

제 출 문

본 보고서를 「우주전파환경연구센터 설립을 위한 종합계획수립에 관한 연구」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2008. 11. .

연구책임자 : 안치득 (한국전자통신연구원)

연 구 원 : 이호진 (한국전자통신연구원)

김창주 (한국전자통신연구원)

이성팔 (한국전자통신연구원)

김재훈 (한국전자통신연구원)

최용석 (한국전자통신연구원)

박재우 (한국전자통신연구원)

정철오 (한국전자통신연구원)

이병선 (한국전자통신연구원)

김정한 (한국전자통신연구원)

자문위원 : 민경욱 교수 (KAIST)
 김석환 교수 (연세대)
 김용하 교수 (충남대)
 박용선 교수 (서울대)
 이동훈 교수 (경희대)
 배석희 연구관 (전파연구소)
 조경석 그룹장 (천문연구원)
 박광량 사장 (ART)
 선종호 소장 (썬트렉아이)
 김정훈 사장 (SET system)
 이동진 상무 (하이게인)

요 약 문

1. 과 제 명 : 우주전파환경연구센터 설립을 위한 종합
계획수립에 관한 연구
2. 연 구 기 간 : 2008. 8. 13. ~ 2008. 11. 30.
3. 연구책임자 : 안 치 득
4. 계획 대 진도
가. 월별 추진내용

세부연구내용	대표 연구자	주별 추진일정																비 고
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1. 사업착수 회의	박재우																	
2. 외부자문단 구성 및 1차 자문회의	박재우																	
3. 센터의 역할 / 기능 연구 및 세부 추진과제 선정	이호진																	
4. 국내외 현황조사 및 센터의 시설 / 예산 연구	김창주																	

세부연구내용	연구자	주별 추진일정																비 고
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
5. 중간연구결과 정리 및 2차 자문회의	박재우																	
6. 최종연구 보고서 작성	전연구원																	
7. 3차 자문회의	박재우																	
8. 최종연구 보고서 수정 및 발간	정철오																	
월별 수행진도 (%)		20%				30%				30%				20%				

나. 세부 과제별 추진사항

- 1) 국내 우주전파환경연구센터 설립 타당성 검토
 - 우주전파환경연구센터의 목적 및 필요성 검토
 - 국내외 관련 연구기관 현황 조사 분석
- 2) 우주전파환경연구센터 기능 및 역할 조사 및 분석
 - 우주전파환경 관측 인프라 확충을 위한 조사 분석
 - 우주전파환경에 의한 지상전파환경 영향 분석방안
 - 우주전파환경 예·경보체계 및 예보시스템 구축방안
 - 관측역량강화를 위한 방안 제시
 - 대외 협력활동에 대한 강화 방안 제시
- 3) 센터 구축을 위한 시설, 조직, 운용 사전 조사 분석
 - 센터의 시설 및 부지 선정 검토
 - 센터의 시설 구축예산, 조직 및 인력 검토
 - 센터의 운용방안 연구

5. 연구 결과

- 1) 우주전파환경 개요 및 중요성 분석
- 2) 우주전파환경이 지상전파환경에 미치는 영향연구 방안제시
- 3) 국내외 우주전파환경 예보서비스 현황 조사 분석
- 4) 국내 우주전파환경 연구센터 설립 타당성 제시
- 5) 우주전파환경연구센터 설립 추진전략 제시
- 6) 우주전파환경연구센터 설립 및 운영방안 제시

6. 기대효과

- 1) 과학 기술적 측면
 - 예보기술의 자립화를 통한 예보서비스 외국 의존 탈피
 - 우주개발기술 경쟁력 증대를 통한 우주전파관측 우주강국 진입 마련
 - 위성관측, 지상관측, 예보 모델링 등 다양한 첨단 우주전파환경 기술력 확보
- 2) 국가 안보적 측면
 - 유무선 유비쿼터스 통신 서비스 장애 피해 최소화
 - 신뢰성 있는 예보서비스를 통한 다양한 우주개발 활동 강화
 - 위성, 전력, 송유 시설 등 국가 기간시설의 피해 최소화
 - 독자적인 예보 서비스를 통한 군의 능동적인 우주전략 수립 지원
- 3) 대내외적 측면
 - 선진 연구기반 조성을 통한 국내 연구 활성화 주도
 - 국제 공동연구 및 기구 활동을 통한 국제적 역량 과시
 - 예보기술의 자립화를 통한 국민의 자긍심 고취

