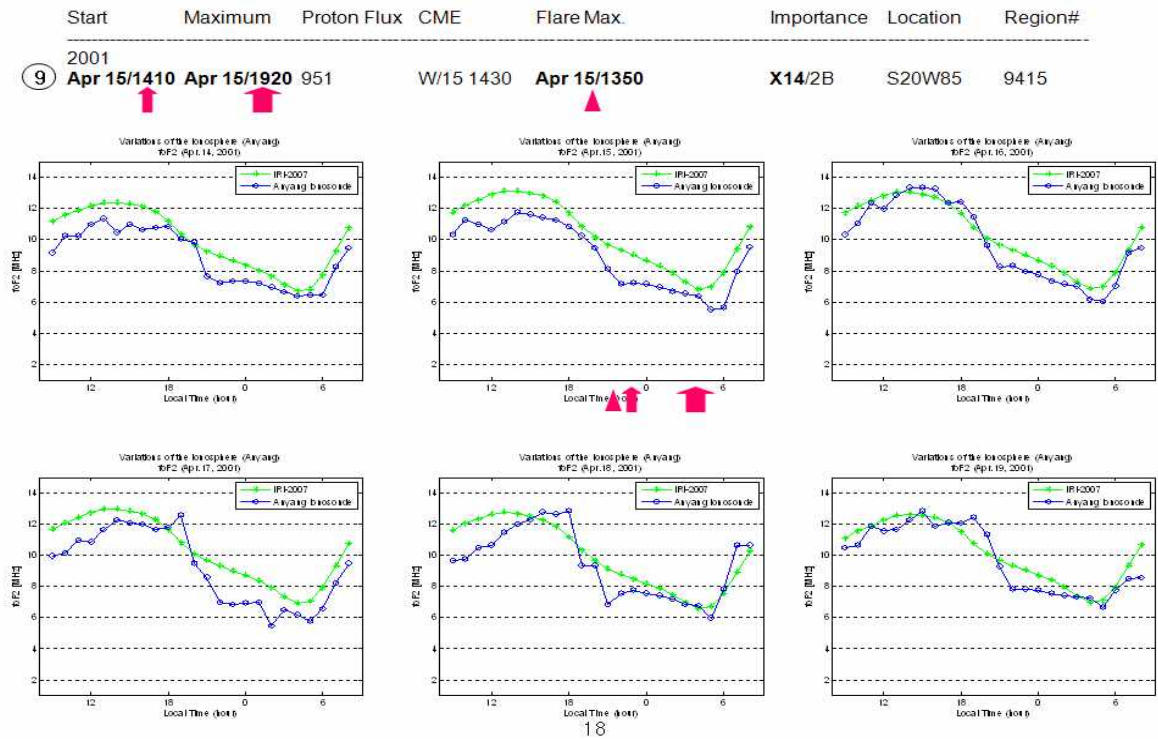
[그림 2-14] 이천 지자기 관측자료 (태양 플레어 사례 7, X3급, 2002.8.24.)



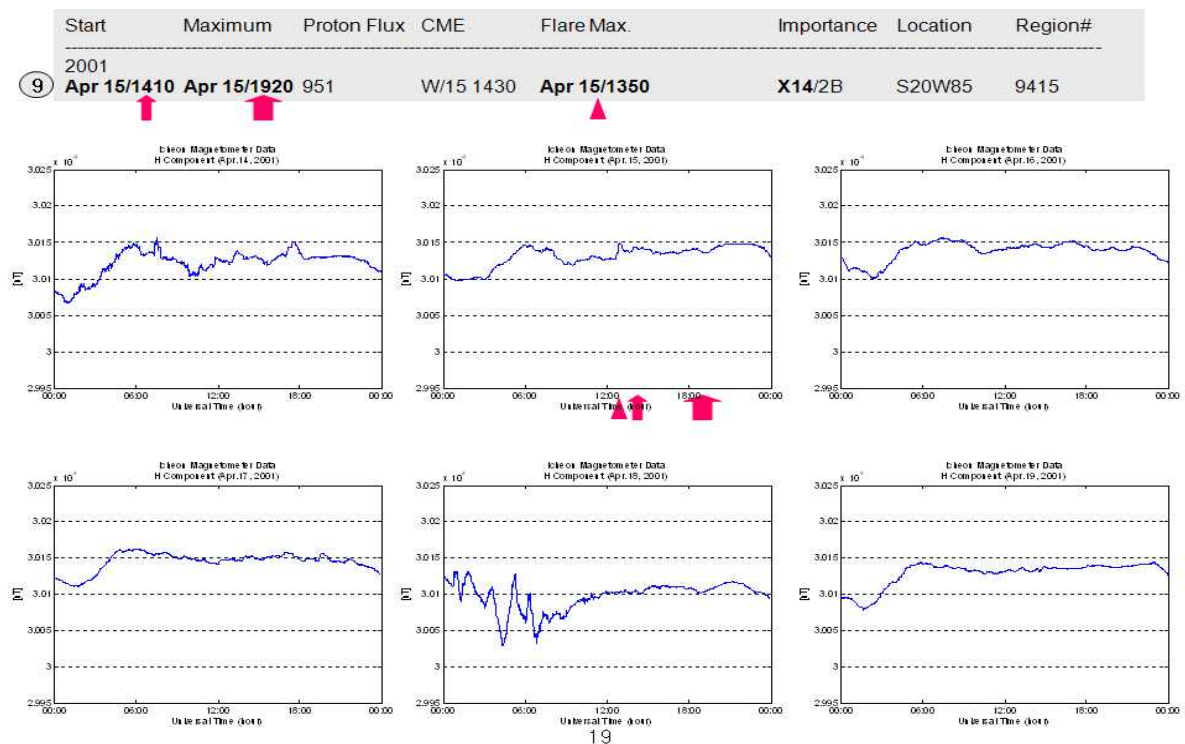
[그림 2-15] 안양 전리층 관측자료 (태양 플레어 사례 8, X20급, 2001.4.2.)



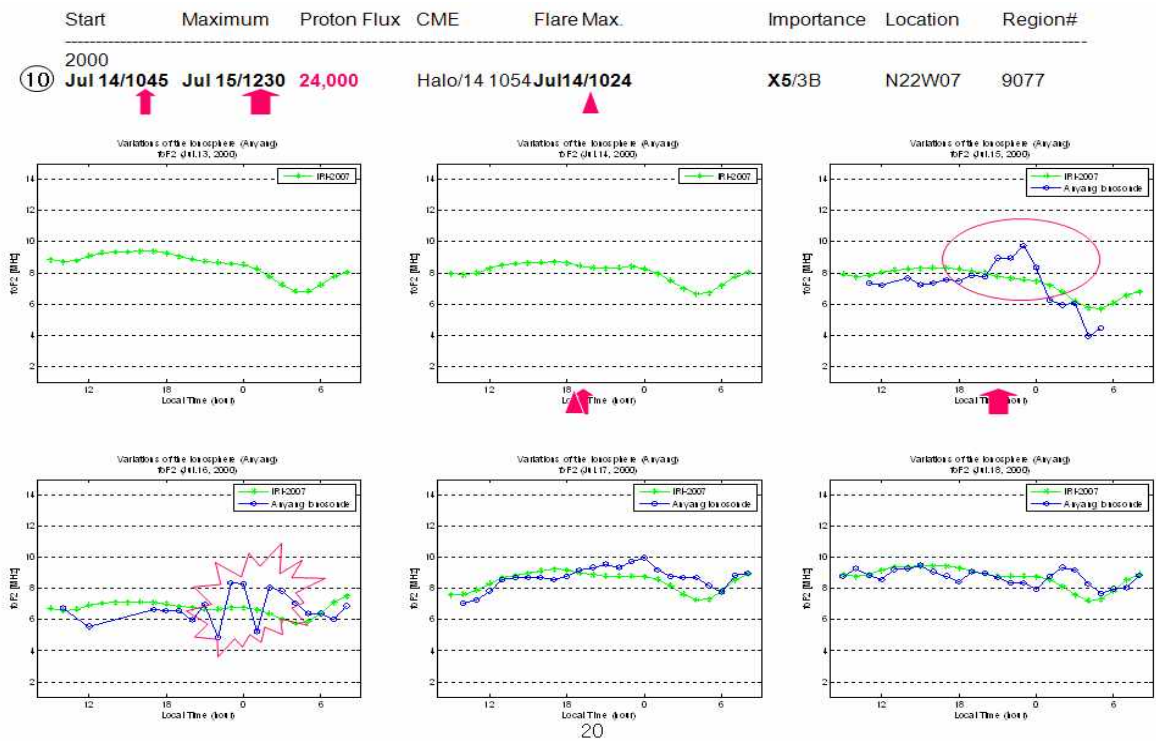
[그림 2-16] 이천 지자기 관측자료 (태양 플레어 사례 8, X20급, 2001.4.2.)



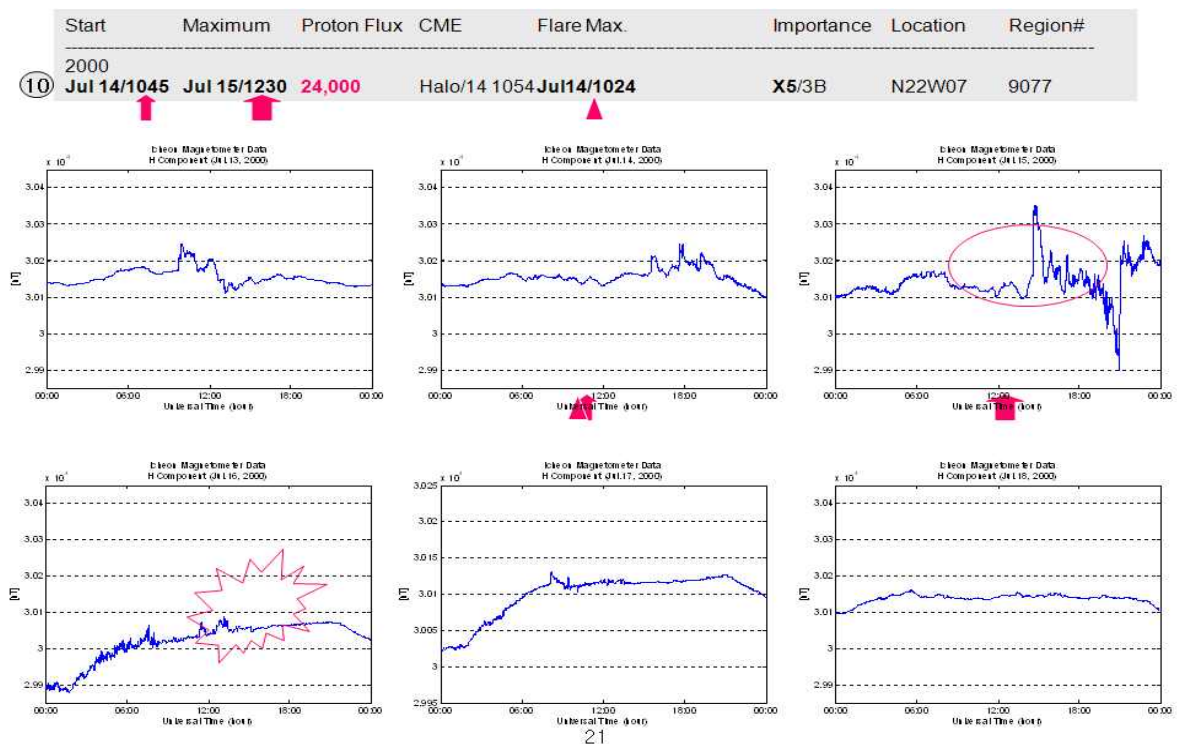
[그림 2-17] 안양 전리층 관측자료 (태양 플레어 사례 9, X14급, 2001.4.15.)



[그림 2-18] 이천 지자기 관측자료 (태양 플레어 사례 9, X14급, 2001.4.15.)



[그림 2-19] 안양 전리층 관측자료 (태양 플레어 사례 10, X5급, 2000.7.14.)



[그림 2-20] 이천 지자기 관측자료 (태양 플레어 사례 10, X5급, 2000.7.14.)

[부록 3] 전리층 및 지자기 관측자료 분석 프로그램 소스코드

1. 전리층 자료 분석 프로그램

① compareF2DB.m

```
%function compareF2DB
% Convert IRI data file format daily to year
%
% compareF2DB
% ex) >>compareF2DB
%
% File Log - SunHak Hong
% 2008.10.14 - File Created
% 2009.02.17 - File Created

clear all;

TRUE = 1; FALSE = 0;
EnableSaveVariable = TRUE;
EnableSaveFigure = TRUE;

EnableComparingWithIRI = TRUE;
Enable2SampleTTest = FALSE * EnableComparingWithIRI;
EnableComparingEachDay = FALSE;

monthName = ['Jan'; 'Feb'; 'Mar'; 'Apr'; ...
    'May'; 'Jun'; 'Jul'; 'Aug'; ...
    'Sep'; 'Oct'; 'Nov'; 'Dec'];

legMark=['o-','*-','x-','+-','h-','d-','v-','p-','.-'];    %% <-----변경가능
legColor=[0 0 1 ; 1 0 0 ; 0 0.5 0 ; 0 0.75 0.75 ; 0.75 0 0.75 ; 0.75 0.75 0 ; 0 0.25 0.25 ; 0.25 0 0.25 ; 0.25 0.25 0];

%*****
% Two-sample t-test
% significance level = 1%
%*****
if Enable2SampleTTest
    SignificanceLevel = 0.00000001;
    fprintf(1,'\nsignificance level = %f%%\n',SignificanceLevel*100);
end

%pathNameOutFile = sprintf('%s\comparedOut', pwd);
pathNameOutFile = sprintf('%s\comparedOut_NEW', pwd);
pathNameMeasuredData = sprintf('%s\DataFromSRDB2', pwd);

%*****
% File read for ionosonde measured Parameters
% (Universal time)
%*****
%pname=sprintf('%s\*.dat',pwd);
%pname=sprintf('%s\AN438_???_foF2.txt',pwd);
pname=sprintf('%s\AN438_???_foF2.txt',pathNameMeasuredData);

[tmpIonosondeOutFile,pname]=uigetfile(pname,'Choose Ionosonde DB file');
IonosondeOutFile=sprintf('%s%s',pname(1:end),tmpIonosondeOutFile); % yyyy.MM.dd (DDD) HH:mm:ss foF2 foF2p foEs hmF2 TEC MUF(D) M(D)

% [1]Year, [2]Month, [3]Day, [4]Time, [5]Minute, [6]Second, [7]AnyangFoF2
fid = fopen(IonosondeOutFile, 'r');
IonosondeOut = fscanf(fid, ['%4d%2d%2d%2d%2d %g'], [7 inf]);
```

```

IonosondeOut = IonosondeOut';
fclose(fid);

givenYear = IonosondeOut(1,1);
obser.foF2 = IonosondeOut(:,7);
obser.timeStamp2 = IonosondeOut(:,2) + IonosondeOut(:,3)/24 + IonosondeOut(:,4)/60/24 ; %Day / Time / Minute
%obser.timeStamp = [IonosondeOut(:,1) IonosondeOut(:,2) IonosondeOut(:,4) IonosondeOut(:,5)]; %Year / Month / Day of Year / Time(UT)
obser.timeStamp = [IonosondeOut(:,1) IonosondeOut(:,2) IonosondeOut(:,3) IonosondeOut(:,4)]; %Year / Month / Day / Time(UT)

%*****
% Time Shift (LT -> UT)
% (From 1973 to 1990)
%*****
givenYear = obser.timeStamp(1,1);
if givenYear <= 1990
    obser.timeStamp(:,4) = mod(obser.timeStamp(:,4)-8, 24);
end

if EnableComparingWithIRI
    %*****
    % File read for IRI foF2 data
    % (universal time)
    %*****
    givenYear = str2num(tmpIonosondeOutFile(7:10));
    givenMonth = 1;
    givenDay = 0;
    givenTime = 0;

    %pname='C:\cygwin\home\zhdskan\work\iri2007\outFoF2\*';
    %pname='C:\cygwin\home\zhdskan\work\iri2007\outFoF2_UT\*';
    pname='D:\IonoData\FortranWork\IRI2007\out\*';

    model.foF2 = [];
    model.timeStamp = [];
    model.hmF2 = [];

    for givenMonth = 1:12
        %for givenMonth = 1:4

            endDay = 0; %end day of the given month in given year    ex) givenMonth=2 -> endDay=32+28 %}
            for iMonth = 1:givenMonth
                iDay = eomday(givenYear, iMonth);
                endDay = endDay+iDay;
            end
            startDay=endDay-iDay+1; %start day of the given month    ex) givenMonth=2 -> startDay=32

            if givenDay ~= 0
                startDay = startDay + givenDay - 1;
                endDay = startDay;
            end

            for iDay = startDay:endDay
                fileName = sprintf('%4.0f_%03.0fth_ut.out',givenYear, iDay);
                %fileName = sprintf('%4.0f_%03.0fth_lt.out',givenYear, iDay);
                modelOutFile = fullfile(pname(1:end-1),num2str(givenYear),fileName);

                % HOUR                E-VALLEY                PLAS FREQ/ MHz                NmF2    hmF2    TEC
                % L.T.    M3000    B0/km    W/km    Depth    foF2    foF1    foE    m-3    km    m-2
                % [1]    [2]    [3]    [4]    [5]    [6]    [7]    [8]    [9]    [10]    [11]
                fid = fopen(modelOutFile, 'r');
                if fid == -1
                    %fclose(fid);
                    fprintf(1,'\n can not open the file! %s',modelOutFile);
                    break;

```



```

end

modelOut = fscanf(fid, '%g %g %g %g %g %g %g %g %g %g', [11 inf]); % It has 11 rows now.
modelOut = modelOut';

model.foF2 = [model.foF2; modelOut(:,6)];
model.timeStamp = [model.timeStamp; repmat(givenYear,24,1) repmat(givenMonth,24,1) repmat(iDay,24,1) modelOut(:,1)]; %Year / Month /
Day of Year / Time(UT)
model.hmF2 = [model.hmF2; modelOut(:,10)];

fclose(fid);
end

end
end %EnableComparingWithIRI

givenParameter = 0;
if 0
    givenParameter = input('Choose F2 Peak Parameter for Comparing with IRI : ', 's');
    if isempty(givenParameter)
        reply = '1';
    end
    givenMonth = str2num(givenParameter);
end

givenParameter = menu('Choose a Parameter','foF2', 'hmF2');

if givenParameter == 0
    fprintf(1,'\n');
    break;
end

if givenParameter == 1
    obserfoF2 = [obser.timeStamp obser.foF2];
    if EnableComparingWithIRI
        modelfoF2 = [model.timeStamp model.foF2];
    end
elseif givenParameter == 2
    obserfoF2 = [obser.timeStamp obser.hmF2];
    if EnableComparingWithIRI
        modelfoF2 = [model.timeStamp model.hmF2];
    end
end

if EnableComparingWithIRI
    %*****
    % find median value for modeled foF2 data
    % (Universal time)
    %*****
    for iMonth = 1:12
        indiThisMonth = find(modelfoF2(:,2) == iMonth);
        if isempty(indiThisMonth) == 0 % if it has data
            foF2ThisMonth = modelfoF2([indiThisMonth],:);
            for iTime = 0:23
                indiThisTime = find(foF2ThisMonth(:,4) == iTime );
                if isempty(indiThisTime) == 0 % if it has data
                    foF2ThisTime = foF2ThisMonth([indiThisTime],:);

                    % avgFoF2Anyang(24by12) 1st rows are 24UT values
                    foF2ModelThisTime = foF2Model(:,5);
                    nonZeroFoF2ModelThisTime = foF2ModelThisTime(foF2ModelThisTime>0);
                    nonZeroFoF2ModelData(iTime+1,iMonth) = nonZeroFoF2ModelThisTime;

                    medFoF2Model(iTime+1,iMonth) = median(nonZeroFoF2ModelThisTime);
                    stdFoF2Model(iTime+1,iMonth) = std(nonZeroFoF2ModelThisTime);
                end
            end
        end
    end
end
end

```

```

        end
    end
end %EnableComparingWithIRI

%*****
% find median value for measured foF2 data
% (Universal time)
%*****
for iMonth = 1:12
    indiThisMonth = find(observerFoF2(:,2) == iMonth);
    if isempty(indiThisMonth) == 0 % if it has data
        foF2ThisMonth = observerFoF2([indiThisMonth],:);
        for iTime = 0:23
            indiThisTime = find(foF2ThisMonth(:,4) == iTime);
            if isempty(indiThisTime) == 0 % if it has data
                foF2ThisTime = foF2ThisMonth([indiThisTime],:);

                % avgFoF2Anyang(24by12) 1st rows are 24UT values
                foF2ObserThisTime = foF2ThisTime(:,5);
                nonZeroFoF2ObserThisTime = foF2ObserThisTime(foF2ObserThisTime>0);
                nonZeroFoF2ObserData(iTime+1,iMonth) = nonZeroFoF2ObserThisTime;

                %*****
                % Two-sample t-test
                % significance level = 1%
                %*****
                if Enable2SampleTTest

                    %nonZeroFoF2ObserThisTime
                    %nonZeroFoF2ModelData(iTime+1,iMonth)

                    if isempty(nonZeroFoF2ObserThisTime) == 1
                        h_FoF2 = 0; p_FoF2 = 0;
                    else
                        [h_FoF2, p_FoF2] = ttest2(nonZeroFoF2ObserThisTime, nonZeroFoF2ModelData(iTime+1,iMonth), SignificanceLevel);
                    end
                    tTestResult(iTime+1,iMonth)=[h_FoF2, p_FoF2];
                end

                medFoF2Obser(iTime+1,iMonth) = median(nonZeroFoF2ObserThisTime);
                stdFoF2Obser(iTime+1,iMonth) = std(nonZeroFoF2ObserThisTime);

                foF2ObserTable(iTime+1, iMonth) = foF2ObserThisTime;
                lenNonZeroValue(iTime+1,iMonth) = length(nonZeroFoF2ObserThisTime);
            end
        end
    end
end

if Enable2SampleTTest
    tTestResult2Save = [];
end

enoughSample_24by12 = [];
for iMonth = find(sum(medFoF2Obser))
    %*****
    % Diurnal Variations of the Ionosphere
    % Monthly averaged foF2 of each month
    % on each figure window
    %*****
    if Enable2SampleTTest
        tTestResult2Save = [tTestResult2Save tTestResult(:, 1, iMonth)];
    end

    if 1
        figure(iMonth);
        hold on;
    end
end

```

```

if EnableComparingWithIRI
    plot(medFoF2Model(:,iMonth), 'g*-');
    %errorbar(avgFoF2IRI(:,iMonth), stdFoF2IRI(:,iMonth), 'r*-');
end

%plot(avgFoF2Anyang(:,iMonth), 'o-');
errorbar(medFoF2Obser(:,iMonth), stdFoF2Obser(:,iMonth), 'bo-');

if 0
    %*****
    % Two-sample t-test for foF2
    % When h=1(p<0.01) & model > observed
    % than, indicate it red face.
    %*****
    if Enable2SampleTTest
        for iTime = 1:24
            if tTestResult(iTime, 1,iMonth) == 1
                if (medFoF2Model(iTime,iMonth) > medFoF2Obser(iTime,iMonth))
                    plot(iTime, medFoF2Obser(iTime,iMonth), 'ro', 'MarkerEdgeColor','r','MarkerFaceColor','r');
                else
                    plot(iTime, medFoF2Obser(iTime,iMonth), 'bo', 'MarkerEdgeColor','b','MarkerFaceColor','b');
                end
            end
        end
    end
end
else
    %*****
    % When none zero foF2 points are less than 15,
    % indicate it blue face.
    %*****
    enoughSample_24by1 = [];
    for iTime = 1:24
        enoughSample_24by1_tmp = 1;
        if lenNonZeroValue(iTime, iMonth) < 15
            plot(iTime, medFoF2Obser(iTime,iMonth), 'bo', 'MarkerEdgeColor','b','MarkerFaceColor','y');
            text(iTime+0.2,medFoF2Obser(iTime,iMonth)+0.2,num2str(lenNonZeroValue(iTime, iMonth)));
            enoughSample_24by1_tmp = 0;
        end
        enoughSample_24by1 = [enoughSample_24by1; enoughSample_24by1_tmp];
    end
end

if 0 %boxplot
    tmp = [];
    for iTime = 1:24
        tmpTmp = foF2ObserTable(iTime, iMonth);
        nonZeroTmpTmp = tmpTmp(tmpTmp>0);
        %tmp = [tmp, nonZeroTmpTmp];
        tmp = [tmp, tmpTmp(1:28)];
        %boxplot(iTime, nonZeroTmpTmp, 'plotstyle','compact');
    end
    boxplot(tmp, 'plotstyle','compact');
end

hold off;

if givenParameter == 1
    set(gca,'ylim',[1 15]);
    ylabel('foF2 [MHz]', 'FontSize', 12);
    titleMessage = sprintf('Diurnal Variations of the Ionosphere (Anyang)\nMonthly Averaged foF2 (%s.%d)',monthName(iMonth,:), givenYear);
elseif givenParameter == 2
    set(gca,'ylim',[150 400]);
    ylabel('hmF2 [Km]', 'FontSize', 12);
    titleMessage = sprintf('Diurnal Variations of the Ionosphere (Anyang)\nMonthly Averaged hmF2 (%s.%d)',monthName(iMonth,:), givenYear);
end

```

```

box on;
%set(gca, 'xtick', [1:4:24]);
set(gca, 'xtick', [4:6:24]);
%set(gca, 'xticklabel', [9 13 17 21 1 5]);
set(gca, 'xticklabel', mod([4:6:24]+8,24));

%xlabel('Universal Time (hour)');
xlabel('Local Time (hour)', 'FontSize', 12);

title(titleMessage, 'FontSize', 16);
if EnableComparingWithIRI
    legend('IRI-2007', 'Ionosonde');
end
%legend('Median', 'Average');
set(gca, 'YGrid', 'on')

%---> gtext('Over Estimate', 'Color', 'r', 'FontWeight','bold')
%---> gtext('No Enough Sample', 'Color', [200/255 200/255 0/255], 'FontWeight','bold')

end
enoughSample_24by12 = [enoughSample_24by12 enoughSample_24by1];

%*****
% Diurnal Variations of the Ionosphere
% Monthly averaged foF2 of each month
% 3by4 Subplot
%*****
if 1
    figure(13);
    subplot(3, 4, iMonth);
    hold on;
    if EnableComparingWithIRI
        plot(medFoF2Model(:,iMonth), 'g*-');
        %errorbar(avgFoF2IRI(:,iMonth), stdFoF2IRI(:,iMonth), 'r*-');
    end

    errorbar(medFoF2Obser(:,iMonth), stdFoF2Obser(:,iMonth), 'o-');

    if 1
        %*****
        % When none zero foF2 points are less than 15,
        % indicate it blue face.
        %*****
        enoughSample_24by1 = [];
        for iTime = 1:24
            enoughSample_24by1_tmp = 1;
            if lenNonZeroValue(iTime, iMonth) < 15
                plot(iTime, medFoF2Obser(iTime,iMonth), 'bo', 'MarkerEdgeColor','b','MarkerFaceColor','y');
                text(iTime+0.2,medFoF2Obser(iTime,iMonth)+0.2,num2str(lenNonZeroValue(iTime, iMonth)));
                enoughSample_24by1_tmp = 0;
            end
            enoughSample_24by1 = [enoughSample_24by1; enoughSample_24by1_tmp];
        end
    end
end

if 1
    %*****
    % Two-sample t-test for foF2
    % When h=1(p<0.01) & model > observed
    % than,indicate it red face.
    %*****
    if Enable2SampleTTest
        for iTime = 1:24
            if tTestResult(iTime, 1,iMonth) == 1
                if (medFoF2Model(iTime,iMonth) > medFoF2Obser(iTime,iMonth))

```

```

        plot(iTime, medFoF2Obser(iTime,iMonth), 'ro', 'MarkerEdgeColor','r','MarkerFaceColor','r');
    else
        plot(iTime, medFoF2Obser(iTime,iMonth), 'bo', 'MarkerEdgeColor','b','MarkerFaceColor','b');
    end
end
end
end
else
    %*****
    % When none zero foF2 points are less than 15,
    % indicate it blue face.
    %*****
    for iTime = 1:24
        if lenNonZeroValue(iTime, iMonth) < 15
            plot(iTime, medFoF2Obser(iTime,iMonth), 'bo', 'MarkerEdgeColor','b','MarkerFaceColor','y');
            text(iTime+0.5,medFoF2Obser(iTime,iMonth)+0.5,num2str(lenNonZeroValue(iTime, iMonth)));
        end
    end
end
end

hold off;

if givenParameter == 1
    set(gca,'ylim',[1 15]);
    ylabel('foF2 [MHz]', 'FontSize', 12);
elseif givenParameter == 2
    set(gca,'ylim',[150 400]);
    ylabel('hmF2 [Kml]', 'FontSize', 12);
end

box on;
%set(gca, 'xtick', [1:4:24]);
set(gca, 'xtick', [4:6:24]);
%set(gca, 'xticklabel', [9 13 17 21 1 5]);
set(gca, 'xticklabel', mod([4:6:24]+8,24));

%xlabel('Universal Time (hour)');
xlabel('Local Time (hour)');

titleMessage = sprintf('%s.%d',monthName(iMonth,:), givenYear);
title(titleMessage, 'FontSize', 16);
%legend('IRI-2007', 'Anyang Ionosonde');
set(gca,'YGrid','on');
end

end

%*****
% Save figure as a file
%*****
if EnableSaveFigure
    figure(13);
    %figName=sprintf('DiurnalVari%d.jpg', givenYear);
    figName=sprintf('%s\\DiurnalVari%d.jpg', pathNameOutFile, givenYear);
    saveas(gcf,figName);
end

%*****
% Save variables in ASCII format or binary
%*****
if EnableSaveVariable

    if givenParameter == 1 %for foF2

        %savefile = sprintf('medFoF2Obser%d.dat', givenYear);