7. 기자재 사용 내역

시설·장비명	규격	수량	용도	보유현황	확보방안	비고
- IBM PC	Pentium	3	보고서 작성	기 보유		
- Printer	HP	1	보고서 출력	기 보유		

8. 기타사항

없음

최종보고서 초록

국문 초록		
<p>국가 우주전파환경연구센터 설립 타당성을 위하여 우주전파환경연구센터의 목적 및 필요성을 검토하였으며, 국내외 관련 연구기관 현황을 조사 분석하였다. 또한 우주전파환경연구센터 기능 및 역할 조사 및 분석하여 다음과 같은 추진전략을 제안하였다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 우주전파환경 관측 인프라 확충 ○ 우주환경이 지상전파환경에 미치는 영향 연구추진 ○ 우주전파환경 예·경보체계 및 예보시스템 구축 ○ 위성을 포함한 관측 역량 및 대내외 협력활동에 대한 강화 <p>우주전파환경연구센터는 전파환경이 양호하고, 기 확보되어 있는 제주한림부지에 전리층 관측기 등 관련 장비와 건물을 구축하는 한편 총 55명 규모의 인력으로 조직을 운영하는 종합계획을 수립하였다.</p>		
영문 초록		
<p>Feasibility study of National Space Weather Prediction Center(NSWPC) are conducted. Strategies for constructing NSWPC are proposed.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Measurement Infra Extension ○ Research on Space Environment influence in Ubiquitous Environment ○ Building up Advanced Space Weather Prediction System ○ Enhancement of Measurement Technology and External Cooperation <p>NSPWC will be placed at Jeju, Hallim in which Ionozonde, IPS, etc should be installed. The center building should include 55 peoples, prediction service room and the related measurement equipment, etc.</p>		
색 인 어	한글	우주환경, 우주환경예보센터
	영문	Space Environment, Space Weather Prediction Center

SUMMARY

1. Vision, Objectives and Strategies



2. Strategies

2-1. Measurement Infra Extension

- Build-up 『Solar Radio Spectrum Analyzer』 for interference warning
- Establish Ionosphere Observation System of Korean peninsular
 - Install additional ionosonde
 - Install 10 Total electron density monitors for ionosphere research, GPS signal correction, etc.

- Reinforce Geo-magnetic Measurement and Analysis
 - Replace old systems for improving reliability ('07 Jeju → '09 Yongin → '10 Icheon)
 - Develop geo-magnetic data analysis S/W
- 2-2. Advance in Space Weather Prediction Modeling Technology
 - Build-up the ability for developing our own Space Weather Prediction Model
 - Form exclusive team with space weather specialists
 - Build up highly efficient computing infra for model development
 - Setting-up the Prediction model development road-map
 - Development Priority based on the survey of current operating prediction model in foreign centers
 - Development Network among institutes, academia, etc.
- 2-3. Enhancement of Measurement Technology
 - i ○ Development of Up-to-date Measurement Technology
 - Securing the self-maintenance technology through expert training program
 - Setting up the development road-map of up-to-date measurement equipment by feasibility study and foreign center survey including IPS etc.
 - iSatellite Measurement Program for Space Weather
 - Participation in International Satellite Projects
 - Development of Observation Payloads in line with Domestic Space Programs
- 2-4. Cooperation
 - iSpace Weather Warning Network
 - Prompt and accurate Status Distribution System of solar

- activity and predicted information
- Government-level “Contingency Plan” for damage minimization due to space environment variation
- i ○ Collaboration with International Organizations and Oversea Institutes
 - Participation in international program starting from more competitive field such as ionosphere research
 - Long term plan for the required Co-funding, research results, qualified facility
- 3. Proposed National Space Weather Center
 - iName : National Space Weather Prediction Center
 - i ○ Position : Subordinated Center to RRA
 - i ○ Placement : Jeju (area: 59,000m²)
 - i ○ Organization : 5 divisions
 - Prediction Division : Forecast & Warning Service
 - Observation Division : Measurement of Solar Radio Noise, Ionosphere and geo-magnetic
 - Modeling Division : Development of Prediction Model
 - Tech. Division : Development of Spacecraft and up-to-date measurement system
 - Administrative Division : Center Management

목 차

표 목 차	xiv
그림목차	xvi
붙임목차	xx
제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구 개요	1
1. 연구목적	
2. 연구수행기간	
3. 연구수행체계	
제 2 절 우주전파환경의 개요 및 중요성	8
1. 우주전파환경 개요	
2. 우주전파환경 영향 및 피해사례	
3. 우주전파환경연구의 중요성	
제 3 절 우주전파환경 예보서비스 현황	28
1. 해외 현황	
2. 국내 현황 및 문제점	
제 2 장 국내 우주전파환경 연구센터 설립 타당성	81
제 1 절 설립 필요성 및 목적	81
제 2 절 국내 관련 연구기관의 기능	82
1. 전파연구소	
2. 천문연구원	
3. 전자통신연구원	

4. 기타 연구기관	
제 3 절 활용 및 기대효과	86
제 3 장 우주전파환경 연구센터 설립 추진 방안	88
제 1 절 센터의 목표 및 기능	88
1. 센터의 목표	
2. 센터의 역할	
3. 센터의 기능	
제 2 절 센터설립 세부 추진 전략	92
1. 우주전파환경 관측 인프라 확충	
1-1. 태양전파 관측 및 분석 시스템 구축	
1-2. 한반도 전리층 관측 체계 구축	
1-3. 지자기 관측 및 분석기술 개발	
1-4. 태양풍 관측 시스템 구축	
2. 우주전파환경 예보 모델링 기술 선진화	
2-1. 우주환경에 의한 지상전파환경 영향 분석연구	
2-2. 예보 모델 개발 역량 강화	
2-3. 예보 모델 선정 및 평가	
3. 우주전파환경 관측기술 역량 강화	
3-1. 첨단관측 기술 역량 확보	
3-2. 우주전파환경 관측위성 개발	
4. 대내외 협력 네트워크 강화	
4-1. 우주전파환경 예·경보 대응체계 구축	
4-2. 국제기구 및 연구기관 협력 체계 강화	
제 4 장 우주전파환경 연구센터 설립 방안	123
제 1 절 센터 위치 및 시설배치	123
1. 센터 부지 선정 및 활용 방안	

2. 센터 시설 배치 방안	
제 2 절 센터 설립 방안	136
1. 센터 구축 예산	
2. 일정 및 추진 계획	
제 3 절 센터 운영 방안	139
1. 센터 조직 및 인력	
2. 센터 업무 및 역할	
제 5 장 결론	143
제 1 절 결어	143
제 2 절 관련법규	145

표 목 차

표 1-1	궤도에 따른 우주환경의 특징	15
표 1-2	(a) 우주전파환경변화가 위성체에 미치는 영향 ...	16
표 1-2	(b) 우주전파환경변화가 위성체에 미치는 영향 ...	17
표 1-3	우주전파환경변화에 의해 영향을 받는 분야	19
표 1-4	유럽 주요국가의 우주전파 연구기관 현황	42
표 1-5	전파연구소의 관측시설 및 데이터 활용	51
표 1-6	태양전파폭발 유형 분류 및 관련 현상	53
표 1-7	태양전파 관측자료 분석 요약 도표	54
표 1-8	태양전파분석을 위한 기호 요약 및 내용	54
표 1-9	전리층 교란에 의한 통신시스템의 영향 및 관련 기관	57
표 1-10	우주전파환경 변화에 의한 지자기 변동 현상	59
표 1-11	지자기 분석에 따른 지자기 현상 구분	59
표 1-12	전파연구소의 전파 경보 등급	60
표 1-13	우주전파환경 분석 시스템 구축 국내외 기술현황	77
표 1-14	국내외 우주전파환경 예보기관 현황	78
표 2-1	전파연구소와 천문연구원 업무 및 역할 분담(안)	84
표 3-1	태양전파 관측 안테나 성능 및 특성	94
표 3-2	지자기 관측소와 각 관측소의 좌표 정보(IGRF, 1995)	101
표 3-3	Magnetogram 사양	101
표 3-4	신뢰성 있는 우주전파환경 예보서비스를 위해 요구되	