```

```

savefile = sprintf('%s\medFoF2Obser%d.dat', pathNameOutFile, givenYear);
tmp = exist(savefile);
if tmp == 0
    save(savefile, 'medFoF2Obser', '-ASCII');
    fprintf(1, '\t%s was created.\n', savefile);
else
    fprintf(1, '\t%s is already exist.\n', savefile);
end

if EnableComparingWithIRI
    %savefile = sprintf('medFoF2Model%d.dat', givenYear);
    savefile = sprintf('%s\medFoF2Model%d.dat', pathNameOutFile, givenYear);
    tmp = exist(savefile);
    if tmp == 0
        save(savefile, 'medFoF2Model', '-ASCII');
        fprintf(1, '\t%s was created.\n', savefile);
    else
        fprintf(1, '\t%s is already exist.\n', savefile);
    end
end

if Enable2SampleTTest
    %savefile = sprintf('tTestResult%d.dat', givenYear);
    savefile = sprintf('%s\tTestResult%d.dat', pathNameOutFile, givenYear);
    tmp = exist(savefile);
    if tmp == 0
        save(savefile, 'tTestResult2Save', '-ASCII');
        fprintf(1, '\t%s was created.\n', savefile);
    else
        fprintf(1, '\t%s is already exist.\n', savefile);
    end
end

%savefile = sprintf('enoughSampleMatrix%d.dat', givenYear);
savefile = sprintf('%s\enoughSampleMatrix%d.dat', pathNameOutFile, givenYear);
tmp = exist(savefile);
if tmp == 0
    save(savefile, 'enoughSample_24by12', '-ASCII');
else
    fprintf(1, '\t%s is already exist.\n', savefile);
end

elseif givenParameter == 2 %for hmF2

    %savefile = sprintf('medhmF2Obser%d.dat', givenYear);
    savefile = sprintf('%s\medhmF2Obser%d.dat', pathNameOutFile, givenYear);
    tmp = exist(savefile);
    if tmp == 0
        save(savefile, 'medFoF2Obser', '-ASCII'); %<-- watch out this variable name. 'medFoF2Obser' is correct!!
        fprintf(1, '\t%s was created.\n', savefile);
    else
        fprintf(1, '\t%s is already exist.\n', savefile);
    end

    if EnableComparingWithIRI
        %savefile = sprintf('medhmF2Model%d.dat', givenYear);
        savefile = sprintf('%s\medhmF2Model%d.dat', pathNameOutFile, givenYear);
        tmp = exist(savefile);
        if tmp == 0
            save(savefile, 'medFoF2Model', '-ASCII'); %<-- watch out this variable name. 'medFoF2Model' is correct!!
            fprintf(1, '\t%s was created.\n', savefile);
        else
            fprintf(1, '\t%s is already exist.\n', savefile);
        end
    end

    if Enable2SampleTTest

```



```

%savefile = sprintf('tTestResultHmF2%d.dat', givenYear);
savefile = sprintf('%s\tTestResultHmF2%d.dat', pathNameOutFile, givenYear);
tmp = exist(savefile);
if tmp == 0
    save(savefile, 'tTestResult2Save', '-ASCII');
    fprintf(1, '\t%s was created.\n', savefile);
else
    fprintf(1, '\t%s is already exist.\n', savefile);
end
end

%savefile = sprintf('enoughSampleMatrixHmF2%d.dat', givenYear);
savefile = sprintf('%s\enoughSampleMatrixHmF2%d.dat', pathNameOutFile, givenYear);
tmp = exist(savefile);
if tmp == 0
    save(savefile, 'enoughSample_24by12', '-ASCII');
else
    fprintf(1, '\t%s is already exist.\n', savefile);
end
end

end

%*****
% Seasonal Variations of the Ionosphere
% Monthly averaged foF2 of noon and midnight
%*****
if 1
    figure(14);
    hold on;
    index = 0;

    medFoF2Obser(find(medFoF2Obser == 0)) = inf;

    for iTime = [4 16]
        index = index + 1;
        %plot(avgFoF2Anyang(iTime,:), legMark(:, index*2-1:index*2), 'color', legColor(index,:));
        errorbar(medFoF2Obser(iTime,:), stdFoF2Obser(iTime,:), legMark(:, index*2-1:index*2), 'color', legColor(index,:));
    end

    %boxplot(avgFoF2Anyang(4,:));

    if givenParameter == 1
        set(gca, 'ylim', [1 15]);
        ylabel('foF2 [MHz]', 'FontSize', 12);
        titleMessage = sprintf('Seasonal Variations of the Ionosphere (Anyang)\nMonthly Median foF2 (%d)', givenYear);
    elseif givenParameter == 2
        set(gca, 'ylim', [150 400]);
        ylabel('hmF2 [Km]', 'FontSize', 12);
        titleMessage = sprintf('Seasonal Variations of the Ionosphere (Anyang)\nMonthly Median hmF2 (%d)', givenYear);
    end

    set(gca, 'xlim', [0.9 12.1]);
    box on;
    set(gca, 'xtick', [1:12]);
    xlabel('Month');

    legend('Noon(12LT)', 'Midnight(24LT)');
    title(titleMessage, 'FontSize', 16);
    set(gca, 'YGrid', 'on');
    hold off;
end

```

```

%*****
% Seasonal Variations of the Ionosphere
% Monthly averaged foF2 of each time
%*****
if 1
    figure(15);
    surf(modFoF2Obsr);

    xlabel('Month');
    set(gca, 'xtick', [1:3:12]);
    set(gca, 'xticklabel', [1:3:12]);

    ylabel('Local Time (hour)');
    set(gca, 'ytick', [4:6:24]);
    set(gca, 'yticklabel', mod([4:6:24]+8,24));

    if givenParameter == 1
        set(gca,'zlim',[1 15]);
        zlabel('foF2 [MHz]', 'FontSize', 12);
        titleMessage = sprintf('Seasonal Variations of the Ionosphere (Anyang)\nMonthly Median foF2 (%d)', givenYear);
    elseif givenParameter == 2
        set(gca,'zlim',[150 400]);
        zlabel('hmF2 [Km]', 'FontSize', 12);
        titleMessage = sprintf('Seasonal Variations of the Ionosphere (Anyang)\nMonthly Median hmF2 (%d)', givenYear);
    end

    title(titleMessage, 'FontSize', 16);

    view(-18,54);
    colormap('default');
    colorbar;
end

%*****
% Save figure as a file
%*****
if EnableSaveFigure
    figure(15);
    %figName=sprintf('DiurnalVari%dSurf.jpg', givenYear);
    figName=sprintf('%s\\DiurnalVari%dSurf.jpg', pathNameOutFile, givenYear);
    saveas(gcf,figName);
end

%*****
% Compare Each Day's foF2 with IRI
%*****
if EnableComparingEachDay
    givenMonth = 0;
    if 0
        givenMonth = input('Input Month for Comparing Each Day s foF2 with IRI : ', 's');
        if isempty(givenMonth)
            reply = '1';
        end
        givenMonth = str2num(givenMonth);
    end

    givenMonth = menu('Choose a Month','Jan', 'Feb', 'Mar', 'Apr', ...
        'May', 'Jun', 'Jul', 'Aug', ...
        'Sep', 'Oct', 'Nov', 'Dec');

    if givenMonth == 0
        fprintf(1,'\n');
        break;
    end
end

```

```

end

fprintf(1,'\ngivenMonth and year for Comparing Each Day s foF2 with IRI = %d, %d\n\n\n', givenMonth, givenYear);

endDay = 0; %end day of the given month in given year   ex) givenMonth=2 -> endDay=32+28 %}
for iMonth = 1:givenMonth
    iDay = eomday(givenYear, iMonth);
    endDay = endDay+iDay;
end
startDay=endDay-iDay+1; %start day of the given month      ex) givenMonth=2 -> startDay=32

if givenDay ~= 0
    startDay = startDay + givenDay - 1;
    endDay = startDay;
end

dayInMonth = 0;
for iDay = startDay:endDay
    dayInMonth = dayInMonth + 1;
    figure(1000+iDay);
    %subplot(7,5,dayInMonth);
    hold on;
    %plot(medFoF2Model(:,12), 'g*-');
    indiThisDayModel = find(modelfoF2(:,3) == iDay );
    foF2ThisDayModel = modelfoF2([indiThisDayModel],5);
    plot(foF2ThisDayModel, 'g*-');

    indiThisDay = find(observeFoF2(:,3) == iDay );
    foF2ThisDay = observeFoF2([indiThisDay],5);

    plot(find(foF2ThisDay>0), foF2ThisDay(foF2ThisDay>0), 'o-');
    %foF2ThisDay(find(foF2ThisDay == 0)) = inf;
    %plot(foF2ThisDay, '-');    % test for data ommitting
    hold off;

    if givenParameter == 1
        set(gca,'ylim',[1 15]);
        ylabel('foF2 [MHz]', 'FontSize', 12);
        titleMessage = sprintf('Variations of the Ionosphere (Anyang)\nfoF2 (%s.%d, %d)',monthName(iMonth,:), dayInMonth, givenYear);
    elseif givenParameter == 2
        set(gca,'ylim',[150 400]);
        ylabel('hmF2 [Km]', 'FontSize', 12);
        titleMessage = sprintf('Variations of the Ionosphere (Anyang)\nhmF2 (%s.%d, %d)',monthName(iMonth,:), dayInMonth, givenYear);
    end

    box on;
    %set(gca, 'xtick', [1:4:24]);
    set(gca, 'xtick', [4:6:24]);
    %set(gca, 'xticklabel', [9 13 17 21 1 5]);
    set(gca, 'xticklabel', mod([4:6:24]+8,24));

    %xlabel('Universal Time (hour)');
    xlabel('Local Time (hour)', 'FontSize', 12);

    title(titleMessage, 'FontSize', 16);
    legend('IRI-2007', 'Anyang Ionosonde');
    %legend('Median', 'Average');
    set(gca,'YGrid','on')
end
end

```

② compareF2ParameterMatrix.m

```

%function plotF2ParameterMatrix
% Plot monthly averaged foF2 through solar cycle
%
% plotF2ParameterMatrix
% ex) >>plotF2ParameterMatrix
%
% File Log - SunHak Hong
% 2008.10.14 - File Created
% 2009.02.13 - File Updated

clear all;

TRUE = 1; FALSE = 0;
EnableTtestResults = FALSE;
EnableEnoughSample = FALSE;
plotOnlyEnoughSampleMatrix = FALSE;

givenParameter = 0;
if 0
    givenParameter = input('Choose F2 Peak Parameter for Comparing with IRI : ', 's');
    if isempty(givenParameter)
        reply = '1';
    end
    givenMonth = str2num(givenParameter);
end

givenParameter = menu('Choose a Parameter','foF2', 'hmF2');

if givenParameter == 0
    fprintf(1,'\n');
    break;
end

pname=sprintf('%s\\comparedOut',pwd);

%*****
% Choose observed data or model results
%*****
ObserOrModel = 1;
ObserOrModel = menu('Choose data type','Observation', 'Prediction', 'Difference');

if ObserOrModel == 0
    fprintf(1,'\n');
    break;
end

%*****
% Load variables from ASCII format
%*****
medFoF2 = [];
tTestResult = [];
enoughSampleMatrix = [];
%yearMatrix = [1998 : 1 : 2008];
yearMatrix = [1973 : 1: 2009];
%yearMatrix = [1992 : 1: 1994];

for index = 1:length(yearMatrix)
    givenYear = yearMatrix(index);
    % if givenYear == 2005
    %     medFoF2GivenYear = repmat(Inf,24,12);
    % if EnableTtestResults == 1
    %     tTestResultGivenYear = repmat(Inf,24,12);
    % end
    % if EnableEnoughSample == 1

```

```

%      enoughSampleMatrixGivenYear = repmat(Inf,24,12);
%      end
%      else
%      varFileName = sprintf('foF2Matrix%d.dat', givenYear);
%      if ObserOrModel == 1
%      if givenParameter == 1
%      varFileName = sprintf('medfoF2Obser%d.dat', givenYear);
%      varFileName = sprintf('%s\\medfoF2Obser%d.dat', pname, givenYear);
%      titleMessage = sprintf('foF2 Observation (Anyang)');
%      elseif givenParameter == 2
%      varFileName = sprintf('medhmF2Obser%d.dat', givenYear);
%      varFileName = sprintf('%s\\medhmF2Obser%d.dat', pname, givenYear);
%      titleMessage = sprintf('hmF2 Observation (Anyang)');
%      end
%      medFoF2GivenYear = load(varFileName);

%      elseif ObserOrModel == 2
%      if givenParameter == 1
%      varFileName = sprintf('medfoF2Model%d.dat', givenYear);
%      varFileName = sprintf('%s\\medfoF2Model%d.dat', pname, givenYear);
%      titleMessage = sprintf('foF2 Prediction (Anyang)');
%      elseif givenParameter == 2
%      varFileName = sprintf('medhmF2Model%d.dat', givenYear);
%      varFileName = sprintf('%s\\medhmF2Model%d.dat', pname, givenYear);
%      titleMessage = sprintf('hmF2 Prediction (Anyang)');
%      end
%      medFoF2GivenYear = load(varFileName);

%      else
%      if givenParameter == 1
%      varFileName_01 = sprintf('medfoF2Obser%d.dat', givenYear);
%      varFileName_01 = sprintf('%s\\medfoF2Obser%d.dat', pname, givenYear);
%      varFileName_02 = sprintf('medfoF2Model%d.dat', givenYear);
%      varFileName_02 = sprintf('%s\\medfoF2Model%d.dat', pname, givenYear);
%      titleMessage = sprintf('\\Delta foF2 between Prediction and Observation (Anyang)');
%      elseif givenParameter == 2
%      varFileName_01 = sprintf('medhmF2Obser%d.dat', givenYear);
%      varFileName_01 = sprintf('%s\\medhmF2Obser%d.dat', pname, givenYear);
%      varFileName_02 = sprintf('medhmF2Model%d.dat', givenYear);
%      varFileName_02 = sprintf('%s\\medhmF2Model%d.dat', pname, givenYear);
%      titleMessage = sprintf('\\Delta hmF2 between Prediction and Observation (Anyang)');
%      end
%      medFoF2GivenYear_01 = load(varFileName_01);
%      medFoF2GivenYear_02 = load(varFileName_02);

%      medFoF2GivenYear_01(find(medFoF2GivenYear_01 == 0)) = Inf;
%      medFoF2GivenYear_02(find(medFoF2GivenYear_02 == 0)) = Inf;
%      medFoF2GivenYear = medFoF2GivenYear_02 - medFoF2GivenYear_01; %IRI - Observ

%      if EnableTtestResults == 1
%      if givenParameter == 1
%      varFileName_03 = sprintf('tTestResult%d.dat', givenYear);
%      varFileName_03 = sprintf('%s\\tTestResult%d.dat', pname, givenYear);
%      tTestResultGivenYear = load(varFileName_03);
%      elseif givenParameter == 2
%      varFileName_03 = sprintf('tTestResultHmF2%d.dat', givenYear);
%      varFileName_03 = sprintf('%s\\tTestResultHmF2_%d.dat', pname, givenYear);
%      tTestResultGivenYear = load(varFileName_03);
%      end
%      end

%      end
%      medFoF2GivenYear = load(varFileName);
%      end
%      if EnableEnoughSample == 1
%      if givenParameter == 1
%      varFileName_04 = sprintf('enoughSampleMatrix%d.dat', givenYear);

```

```

        varFileName_04 = sprintf('%s\\enoughSampleMatrix%d.dat', pname, givenYear);
        enoughSampleMatrixGivenYear = load(varFileName_04);
    elseif givenParameter == 2
        %varFileName_04 = sprintf('enoughSampleMatrix%d.dat', givenYear);
        varFileName_04 = sprintf('%s\\enoughSampleMatrixHmF2_%d.dat', pname, givenYear);
        enoughSampleMatrixGivenYear = load(varFileName_04);
    end
end

medFoF2 = [medFoF2 medFoF2GivenYear];

if (EnableTtestResults == 1) && (ObserOrModel >= 3)
    tTestResult = [tTestResult tTestResultGivenYear];
end

%if (EnableEnoughSample == 1) && (ObserOrModel >= 3)
if (EnableEnoughSample == 1)
    enoughSampleMatrix = [enoughSampleMatrix enoughSampleMatrixGivenYear];
end

end

%*****
% Seasonal Variations of the Ionosphere
% Monthly averaged foF2 of each time
%*****
if 1 && (ObserOrModel < 3)
    figure;

    medFoF2(find(medFoF2 == 0)) = inf;

    if (plotOnlyEnoughSampleMatrix && EnableEnoughSample)
        enoughSampleMatrix(find(enoughSampleMatrix == 0)) = inf;
        surf(medFoF2.*enoughSampleMatrix, 'EdgeColor', [100/255 100/255 100/255]);
    else
        surf(medFoF2, 'EdgeColor', [100/255 100/255 100/255]);
    end

    title(titleMessage, 'FontSize', 20);
    xlabel('Year', 'FontSize', 16);
    %set(gca, 'ytick', [1:12:length(yearMatrix)*12]);
    %set(gca, 'yticklabel', [yearMatrix(1):1:yearMatrix(end)], 'FontSize', 14);
    set(gca, 'xtick', [1:12*2:length(yearMatrix)*12]);
    set(gca, 'xticklabel', [yearMatrix(1):2:yearMatrix(end)], 'FontSize', 14);

    ylabel('Local Time (hour)', 'FontSize', 16);
    set(gca, 'ytick', [4:6:24]);
    set(gca, 'yticklabel', mod([4:6:24]+8,24), 'FontSize', 14);

    if givenParameter == 1
        xlabel('foF2 [MHz]', 'FontSize', 16);
        %set(gca,'zlim',[1 15], 'ZScale', 'log');
        if ObserOrModel <= 2
            set(gca, 'zlim', [1 15]);
        else
            set(gca, 'zlim', [min(min(medFoF2)) max(max(medFoF2))]);
        end
    elseif givenParameter == 2
        xlabel('hmF2 [MHz]', 'FontSize', 16);
        %set(gca,'zlim',[1 15], 'ZScale', 'log');
        if ObserOrModel <= 2
            set(gca, 'zlim', [150 400]);
        else
            set(gca, 'zlim', [min(min(medFoF2)) max(max(medFoF2))]);
        end
    end
end
end

```



```

    %set(gca,'LevelList',[2:2:14]);

    view(-18,54);
    colormap('default');
    colorbar;
end

%*****
% Seasonal Variations of the Ionosphere
% Monthly averaged foF2 of each time
%*****
if 1
    figure;
    %maskForOther = ones(24,12);
    %mask2005 = repmat(0,24,12);
    %maskForAll = [ones(24,12*length(yearMatrix)))];

    %medFoF2 = medFoF2 .* maskForAll;

    medFoF2(find(medFoF2 == inf)) = 0;
    if (plotOnlyEnoughSampleMatrix && EnableEnoughSample)
        %enoughSampleMatrix(find(enoughSampleMatrix == 0)) = inf;
        medFoF2 = medFoF2.*enoughSampleMatrix;
    end

    if givenParameter == 1          %foF2
        [C, h] = contourf(medFoF2, 'EdgeColor' , 'none', ...
            'LevelStep', 0.5, 'LabelSpacing', 144);
    elseif givenParameter == 2      %hmF2
        [C, h] = contourf(medFoF2, 'EdgeColor' , 'none', ...
            'LevelStep', 25, 'LabelSpacing', 144);
    end

    clabel(C,h,'FontSize',10,'Color',[100/255 100/255 100/255],'Rotation',0, 'LabelSpacing',500);

    title(titleMessage, 'FontSize', 20);
    %xlabel('Month');
    %set(gca, 'xtick', [1:3:12*length(yearMatrix)]);
    %set(gca, 'xticklabel', repmat([1:3:12],1,length(yearMatrix)));
    xlabel('Year', 'FontSize', 16);
    set(gca, 'xtick', [1:12*2:length(yearMatrix)*12]);
    set(gca, 'xticklabel', [yearMatrix(1):2:yearMatrix(end)], 'FontSize', 14);

    ylabel('Local Time (hour)', 'FontSize', 16);

    set(gca, 'ytick', [4:6:24]);
    set(gca, 'yticklabel', mod([4:6:24]+8,24), 'FontSize', 14);

    %ylabel('foF2 [MHz]', 'FontSize', 16);
    %set(gca, 'zlim', [1 15]);

    view(0,90);
    colormap('default');
    colorbar('ZTickLabel',[2:2:14]);
end

%*****
% After Apply Enough Samples
%*****
if (EnableEnoughSample == TRUE) && (ObserOrModel == 3)
    figure;

```

```

%tTestResult(find(tTestResult == 0)) = inf;
medFoF2_figure2 = medFoF2 .* enoughSampleMatrix;

medFoF2(find(medFoF2_figure2 == inf)) = 0;
[C, h] = contourf(medFoF2_figure2, 'EdgeColor' , 'none', ...
    'LabelSpacing', 144);

if givenParameter == 1
    titleMessage = sprintf('\Delta foF2 between Prediction and Observation (Anyang) \n(Apply Enough Sample Matrix)');
elseif givenParameter == 2
    titleMessage = sprintf('\Delta hmF2 between Prediction and Observation (Anyang) \n(Apply Enough Sample Matrix)');
end

clabel(C,h,'FontSize',10,'Color',[100/255 100/255 100/255],'Rotation',0, 'LabelSpacing',500);

title(titleMessage, 'FontSize', 20);
%xlabel('Month');
%set(gca, 'xtick', [1:3:12*length(yearMatrix)]);
%set(gca, 'xticklabel', repmat([1:3:12],1,length(yearMatrix)));
xlabel('Year', 'FontSize', 16);
set(gca, 'xtick', [1:12:length(yearMatrix)*12]);
set(gca, 'xticklabel', [yearMatrix(1):1:yearMatrix(end)], 'FontSize', 14);

ylabel('Local Time (hour)', 'FontSize', 16);

set(gca, 'ytick', [4:6:24]);
set(gca, 'yticklabel', mod([4:6:24]+8,24), 'FontSize', 14);

%ylabel('foF2 [MHz]', 'FontSize', 16);
%set(gca, 'zlim', [1 15]);

view(0,90);
colormap('default');
colorbar('ZTickLabel',[2:2:14]);

end

%*****
% After Apply the T-Test Results
%*****
if (EnableTtestResults == TRUE) && (ObserOrModel == 3)
    figure;

    totalArea = size(medFoF2)
    zeroAreaBeforeTtest = size(find(medFoF2 == 0))

    %tTestResult(find(tTestResult == 0)) = inf;
    medFoF2_figure3 = medFoF2 .* tTestResult;
    zeroAreaAfterTtest = size(find(medFoF2 == 0))
    okAreaAfterTtest = size(find(abs(medFoF2) <= 1))

    medFoF2(find(medFoF2_figure3 == inf)) = 0;
    [C, h] = contourf(medFoF2_figure3, 'EdgeColor' , 'none', ...
        'LabelSpacing', 144);

    if givenParameter == 1
        titleMessage = sprintf('Significant \foF2 between Prediction and Observation (Anyang) \n(Apply T-Test Results)');
    elseif givenParameter == 2
        titleMessage = sprintf('Significant \hmF2 between Prediction and Observation (Anyang) \n(Apply T-Test Results)');
    end

    clabel(C,h,'FontSize',10,'Color',[100/255 100/255 100/255],'Rotation',0, 'LabelSpacing',500);

    title(titleMessage, 'FontSize', 20);
    %xlabel('Month');

```

```

%set(gca, 'xtick', [1:3:12*length(yearMatrix)]);
%set(gca, 'xticklabel', repmat([1:3:12],1,length(yearMatrix)));
xlabel('Year', 'FontSize', 16);
set(gca, 'xtick', [1:12:length(yearMatrix)*12]);
set(gca, 'xticklabel', [yearMatrix(1):1:yearMatrix(end)], 'FontSize', 14);

ylabel('Local Time (hour)', 'FontSize', 16);

set(gca, 'ytick', [4:6:24]);
set(gca, 'yticklabel', mod([4:6:24]+8,24), 'FontSize', 14);

%zlabel('foF2 [MHz]', 'FontSize', 16);
%set(gca, 'zlim', [1 15]);

view(0,90);
colormap('default');
colorbar('ZTickLabel',[2:2:14]);

end

%*****
% After Apply Enough Sample & the T-Test Results
%*****
if (EnableEnoughSample == TRUE) && (EnableTtestResults == TRUE) && (ObserOrModel == 3)
    figure;

    %tTestResult(find(tTestResult == 0)) = inf;
    medFoF2_figure4 = medFoF2 .* tTestResult .* enoughSampleMatrix;

    medFoF2(find(medFoF2_figure4 == inf)) = 0;
    [C, h] = contourf(medFoF2_figure4, 'EdgeColor' , 'none', ...
        'LabelSpacing', 144);

    if givenParameter == 1
        titleMessage = sprintf('Significant \Delta foF2 between Prediction and Observation (Anyang)');
    elseif givenParameter == 2
        titleMessage = sprintf('Significant \Delta hmF2 between Prediction and Observation (Anyang)');
    end

    clabel(C,h,'FontSize',10,'Color',[100/255 100/255 100/255],'Rotation',0, 'LabelSpacing',500);

    title(titleMessage, 'FontSize', 20);
    %xlabel('Month');
    %set(gca, 'xtick', [1:3:12*length(yearMatrix)]);
    %set(gca, 'xticklabel', repmat([1:3:12],1,length(yearMatrix)));
    xlabel('Year', 'FontSize', 16);
    set(gca, 'xtick', [1:12:length(yearMatrix)*12]);
    set(gca, 'xticklabel', [yearMatrix(1):1:yearMatrix(end)], 'FontSize', 14);

    ylabel('Local Time (hour)', 'FontSize', 16);

    set(gca, 'ytick', [4:6:24]);
    set(gca, 'yticklabel', mod([4:6:24]+8,24), 'FontSize', 14);

    %zlabel('foF2 [MHz]', 'FontSize', 16);
    %set(gca, 'zlim', [1 15]);

    view(0,90);
    colormap('default');
    colorbar('ZTickLabel',[2:2:14]);

end

```

③ plotSolarCycles.m

```

%function plotSolarCycles
% Plot monthly averaged foF2 through solar cycle
%
% plotSolarCycles
% ex) >>plotSolarCycles
%
% File Log - SunHak Hong
% 2009.07.22. - File Created

clear all;

TRUE = 1; FALSE = 0;
EnableTtestResults = FALSE;
EnableEnoughSample = TRUE;
plotOnlyEnoughSampleMatrix = TRUE;

givenParameter = 0;
if 0
    givenParameter = input('Choose F2 Peak Parameter to plot : ', 's');
    if isempty(givenParameter)
        reply = '1';
    end
    givenMonth = str2num(givenParameter);
end

givenParameter = menu('Choose a Parameter','foF2', 'hmF2');

if givenParameter == 0
    fprintf(1,'\n');
    break;
end

pname=sprintf('%s\comparedOut',pwd);

%*****
% Load variables from ASCII format
%*****
medFoF2_Obser = [];
medFoF2_Model = [];
%yearMatrix = [1998 : 1 : 2008];
yearMatrix = [1973 : 1: 2009];

for index = 1:length(yearMatrix)
    givenYear = yearMatrix(index);
    if givenParameter == 1
        varFileName_Obser = sprintf('%s\medfoF2Obser%d.dat', pname, givenYear);
        varFileName_Model = sprintf('%s\medfoF2Model%d.dat', pname, givenYear);
        titleMessage = sprintf('foF2 Observation (Anyang)');
    elseif givenParameter == 2
        varFileName = sprintf('%s\medhmF2Obser%d.dat', pname, givenYear);
        titleMessage = sprintf('hmF2 Observation (Anyang)');
    end
    medFoF2GivenYear_Obser = load(varFileName_Obser);
    medFoF2GivenYear_Model = load(varFileName_Model);

    medFoF2_Obser = [medFoF2_Obser medFoF2GivenYear_Obser];
    medFoF2_Model = [medFoF2_Model medFoF2GivenYear_Model];
end

medFoF2_Obser(find(medFoF2_Obser == 0)) = inf;
medFoF2_Model(find(medFoF2_Model == 0)) = inf;

[LocalInvalidParam_time, LocalInvalidParam_year] = find((medFoF2_Obser <= 0) | (medFoF2_Obser > 30) | isnan(medFoF2_Obser));
medFoF2_Obser_Filled = medFoF2_Obser;

```

```

medFoF2_Obser_Filled(LocInvaildParam_time, LocInvaildParam_year) = medFoF2_Model(LocInvaildParam_time, LocInvaildParam_year);
%medFoF2_Model(find(medFoF2_Model == inf)) = 0;

%medFoF2_Plot = medFoF2_Obser + medFoF2_Model;

medFoF2_Obser_Filled_Smoothed = [];
for index = 1:length(yearMatrix)
    %smoothedValue(:,index) = median(medFoF2_Obser_Filled(:,[1+(index-1)*12, index*12]),2);
    smoothedValue(:,index) = median(medFoF2_Model(:,[1+(index-1)*12, index*12]),2);
    medFoF2_Obser_Filled_Smoothed = [medFoF2_Obser_Filled_Smoothed repmat(smoothedValue(:,index), 1, 12)];
end

medFoF2_Obser_Filled_Smoothed_DayAverage = mean(medFoF2_Obser_Filled_Smoothed);

iTTime = 4;
medFoF2_Obser_Filled_Smoothed_Interpol_12LT = interp1([1:length(yearMatrix)], ...
    smoothedValue(iTTime,:), [1:1/12:length(yearMatrix)], 'linear');

% shift 6month for plotting
medFoF2_Obser_Filled_Smoothed_Interpol_12LT = [repmat(inf,1,6) ...
    medFoF2_Obser_Filled_Smoothed_Interpol_12LT];

%*****
% Seasonal Variations of the Ionosphere
% Monthly averaged foF2 of each time
%*****
if 0
    for iTTime = [4, 16] %1:24
        figure;

        plot(medFoF2_Obser_Filled(iTTime,:),':');
        hold on;
        plot(medFoF2_Obser(iTTime,:),'-','LineWidth',1.5);
        hold off;

        titleMessage = sprintf('foF2 Observation (Anyang) LT[%d]',mod([iTTime]+8,24));

        title(titleMessage, 'FontSize', 20);
        xlabel('Year', 'FontSize', 16);
        set(gca, 'xtick', [1:12*2:length(yearMatrix)*12]);
        set(gca, 'xticklabel', [yearMatrix(1):2:yearMatrix(end)], 'FontSize', 14);

        ylabel('foF2 [MHz]', 'FontSize', 16);
        set(gca, 'ylim', [1 15]);

    end
end

%*****
% Seasonal Variations of the Ionosphere
% Monthly averaged foF2 of each time
%*****
if 1
    figure;
    hold on;

    iTTime = 4; %12LT
    plot(medFoF2_Obser(iTTime,:),'-b','LineWidth',1);

    iTTime = 16; %24LT
    plot(medFoF2_Obser(iTTime,:),'-r*','LineWidth',1);

    iTTime = 4; %12LT
    plot(medFoF2_Obser_Filled(iTTime,:),':b');

    iTTime = 16; %24LT
    plot(medFoF2_Obser_Filled(iTTime,:),':r');

```

```

iTime = 4; %12LT
%plot(medFoF2_Obser_Filled_Smoothed(iTime,:), '-b*', 'LineWidth', 2);
plot(medFoF2_Obser_Filled_Smoothed_Interpol_12LT, '-b', 'LineWidth', 2);
%plot(medFoF2_Obser_Filled_Smoothed_DayAverage, '-g', 'LineWidth', 2);

hold off;

titleMessage = sprintf('Variations of the Ionosphere (foF2 Anyang)\nThrough Solar Cycles');

title(titleMessage, 'FontSize', 20);
xlabel('Year', 'FontSize', 16);
% every 2 year from 1973
%set(gca, 'xtick', [1:12*2:length(yearMatrix)*12]);
%set(gca, 'xticklabel', [yearMatrix(1):2:yearMatrix(end)], 'FontSize', 14);
% every 5 year from 1975
set(gca, 'xtick', [1+12*2:12*5:length(yearMatrix)*12]);
set(gca, 'xticklabel', [yearMatrix(3):5:yearMatrix(end-3)], 'FontSize', 14);

ylabel('foF2 [MHz]', 'FontSize', 16);
set(gca, 'ylim', [1 15]);

set(gca, 'YGrid', 'on', 'Box', 'on');
h=legend('Noon(12LT)', 'Midnight(24LT)');
set(h,'Box','on','FontSize', 10)

end

%*****
% Seasonal Variations of the Ionosphere
% Monthly averaged foF2 of each time
%*****
if 1
    figure;

    %surf(medFoF2_Obser_Filled, 'EdgeColor', [100/255 100/255 100/255]);
    surf(medFoF2_Obser_Filled, 'EdgeColor', [200/255 200/255 200/255]);
    colormap('gray');
    hold on;
    surf(medFoF2_Obser);
    colormap('default');
    hold off;

    %titleMessage = sprintf('The Ionospheric Variations Through Solar Cycles\n(foF2, Anyang, filled with IRI)\n');
    titleMessage = sprintf('Variations of the Ionosphere (foF2 Anyang)\nThrough Solar Cycles');
    title(titleMessage, 'FontSize', 20);
    xlabel('Year', 'FontSize', 16);
    % every 2 year from 1973
    %set(gca, 'xtick', [1:12*2:length(yearMatrix)*12]);
    %set(gca, 'xticklabel', [yearMatrix(1):2:yearMatrix(end)], 'FontSize', 14);
    % every 5 year from 1975
    set(gca, 'xtick', [1+12*2:12*5:length(yearMatrix)*12]);
    set(gca, 'xticklabel', [yearMatrix(3):5:yearMatrix(end-3)], 'FontSize', 14);

    ylabel('Local Time (hour)', 'FontSize', 16);
    set(gca, 'ytick', [4:6:24]);
    set(gca, 'yticklabel', mod([4:6:24]+8,24), 'FontSize', 14);

    zlabel('foF2 [MHz]', 'FontSize', 16);
    set(gca, 'zlim', [1 15]);

    view(-18,54);
    colorbar;

    %box on;

```



```

%colorbar off;
%view(0,0);
end

%*****
% Seasonal Variations of the Ionosphere
% Monthly averaged foF2 of each time
%*****
if 1
    figure;

    [C, h] = contourf(medFoF2_Obser_Filled, 'EdgeColor' , 'none', ...
        'LabelSpacing', 144);
    colormap('gray');
    hold on;
    [C, h] = contourf(medFoF2_Obser_Filled, 'EdgeColor' , 'w', ...
        'LabelSpacing', 144);
    colormap('default');
    hold off;
    clabel(C,h,'FontSize',10,'Color',[100/255 100/255 100/255],'Rotation',0, 'LabelSpacing',500);

    %titleMessage = sprintf('The Ionospheric Variations Through Solar Cycles\n(foF2, Anyang, filled with IRI)\n');
    titleMessage = sprintf('Variations of the Ionosphere (foF2 Anyang)\nThrough Solar Cycles');
    title(titleMessage, 'FontSize', 20);
    xlabel('Year', 'FontSize', 16);
    % every 2 year from 1973
    %set(gca, 'xtick', [1:12*2:length(yearMatrix)*12]);
    %set(gca, 'xticklabel', [yearMatrix(1):2:yearMatrix(end)], 'FontSize', 14);
    % every 5 year from 1975
    set(gca, 'xtick', [1+12*2:12*5:length(yearMatrix)*12]);
    set(gca, 'xticklabel', [yearMatrix(3):5:yearMatrix(end-3)], 'FontSize', 14);

    ylabel('Local Time (hour)', 'FontSize', 16);
    set(gca, 'ytick', [4:6:24]);
    set(gca, 'yticklabel', mod([4:6:24]+8,24), 'FontSize', 14);

    zlabel('foF2 [MHz]', 'FontSize', 16);
    set(gca, 'zlim', [1 15]);

    view(0,90);
    %colormap('default');
    colorbar('ZTickLabel',[2:2:14]);
end

```

2. IRI 모델 인터페이스 프로그램

① irifof2.for

```

c iritest.for, version number can be found at the end of this comment.
c -----
c
c test program for the iri_web subroutine
c
c corrections
c-version-mm/dd/yy-----
c 2000.01 05/07/01 initial version
c 2000.02 07/11/01 line 210: do i=1,100 instead of i=2,100 (K. Tokar)
c 2000.03 28/12/01 output oar(39) for IG12 (R. Conkright, NGDC, NOAA)
c 2000.04 28/10/02 replace TAB/6 blanks, enforce 72/line (D. Simpson)
c 2000.05 02/06/03 Ne(Te) only 300,400; foF1 and hmF1 output corr.
c 2000.06 01/19/05 (.not.jf(20)) instead of (.jf(2)) (G. Schiralli)
c 2005.01 05/06/06 included spread-F (jf(28)) and topside (jf(29)) options
c 2007.00 05/18/07 Release of IRI-2007
c
c      INTEGER          pad1,pad2,pad3
c      DIMENSION        outf(20,100),oar(50,100),jfi(6)
c      LOGICAL           jf(30)
c      CHARACTER*2       timev(2)
c      CHARACTER*3       uni(48),sopt
c      CHARACTER*4       IMZ(8),MAP,xtex,coorv(2)
c      CHARACTER*5       ITEXT(8)
c      CHARACTER*6       pna(48)
c      CHARACTER*8       bopt
c      CHARACTER*9       topt,pname(6)
c      CHARACTER*10      iopt
c      CHARACTER*16      flopt
c
c      DATA IMZ /' km ','GEOD','GEOD','yyyy',' mm ',' dd ','YEAR',
&      'L.T./, ITEXT/' H ',' LATI',
&      ' LONG',' YEAR','MONTH',' DAY ','DAYOF',' HOUR'/
c
c      data pna/'NmF2','hmF2','NmF1','hmF1','NmE','hmE','NmD','hmD',
&      'h05','B0','NVmin','hVtop','Tpeak','hTpek','T300','T400','T600',
&      'T1400','T3000','T120','Ti450','hTeTi','sza','sndec','dip',
&      'dipla','modip','dela','Srise','Sset','seasn','nseas','Rz12',
&      'cov','B1','M3000','TEC','TECTp','IG12','F1prb','F107d',
&      'C1','daynr','vdrft','foF2r','F1noL','F1+L','sp_F'/
c      data uni/'m-3','km','m-3','km','m-3','km','m-3','km','km','km',
&      'm-3','km','K','km',7*'K','km',5*'deg',' ','2*h',6*' ','m-2',
&      '%',5*' ','m/s',4*' '/' ,timev/'LT','UT'/,coorv/'geog','geom'/
c
c      data jfi/8,9,13,14,15,16/
c
c open data file
c
c                                     open (u, FILE='IRI_input_fof2.dat', STATUS='OLD')
c
c read data
c
c                                     'year(yyyy),mmd( or -ddd),iut(=0/1,LT/UT),hour'
c                                     'begin, end, and stepsize for the selected variable'
c                                     read(u,*) iy, imd, iut, hour, vbeg, vend, vstp
c
c close the file
c
c                                     close (u)
c
c user input of IRI input parameters
c
c      print *,jmag(=0/1,geog/geom),lati/deg,long/deg'
c      read(5,*) jm,xlat,xlon
c
c                                     DATA jm, xlat, xlon /0, 37.39, 126.95/
c                                     write(*, 71116) jm, xlat, xlon

```

```

71116      format(' -> jm=',I1,' Lat/Long=',F8.4,'/',F8.4)

      print *,'year(yyyy).mmdm(or -ddd),iut(=0/1,L,T/U,T),hour'
c         read(5,*) iy,imd,iut,hour

c                                     DATA iy, imd, iut, hour /2006, 0203, 1, 17/
c                                     DATA iy, imd, iut, hour /2006, -34, 1, 17/
c                                     write(*, 71117) iy, imd, iut, hour
71117      format(' -> iy=',I5,' imd=',I5,' iut=',I2, ' hour=',F4.0)


      print *,'height/km'
      print *,'(enter 0 for list of peak heights and densities)'
      print *,'(enter -1 for plasma frequencies, B0, M3000, ',
&          'valley, width and depth.)'
      print *,'(      F1 probability, equatorial vertical ',
&          'ion drift, and)'
      print *,'(      foF2 storm/quiet ratio.)'
      print *,'(      or 3 parameter of your choice)'
c         read(5,*) hx
      hx=-1
      write(*, 71118) hx
71118      format(' -> hx=',F4.0)


      print *,'upper height [km] for TEC integration (0 for no TEC)'
c         read(5,*) htec_max

c                                     htec_max=600
      write(*, 71119) htec_max
71119      format(' -> htec_max=',F4.0)


      print *,'variable? (1/2../8 for height/lat/long/year/month/',
&          'day/day of year/hour)'
c         read(5,*) ivar

c                                     ivar=8
c                                     write(*, 71120) ivar
71120      format(' -> ivar=',F4.0)

      print *,'begin, end, and stepsize for the selected variable'
c         read(5,*) vbeg,vend,vstp

c                                     DATA vbeg, vend, vstp /90, 650, 10/
c                                     DATA vbeg, vend, vstp /1, 90, 1/
c                                     write(*, 71121) vbeg, vend, vstp
71121      format(' -> vbeg=',F5.0,' vend=',F5.0,' vstp=',F5.0)


      print *,'Options: t(true) or f(false)'
      print *,'Standard: t,t,t,f,f,t,t,t,t,t,t,t,t,t,t,t,t,',
&          'f,t,f,t,t,t,t,f,f,f'
      print *,'Enter 0 to use standard or 1 to enter your own'
c         read(5,*) jchoice

c                                     jchoice=0
c                                     write(*, 71122) jchoice
71122      format(' -> jchoice=',F4.0)


      do i=1,30
        jf(i)=.true.
      enddo
      if(jchoice.eq.0) then
c         jf(2)=.false.                                ! no temperatures
c         jf(3)=.false.                                ! no ion composition
        jf(5)=.false.                ! URSI foF2 model
        jf(6)=.false.                ! Newest ion composition model
        jf(21)=.false.               ! no ion drift

c         jf(22)=.false.                                ! ion densities in m-3 : added by hong

        jf(23)=.false.                ! TTS Te model is standard
        jf(28)=.false.                ! no spread-F
        jf(29)=.false.                ! New Topside options
        jf(30)=.false.                ! NeQuick topside
      else

```

```

print *, 'Compute Ne, T, Ni? (enter: t,t,t if you want all)'
read(5,*) jf(1),jf(2),jf(3)
if(jf(1)) then
  print *, 'LAY version: t=standard ver., f=LAY version. {t}'
  read(5,*) jf(11)
  print *, 'Ne Topside: t=IRI-2001, f=new options {t}'
  read(5,*) jf(29)
  print *, 'Ne Topside: t=IRI01_corrt, f=NeQuick {t}'
  read(5,*) jf(30)
  print *, 'Ne Topside: t=F10.7<188, f=unlimited {t}'
  read(5,*) jf(7)
  print *, 'foF2 model: t=CCIR, f=URSI-88 {standard:f}'
  read(5,*) jf(5)
  print *, 'foF2: t=with storm model, f=without {t}'
  read(5,*) jf(26)
  print *, 'F2 peak density or foF2: t=model, ',
&      'f=user input {t}'
  read(5,*) jf(8)
  print *, 'F2 peak height or M3000F2: t=model, ',
&      'f=user input {t}'
  read(5,*) jf(9)
  print *, 'Bottomside thickness B0: t=Table-option, ',
&      'f=Gulyaeva {t}.'
  read(5,*) jf(4)
  print *, 'F1 peak density or foF1: t=model, ',
&      'f=user input {t}'
  read(5,*) jf(13)
  if(.not.jf(11)) then
    print *, 'F1 peak height: t=model, f=user input {t}'
    read(5,*) jf(14)
  endif
  print *, 'F1: t=with probability model, f=without {t}'
  read(5,*) jf(19)
  print *, 'F1: t=standard probability, f=with L ',
&      'condition {t}'
  read(5,*) jf(20)
  print *, 'E peak density or foE: t=model, f=user input {t}'
  read(5,*) jf(15)
  print *, 'E peak height: t=model, f=user input {t}'
  read(5,*) jf(16)
  print *, 'D: t=old model, f=new options {t}'
  read(5,*) jf(24)
endif
if(jf(2)) then
  print *, 'Te(Ne) model: t=not used, f=correlation is',
&      'used. {t}'
  read(5,*) jf(10)
  print *, 'Te: t=AEROS/ISIS model, f=InterKosmos model {f}'
  read(5,*) jf(23)
endif
if(jf(3)) then
  print *, 'Ion comp. model: t=DS78/DY85, f=DS95/TTS05 {f}'
  read(5,*) jf(6)
  print *, 'Ni: t=ion composition in %, f=ion densities',
&      'in cm-3 {t}'
  read(5,*) jf(22)
  endif
  print *, 'Equat. Vert. Ion Drift: t=computed, ',
&      'f=not computed {t}'
  read(5,*) jf(21)
  print *, 'Spread-F probability: t=computed, ',
&      'f=not computed {t}'
  read(5,*) jf(28)
  print *, 'Sunspot index: t=from file, f=user input. {t}'
  read(5,*) jf(17)
  print *, 'Ionospheric index: t=from file, f=user input. {t}'
  read(5,*) jf(27)

```

```

        print *, 'F10.7D Index: t=from file, f=user input {t}'
        read(5,*) jf(25)
        print *, 'UT/LT computation: t=no date change, f=ut_lt ',
&        'subroutine {t}'
        read(5,*) jf(18)
        print *, 'Message output unit: t=(UNIT=6), f=(UNIT=12). {t}'
        read(5,*) jf(12)
    endif

c option to enter three additional parameters
c
    if(hx.lt.0) then
        print *, 'Three additional output parameters (number:1-48)'
        print *, (pna(j), j=1,10)
        print *, (pna(j), j=11,20)
        print *, (pna(j), j=21,30)
        print *, (pna(j), j=31,40)
        print *, (pna(j), j=41,48)
        print *, 'or 0.0,0 for default (F1 probability[40], equ. vert. ',
&        'ion drift[44], foF2_st/_quiet[45])'
c        read(5,*) pad1,pad2,pad3
c hong                                DATA pad1,pad2,pad3 /0, 0, 0/
c added by hong  NmF2 hmF2 seasn
                                DATA pad1,pad2,pad3 /1, 2, 37/
                                write(*, 71123) pad1,pad2,pad3
c hong 71123                    format(' -> pad1='F5.0,' pad2='F5.0,' pad3='F5.0)
71123                          format(' -> pad1='I3,' pad2='I3,' pad3='I3)

        if(pad1.eq.0) pad1=40      ! F1 probability
        if(pad2.eq.0) then
            pad2=44                ! equatorial vertical ion drift
            jf(21)=.true.
        endif
        if(pad3.eq.0) pad3=45      ! fof2_storm/foF2_quiet
    endif

c option to enter measured values for NmF2, hmF2, NmF1, hmF1, NmE, hmE,
c N(300), N(400), N(600) if available;
c
    print *, '
    print *, '
    print *, '
    numstp=int((vend-vbeg)/vstp)+1
    if(ivar.eq.1) numstp=1
    if(jf(1)) then
        if(.not.jf(8).or..not.jf(9).or..not.jf(13).or..not.jf(14).or.
&        .not.jf(15).or..not.jf(16)) then
            var=vbeg
            i=1
2234        if(.not.jf(8)) then
                jf(26)=.false.    ! storm model off, if user input
                print *, 'foF2/Mhz or NmF2/m-3 for ', itext(ivar),
&                '=', var
                read(5,*) oar(1,i)
                pname(1)='foF2/MHz'
                if(oar(1,i).gt.30.) pname(1)='NmF2/m-3'
                endif
            if(.not.jf(9)) then
                print *, 'hmF2/km or M3000F2 for ', itext(ivar),
&                '=', var
                read(5,*) oar(2,i)
                pname(2)='M(3000)F2'
                if(oar(2,i).gt.50.) pname(2)='hmF2/km'
                endif
            if(.not.jf(13)) then
                print *, 'foF1/MHz or NmF1/m-3 for ', itext(ivar),
&                '=', var

```

```

        read(5,*) oar(3,i)
        pname(3)='foF1/MHz'
        if(oar(3,i).gt.30.) pname(3)='NmF1/m-3'
        endif
        if(.not.jf(14)) then
            print *,'hmF1/km for ',itext(ivar),'=',var
            read(5,*) oar(4,i)
            pname(4)='hmF1/km'
            endif
        if(.not.jf(15)) then
            print *,'foE/MHz or NmE/m-3 for ',itext(ivar),
&            ' ',var
            read(5,*) oar(5,i)
            pname(5)='foE/MHz'
            if(oar(5,i).gt.30.) pname(5)='NmE/m-3'
            endif
        if(.not.jf(16)) then
            print *,'hmE/km for ',itext(ivar),'=',var
            read(5,*) oar(6,i)
            pname(6)='hmE/km'
            endif

        i=i+1
        var=var+vstp
        if(ivar.gt.1.and.var.le.vend) goto 2234
    endif
endif

c option to enter Ne for Te-Ne relationship
c
    if(jf(2).and..not.jf(10)) then
        var=vbeg
        do 1235 i=1,numstp
            print *,'Ne(300km),Ne(400km)/m-3',
&            ' for ',itext(ivar),'=',var,' [-1 if not]'
            read(5,*) oar(15,i),oar(16,i)
1235         var=var+vstp
        endif

c option to enter F107D
c
    if(.not.jf(25)) then
        print *,'User input for F107D:'
        read(5,*) f107d
        do i=1,100
            oar(41,i)=f107d
        enddo

        endif

c option to enter Rz12 and/or IG12
c
    if(.not.jf(17)) then
        print *,'User input for Rz12'
        read(5,*) oar(33,1)
        do i=2,100
            oar(33,i)=oar(33,1)
        enddo

        endif

    if(.not.jf(27)) then
        print *,'User input for IG12'
        read(5,*) oar(39,1)
        do i=2,100
            oar(39,i)=oar(39,1)
        enddo

        endif

c end of user input

```



```

c

num1=(vend-vbeg)/vstp+1
numstp=iabs(num1)
if(numstp.GT.100) numstp=100

map='URSI'
if(jf(5)) map='CCIR'

bopt='Gulyaeva'
if(jf(4)) bopt='B0-Table'

iopt='DS95&TTS04'
if(jf(6)) iopt='DS78&DY85 '

sopt='off'
if(jf(26)) sopt='on '

topt='TTSa-2000'
if(jf(23)) topt='IRI-95'

if(jf(19)) then
    flopt='Scotto-97 no L'
    if(.not.jf(20)) flopt='Scotto-97 with L'
else
    flopt='IRI-95'
endif

hxx=hx
jmag=jm
mmdd=imd

c calling IRI subroutine
c
    call iri_web(jmag,jf,xlat,xlon,iy,mmdd,iut,hour,
&             hxx,htec_max,ivar,vbeg,vend,vstp,outf,oar)

c preparation of results page
c
c hong      write(7,3991) iy,mmdd,hour,timev(iut+1),coorv(jmag+1),xlat,xlon
c hong      if(jf(1)) then
c hong                      if(jf(29)) then
c hong                      if(jf(30)) then
c hong                          write(7,3314)
c hong                      else
c hong                          write(7,3315)
c hong                      endif
c hong      else
c hong                      if(jf(30)) then
c hong                          write(7,3316)
c hong                      else
c hong                          write(7,3317)
c hong                      endif
c hong      endif
c hong      if(jf(8)) write(7,301) map
c hong      if(jf(9)) write(7,303)
c hong      if(.not.jf(24)) write(7,3081)
c hong      write(7,309) bopt
c hong      write(7,3291) sopt
c hong      write(7,3295) flopt
c hong      numi=numstp
c hong      if(ivar.eq.1) numi=1
c hong      do j=1,6
c hong          ij=jf(j)
c hong      if(.not.jf(ij)) then

```

```

c hong          write(7,302) pname(j)
c hong          write(7,402) (oar(j,i),i=1,numi)
c hong          endif
c hong          enddo
c hong          endif
c hong
c hong          if(jf(2)) write(7,3292) topt
c hong          if(jf(3)) write(7,329) iopt
c hong
c hong          if(ivar.eq.1) then
c hong              if(oar(3,1).lt.1.) oar(4,1)=0.
c hong              yp2=0
c hong              if(oar(3,1).gt.0.0) yp2=oar(3,1)/1.e6
c hong              write(7,213) oar(1,1)/1.E6,yp2,oar(5,1)/1.E6
c hong              write(7,214) oar(2,1),oar(4,1),oar(6,1)
c hong          else
c hong              write(7,307)
c hong          endif
c hong
c hong          write(7,211) oar(23,1),oar(25,1),oar(27,1)
c hong
c hong          if(.not.jf(17)) then
c hong              write(7,223) oar(33,1)
c hong          else
c hong              write(7,212) oar(33,1)
c hong          endif
c hong
c hong          if(.not.jf(27)) then
c hong              write(7,2231) oar(39,1)
c hong          else
c hong              write(7,2121) oar(39,1)
c hong          endif
c hong
c hong
c hong          if(htec_max.gt.50.0) write(7,3914) htec_max
c hong          if(pad1.eq.44.or.pad2.eq.44.or.pad3.eq.44) write(7,3915)
c hong          if(pad1.eq.40.or.pad2.eq.40.or.pad3.eq.40) write(7,4915)
c hong          if(pad1.eq.45.or.pad2.eq.45.or.pad3.eq.45) write(7,4916)
c hong          if(pad1.eq.48.or.pad2.eq.48.or.pad3.eq.48) write(7,4196)
c hong
c hong 3991    format(///DATE(yyyy/-ddd or mddd/hh.h):',I4,','/,I4,','/,F4.1,
c hong        &      A2,2X,A4,' Lat/Long=',F5.1,','/,F6.1/)
c hong 3914    format('/TEC [1.E16 m-2] is obtained by numerical integration',
c hong        &      ' in 1km steps/' from 50 to ',f6.1,' km. t is the',
c hong        &      ' percentage of TEC above the F peak.')
c hong 3915    format('/vdrft: equatorial vertical F-region drift.')
c hong 4915    format('/F1_pb: F1-layer occurrence probability')
c hong 4916    format('/foF2r: foF2_storm/foF2_quiet')
c hong 4196    format('/sp_F: spread-F occurrence probability')
c hong 3916    format('/M3000F2: Propagation factor related to hmF2/'
c hong        &      'B0: bottomside thickness parameter.')
c hong 301     format(A4,' maps are used for the F2 peak density (NmF2)')
c hong 302     format(A9,' provided by user:')
c hong 402     format(7(1PE10.3))
c hong 303     format('CCIR maps are used for the F2 peak height (hmF2)')
c hong 304     format(A25,','/,F5.1,') provided by user')
c hong 307     format(1x/'Solar and magnetic parameter for the 1st profile',
c hong        &      ' point:')
c hong 309     format(A8,' option is used for the bottomside thickness ',
c hong        &      'parameter B0')
c hong 3081    format('Special D-region output with all options')
c hong 329     format(A10,' option is used for ion composition')
c hong 3291    format('The foF2 STORM model is turned ',A3)
c hong 3292    format(A9,' option is used for the electron temperature')
c hong 3293    format(A8,' option is used for the D-region Ne')
c hong 3295    format(A16,' option is used for the F1 occurrence probability')
c hong 211     format('Solar Zenith Angle/degree',28X,F6.1/