는 예보모델	110
표 3-5 국내 개발 검토대상 관측 장비	114
표 3-6 국내 우주환경예보를 위한 관측위성 프로그램 ..	115
표 3-7 ESA의 우주환경예보를 위한 관측위성 프로그램	116
표 3-8 우주전파환경 관련 선진국 간 협력	121
표 4-1 우주전파환경연구센터 내 필요 시설(안)	127
표 4-2 전파연구소의 기존 관측장비와 신규 관측장비 ..	130
표 4-3 단계별 우주전파환경연구센터 구축 예산안	136
표 4-4 단계별 우주전파환경연구센터 구축 상세 예산안	137
표 4-5 우주전파환경연구센터 구축 계획(안)	138
표 4-6 우주전파환경연구센터 구성 인원	139
표 4-7 우주전파환경연구센터 과별 업무 및 세부인력 ..	140
표 4-8 우주전파환경연구센터의 업무 및 역할	142

그 립 목 차

그림 1-1	연구수행체계	1
그림 1-2	2차 자문위원회(워크샵) 장면	4
그림 1-3	3차 자문위원회 장면	4
그림 1-4	태양 지구간 상호 영향	9
그림 1-5	태양활동이 지구에 미치는 영향	10
그림 1-6	GPS 수신신호의 에러발생 예시	12
그림 1-7	전파의 종류와 이동 경로	20
그림 1-8	태양폭발로 발생하는 태양전파 스펙트럼 분포	28
그림 1-9	SWPC의 홈페이지 메인화면	29
그림 1-10	미국 국립해양대기청(NOAA) 조직도	30
그림 1-11	우주기상 예보센터(SWPC) 조직도	31
그림 1-12	우주환경 예보실 내부구조	34
그림 1-13	IRF 홈페이지 메인화면	35
그림 1-14	스웨덴 우주물리 연구소의 구성	36
그림 1-15	스웨덴 IRF의 예보 시스템	37
그림 1-16	ESA 홈페이지 메인화면	39
그림 1-17	SOHO 위성의 EIT 171Å 이미지	40
그림 1-18	SOHO/MIT의 다른 파장 이미지	41
그림 1-19	호주 IPS 홈페이지 메인화면	43
그림 1-20	IPS의 조직도	20
그림 1-21	NICT 홈페이지의 우주환경 정보서비스 화면 ..	48
그림 1-22	NICT 조직도	49
그림 1-23	전파연구소 관측 네트워크	51

그림 1-24	안양 전리층 관측 시스템	56
그림 1-25	지자기 관측소(좌)와 지자기 관측기(우)	58
그림 1-26	전파 연구소의 전파 예·경보 화면	60
그림 1-27	한국 천문연구원의 연구 업무	61
그림 1-28	한국 천문연구원의 우주환경예보 화면	62
그림 1-29	한국 천문연구원의 우주환경 모니터링 화면	63
그림 1-30	보현산 태양 플레어 관측 망원경	63
그림 1-31	태양플레어 망원경으로 관측한 태양 이미지	64
그림 1-32	한국 천문연구원의 태양 분광망원경	64
그림 1-33	태양 분광망원경으로 관측한 분광선	65
그림 1-34	보현산 전천카메라	65
그림 1-35	전천카메라의 실시간 관측 자료(2008.10.03)	66
그림 1-36	극지연구소의 지자기 센서 및 관측실	67
그림 1-37	남극세종기지에 설치한 유성 레이다	67
그림 1-38	유성 레이다로 관측한 유성들의 공간 분포	68
그림 1-39	유성 레이다 관측으로 얻은 MLT 지역의 wind field	68
그림 1-40	SATI 관측 개요도(좌)와 관측 준비 상태(우) ...	69
그림 1-41	ETRI의 전파기술연구	70
그림 1-42	ETRI의 위성통신연구	72
그림 1-43	국가 우주개발 프로그램	73
그림 1-44	외나로도 우주센터	74
그림 1-45	한국항공우주연구원의 무인 비행선 사업의 효과	74
그림 1-46	한국의 지자기장 관측소	75
그림 1-47	지자기 관측 응용분야	75