```

```

c hong      &      'Dip (Magnetic Inclination)/degree',20X,
c hong      &      F6.2/'Modip (Modified Dip)/degree',26X,F6.2)
c hong 212    format('Solar Sunspot Number (12-months running mean) Rz12',
c hong      &      4X,F5.1)
c hong 223    format('Solar Sunspot Number (12-months running mean) Rz12',
c hong      &      4X,F5.1,'{user provided input}')
c hong 2121   format('Ionospheric-Effective Solar Index IG12',16X,F5.1)
c hong 2231   format('Ionospheric-Effective Solar Index IG12',16X,
c hong      &      F5.1,'{user provided input}')
c hong 213    format('/Peak Densities/cm-3: NmF2=',F9.1,'   NmF1=',F9.1,
c hong      &      '   NmE=',F9.1)
c hong 214    format('Peak Heights/km:   hmF2=',F9.2,'   hmF1=',F9.2,
c hong      &      '   hmE=',F9.2/)
c hong 3314   format('IRI-2001 is used for topside Ne profile')
c hong 3315   format('TTS model is used for topside Ne profile')
c hong 3316   format('Corrected IRI01 is used for topside Ne profile')
c hong 3317   format('NeQuick is used for topside Ne profile')
c
c table head .....
c

      agnr=7          !output unit number
      xtex=imz(ivar)
      if(jmag.gt.0.and.(ivar.eq.2.or.ivar.eq.3)) xtex='GEOM'
      if(iut.gt.0.and.ivar.eq.8) xtex='U.T.'

      PIKTAB=0
      IF(IVAR.NE.1) THEN
          IF(HX.LT.1.0) PIKTAB=1
          IF(HX.LT.0.0) PIKTAB=2
          ENDIF
      if(.not.jf(24)) piktab=3

c hong      IF(PIKTAB.EQ.3) WRITE(7,8199) ITEXT(IVAR),xtex
c hong      IF(PIKTAB.EQ.2) WRITE(7,8194) ITEXT(IVAR),pna(pad1),
c hong      &      pna(pad2),pna(pad3),xtex,uni(pad1),uni(pad2),uni(pad3)
c hong      IF(PIKTAB.EQ.1) WRITE(7,8192) ITEXT(IVAR),xtex
c hong      IF(PIKTAB.EQ.0) WRITE(7,8193) ITEXT(IVAR),xtex

8192 FORMAT('/-'/2X,A5,6X,'PEAK ALTITUDES IN KM',8X,'PEAK DEN',
& 'SITIES IN cm-3 TEC top/%/3X,A4,'   hmF2 hmF1 hmE   ',
& 'hmD   NmF2   NmF1   NmE   NmD 1E16m-2')
8194 FORMAT('/-'/2X,A5,15X,'E-VALLEY',3X,'PLAS FREQ',
& ' MHz   ',A6,3X,A6,3X,A6/3X,A4,' M3000 B0/km   W/km Depth ',
& ' foF2 foF1 foE   ',A3,6X,A3,6X,A3)
8193 FORMAT('/-'/1X,A5,' ELECTRON DENSITY TEMPERATURES ',
& 8X,'ION PERCENTAGES/%',5x,'1E16m-2'/2X,A4,' Ne/cm-3 Ne/NmF2',
& ' Tn/K   Ti/K   Te/K   O+   N+   H+   He+   O2+   NO+   Clust TEC t/%')
8199 FORMAT('/-'/1X,A5,12X,' D-REGION ELECTRON DENSITY IN CM-3'/
& 2X,A4,7x,'Mechtley',3x,'Friedrich',7X,'Danilov et al. 1995'/
& 13x,'-Bilitza',4X,'-Torkar',5x,'standard',2x,'major SW',2x,
& 'strong WA')

      xcor=vbeg

      do 1234 li=1,numstp

c
c special output: peak densities and altitudes
c

      IF(PIKTAB.eq.1) THEN
          if(oar(3,li).lt.1.) oar(4,li)=0.
          iyp1=int(oar(1,li)/1.e6+.5)
          iyp2=0
          if(oar(3,li).gt.0.0) iyp2=int(oar(3,li)/1.e6+.5)
          iyp3=int(oar(5,li)/1.e6+.5)

```

```

      iyp4=int(oar(7,li)/1.e6+.5)
      tec=oar(37,li)
      if(tec.gt.0.0) then
        tec=tec/1.e16
        itopp=int(oar(38,li)+.5)
      else
        tec=-1.0
        itopp=-1
      endif
      WRITE(7,3910) XCOR,oar(2,li),oar(4,li),oar(6,li),oar(8,li),
&    iyp1,iyp2,iyp3,iyp4,tec,itopp
3910  FORMAT(F7.1,2X,4F6.1,1X,I9,3I7,1X,f6.2,i4)
      GOTO 1234
    ENDIF

    IF(PIKTAB.eq.2) THEN
      yp1=sqrt(oar(1,li)/1.24e10)
      yp2=0.0
      if(oar(3,li).gt.0.0) yp2=sqrt(oar(3,li)/1.24e10)
      yp3=sqrt(oar(5,li)/1.24e10)
c      if(pad1.eq.45.and.oar(pad1,li).le.0.0) oar(pad1,li)=-1.
c      if(pad2.eq.45.and.oar(pad2,li).le.0.0) oar(pad2,li)=-1.
c      if(pad3.eq.45.and.oar(pad3,li).le.0.0) oar(pad3,li)=-1.

c hong c added by hong
c      hong WRITE(7,39199) iy,imd
c hong 39199 FORMAT(I5,I5)

      WRITE(7,3919) XCOR,oar(36,li),oar(10,li),oar(12,li)-oar(6,li),
&    oar(11,li)/oar(5,li),yp1,yp2,yp3,oar(pad1,li),oar(pad2,li),
&    oar(pad3,li)
3919  FORMAT(F7.1,2X,f4.2,1x,f5.1,1x,f5.1,1x,f5.3,F6.2,2F5.2,
&    1PE9.2,1PE9.2,1PE9.2)
      GOTO 1234
    ENDIF

c special output for D-region options
c
    IF(PIKTAB.eq.3) THEN
      hxx=hx
      if(ivar.ne.1.and.hx.lt.20.) hxx=85.
      ip1=int(outf(1,li)/1.e6+.5)
      ip2=int(outf(13,li)/1.e6+.5)
      if(ivar.eq.1) hxx=xcor
      ihx=int((hxx-60)/5.)+1
      ixne=-1
      ixn1=-1
      ixn2=-1
      if(ihx.gt.0.and.ihx.lt.7) then
        hihx=60+(ihx-1)*5
        ixne=int((outf(14,ihx)+(outf(14,ihx+1)-outf(14,ihx))/
&          5*(hxx-hihx))/1.e6+.5)
        ih1=ihx+7
        ixn1=int((outf(14,ih1)+(outf(14,ih1+1)-outf(14,ih1))/
&          5*(hxx-hihx))/1.e6+.5)
        ih2=ihx+14
        ixn2=int((outf(14,ih2)+(outf(14,ih2+1)-outf(14,ih2))/
&          5*(hxx-hihx))/1.e6+.5)
      endif
      WRITE(7,3819) XCOR,ip1,ip2,ixne,ixn1,ixn2
3819  FORMAT(F7.1,2X,2i10,5X,3I10)
      GOTO 1234
    ENDIF

c
c normal output
c
      if(ivar.eq.1) then

```

```

        oar(1,li)=oar(1,1)
        oar(37,li)=oar(37,1)
        oar(38,li)=oar(38,1)
    endif
    jne=int(outf(1,li)/1.e6+.5)
    xner=outf(1,li)/oar(1,li)
    jtn=int(outf(2,li)+.5)
    jti=int(outf(3,li)+.5)
    jte=int(outf(4,li)+.5)
    jio=INT(OUTF(5,li)+.5)
    jih=INT(OUTF(6,li)+.5)
    jihe=INT(OUTF(7,li)+.5)
    jino=INT(OUTF(8,li)+.5)
    jio2=INT(OUTF(9,li)+.5)
    jicl=INT(OUTF(10,li)+.5)
    jin=INT(OUTF(11,li)+.5)
    if(outf(1,li).lt.0) jne=-1
    if(outf(1,li).lt.0) xner=-1.
    if(outf(2,li).lt.0) jtn=-1
    if(outf(3,li).lt.0) jti=-1
    if(outf(4,li).lt.0) jte=-1
    if(outf(5,li).lt.0) jio=-1
    if(outf(6,li).lt.0) jih=-1
    if(outf(7,li).lt.0) jihe=-1
    if(outf(8,li).lt.0) jino=-1
    if(outf(9,li).lt.0) jio2=-1
    if(outf(10,li).lt.0) jicl=-1
    if(outf(11,li).lt.0) jin=-1
    if(tec.gt.0.0) then
        tec=oar(37,li)/1.e16
        itopp=int(oar(38,li)+.5)
    else
        tec=-1.0
        itopp=-1
    endif
    WRITE(7,7117) XCOR,jne,xner,jtn,jti,jte,jio,jin,
&          jih,jihe,jino,jio2,jicl,tec,itolpp
7117  FORMAT(F6.1,I8,1x,F6.3,3I6,7I4,f6.1,i4)

1234  xcor=xcor+vstp

                                print *, 'Bye'
c      print *, 'Enter 0 to exit or 1 to generate another profile?'
c      read(5,*) icontinue
c      if (icontinue.gt.0) goto 1

    stop
end

```

② script4irifof2_ut.sh

```

#!/bin/bash

iy=2005;
imd=-35;                      #mdd(or -ddd)
iut=1;                        #iut(=0/1,LT/UT)
hour=0;                       #noon (12-9)
# hour=15;                    #midnight (24-9)

vbeg=0;
vend=23;
vstp=1;

if [ -e outFoF2_UT ] ;
then
    echo "outFoF2_UT directory exists"
else
    echo "mkdir outFoF2_UT"
    mkdir outFoF2_UT
fi

year2see=`printf "%d" $iy`

for ((imd=1; imd <= 365; imd++))          #limit is 7/20
do
    for hour in 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23
    do

        echo
        echo " -----"
        echo "  script for iritest.exe "

        # 'year(yyyy).mdd(or -ddd),iut(=0/1,LT/UT),hour'
        # 'begin, end, and stepsize for the selected variable'
        time2see=`printf "%d, -%d, %d, %d, %d, %d \n" $iy $imd $iut $hour $vbeg $vend $vstp`
        outfilename=`printf "%04d_%03dth_ut.out" $iy $imd`

        # write date and time on IRI_input.dat
        echo $time2see > IRI_input_fof2.dat

        printf "  output => %s \n" $outfilename
        echo " -----"

        ./irifof2.exe

        #cp fort.7 ./out/$outfilename
        cp fort.7 ./outFoF2_UT/$year2see/$outfilename

    done
done

```

3. 지자기 자료포맷 변환 프로그램

① viewfg_rrl04.c

```

/*
 *      This program read TTsf FG file and output FG data(variation field)
 *      with time to stdout.
 *      This program needs TTsf FG file and Memo file.
 *
 *
 *      Usage:
 *
 *              VIEWFG [TTsf FG file name]
 *
 *      Output format:
 *
 *              hh:mm:ss e ****.**, ****.**, ****.**
 *
 *              hh:      Hour
 *              mm:      Minute
 *              ss:      Second
 *              ****.**:  Value of Variation field (nT)
 *              e:        Second (1/Freq sec)
 *                      Freq = Smapling frequency (1, 2, 4, 8 Hz)
 *                      Freq      e
 *                      1Hz          1
 *                      2Hz          1 - 2
 *                      4Hz          1 - 4
 *                      8Hz          1 - 8
 *
 *
 *                      1996.4 Tierra Tecnica
 *
 *      Modified at 2009.03.12. - Sunhak Hong, Radio Research Agency
 *      Updated  at 2009.09.09. - Sunhak Hong, Radio Research Agency
 */

#include <stdio.h>
#include <string.h>

typedef struct {
    /*int*/short    iHor, iMin, iSec, iSec8;
} Time ;

typedef struct {
    /*int*/short iHx, iHy, iHz;
} tyData ;

typedef struct {
    unsigned char byHor, byMin, bySec;
    /*int*/short  iFreq, iOx, iOy, iOz;
} tyMemo ;

void IncSec(Time *T, int iFreq)
{
    T->iSec8++;
    if (T->iSec8 <= iFreq) { return; }
    T->iSec8 = 1;
    T->iSec++;
    if (T->iSec < 60) { return; }
    T->iSec = 0;
    T->iMin++;
    if (T->iMin < 60) { return; }
    T->iMin = 0;
    T->iHor++;
    if (T->iHor < 24) { return; }
    T->iHor = 0;
}

int main(int argc, char *argv[])
{

```



```

tyData      D;
tyMemo      M;
Time T;
/*long int*/int ltmp;
char fname1[40], fname2[40];
FILE *fp1, *fp2;
short iYea, iMon, iDay;

int          len, i;
char         fname_tmp[128];
char         *ptr;

short iCenterOfHx, iCenterOfHy, iCenterOfHz; //added by hong

if (argc == 1) {
    printf("Usage: VIEWFG [TTSF FG file name] [TTSF M file name]\n");
    return -1;
}

//FG data file(variation field)
strcpy(fname1, argv[1]);
fp1 = fopen(fname1, "rb");
if (fp1 == NULL) {
    printf("FG File open error.\n");
    return -1;
}

//iYea = (fname1[1] & 0x0f) * 10 + (fname1[2] & 0x0f);
//iMon = (fname1[3] & 0x0f) * 10 + (fname1[4] & 0x0f);
//iDay = (fname1[5] & 0x0f) * 10 + (fname1[6] & 0x0f);

// find date - 09.09.09 by Hong
strcpy(fname_tmp, fname1);
ptr = fname_tmp;
len = strlen(fname_tmp);
for(i = 0; i < len; i++) {
    if (*ptr == 'F') break;
    ptr++;
}
iYea = (ptr[1] & 0x0f) * 10 + (ptr[2] & 0x0f);
iMon = (ptr[3] & 0x0f) * 10 + (ptr[4] & 0x0f);
iDay = (ptr[5] & 0x0f) * 10 + (ptr[6] & 0x0f);

//memo data file
strcpy(fname2, argv[2]);
//fname2[0] = 'm';
fp2 = fopen(fname2, "rb");
if (fp2 == NULL) {
    printf("Memo File open error.\n");
    return -1;
}

fseek(fp2, 0, SEEK_SET);
fread(&M.byHor, 1, 3, fp2);
M.iFreq = 0;
fread(&M.iFreq, 1, 1, fp2);
fread(&M.iOx, 2, 3, fp2); //added by hong

ltmp = (M.byHor*3600L + M.byMin*60L + M.bySec)*6 * M.iFreq;

//printf("%6ldnT %6ldnT %6ldnT\n", M.iOx*10L, M.iOy*10L, M.iOz*10L);

fseek(fp1, ltmp, SEEK_SET);

T.iHor = M.byHor;

```

```

        T.iMin = M.byMin;
        T.iSec = M.bySec;
        T.iSec8 = 1;

        while(fread(&D.iHx, 2, 3, fp1) != 0) {
            //printf("%02d:%02d:%02d %01d ", T.iHor, T.iMin, T.iSec, T.iSec8);
            //printf("%02d %02d %02d %02d %02d %01d ", iYea, iMon, iDay, T.iHor, T.iMin, T.iSec, T.iSec8);
            printf("%02d.%02d.%02d %02d:%02d:%02d ", iYea, iMon, iDay, T.iHor, T.iMin, T.iSec);

        #if 0
            printf("% 7.2f, % 7.2f, % 7.2f\n", D.iHx/100., D.iHy/100., D.iHz/100.);
        #else //added by hong
            //printf("%7.2f %7.2f %7.2f ", D.iHx/100., D.iHy/100., D.iHz/100.);
            printf("%7.2f %7.2f %7.2f\n", M.iOx*10L + D.iHx/100., M.iOy*10L + D.iHy/100., M.iOz*10L + D.iHz/100.);
        #endif

            IncSec(&T, M.iFreq);
        }

        fclose(fp2);
        fclose(fp1);

        return 1;
    }

```

② viewpr_rrl04.c

```

/*
 *      This program read TTSP Proton file and output all proton data with time.
 *
 *
 *      Usage:
 *
 *          VIEWPR [TTSP Proton file name]
 *
 *      Output format:
 *
 *          hh:mm:ss *****
 *
 *          hh:      Hour
 *          mm:      Minute
 *          ss:      Second
 *          *****:      Value of total magnetic force (nT)
 *
 *
 *          1996.4 Tierra Tecnica
 *
 *      Modified at 2009.03.12. - Sunhak Hong, Radio Research Agency
 *      Updated  at 2009.09.09. - Sunhak Hong, Radio Research Agency
 */

#include <stdio.h>
#include <string.h>

typedef struct {
    unsigned char byHor, byMin, bySec;
    unsigned long int      dwF;
} tyProton ;

int main(int argc, char *argv[])
{
    tyProton P;
    FILE *fp;
    char fname1[40];
    short iYea, iMon, iDay;

    int      len, i;
    char     fname_tmp[128];
    char     *ptr;

```

```

        if (argc == 1) {
            printf("Usage: VIEWPR [TTSF Proton file name]\n");
            return -1;
        }

    strcpy(fname1, argv[1]);
    fp = fopen(fname1, "rb");
    if (fp == NULL) {
        printf("Proton File open error.\n");
        return -1;
    }

    //iYea = (fname1[1] & 0x0f) * 10 + (fname1[2] & 0x0f);
    //iMon = (fname1[3] & 0x0f) * 10 + (fname1[4] & 0x0f);
    //iDay = (fname1[5] & 0x0f) * 10 + (fname1[6] & 0x0f);

    // find date - 09.09.09 by Hong
    strcpy(fname_tmp, fname1);
    ptr = fname_tmp;
    len = strlen(fname_tmp);
    for(i = 0; i < len; i++) {
        if (*ptr == 'P') break;
        ptr++;
    }
    iYea = (ptr[1] & 0x0f) * 10 + (ptr[2] & 0x0f);
    iMon = (ptr[3] & 0x0f) * 10 + (ptr[4] & 0x0f);
    iDay = (ptr[5] & 0x0f) * 10 + (ptr[6] & 0x0f);

/*
    Proton */
    while(fread(&P.byHor, 1, 3, fp) != 0) {
        fread(&P.dwF, 4, 1, fp);
        //printf("%02u:%02u:%02u %7.1f\n", P.byHor, P.byMin, P.bySec, P.dwF/10.);

        //printf("%2.7f", iDay + P.byHor/24.0 + P.byMin/24.0/60.0 + P.bySec/24.0/3600.0);
        printf("%02d.%02d.%02d %02d:%02d:%02d ", iYea, iMon, iDay, P.byHor, P.byMin, P.bySec);
        printf("%7.1f\n", P.dwF/10.);
    }
    fclose(fp);

    return 1;
}

```

③ bin2asc04.sh

```

#!/bin/bash

echo %%%%%%%%%%%
echo % Script for Binary to ASCII Ver4.0
echo % This is for converting RRA magnetometer data set
echo % 2009.3.12. Sunhak Hong, Radio Research Agency
echo %%%%%%%%%%%

stationPrefix=Icheon
#stationPrefix=Jeju

echo 'station Prefix = ' $stationPrefix

if [ -n "$1" ]
then
    DIR=$1
else
    DIR=$PWD
fi

echo 'converting files...'

```

```
#####
A=`ls -R $DIR | find . -name 'F?????' -print`
for fullName in `echo $A`
do
    fileName=`basename $fullName`
    directoryName=`dirname $fullName`

    mkdir -p $directoryName/bin2ascNew
#    echo $directoryName/'$fileName
    fFileFullName=$directoryName/'$fileName

    mFileName=${fileName/'F'/'M'}
#    echo $directoryName/'$mFileName
    mFileFullName=$directoryName/'$mFileName

    fOutFileName=$stationPrefix_'$fileName.txt
    echo $fFileFullName $mFileFullName '>' $fOutFileName

    ./viewfg_rr104.exe $fFileFullName $mFileFullName > $directoryName/bin2ascNew/$fOutFileName

    tmpFileName=${fileName/'F'/'P'}
    pFileName=${tmpFileName:0:7}
    pFileFullName=$directoryName/'$pFileName
    pOutFileName=$stationPrefix_'$pFileName.txt
    echo $pFileFullName '>' $pOutFileName

    ./viewwr_rr104.exe $pFileFullName > $directoryName/bin2ascNew/$pOutFileName
done
#####
```

4. 지자기 자료 분석 프로그램

PlotMagnetometerData04.m

```
function PlotMagnetometerData04(givenMonth)
% Plot Magnetometer measured value.
%
fprintf(1,'\n*****');
fprintf(1,'\n RRA Magnetometer Data Plotter V4.0');
fprintf(1,'\n ');
fprintf(1,'\n File Log - SunHak Hong');
fprintf(1,'\n 2008.08.06 - File Created');
fprintf(1,'\n 2009.08.20 - File Updated');
fprintf(1,'\n 2009.09.09 - File Updated');
fprintf(1,'\n*****');
fprintf(1,'\n ');

%clear all;

monthName = ['Jan'; 'Feb'; 'Mar'; 'Apr'; ...
'May'; 'Jun'; 'Jul'; 'Aug'; ...
'Sep'; 'Oct'; 'Nov'; 'Dec'];

%*****
% File read for Fluxgate data
% (Universal time)
%*****
%pname=sprintf('%s\*.txt',pwd);
%pname=sprintf('D:\2007SpaceWeather\geomagdata\GeomagDataArchive\ICH\F?????.txt');
%pname=sprintf('D:\2007SpaceWeather\geomagdata\Ichon\IchonMag080425-0509\bin2asc\Ichon_F?????.txt');
%pname=sprintf('D:\2007SpaceWeather\geomagdata\Cheju\JEJ_081027-29\bin\bin2asc\Jeju_F?????.txt');
```

```

% pname=sprintf('D:\2007SpaceWeather\geomagdata\Ichon\ICH_080102-0930\bin2asc\Ichon_F?????.txt');
%pname=sprintf('D:\GeomagData\Ichon\ICH_080102-0930\bin2asc\');
%pname=sprintf('D:\GeomagData\Cheju\JJ200906\asc2bin\bin2asc\')
%pname=sprintf('D:\GeomagData\Ichon\ICH_090301-31\bin2asc\')
%pname=sprintf('D:\GeomagData\Ichon\ICH_090725_27\bin2asc\')
%pname=sprintf('D:\GeomagData\Ichon\2009\bin2asc\')
%pname=sprintf('D:\GeomagData\Ichon\ICH_090824_31\bin2asc\')
pname = pwd;

[tmpOutFile,pname]=uigetfile(sprintf('%s\*.txt',pname),'Choose a magnetometer data file');
observatoryIndex=sprintf('%s%s',tmpOutFile(1:find(tmpOutFile=='_')-1));
fileList = dir(sprintf('%s%s_F*.txt',pname(1:end),observatoryIndex))

for index = 1 : size(fileList,1)
    tmpOutFile = getfield(fileList, {index,1}, 'name')
    PlotMain(tmpOutFile, pname);
end

end

function PlotMain(tmpOutFile, pname)

monthName = ['Jan'; 'Feb'; 'Mar'; 'Apr'; ...
    'May'; 'Jun'; 'Jul'; 'Aug'; ...
    'Sep'; 'Oct'; 'Nov'; 'Dec'];

legMark=['o-','*-','x-','+','-','h-','d-','v-','p-','.-'];    %% <-----변경가능
legColor=[0 0 1 ; 1 0 0 ; 0 0.5 0 ; 0 0.75 0.75 ; 0.75 0 0.75 ; 0.75 0.75 0 ; 0 0.25 0.25 ; 0.25 0 0.25 ; 0.25 0.25 0];

MagnetometerOutFile=sprintf('%s%s',pname(1:end),tmpOutFile); % yy, mm, dd, hh, mm, ss, Hx_tmp, Hy_tmp, Hz_tmp, Hx, Hy, Hz
% [1]Year, [2]Month, [3]Day, [4]Time, [5]Minute, [6]Second, [7]Hx_tmp, [8]Hy_tmp, [9]Hz_tmp, [10]Hx, [11]Hy, [12]Hz
fid = fopen(MagnetometerOutFile, 'r');
MagnetometerOut = fscanf(fid, ['%2d.%2d.%2d %2d:%2d:%2d %g %g %g'], [9 inf]);
MagnetometerOut = MagnetometerOut';
fclose(fid);

if 1 % when data file is empty
    if length(MagnetometerOut) < 10
        length(MagnetometerOut)
        return;
    end
end

givenYear = MagnetometerOut(1,1);
if givenYear < 90
    givenYear = givenYear + 2000;
end
givenMonth = MagnetometerOut(1,2);
givenDay = MagnetometerOut(1,3);

Magnetometer.Hx = MagnetometerOut(:,7);
Magnetometer.Hy = MagnetometerOut(:,8);
Magnetometer.Hz = MagnetometerOut(:,9);
%Magnetometer.timeStamp2 = MagnetometerOut(:,3) + MagnetometerOut(:,4)/24 + MagnetometerOut(:,5)/60/24 + MagnetometerOut(:,6)/60/60/24; %Day /
Time / Minute / Second
Magnetometer.timeStamp2 = MagnetometerOut(:,4)/24 + MagnetometerOut(:,5)/60/24 + MagnetometerOut(:,6)/60/60/24; %Time / Minute / Second
Magnetometer.HH = sqrt(Magnetometer.Hx.^2 + Magnetometer.Hy.^2);
Magnetometer.AbsVal = sqrt(Magnetometer.Hx.^2 + Magnetometer.Hy.^2 + Magnetometer.Hz.^2);

%*****

```

```

% File read for Proton data
% (Universal time)
%*****
if 1
    %ProtonOutFile=sprintf('%s%s',pname(1:end), 'Ichon_P', tmpOutFile(8:end-5), '.txt');
    ProtonOutFile=sprintf('%s%s%s',pname(1:end), tmpOutFile(1:find(tmpOutFile=='_')), 'P', tmpOutFile(find(tmpOutFile=='_')+2:end-5), '.txt');

    % [1]Year, [2]Month, [3]Day, [4]Time, [5]Minute, [6]Second, [7]Hx_tmp, [8]Hy_tmp, [9]Hz_tmp, [10]Hx, [11]Hy, [12]Hz
    fid2 = fopen(ProtonOutFile, 'r');
    ProtonOut = fscanf(fid, ['%2d.%2d.%2d %2d:%2d:%2d %g'], [7 inf]);
    ProtonOut = ProtonOut';
    fclose(fid2);

    if 1 % when data file is empty
        if length(ProtonOut) < 8
            %return;
            Proton.Data = 0
            Proton.timeStamp2 = 0
        else
            Proton.Data = ProtonOut(:,7);
            %Proton.timeStamp2 = ProtonOut(:,3) + ProtonOut(:,4)/24 + ProtonOut(:,5)/60/24 + ProtonOut(:,6)/60/60/24; %Day / Time / Minute / Second
            Proton.timeStamp2 = ProtonOut(:,4)/24 + ProtonOut(:,5)/60/24 + ProtonOut(:,6)/60/60/24; %Time / Minute / Second
        end
    end
end

end

%*****
% Filtering for smooth data
%*****
if 0 % My filter
    smoothedHH = Magnetometer.HH;
    for index = 1:100
        tmp1 = find((smoothedHH - circshift(smoothedHH, 1)) > 50);
        if tmp1 > 1
            smoothedHH(tmp1) = smoothedHH(tmp1-1);
        end
    end
else

    % for Fluxgate data
    windowSize = 60*10; % 10 min average
    smoothedHH = filter(ones(1>windowSize)/windowSize,1,Magnetometer.HH);
    smoothedHH(1>windowSize) = inf;

    windowSize = 60*10; % 10 min average
    smoothedHx = filter(ones(1>windowSize)/windowSize,1,Magnetometer.Hx);
    smoothedHx(1>windowSize) = inf;

    windowSize = 60*10; % 10 min average
    smoothedHy = filter(ones(1>windowSize)/windowSize,1,Magnetometer.Hy);
    smoothedHy(1>windowSize) = inf;

    windowSize = 60*10; % 10 min average
    smoothedHz = filter(ones(1>windowSize)/windowSize,1,Magnetometer.Hz);
    smoothedHz(1>windowSize) = inf;

    smoothedAbsVal = filter(ones(1>windowSize)/windowSize,1,Magnetometer.AbsVal);
    smoothedAbsVal(1>windowSize) = inf;

    % for Proton data
    windowSize = 10; % 10 min average
    if Proton.Data == 0
        smoothedProton = 0;
    else

```

```

        smoothedProton = filter(ones(1>windowSize)/windowSize,1,Proton.Data);
        smoothedProton(1:windowSize) = inf;
        smoothedProton(find(smoothedProton < (median(smoothedProton) - 1000) )) = inf;
    end
end

%*****
% Plot H Component data
% (Universal time)
%*****
if 0
    figure;
    %plot(Magnetometer.timeStamp2, Magnetometer.HH);
    %hold on;
    plot(Magnetometer.timeStamp2, smoothedHH);
    %hold off;
    datetick('x',15);          % Replace x-axis ticks with time number 'HH:MM'

    %set(gca,'ylim',[29900 30200]);
    %set(gca,'ylim',[min(Magnetometer.HH)-100 max(Magnetometer.HH)+100]);
    %set(gca,'ylim',[min(smoothedHH)-100 max(smoothedHH)+100]);
    box on;
    %set(gca, 'xtick', [4:6:24]);
    %set(gca, 'xticklabel', mod([4:6:24]+8,24));

    xlabel('Local Time (hour)');
    xlabel('Universal Time (hour)');
    ylabel('[nT]');
    %titleMessage = sprintf('Yongin Magnetometer Data\nH Component (%s.%d, %d)',monthName(givenMonth,:), givenDay, givenYear);
    %titleMessage = sprintf('Jeju Magnetometer Data\nH Component (%s.%d, %d)',monthName(givenMonth,:), givenDay, givenYear);
    %titleMessage = sprintf('Icheon Magnetometer Data\nH Component (%s.%d, %d)',monthName(givenMonth,:), givenDay, givenYear);
    titleMessage = sprintf('%s Magnetometer Data\nH Component (%s.%d, %d)',tmpOutFile(1:find(tmpOutFile=='_')-1), monthName(givenMonth,:), givenDay,
givenYear);
    title(titleMessage);
    %h = legend('foF2', LegendMessage(1,:), LegendMessage(2,:), LegendMessage(3,:), 'location', 'NorthEast' );
    %set(h,'Interpreter','none', 'box', 'on')
    set(gca,'YGrid','on');
end

%*****
% Plot Fluxgate Absolute & Proton data
% (Universal time)
%*****
if 0
    figure;

    subplot(2,1,1);
    plot(Magnetometer.timeStamp2, smoothedAbsVal);

    datetick('x',15);          % Replace x-axis ticks with time number 'HH:MM'
    box on;
    set(gca,'YGrid','on');
    xlabel('Local Time (hour)');
    xlabel('Universal Time (hour)');
    ylabel('[nT]');
    titleMessage = sprintf('%s Magnetometer Data\nFluxgate Absolute Value(%s.%d, %d)',tmpOutFile(1:find(tmpOutFile=='_')-1), monthName(givenMonth,:),
givenDay, givenYear);
    title(titleMessage);

    subplot(2,1,2);
    plot(Proton.timeStamp2, smoothedProton, 'g');

    datetick('x',15);          % Replace x-axis ticks with time number 'HH:MM'
    box on;
    set(gca,'YGrid','on');
    xlabel('Local Time (hour)');

```



```

xlabel('Universal Time (hour)');
ylabel('[nT]');
titleMessage = sprintf('Proton Data(%s.%d, %d)',monthName(givenMonth,:), givenDay, givenYear);
title(titleMessage);

%*****
% Save figure as a file
%*****
if 0
    figName=sprintf('%s\\JPG\\%s.jpg', pname, tmpOutFile(1:find(tmpOutFile=='_')-1));
    saveas(gcf,figName);
end

close all;
end

%*****
% Plot Fluxgate & Proton data
% (Universal time)
%*****
if 1
    figure;

    subplot(4,1,1);
    plot(Magnetometer.timeStamp2, smoothedHx);
    set(gca,'xlim',[0 1]);

    datetick('x',15,'keeplimits');          % Replace x-axis ticks with time number 'HH:MM'
    box on;
    set(gca,'YGrid','on');
    %set(gca, 'YTickLabelMode', 'manual');
    %xlabel(' ');
    ylabel('Hx(nT)');
    %titleMessage = sprintf('RRA %s Magnetometer Data (%s.%d, %d)\nFluxgate Hx',tmpOutFile(1:find(tmpOutFile=='_')-1), monthName(givenMonth,:),
givenDay, givenYear);
    titleMessage = sprintf('RRA %s Magnetometer Data (%s.%d, %d)\n',tmpOutFile(1:find(tmpOutFile=='_')-1), monthName(givenMonth,:), givenDay,
givenYear);
    title(titleMessage);

    subplot(4,1,2);
    plot(Magnetometer.timeStamp2, smoothedHy);
    if 0
        Magnetometer.timeStamp2(1)
        Magnetometer.timeStamp2(end)
        a=datestr(Magnetometer.timeStamp2(1),15)
        b=datestr(Magnetometer.timeStamp2(end),15)
        c=datenum(a)
        d=datenum(b)
    end
    %set(gca,'xlim',[Magnetometer.timeStamp2(1) Magnetometer.timeStamp2(end)]);
    set(gca,'xlim',[0 1]);

    datetick('x',15,'keeplimits');          % Replace x-axis ticks with time number 'HH:MM'
    box on;
    set(gca,'YGrid','on');
    %set(gca, 'YTickLabelMode', 'manual');
    %xlabel(' ');
    ylabel('Hy(nT)');
    %titleMessage = sprintf('Fluxgate Hy');
    %title(titleMessage);

    subplot(4,1,3);

    plot(Magnetometer.timeStamp2, smoothedHz);
    set(gca,'xlim',[0 1]);

```

```

    datetick('x',15,'keeplimits');          % Replace x-axis ticks with time number 'HH:MM'
    box on;
    set(gca,'YGrid','on');
    %set(gca, 'YTickLabelMode', 'manual');
    %xlabel(' ');
    ylabel('Hz(nT)');
    %titleMessage = sprintf('Fluxgate Hz');
    %title(titleMessage);

    subplot(4,1,4);
    if Proton.Data == 0
        set(gca,'xlim',[0 1]);
        datetick('x',15,'keeplimits');      % Replace x-axis ticks with time number 'HH:MM'
        box on;
        set(gca,'YGrid','on');
        xlabel('Universal Time (hour)');
        ylabel('F(nT)');
    else
        plot(Proton.timeStamp2, smoothedProton, 'g');
        set(gca,'xlim',[0 1]);

        datetick('x',15,'keeplimits');      % Replace x-axis ticks with time number 'HH:MM'
        box on;
        set(gca,'YGrid','on');
        %set(gca, 'YTickLabelMode', 'manual');
        %xlabel('Local Time (hour)');
        xlabel('Universal Time (hour)');
        ylabel('F(nT)');
        %titleMessage = sprintf('Proton Absolute');
        %title(titleMessage);
    end

    %*****
    % Save figure as a file
    %*****
    if 1
        dirName = sprintf('%s\\JPG',pname)
        mkdir(dirName);
        figName=sprintf('%s\\JPG\\%s%s.jpg', pname, tmpOutFile(1:find(tmpOutFile=='_')), tmpOutFile(find(tmpOutFile=='_')+2:end-5));
        saveas(gcf,figName);
        close all;
    end

end

end

```

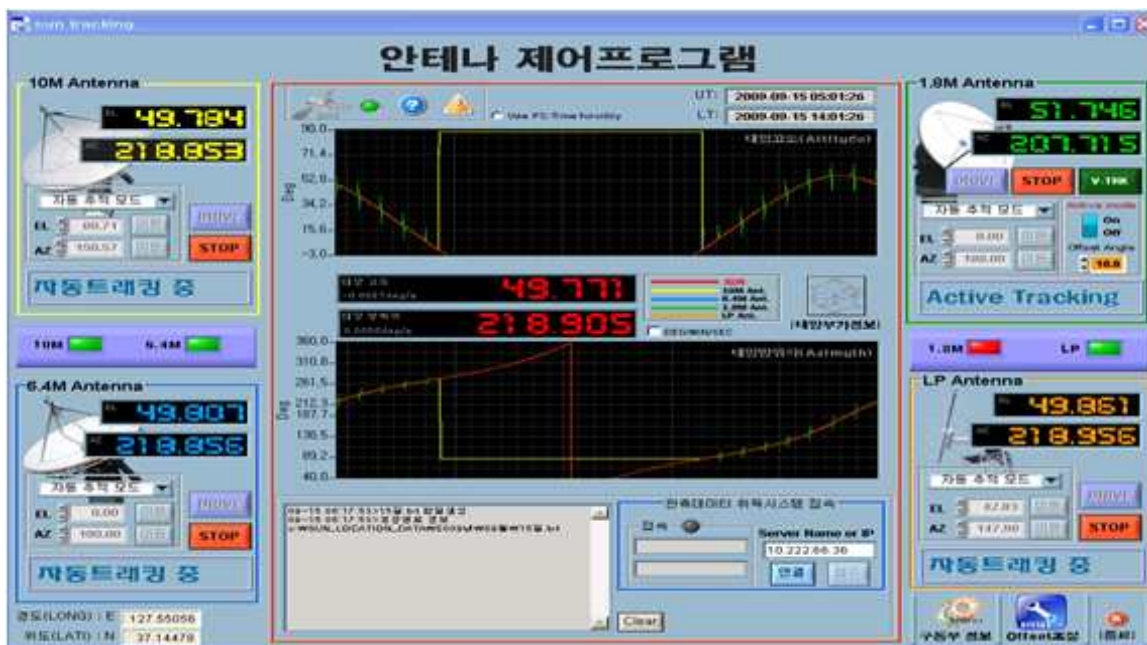
[부록 4] 관측시스템 일일점검 메뉴얼

1. 태양전파 관측시스템

가. 안테나 제어시스템 원격접속(RDP 접속 IP 별도관리)

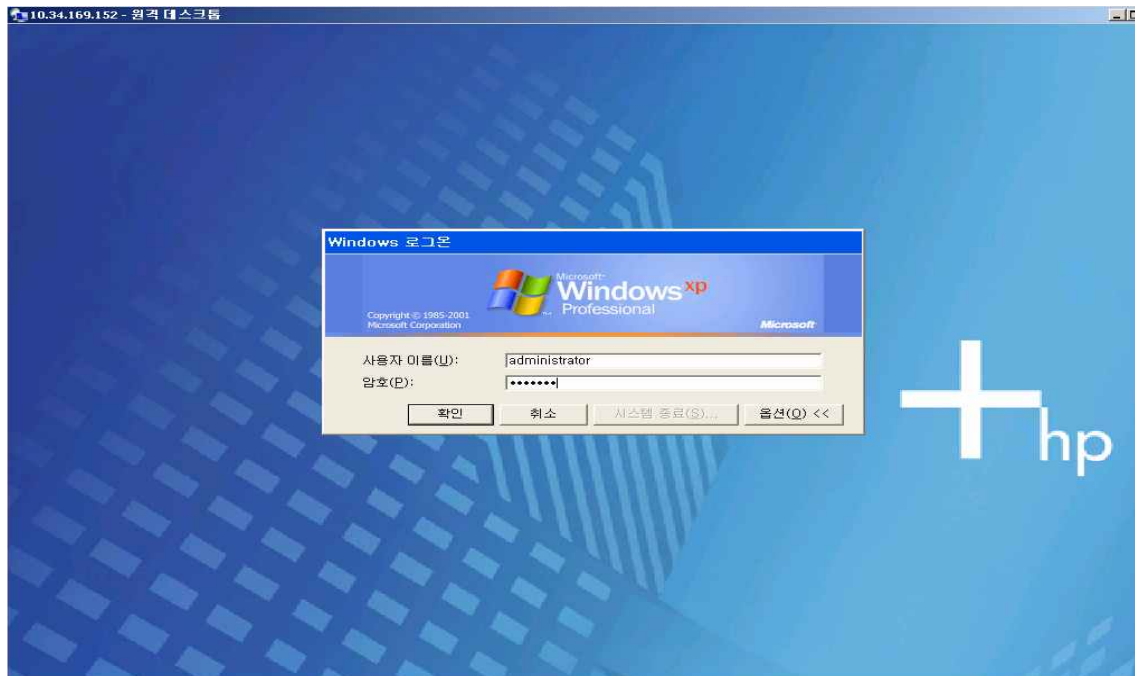


사용자명 : Administrator, 암호 : *** (별도관리) → 확인

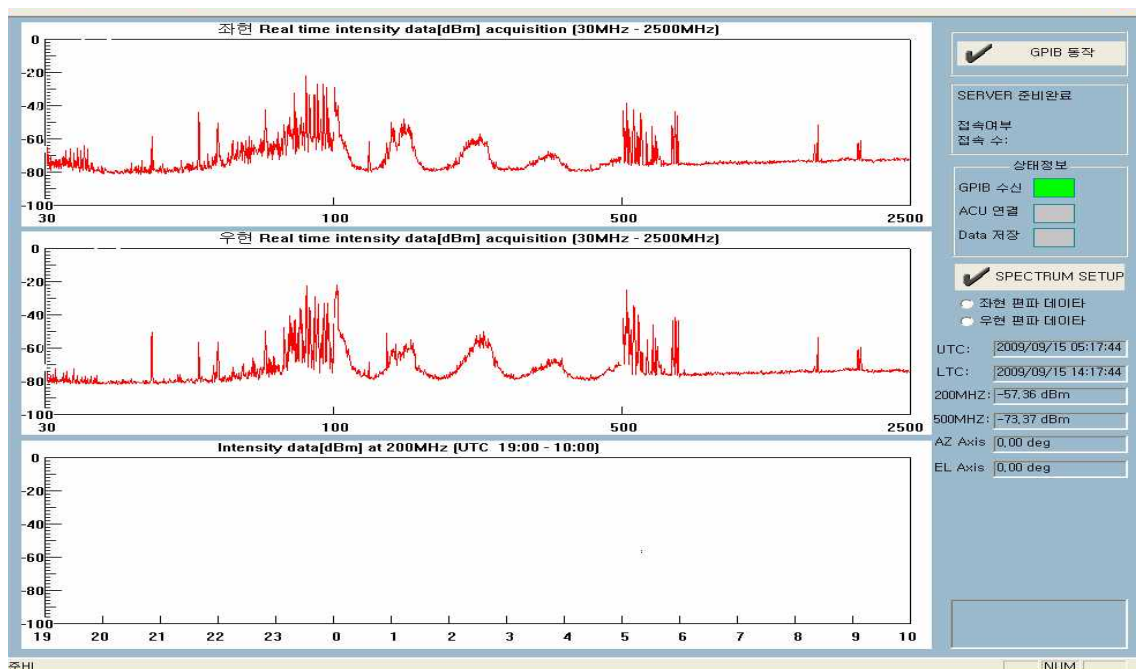


안테나제어프로그램이 화면에 뜨면 바로 태양고도와 방위각을 확인한다. 중앙의 빨간색의 태양고도와 태양방위각이 4개의 안테나와 비슷한 값을 이루어야 정상이라 할 수 있다. 트래킹 실패 시에는 경고음과 함께 중앙의 빨간색의 값이 4개의 안테나의 값과 차이가 많이 난다.

나. 태양데이터 취득시스템 원격접속(RDP 접속 IP 별도관리)

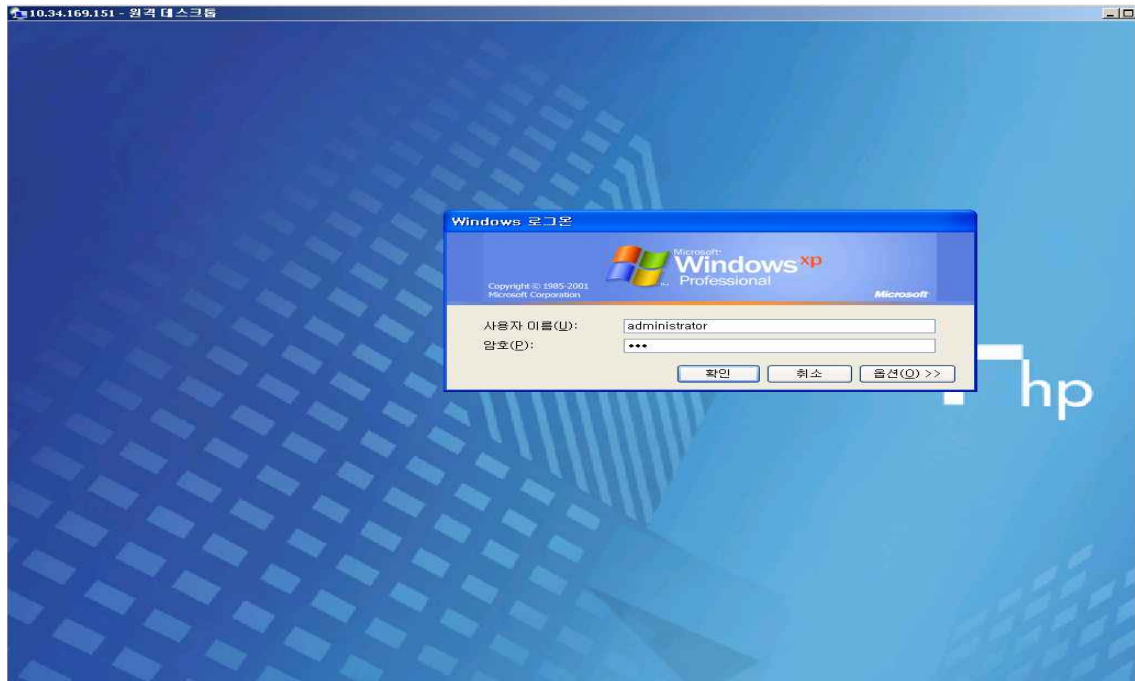


사용자명 : Administrator, 암호 : ***(별도관리) → 확인

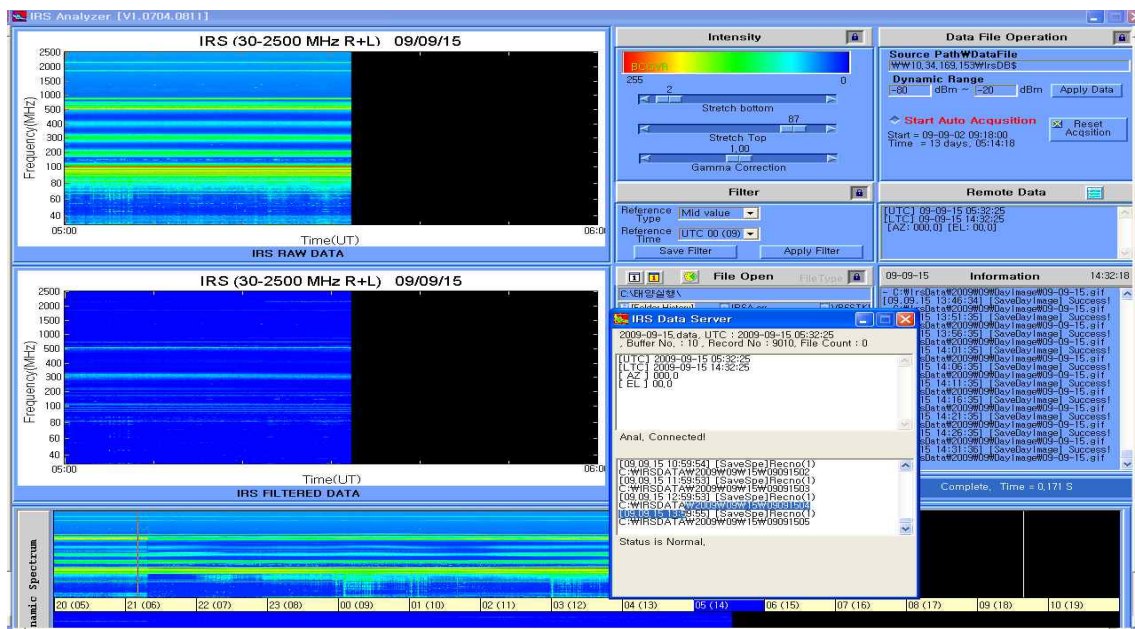


태양데이터취득시스템이 화면에 뜨면 우선 화면오른쪽 상태정보의 **GPIB수신** 란에 초록색불이 깜빡거리는지 확인한다.
그 후 밑에 UTC, LTC 란의 날짜와 시간을 확인하고 그래프의 변화를 확인한다.

다. 태양전과 분석시스템(RDP 접속 IP 별도관리)



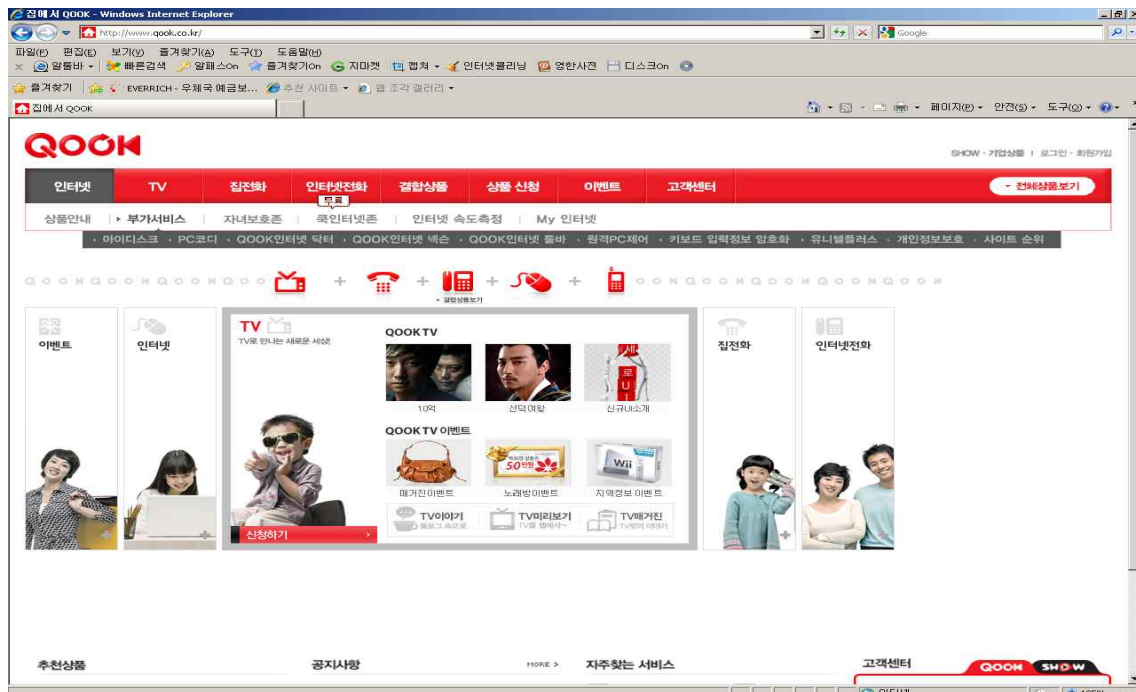
사용자명 : Administrator, 암호 : ***(별도관리) → 확인



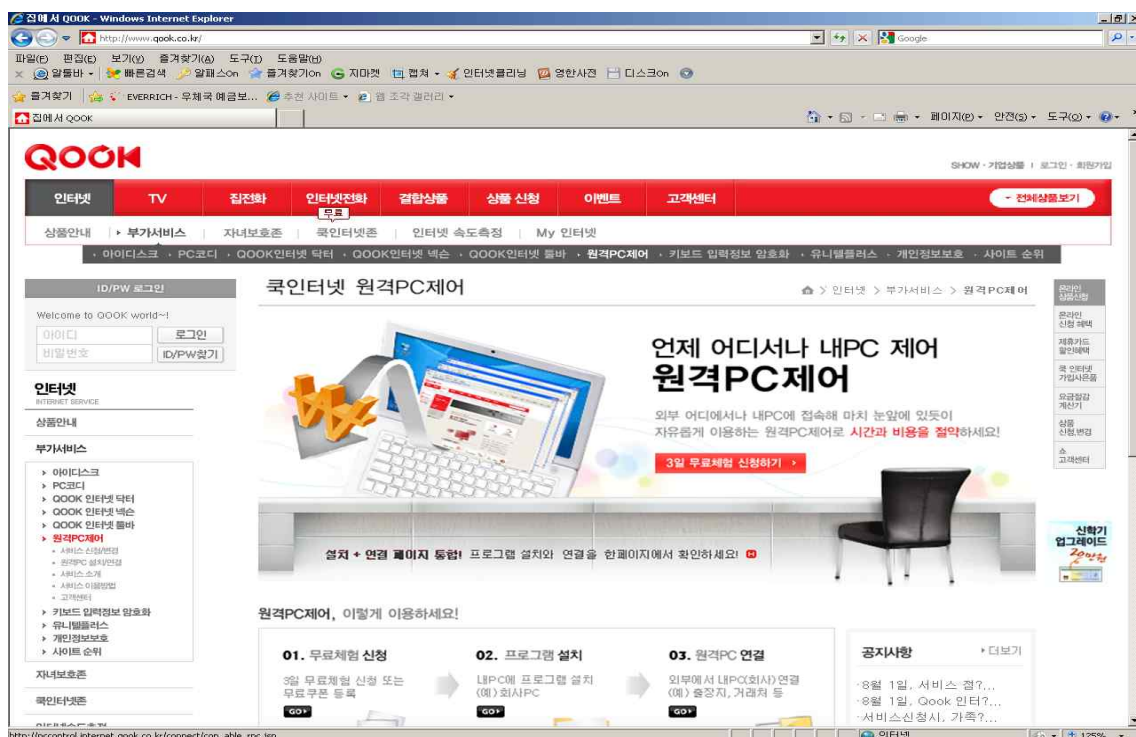
태양전과분석화면이 뜨면 우선 작은 창으로 떠있는 IRS Data Sever의 날짜와 시간을 확인한다.

그리고 큰 화면에 위치한 두개의 스펙트럼은 15~16초에 한번씩 업데이트 되면서 검은 면을 조금씩 스펙트럼으로 채워나간다. 만약 연결이 끊어지면 화면이 정지상태로 되므로 스펙트럼에 변화가 없다.

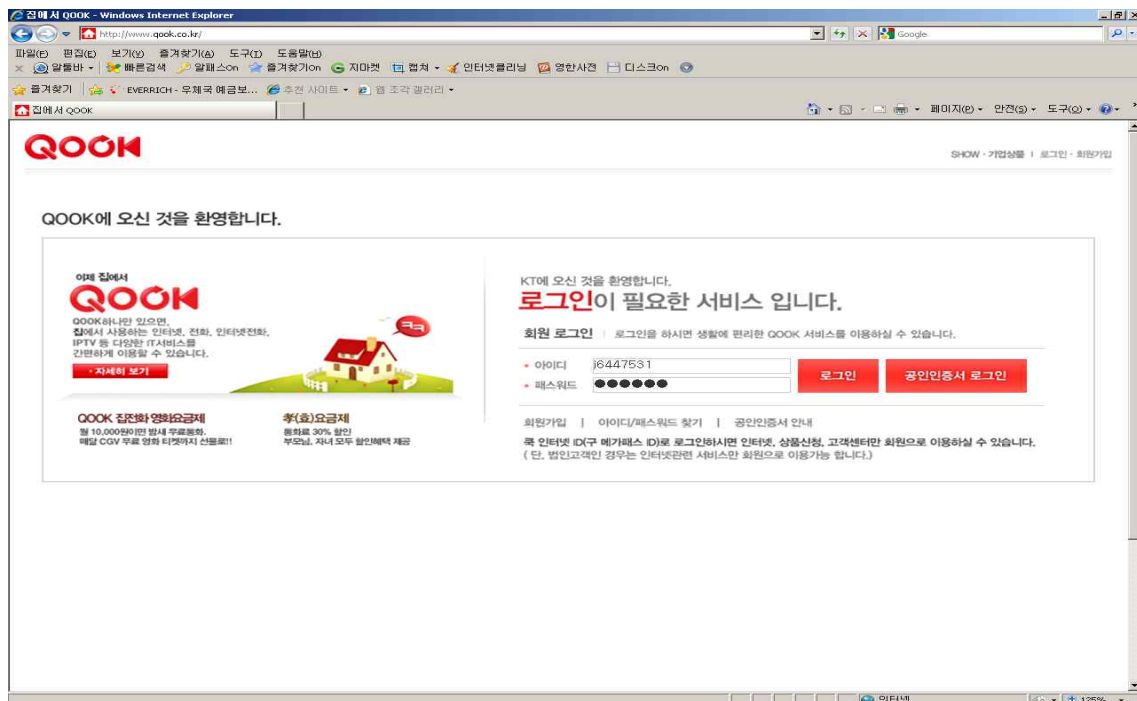
라. 2.8GA 태양전파 절대값 관측시스템(KT 원격접속 서비스 이용)



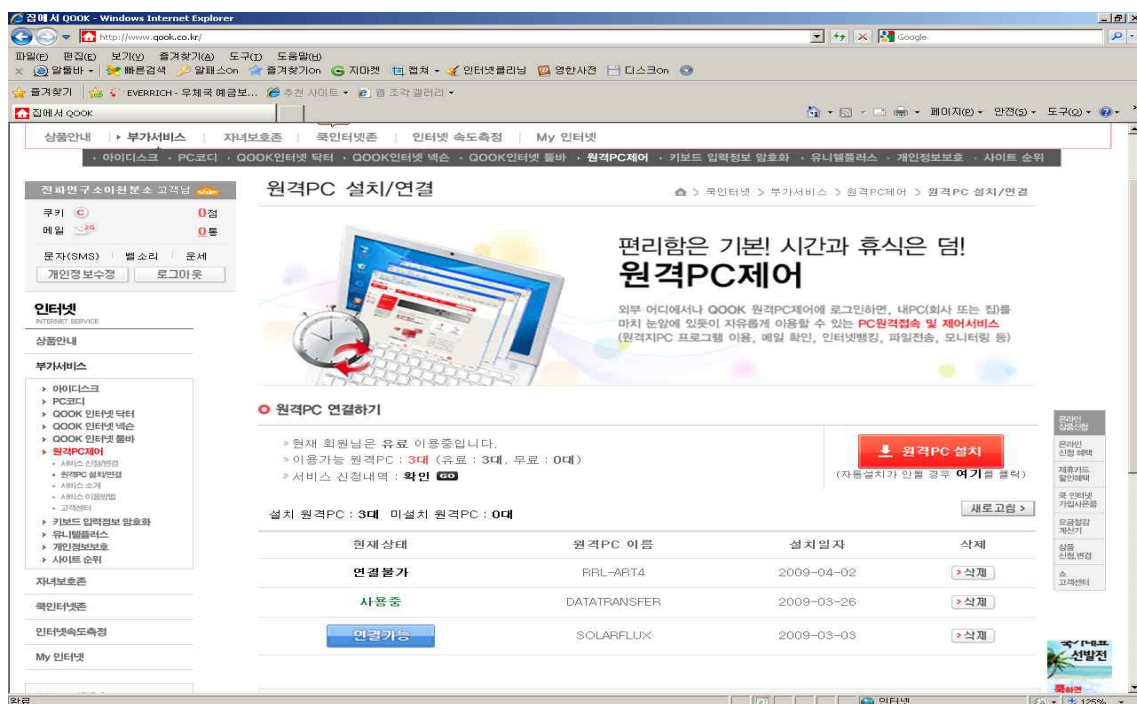
국 홈페이지에 가서 인터넷 → 부가서비스 → **원격PC제어**를 클릭 한다.