그림 3-1	우주전파환경 연구센터의 비전 및 목표	88
그림 3-2	6m 파라볼릭 대수주기 안테나	92
그림 3-3	10m 파라볼릭 안테나	93
그림 3-4	태양전파 관측시스템 및 자료처리 구성도	93
그림 3-5	2.8GHz 태양전파 수신시스템	94
그림 3-6	태양전파 스펙트럼 분석 시스템 구성도	95
그림 3-7	전파연구소의 전리층 관측 및 자료 처리·서비스 흐름도	97
그림 3-8	한반도 전역 전리층 관측을 위한 종합관측망 구축 도(안)	98
그림 3-9	전리층 전자밀도 관측 시스템 모식도	99
그림 3-10	전국에 설치된 GPS 수신기 분포도	100
그림 3-11	Magnetogram 관측소	101
그림 3-12	지자기 관측 시스템 구성도	102
그림 3-13	전국에 설치된 각 기관별 지자기 관측기	103
그림 3-14	IPS 관측으로부터 얻은 태양풍 속도지도	104
그림 3-15	IPS 관측으로 계산한 g-value와 태양풍 속도지도	104
그림 3-16	IPS 자료를 이용한 지구 근처에서의 태양풍 밀 도와 속도 예측	105
그림 3-17	IPS 안테나 수신신호 처리 개요도	105
그림 3-18	일본 Toyokawa 관측소에 설치한 신형 태양풍 관측기(IPS)	106
그림 3-19	단파통신 실험 및 예보	107
그림 3-20	위성수신(온세통신) 장애현상(2000년)	108
그림 3-21	우주전파환경 예보모델 개요	109

그림 3-22	현재 전파연구소에서 실시하는 단파대역 전파 예보 흐름도	119
그림 3-23	전파 경보 체계	119
그림 3-24	우주전파환경연구 협력체계	122
그림 4-1	전파연구소 보유 제주한림부지 도면 및 관측시설 배치 계획	124
그림 4-2	제주부지 위성사진	125
그림 4-3	건물 배치도	127
그림 4-4	건물 1층 평면도	128
그림 4-5	건물 2층 평면도	128
그림 4-6	건물 3층 평면도	129
그림 4-7	건물 4층 평면도	129
그림 4-8	건물 지하층 평면도	129
그림 4-9	지자기 측정기	131
그림 4-10	전리층 관측기	131
그림 4-11	전리층 전자밀도 관측기	132
그림 4-12	2.8GHz 태양전파 절대플럭스 관측기	132
그림 4-13	일본 나고야대학의 태양풍 관측기	133
그림 4-14	태양 흑점 관측기	133
그림 4-15	태양전파 스펙트럼 분석 시스템	134
그림 4-16	ACE 위성 수신시스템	134
그림 4-17	현재 부지 이용 시 센터 및 관측 시설 종합 배치 계획	135
그림 4-18	민간부지 매입 시 종합 배치 계획	136
그림 4-19	우주전파환경연구센터 조직(안)	139