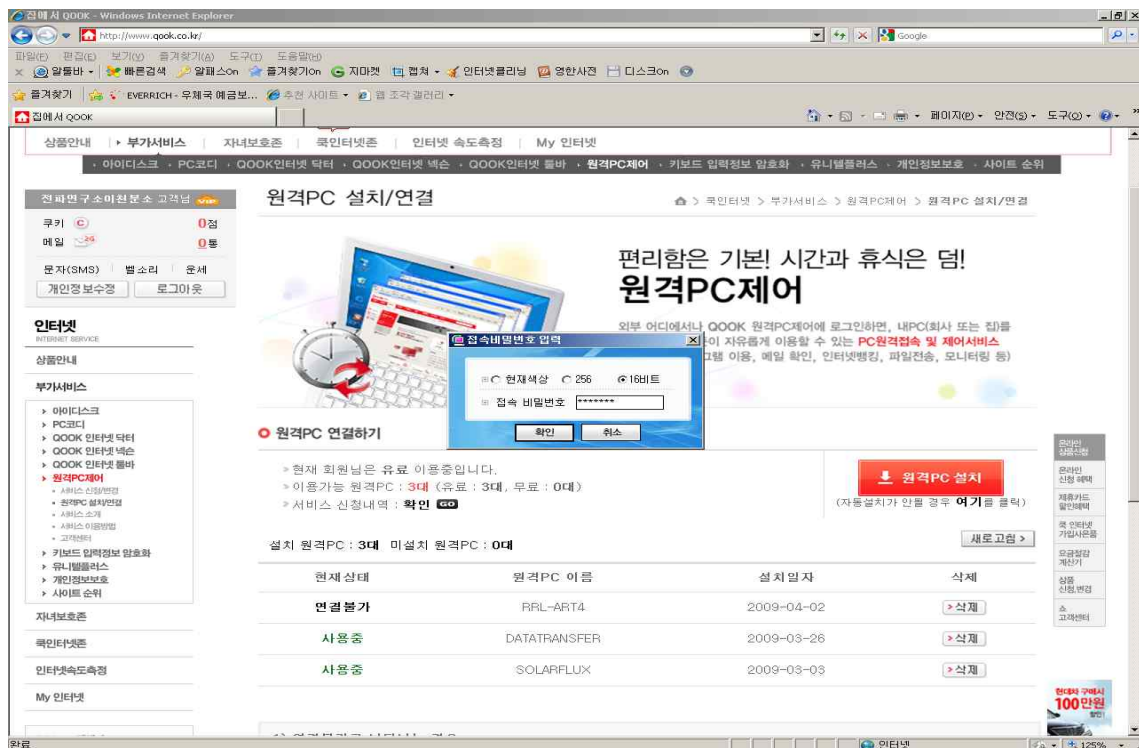
하단 '03.원격PC연결'의 **GO** 아이콘에 클릭 한다.



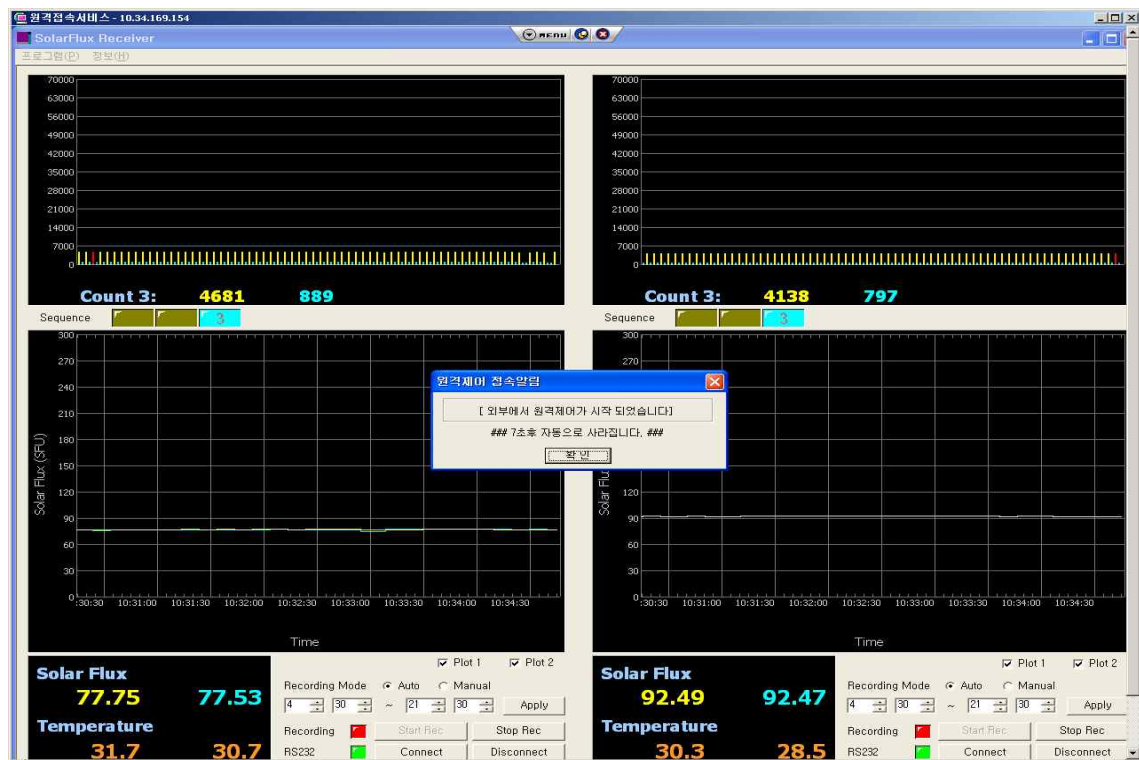
사용자명 : ***(별도관리), 암호 : ***(별도관리) → 로그인



중앙 하단의 원격PC이름 중 3번째 SOLARFLUX 좌측의 **연결가능** 아이콘을 클릭 한다.



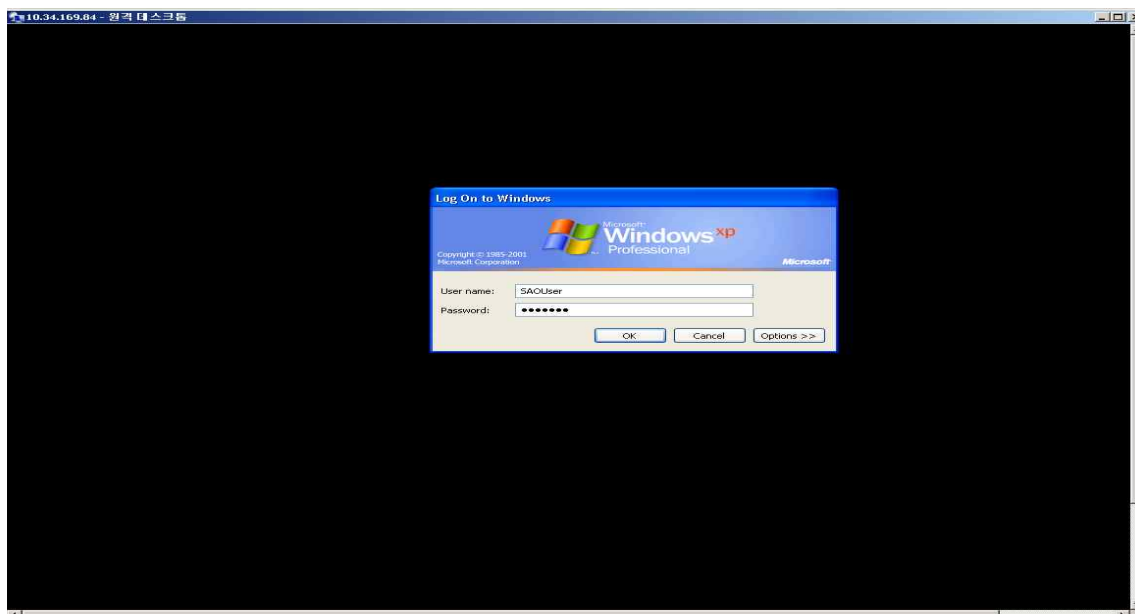
접속 비밀번호: ***(별도관리) → 확인



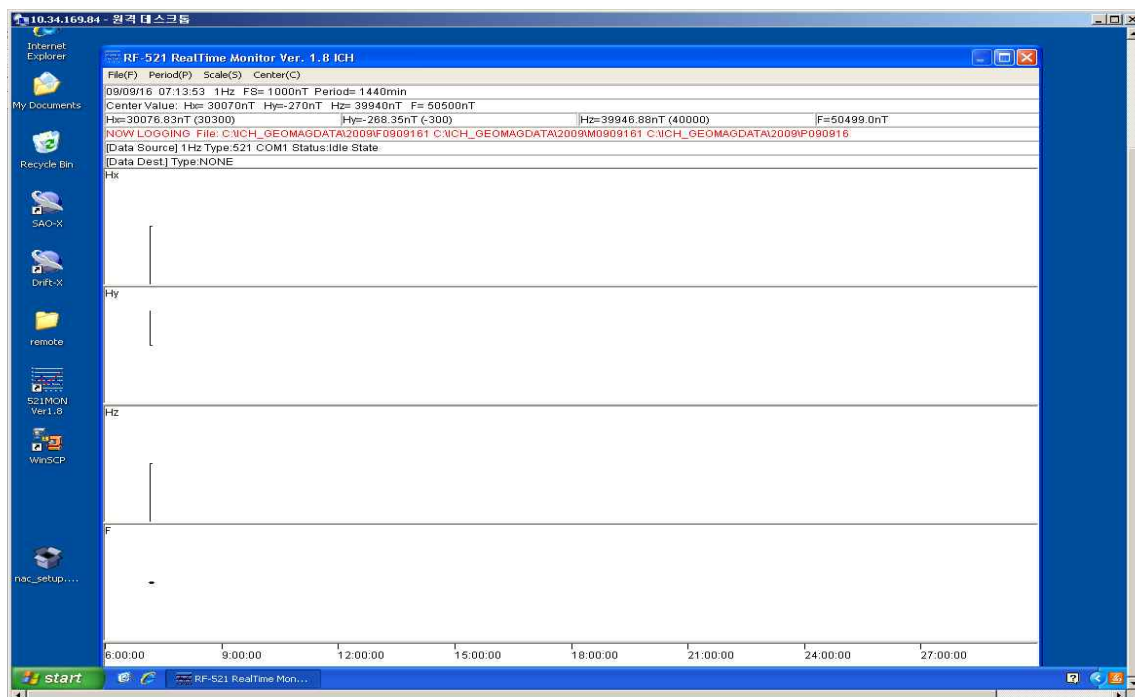
태양전파 측정값의 변화를 살핀다.

2. 지자기 관측시스템

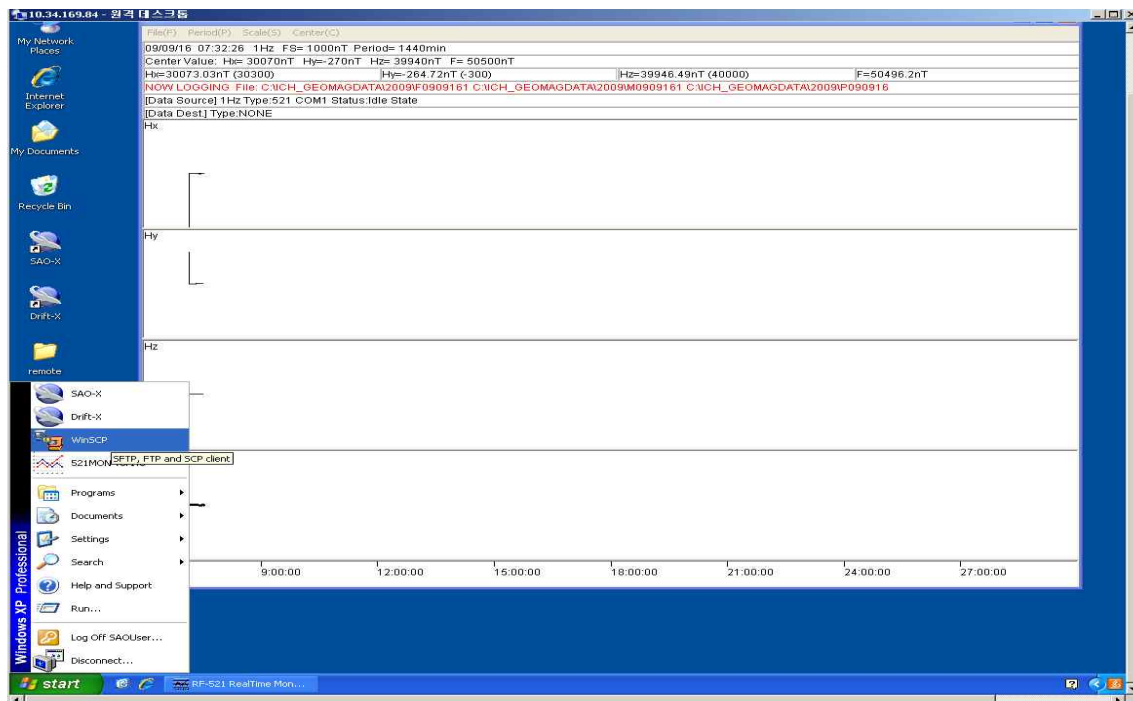
가. 이천 지자기 관측시스템 원격접속(RDP 접속 IP 별도관리)



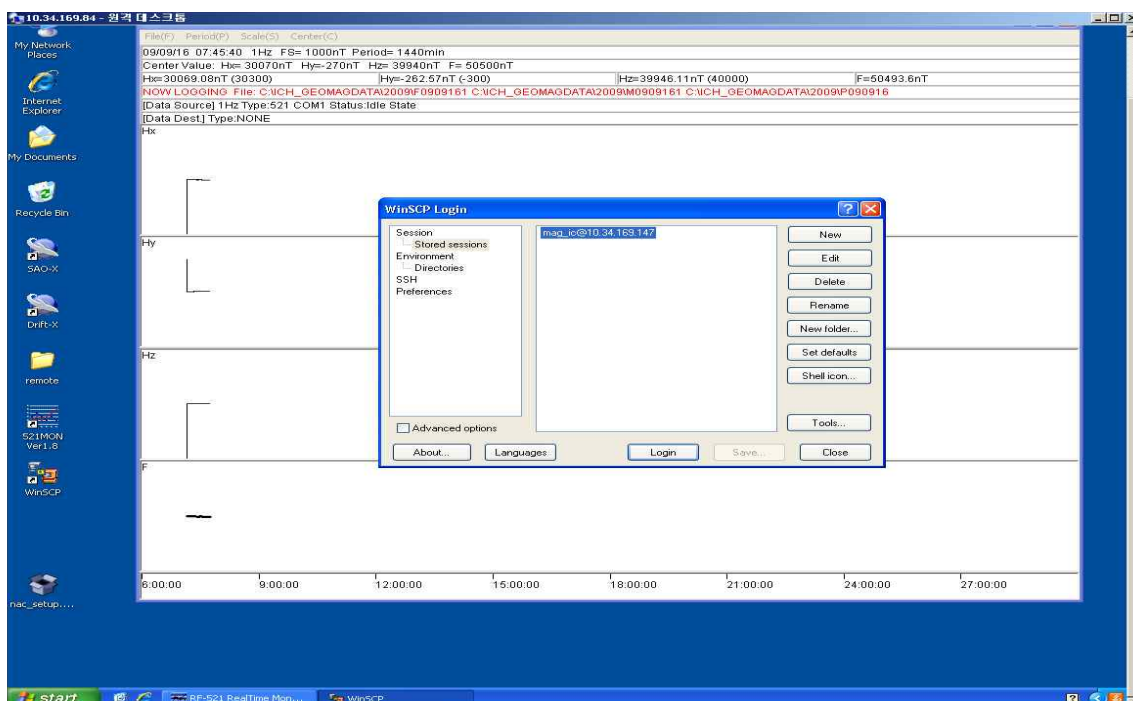
사용자명 : SAOUser, 암호 : *** (별도관리) → 확인



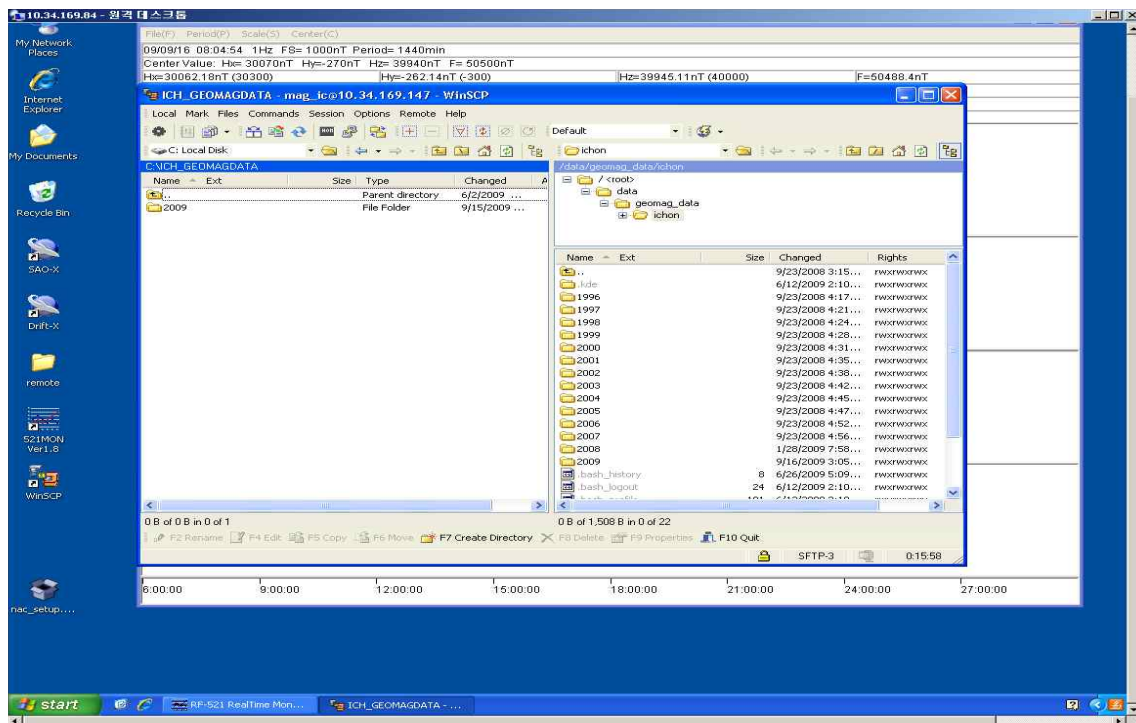
• 맨 위 칸의 날짜와 시간을 확인하고 조금 밑에 빨간색 칸을 확인한다.



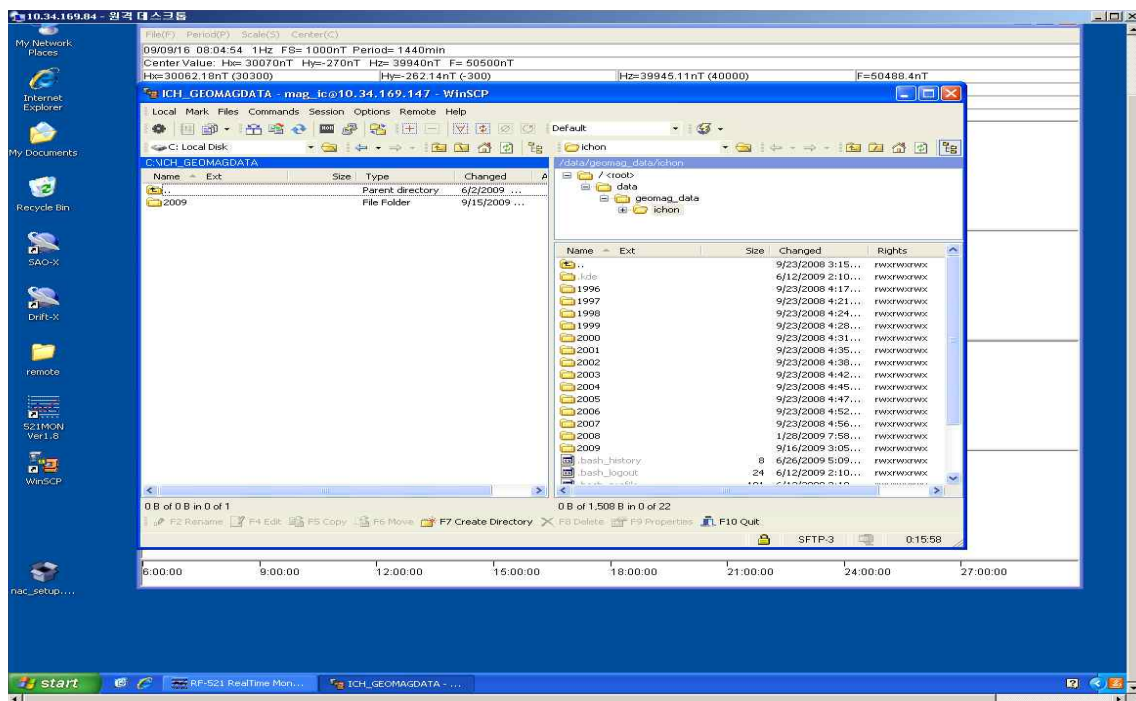
- 프로그램이 돌아가지 않는다면 컴퓨터 후면에서 데이터 로거와 연결된
잭을 뽑았다 다시 꽂으면 단순한 장애는 거의 해결된다.
프로그램이 정상 실행되면 **Winscp 프로그램**을 실행시킨다.



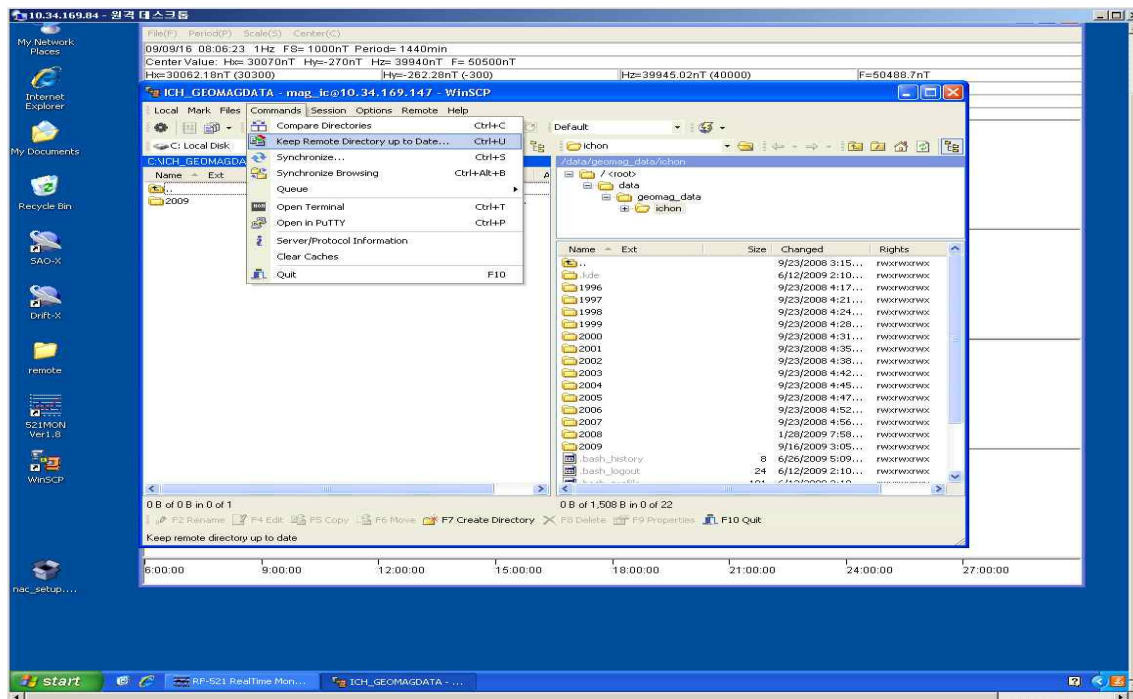
- 바탕화면에 로그인 화면이 작은 창으로 뜨면 중앙의 **로그인 아이콘**을
클릭한다.



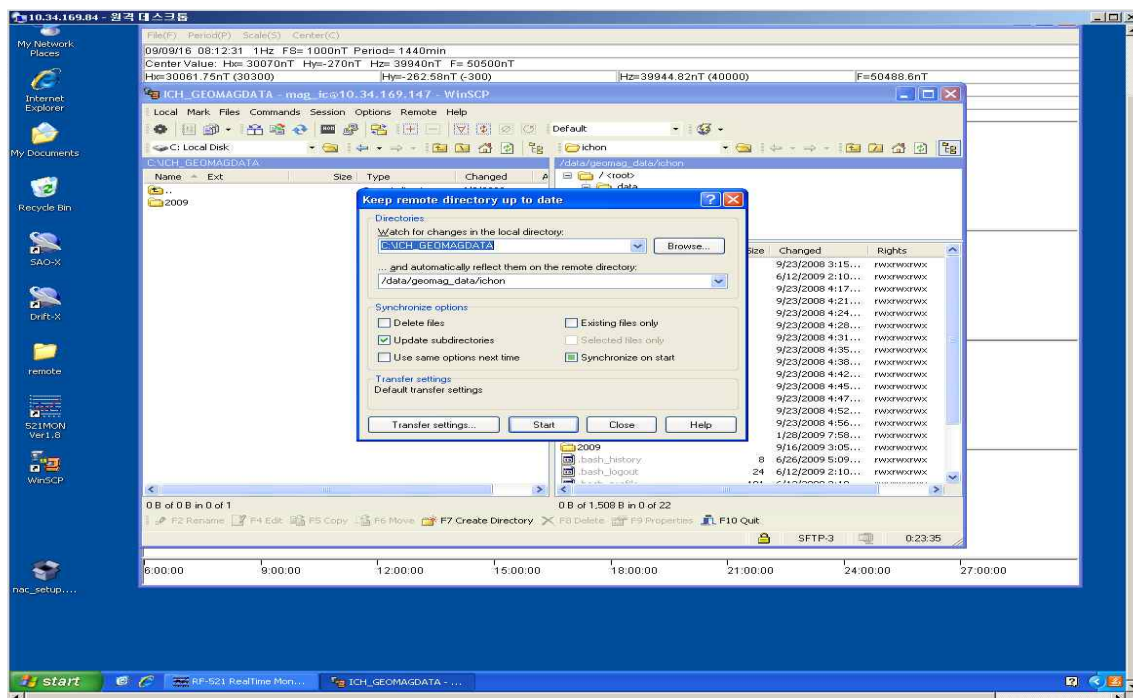
- WinSCP 실행화면이 둘로 나누어지는데 좌측과 우측의 위치를 정확히 지정을 해야 한다. 먼저 좌측은 C:/ICH_GEOMAGDATA로 지정하고 우측은 / <root>/ data / geomag_data / icheon 로 지정한다.



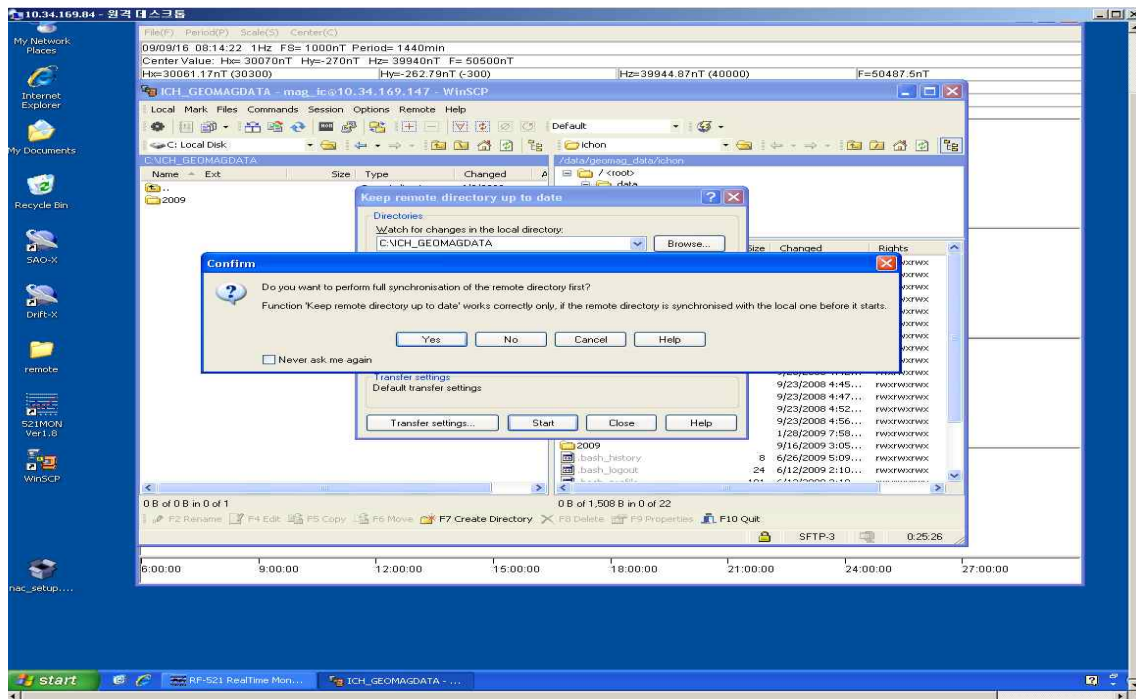
- 맨 위에 있는 메뉴바 중에 **Commands** 아이콘을 클릭한다.



- 그 다음 두 번째 칸의 **Keep Remote Directory up to Date** 버튼을 누른다.

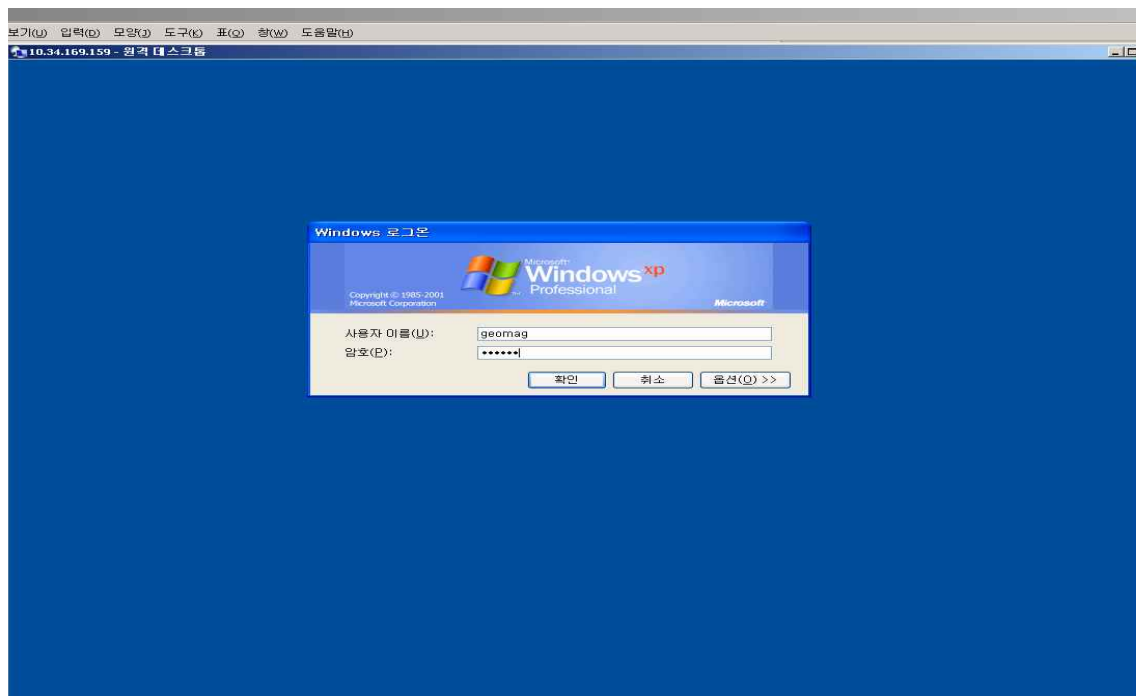


- Keep Remote Directory up to Date 창이 뜨면 **Start** 아이콘을 누른다.

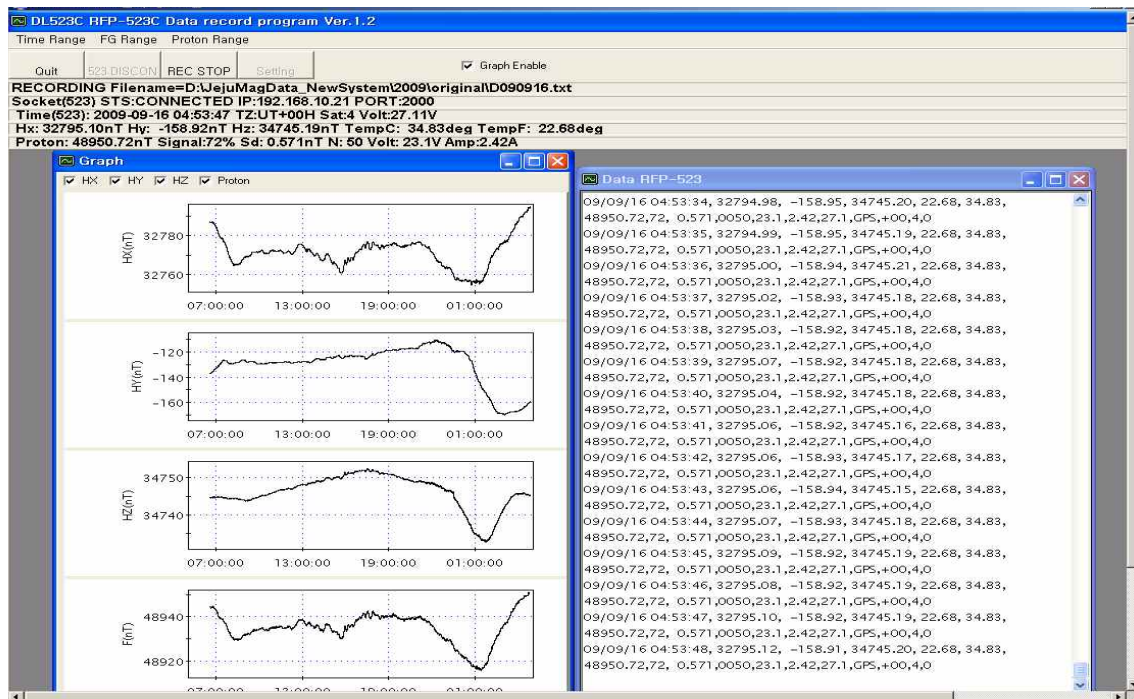


- 마지막으로 **Yes** 아이콘을 누르면 파일을 받기 시작한다.
- ※ 그래프의 상태가 되는지 꼭 살펴본다.

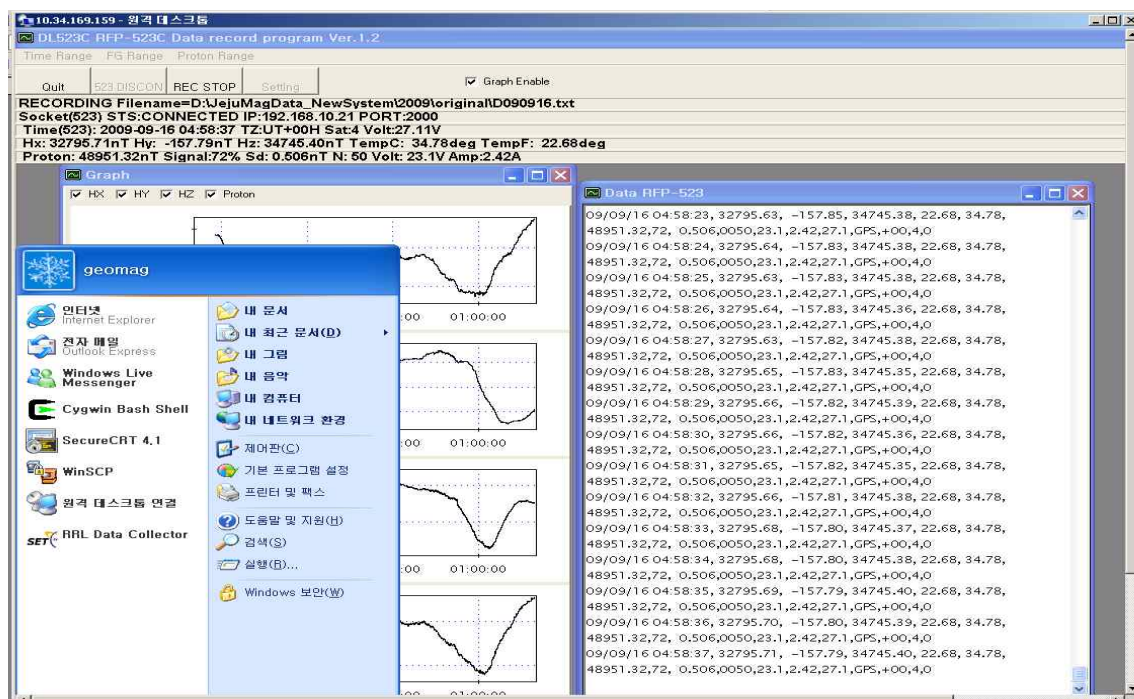
나. 제주 지자기 관측시스템 원격접속(RDP 접속 IP 별도관리)



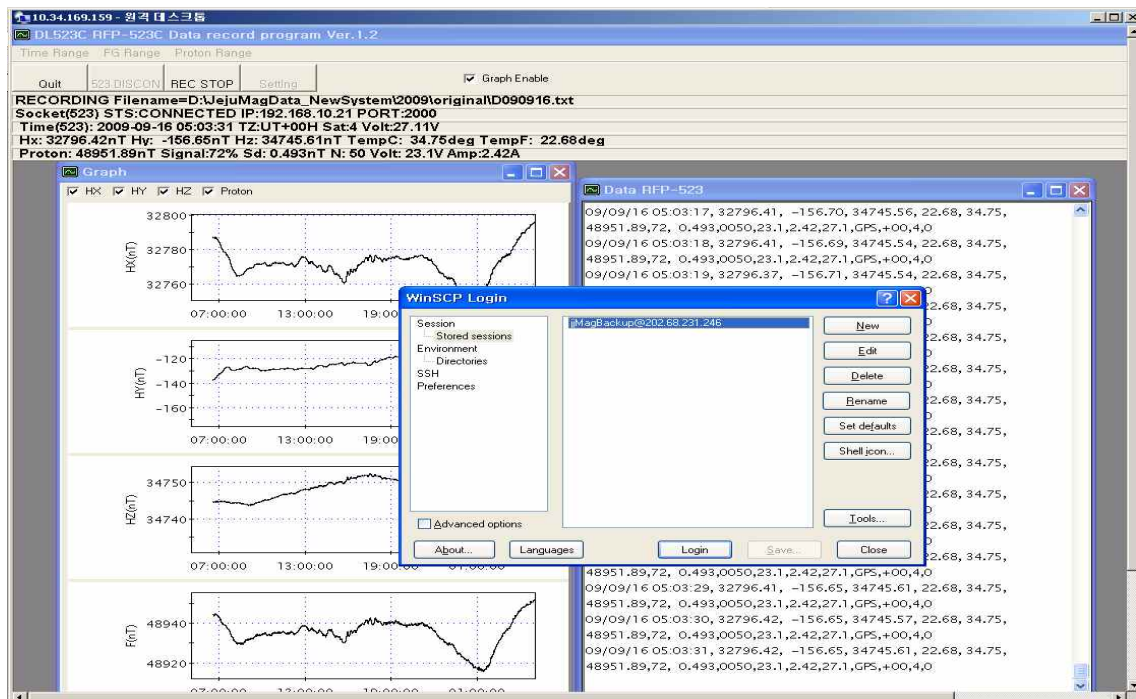
- 사용자명 : geomag, 암호 : ***(별도관리) → 확인



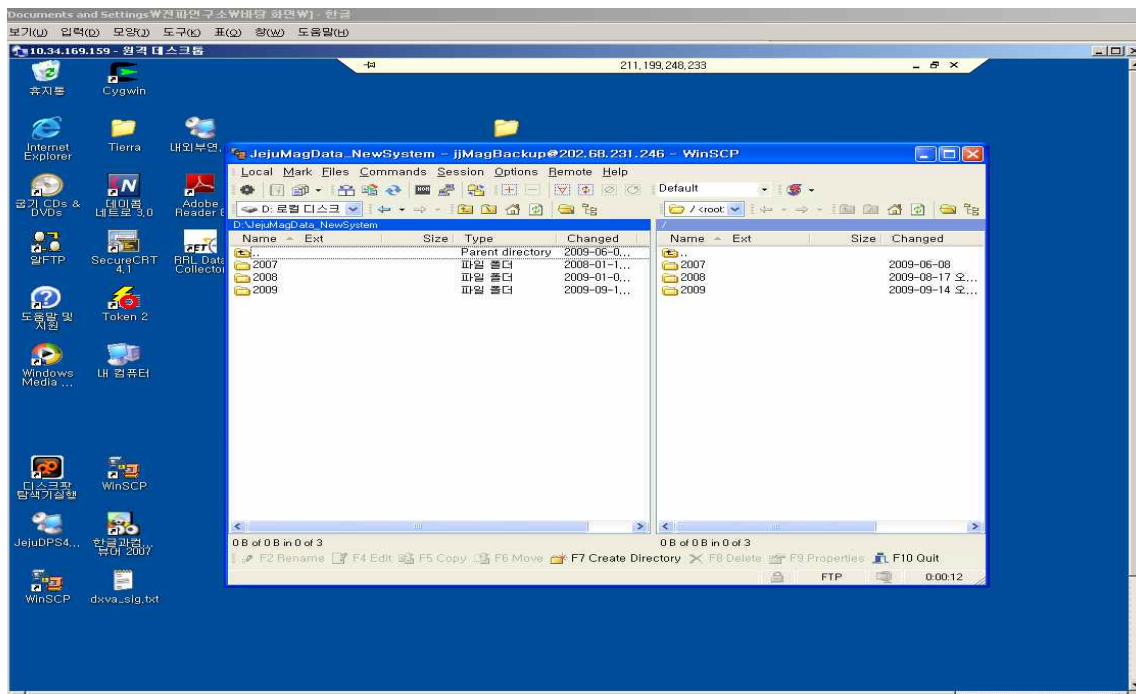
- 파일이 들어오는 상태를 확인하고 Winscp 프로그램이 실행되고 있는지 확인한다. 만약 Winscp 프로그램이 멈춰있거나 실행되지 않고 있으면 프로그램을 실행시킨다.



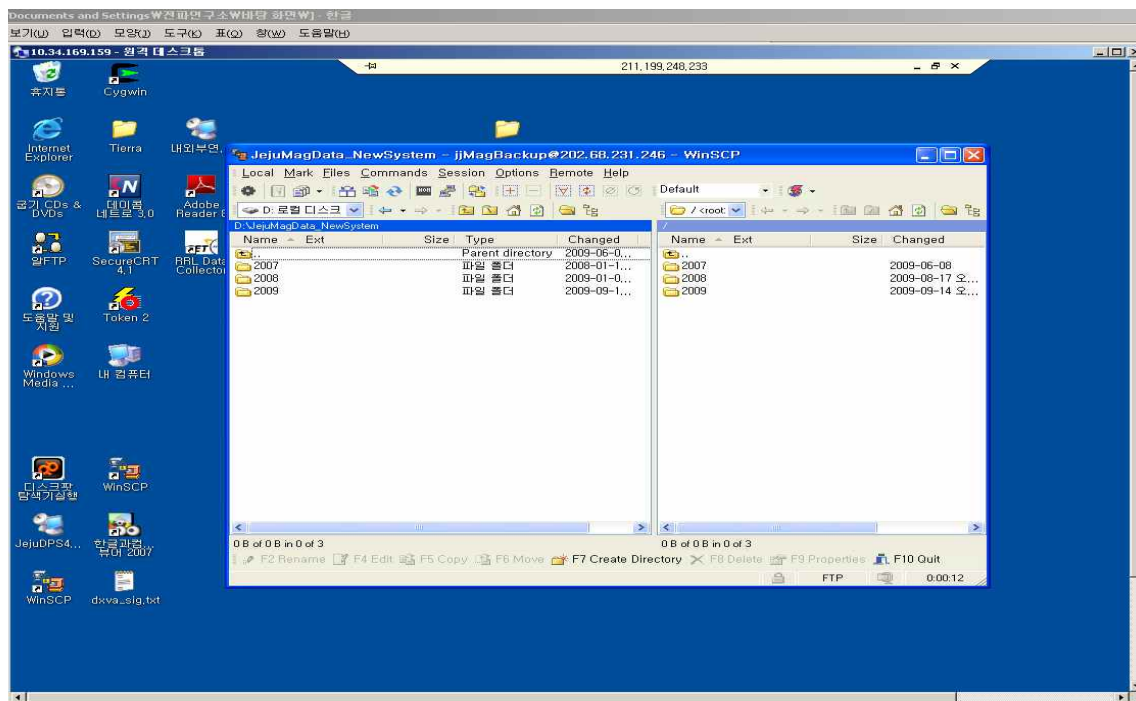
- 먼저 시작을 누르고 WinSCP 프로그램 아이콘을 클릭한다.



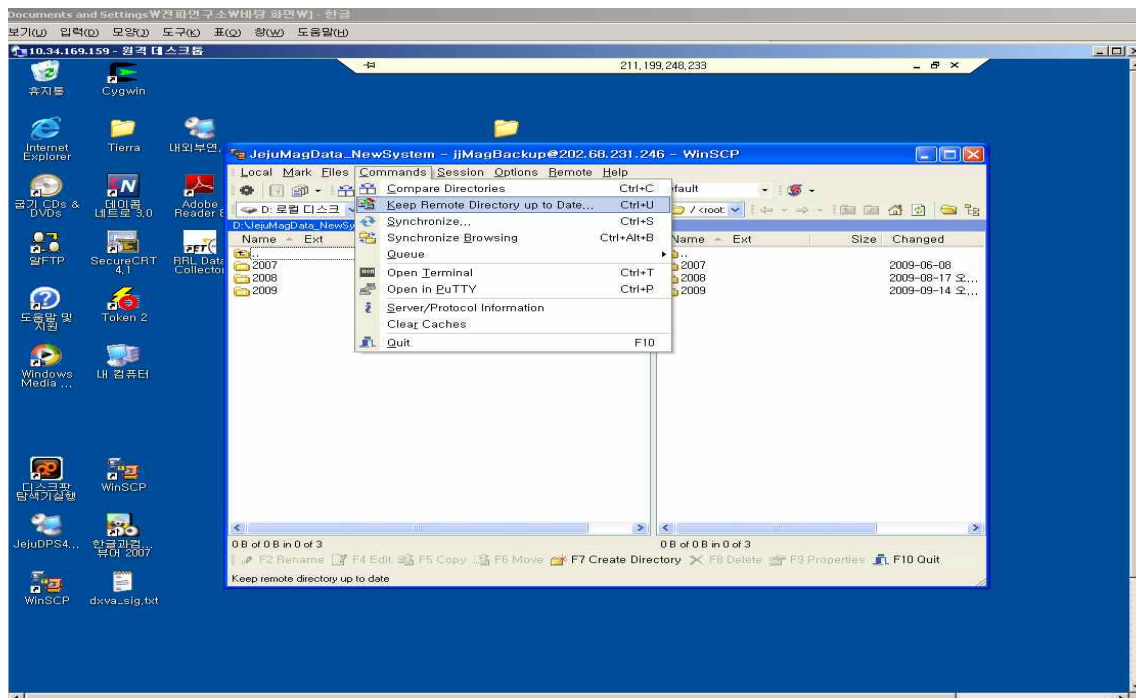
- 바탕화면에 로그인 화면이 작은창으로 뜨면 중앙의 로그인 아이콘을 클릭한다.



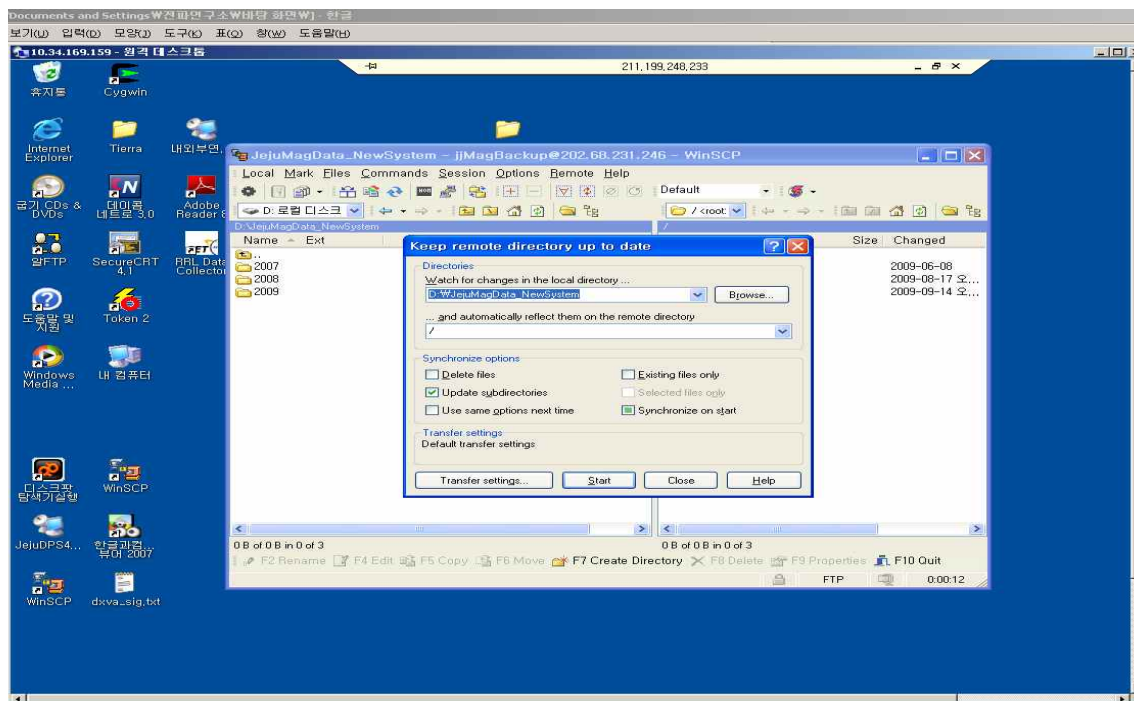
- WinSCP 실행화면이 둘로 나누어지는데 좌측과 우측의 위치를 정확히 지정해야 한다. 좌측은 D드라이브로 들어가서 JejuMagData_NewSystem 폴더로 지정하고 우측은 /<root> 로 지정한다.



- 맨 위에 있는 메뉴바 중에 **Commands** 아이콘을 클릭한다.



- 그다음 두 번째 칸의 **Keep Remote Directory up to Date** 버튼을 누른다.



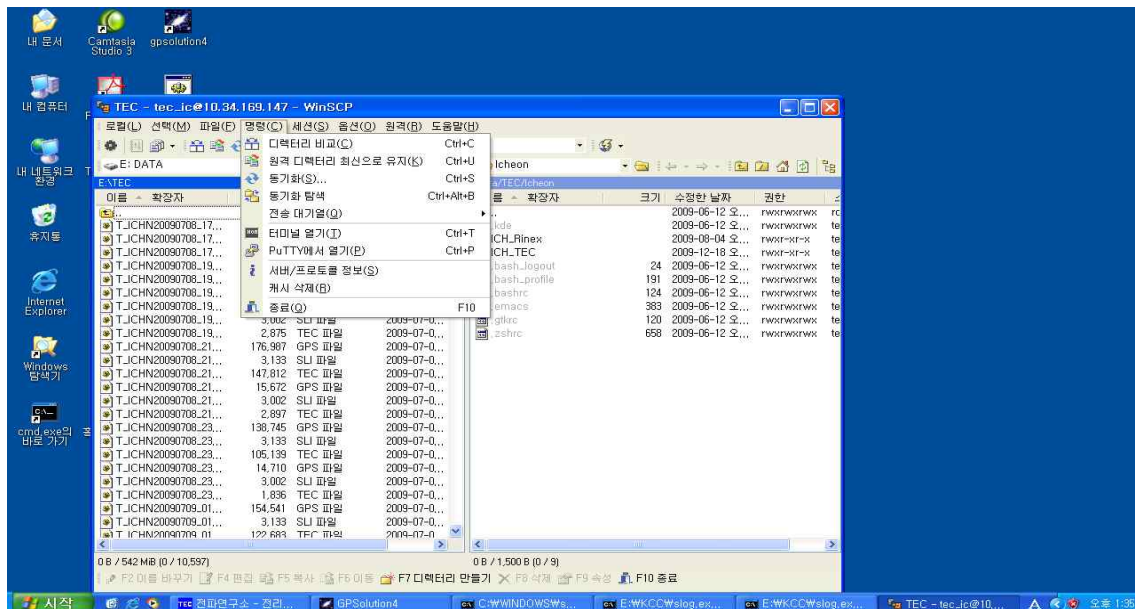
- Keep Remote Directory up to Date 창이 뜨면 **Start** 아이콘을 누른다.
- ※ 그래프의 상태가 튀는지 꼭 살펴본다.

4. TEC 관측시스템

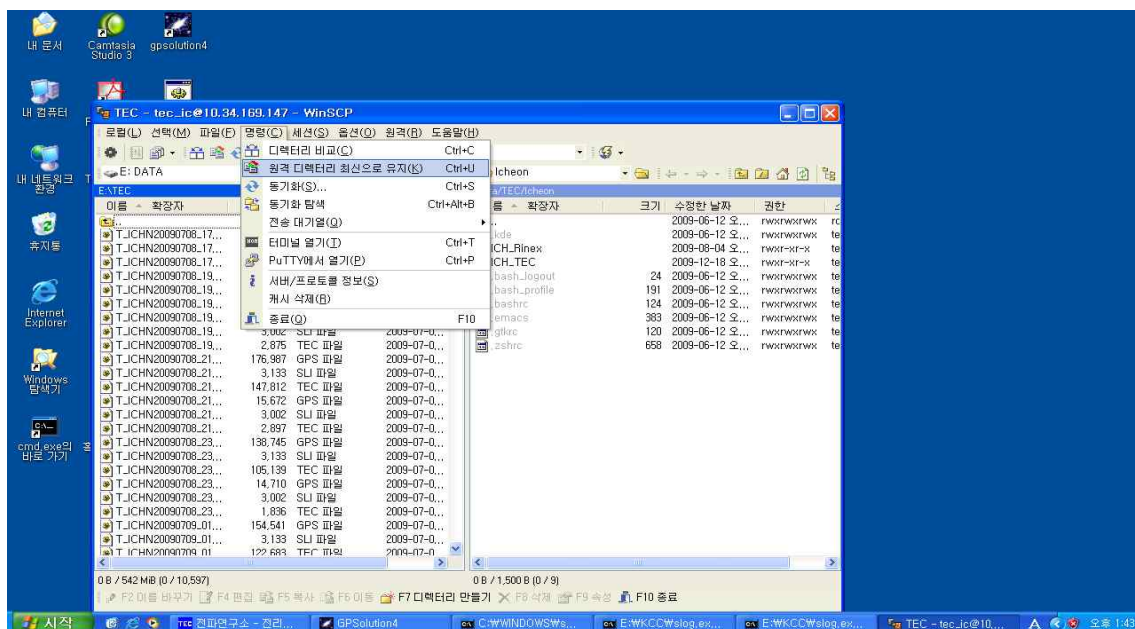
가. 이천 TEC 관측시스템

TEC관측기 PC에 원격접속(RDP 접속 IP 별도관리)한다.

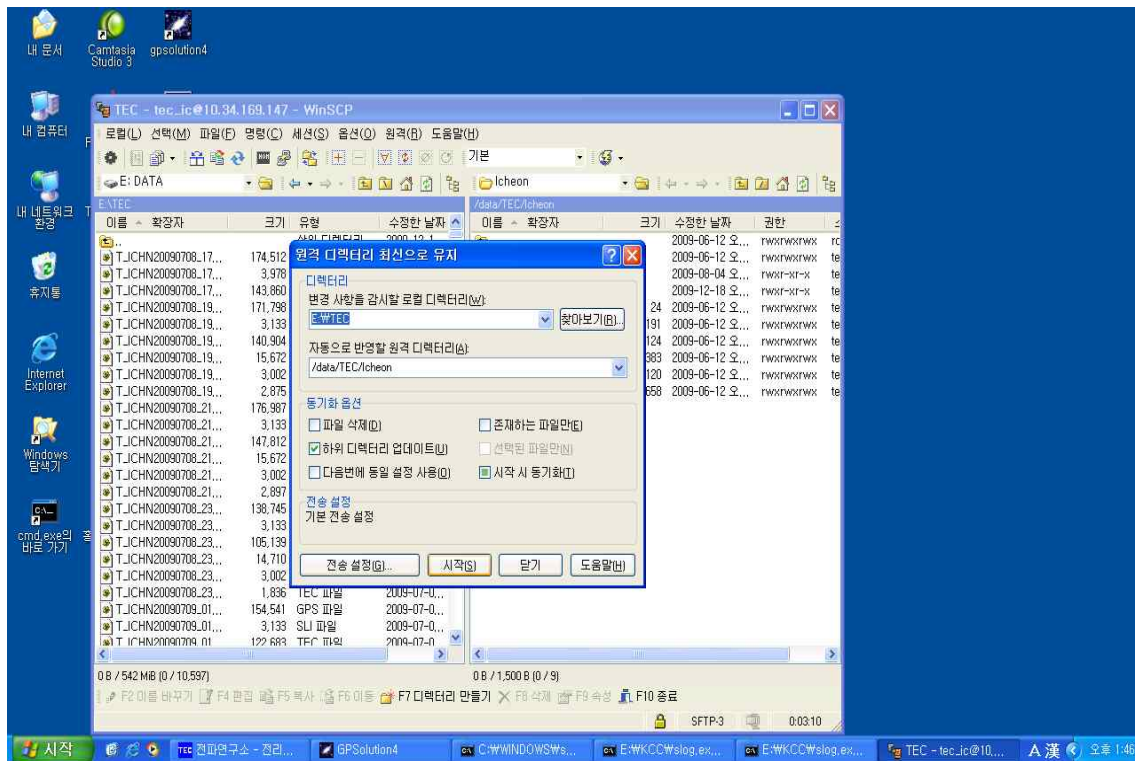
WinSCP를 이용하여 관측자료 서버에 접속하고 TEC 관측자료가 정상적으로 생성되어 저장되고 있는지 여부를 확인한다.