붙임 목차

붙임 1.	자문위원회 개최 회의록	147
	붙임 1-1 1차 자문위원회 개최 회의록	
	붙임 1-2 2차 자문위원회 개최 회의록 (Workshop)	
	붙임 1-3 3차 자문위원회 개최 회의록	
붙임 2.	해외 관련기관 방문 보고서	162
	붙임 2-1 미국 및 캐나다 방문 보고서	
	붙임 2-2 스웨덴 및 호주 방문 보고서	
붙임 3.	우주전파환경 변화에 기여하는 주요 요소	229
붙임 4.	우주전파환경에 의한 구체적 피해사례	245
붙임 5.	미국 SWPC 상세 수행업무	267
붙임 6.	스웨덴 IRF 상세 수행업무	281
붙임 7.	유럽 주요 연구소 상세 수행업무	287
붙임 8.	호주 IPS의 상세 우주환경 예·경보 및 서비스	300
붙임 9.	SWPC에서 개발 및 진행계획 예보모델의 종류	327
붙임 10.	일본 IPS(Inter-Planetary Scintillation) 시스템 ..	338

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개요

“우주전파환경연구센터 구축을 위한 종합계획 수립에 관한연구”는 ‘08년 8월 방송통신위원회 전파연구소의 의뢰로 한국전자통신연구원 이 수행한 과제로 개요는 다음과 같다.

1. 연구목적

자료의 수집, 분석을 통하여 국내 우주전파환경연구센터의 목적 및 기능을 정의하고 센터 구축을 위한 시설, 조직, 운용 등에 대한 사전 조사, 분석을 수행함으로써 2009년 상반기로 계획된 실시 설계를 위한 기초 자료 및 관련 정보를 제공함.

2. 연구수행기간

2008년 8월 13일 ~ 2008년 11월 30일 (4개월)

3. 연구수행체계 및 추진전략

가. 수행체계



그림 1-1 연구수행체계

- 방송통신위원회 전파연구소는 용역수행의 기본방향과 요구사항을 제시와 용역예산 지원 및 사업 감독을 수행함.
- 한국전자통신연구원은 과제수행 주관연구기관으로 국내외 연구동향 및 기능과 시설자료 수집과 해외기관과 상호 협력관계 수립을 위한 대외협력 방안 수립을 통한 국내 우주전파환경연구센터 설립 벤치마킹 수행과 센터 설립 타당성 및 구축계획을 제안함.
- 산학연 전문가로 구성된 외부자문위원회는 한국전자통신연구원에서 수행하는 연구방향과 연구결과에 대한 검토 및 자문을 함.
- 국내전문가는 우주전파환경 관련 태양활동/지자기 활동 등 전문적인 기술자료 습득 및 국내 우주전파환경 연구 활동 확보를 수행함.

나. 주요 추진전략

- 국내 산학연 전문가로 구성된 자문위원회를 통한 국내 우주전파환경예보설립에 따른 기능, 역할 및 시설에 대한 공감대 확보
- 외국 전문기관 또는 센터와의 대외 협력창구 확보를 통한 국내외 기관간의 상호 협력 및 유대관계 수립
- 국내 산업체, 대학 및 연구기관 전문가와의 협력을 통한 국내 각 기관에서 수행 중인 연구 동향 및 전문적인 기술자료 확보로 국내 우주전파환경 연구 활동 동향을 파악함.

다. 추진 현황

(1) 자문위원회 구성

소속	직위	이름	전문분야	중점 검토 및 자문분야
KAIST	교수	민경욱	태 양 플 라즈 마 분야	위원장, 센터설립의 타당성, 센터의 기능 및 역할
연세대	교수	김석환	우주환경 측정/분석분야	우주전파환경 연구의 개요 및 중요성
충남대	교수	김용하	태양계 천문학	대외 협력네트워크 강화
서울대	교수	박용선	전파천문학,	우주전파 관측기술 역량 확보