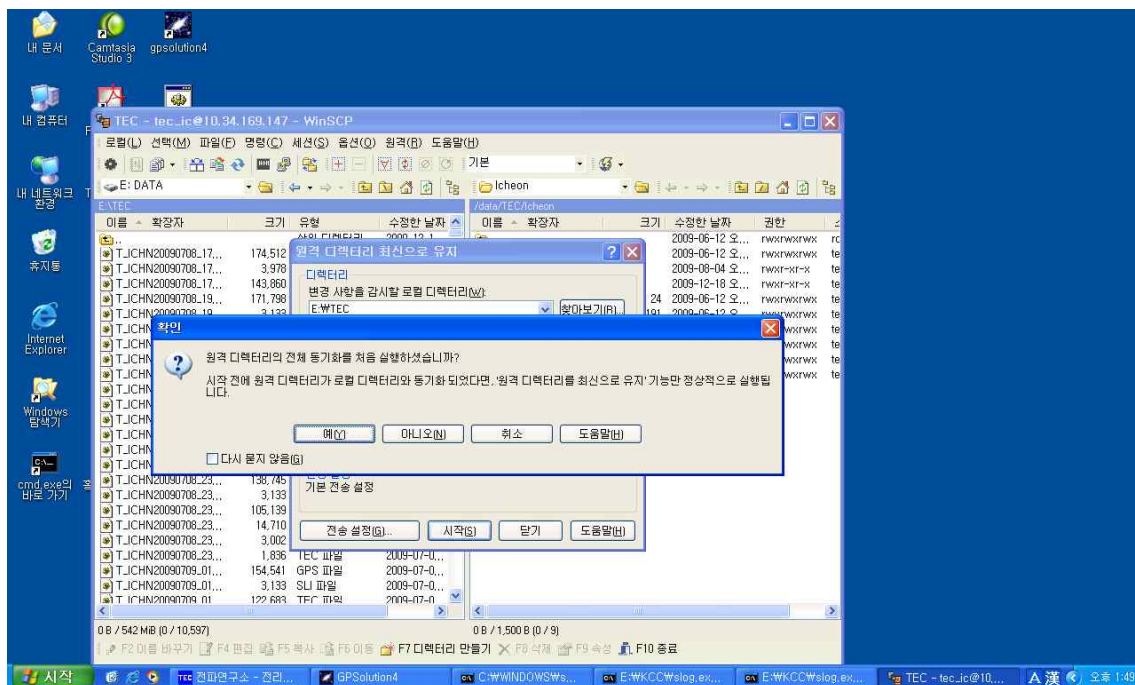
좌측은 E:/TEC에 우측은 /data/tec/icheon 에 맞추고 위의 그림과 같이 맨 위에 있는 메뉴바 중에 명령(C) 아이콘을 클릭한다.



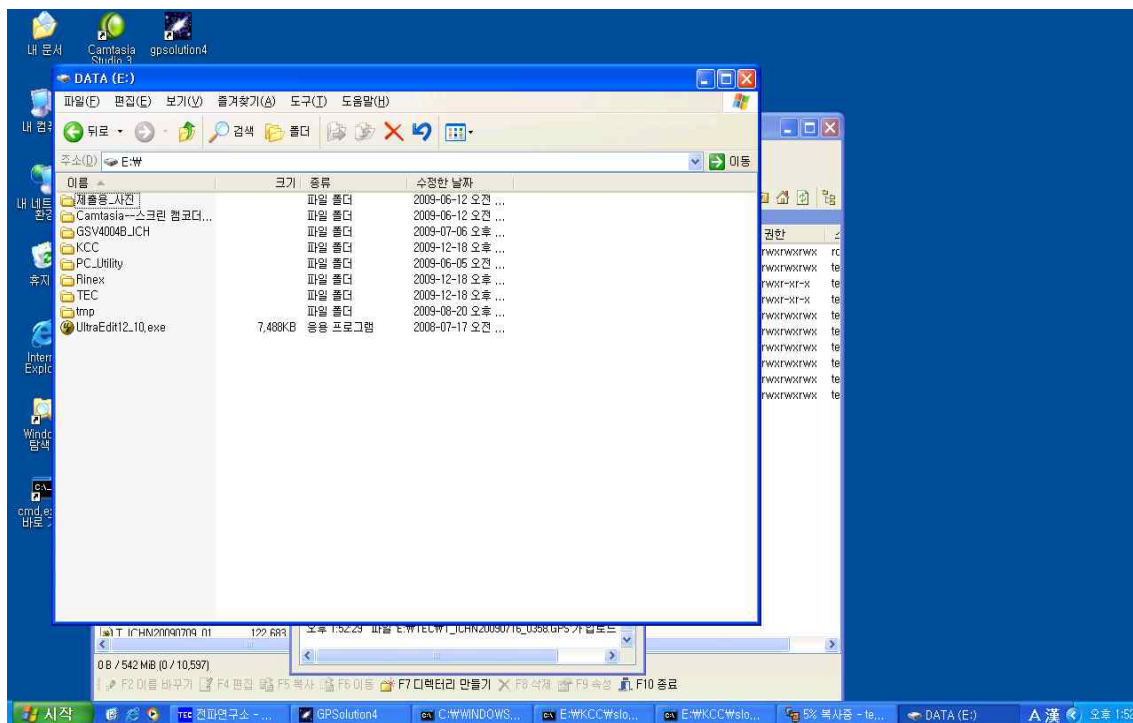
원격 디렉터리 최신으로 유지(K) Ctrl+U 를 클릭한다.



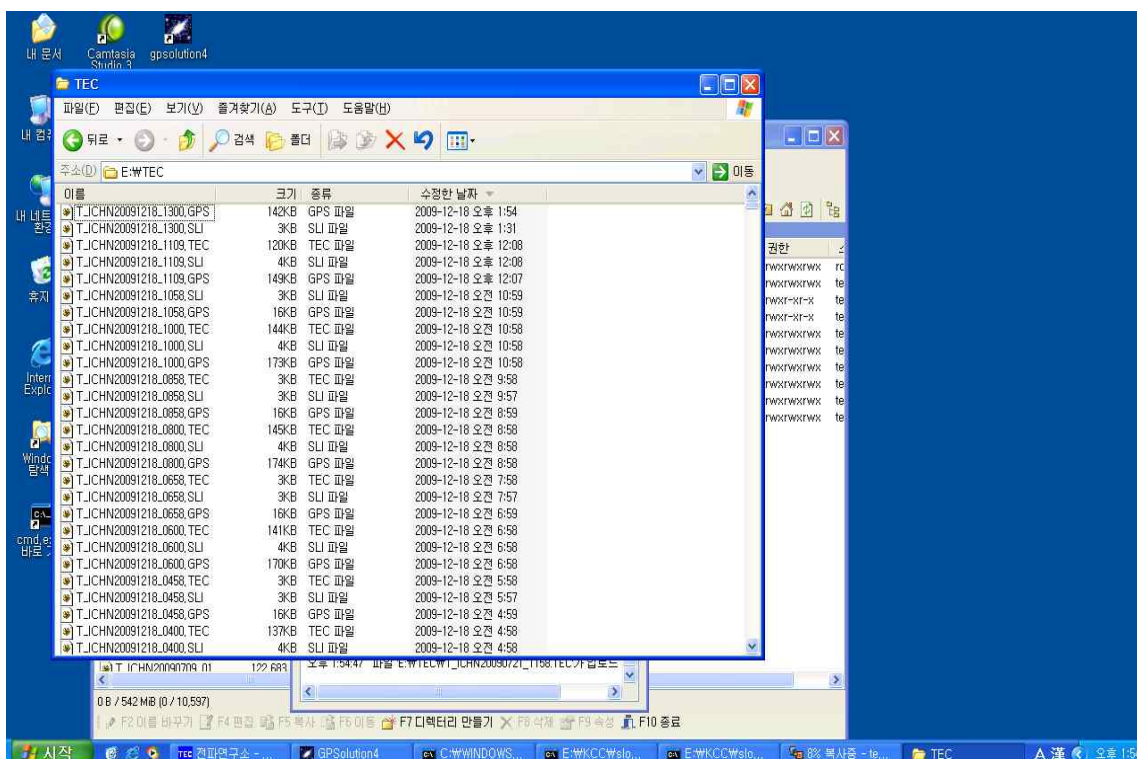
시작(S) 을 클릭한다.



예(Y) 를 클릭하면 파일이 전송된다.



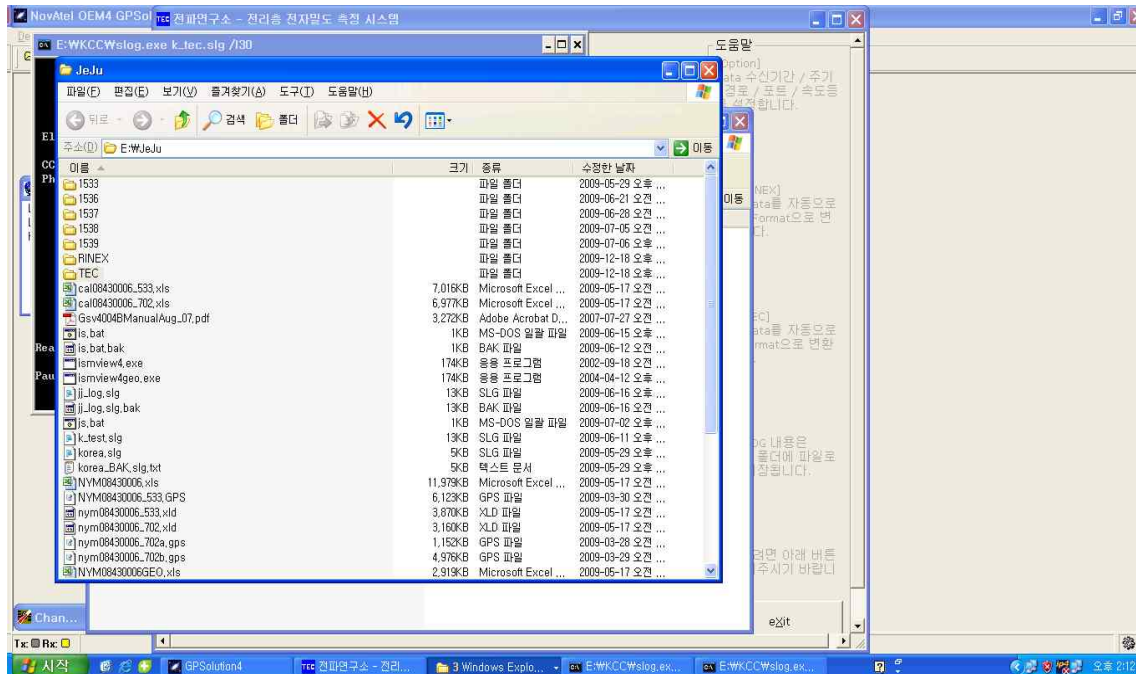
파일을 전송하고 이제 데이터가 잘 들어오는지 보기 위해서 E:/TEC 폴더에 들어가 데이터를 확인한다.



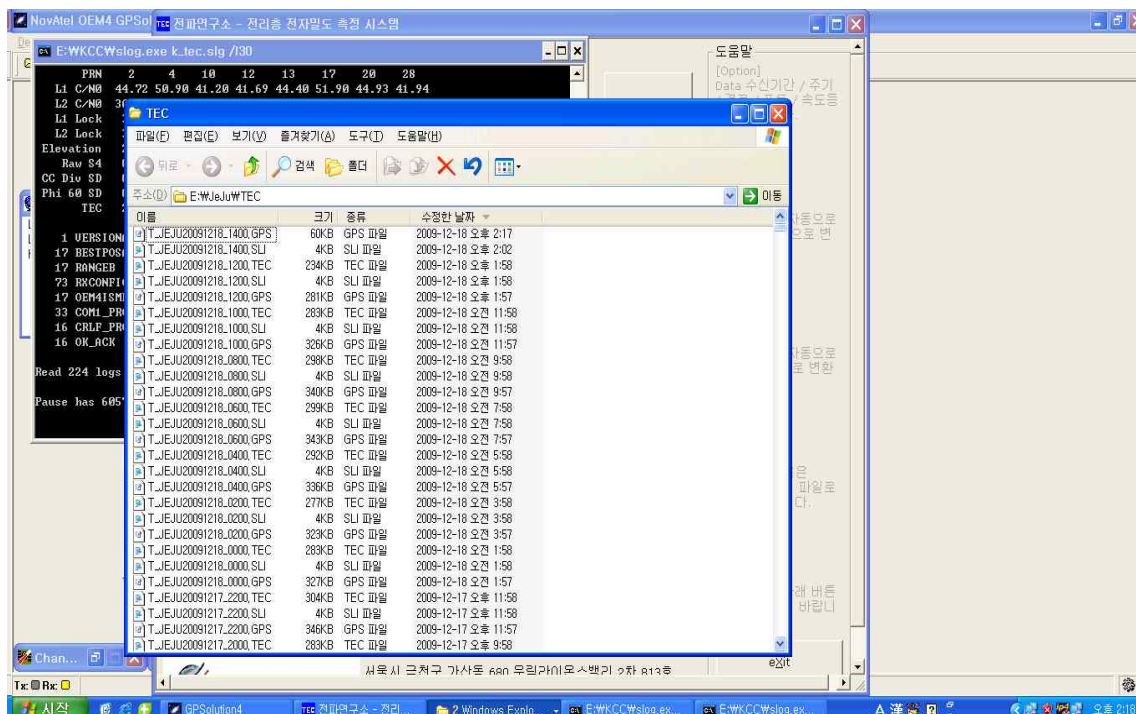
최신데이터가 들어오는지 확인한다.

나. 제주 TEC 관측시스템

관측시스템 PC에 원격접속(RDP 접속 IP 별도관리)한다.



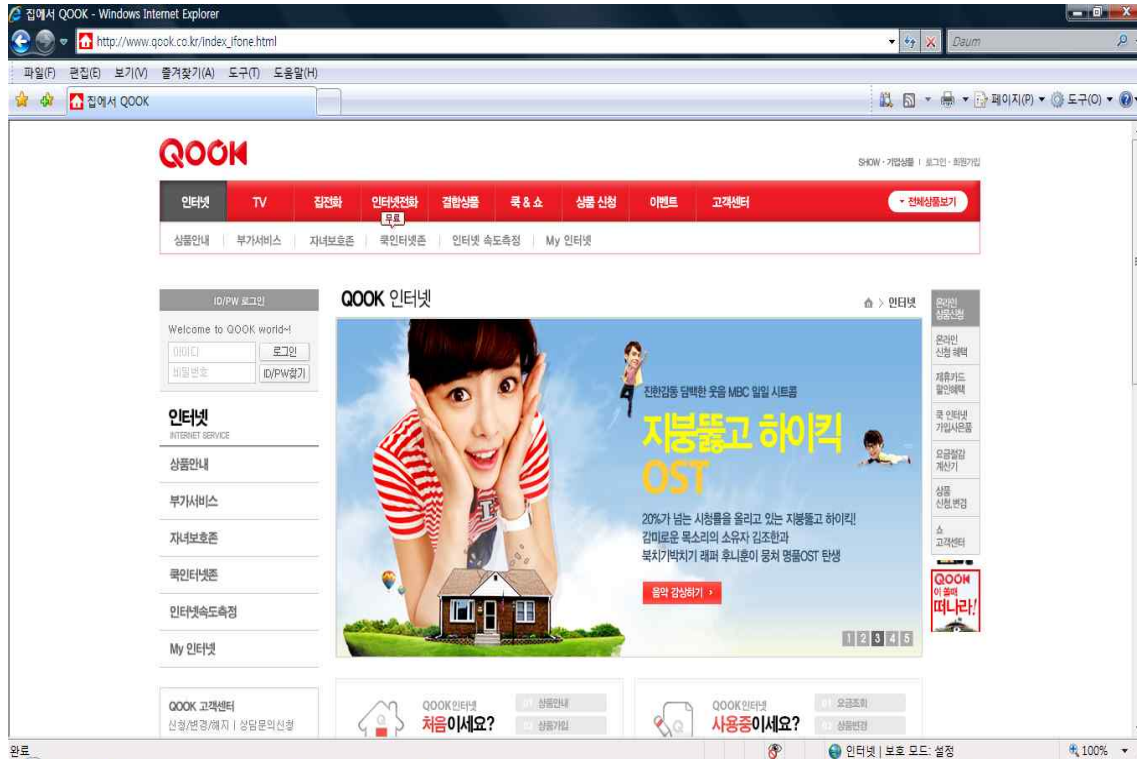
E:\WJeJu 에 들어가 **TEC** 을 클릭하여 데이터를 본다.



최신데이터를 확인한다.

5. 제주 CCTV

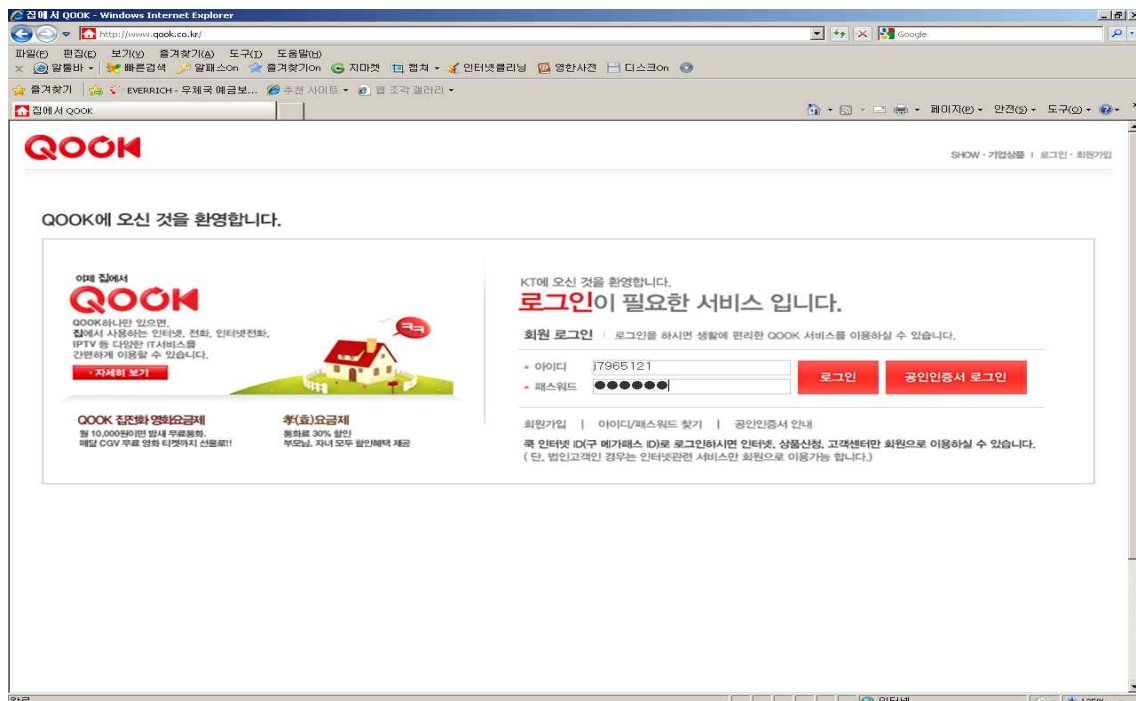
▶ 제주 CCTV 접속방법



먼저 QOOK 인터넷 홈페이지에 접속한다.



- 하단 '03.원격PC연결'의 **GO** 아이콘에 클릭 한다.



- 사용자명 : ***(별도관리), 암호 : ***(별도관리) → 로그인 클릭



- 중앙 하단의 원격PC이름 중 2번째 JEJUCCTV 좌측의 [연결가능](#) 을 클릭한다.

[부록 5] 추분기 주요 위성별 태양전파 간섭 예측시간

1. 무궁화위성 3호(Ku밴드, 45cm 안테나, 116.0E) : 위성방송 가입자

시작 & 종료 시간 (대한민국 표준시)				
연도	월	일	시: 분: 초	지속시간(분)
2009	10	1	13: 6: 7 13:17:22	11.2
2009	10	2	13: 3:28 13:19:23	15.9
2009	10	3	13: 1:36 13:20:36	19.0
2009	10	4	13: 0:12 13:21:23	21.2
2009	10	5	12:59: 7 13:21:52	22.7
2009	10	6	12:58:17 13:22: 6	23.8
2009	10	7	12:57:40 13:22: 8	24.5
2009	10	8	12:57:16 13:21:58	24.7
2009	10	9	12:57: 3 13:21:37	24.6
2009	10	10	12:57: 3 13:21: 5	24.0
2009	10	11	12:57:15 13:20:21	23.1
2009	10	12	12:57:41 13:19:24	21.7
2009	10	13	12:58:25 13:18:11	19.8
2009	10	14	12:59:30 13:16:37	17.1
2009	10	15	13: 1:11 13:14:29	13.3

2. 한별위성(S밴드, DMB 소형안테나, 144.0E) : 위성DMB 가입자

시작 & 종료 시간 (대한민국 표준시)				
연도	월	일	시: 분: 초	지속시간(분)
2009	9	30	11: 2:59 11: 7:11	4.2
2009	10	1	10:58:21 11:11:10	12.8
2009	10	2	10:55:53 11:12:59	17.1
2009	10	3	10:54: 7 11:14: 7	20.0
2009	10	4	10:52:45 11:14:52	22.1
2009	10	5	10:51:41 11:15:19	23.6
2009	10	6	10:50:52 11:15:32	24.7
2009	10	7	10:50:15 11:15:33	25.3
2009	10	8	10:49:51 11:15:23	25.5
2009	10	9	10:49:38 11:15: 3	25.4
2009	10	10	10:49:37 11:14:32	24.9
2009	10	11	10:49:47 11:13:49	24.0
2009	10	12	10:50:12 11:12:54	22.7
2009	10	13	10:50:52 11:11:45	20.9
2009	10	14	10:51:52 11:10:16	18.4
2009	10	15	10:53:22 11: 8:18	14.9

3. 무궁화위성 3호(Ku밴드, 6.4m 안테나, 116.0E) : 지상 관제소

연도	시작 & 종료 월 일	시간 (대한민국 표준시) 시: 분: 초	지속시간(분)
2009	10 7	13: 8:32 13:11:16	2.7
2009	10 8	13: 7:27 13:11:47	4.3
2009	10 9	13: 7:38 13:11: 2	3.4

4. 무궁화위성 5호(Ku밴드, 6.4m 안테나, 113.0E) : 지상 관제소

연도	시작 & 종료 월 일	시간 (대한민국 표준시) 시: 분: 초	지속시간(분)
2009	10 7	13:22: 3 13:24:54	2.8
2009	10 8	13:21: 1 13:25:22	4.3
2009	10 9	13:21:16 13:24:33	3.3

5. Intelsat 701(C/Ku밴드, 6.4m 안테나, 180.0E)

연도	시작 & 종료 월 일	시간 (대한민국 표준시) 시: 분: 초	지속시간(분)
2009	10 6	8:22: 6 8:27:19	5.2
2009	10 7	8:21: 2 8:27:48	6.8
2009	10 8	8:20:46 8:27:29	6.7
2009	10 9	8:21:18 8:26:24	5.1

6. Inmarsat 3 f3(L/S/Ka밴드, 9.2m 안테나, 178.0E)

연도	시작 월	& 종료 일	시간 (대한민국 표준시) 시: 분: 초	지속시간(분)
2009	10	6	8:30:10 8:36:21	6.2
2009	10	7	8:29:10 8:36:45	7.6
2009	10	8	8:28:52 8:36:29	7.6
2009	10	9	8:29:15 8:35:33	6.3
2009	10	10	8:31:19 8:32:56	1.6

7. Intelsat 602(L/S/Ka밴드, 9.2m 안테나, 177.9E)

연도	시작 월	& 종료 일	시간 (대한민국 표준시) 시: 분: 초	지속시간(분)
2009	10	6	8:30:36 8:36:46	6.2
2009	10	7	8:29:36 8:37:11	7.6
2009	10	8	8:29:18 8:36:55	7.6
2009	10	9	8:29:40 8:35:58	6.3
2009	10	10	8:31:43 8:33:23	1.7

8. Intelsat 2(L/S/Ka밴드, 9.2m 안테나, 169.1E)

연도	시작 월	& 종료 일	시간 (대한민국 표준시) 시: 분: 초	지속시간(분)
2009	10	6	9: 8:53	

			9:14:31	5.6
2009	10	7	9: 7:42 9:15: 7	7.4
2009	10	8	9: 7:16 9:14:59	7.7
2009	10	9	9: 7:29 9:14:12	6.7
2009	10	10	9: 8:51 9:12:18	3.4

9. Intelsat 5(C&Ku밴드, 6.4m 안테나, 169.0E)

연도	월	일	시작 & 종료 시간 (대한민국 표준시) 시: 분: 초	지속시간(분)
2009	10	6	9: 9:56 9:14:21	4.4
2009	10	7	9: 8:35 9:15: 7	6.5
2009	10	8	9: 8: 8 9:15: 0	6.9
2009	10	9	9: 8:25 9:14: 9	5.7

10. Intelsat 8(C&Ku밴드, 6.4m 안테나, 166.0E)

연도	월	일	시작 & 종료 시간 (대한민국 표준시) 시: 분: 초	지속시간(분)
2009	10	6	9:23:10 9:27:20	4.2
2009	10	7	9:21:43 9:28:11	6.5
2009	10	8	9:21:13 9:28: 7	6.9
2009	10	9	9:21:28 9:27:19	5.8

2009	10	10	9:23:20	
			9:24:55	1.6

11. Superbird B2(Ku밴드, 6.4m 안테나, 162.0E)

시작 & 종료 시간 (대한민국 표준시)				
연도	월	일	시: 분: 초	지속시간(분)
2009	10	7	9:40:50	
			9:44:15	3.4
2009	10	8	9:40: 5	
			9:44:25	4.3
2009	10	9	9:40:38	
			9:43:18	2.7

12. Superbird C(L/S/Ka밴드, 9.2m 안테나, 144.0E)

시작 & 종료 시간 (대한민국 표준시)				
연도	월	일	시: 분: 초	지속시간(분)
2009	10	6	11: 1: 8	
			11: 5:16	4.1
2009	10	7	10:59:27	
			11: 6:22	6.9
2009	10	8	10:58:45	
			11: 6:30	7.7
2009	10	9	10:58:42	
			11: 5:59	7.3
2009	10	10	10:59:26	
			11: 4:42	5.3

13. Inmarsat 4 f1(L/S/Ka밴드, 9.2m 안테나, 143.5E)

시작 & 종료 시간 (대한민국 표준시)				
연도	월	일	시: 분: 초	지속시간(분)
2009	10	6	11: 3:24	
			11: 7:31	4.1

2009	10	7	11: 1:42 11: 8:37	6.9
2009	10	8	11: 1: 0 11: 8:45	7.7
2009	10	9	11: 0:57 11: 8:15	7.3
2009	10	10	11: 1:41 11: 6:58	5.3

14. Telstar 18(C&Ku밴드, 6.4m 안테나, 138.0E)

연도	시작 & 종료 월 일	시간 (대한민국 표준시) 시: 분: 초	지속시간(분)
2009	10 6	11:29:26 11:31:13	1.8
2009	10 7	11:27: 5 11:32:59	5.9
2009	10 8	11:26:18 11:33:12	6.9
2009	10 9	11:26:15 11:32:41	6.4
2009	10 10	11:27: 9 11:31:15	4.1

15. Inmarsat 2 f4(L/S/Ka밴드, 9.2m 안테나, 100.9E)

연도	시작 & 종료 월 일	시간 (대한민국 표준시) 시: 분: 초	지속시간(분)
2009	10 6	14:15:33 14:20:47	5.2
2009	10 7	14:14:14 14:21:31	7.3
2009	10 8	14:13:43 14:21:28	7.7
2009	10 9	14:13:51 14:20:46	6.9

2009	10	10	14:14:57	
			14:19: 8	4.2

16. Intelsat 709(Ku밴드, 6.4m 안테나, 85.2E)

시작 & 종료 시간 (대한민국 표준시)				
연도	월	일	시: 분: 초	지속시간(분)
2009	10	7	15:25: 8	
			15:29:14	4.1
2009	10	8	15:24:53	
			15:28:55	4.0

17. Telstar 10(C&Ku밴드, 6.4m 안테나, 76.5E)

시작 & 종료 시간 (대한민국 표준시)				
연도	월	일	시: 분: 초	지속시간(분)
2009	10	5	16: 4:50	
			16: 5:55	1.1
2009	10	6	16: 2:10	
			16: 7:59	5.8
2009	10	7	16: 1:21	
			16: 8:14	6.9
2009	10	8	16: 1:15	
			16: 7:45	6.5
2009	10	9	16: 2: 6	
			16: 6:21	4.2

[주의 문구 삽입]

우주전파환경 연구기반 강화 II



140-848 서울시 용산구 원효로 군자감길 46

발행일 : 2010. 2.

발행인 : 임 차 식

발행처 : 방송통신위원회 전파연구소

전화 : 02) 710-6454

인쇄 : 한국장애인이워크협회

Tel. 02) 2272-0307, 0313

ISBN : 978-89-93720-47-1-92560 < 비 매 품 >

주 의

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

※ 뒷표지 안쪽면 중간에 인쇄