			천문관측기기	(첨단관측기술 개발역량확보)
경희대	교수	이동훈	태양풍, 행성 자기권의 상호작용, 우주환경 예보 기술	센터설립의 타당성, 센터의 기능 및 역할 우주전파환경 예보 모델링 및 선진화
전파연	연구관	배석희	이온층 및 전파 환경 분야	우주전파환경연구동향 및 문제점
천문연	그룹장	조경석	태양 및 우주환경 관측분야	우주전파환경 관측 인프라 확충
ART	사장	박광량	관측장비 및 센터구축 분야	센터의 설립 및 운영
세트렉 아이	소장	선종호	태양플라즈마 분야 우주방사능분야 우주환경관측위성 분야	우주전파 관측기술 역량 확보 (우주전파환경 관측위성 기술 개발)
SET system	사장	김정훈	예보 프로그램 분야	우주전파환경 예보 모델링 및 선진화
하이게인	상무이사	이동진	관측장비 및 센터구축분야	센터의 설립 및 운영

※ ART : Advanced Radio Technology

※ SET : Space and Earth Technology

(2) 자문위원회 운영

구분	내용	일시	장소	비고
1차	연구기본방향 및 보고서 목차 검토, 확정	2008. 8.26.	ETRI	붙임 1-1 1차 자문위원회 개최 회의록 참조
2차	중간연구결과 검토 (워크샵)	2008. 10.29.~30.	원주 오크밸리	붙임 1-2 2차 자문위원회 개최 회의록 참조
3차	최종연구결과 발표	2008. 11.25.	전파연구소	붙임 1-3 3차 자문위원회 개최 회의록 참조



그림 1-2 2차 자문위원회(워크숍) 장면



그림 1-3 3차 자문위원회 장면

(3) 자문위원 활동내역

구분	자문위원	활동내역	비고
전문가 활용	<ul style="list-style-type: none"> - 조경석(천문연) - 김정훈(SET) - 민경욱(KAIST) - 이동훈(경희대) - 김석환(연세대) - 선종호(SI) - 이동진(하이게인) 	<ul style="list-style-type: none"> - 우주환경의 정의 - 해외연구동향 - 타당성 검토 - 예보모델링 선진화 방안 - 센터의 기능 및 역할 - 관측위성개발 - 대외 협력 네트워크 	
해외센터 방문	<ul style="list-style-type: none"> - 김정훈(SET) - 선종호(SI) - 이동진(하이게인) 	<ul style="list-style-type: none"> - 미국,캐나다 방문 - 스웨덴 방문 - 스웨덴, 호주 방문 	

※ SI : SaTRec Initiative

비록 연구기간이 짧았지만 총 3차례의 자문위원회를 가졌으며 매번 대부분의 자문위원들이 참석하여 활발한 의견개진이 이루어졌다. 자문위원회에서의 자문 이외에도 자문위원들은 전문가로 초청, 활용되어 직접적인 연구에 참여하는 효과를 가지기도 했다. 또한 일부 자문위원들은 해외기관 방문에도 적극 참여하여 해외연구동향 파악에도 많은 역할을 하였다.

(4) 해외 관련 기관 방문

	1조	2조	3조
국명	미국, 캐나다	유럽(스웨덴)	호주
기간	9/7(월)~9/12(금)	10/1(수)~10/4(토)	10/4(토)~10/10(목)
방문자	2명 이병선(ETRI), 김정훈(SET)	4명 정철오, 박재우(ETRI), 이동진(하이게인), 선종호(셰트렉아이)	3명 정철오, 박재우(ETRI), 이동진(하이게인)
세부일정	9/7(일) 인천 --> Boulder 9/8(월) SWPC 방문 9/9(화) Boulder --> Canada 9/10(수) F10.7 station 방문 9/11(목)~12(금) Canada --> 인천	10/1(수) 인천 --> 코펜하겐 10/2(목) IRF Lund 방문 10/3(금)~10/4(토) 코펜하겐 --> 인천	10/4(토)~10/5(일) 인천 --> 시드니 10/6(월) IPS 방문 10/7(화) 시드니 --> Culgoora 10/8(수) Culgoora Obs 방문 10/9(목)~10/10(금) Culgoora --> 인천
중점사항	Space Weather Prediction 및 대외협력관계 중심	Space Weather Prediction 및 대외협력관계 중심	Space Weather의 통신에 대한 영향을 중심으로 자료 수집
기타	붙임 2-1 해외기관(미국, 캐나다) 방문 결과보고서 참조	붙임 2-2 해외기관(스웨덴, 호주) 방문 결과보고서 참조	붙임 2-2 해외기관(스웨덴, 호주) 방문 결과보고서 참조

※ SWPC : Space Waether Prediction Center

※ IRF : Institutet for Rymdfysik

※ IPS : Ionospheric Prediction Center

4. 연구수행일정

연구 내용	세 부 추 진 일 정																비고
	8월				9월				10월				11월				
1. 사업착수회의																	수행계획에 대한 발표 및 검토
2. 외부자문단 구성 및 1차 자문회의 (8/19)																	연구방안 및 보고서 구성에 대한 검토
3. 센터의 역할/기능 연구 및 세부 추진과제 선정																	
4. 국내외 현황조사 및 센터의 시설,예산 연구																	국내제주부지 방문 및 해외 관련 센터 방문
5. 중간연구결과 정리 및 2차 자문회의 (워크샵, 10/22~23)																	중간연구결 과 검토 및 수정/보완
6. 최종연구보고서 작성																	
7. 3차 자문회의 (11/25)																	최종연구결 과 검토
8. 최종연구보고서 수정 및 발간																	

제 2 절 우주전파환경의 개요 및 중요성

1. 우주전파환경 개요

흑점과 플레어(flare), 태양 물질 방출(Coronal Mass Ejection, CME), 전파 폭발(radio burst) 등의 태양 활동은 태양-지구 사이의 지구 근접 환경에 막대한 영향을 미친다. 자외선 및 X-ray 영역의 복사에너지와 주로 양성자와 전자로 구성된 태양풍은 지구 자기권을 크게 섭동시키고 위성 및 전기, 전파, 통신 등의 실생활에 밀접한 분야에 심각한 오류를 일으키는 원인이 되기도 한다. 우주전파환경이란 이렇게 형성된 영역으로 지표부근의 전리층으로부터 열권, 자기권 나아가 행성 간 공간에 이르는 우주공간을 통칭한다.

우주공간은 플라즈마로 채워진 공간이고, 플라즈마 공간의 물리적인 상태와 그 변화를 지배하는 요소인 복사 에너지, 고에너지 입자 및 자기장은 태양으로부터 나오며, 이런 요소들에 대해 지구 고층 대기, 지구 자기권, 행성 간 공간은 각각 독특하고도 복잡한 방식으로 반응하게 된다. 태양으로부터 나오는 막대한 복사 및 입자 에너지는 행성의 자기권, 전리층 및 고층 대기에 수시로 심각한 물리·화학적 변화를 초래하기 때문에 이들 에너지와 밀접한 관련이 있는 흑점, 플레어, 홍염, 코로나 등의 태양 활동들에 대한 연구는 태양계 내 행성들의 우주환경에 있어서 중요한 정보를 제공할 수 있다.

행성의 자기권은 태양풍의 섭동에 따른 영향을 제일 먼저 받게 되고, 지구의 전리층 및 고층 대기는 주로 태양의 자외선 및 극자외선에 민감하게 영향을 받는다. 지구의 전리층은 일차적으로 태양의 자외선이 고층 대기 분자 및 원자들을 이온화시켜 생성되고, 생성된 이온들은 대기 중의 다른 성분들과 화학 반응을 하고 물리적 이동 과정을 통해 소멸된다. 섭동된 고층대기는 다시 전리층의 구조를 변화시키므로, 전리층과 고층대기는 상호작용을 하며 태양 자외선의 변화에 반응하는 복합계를 이룬다. 때때로 강력한 태양풍 플라즈마는 지구 자기권에 스며들어, 자기권에서 고에너지 입자로 가속되어 극지방의 고층 대기로

진입하여 오로라 현상과 함께 극지방의 전리층을 교란시키기도 한다.

우주전파환경에 관한 연구 중에서 무엇보다도 중요한 것은 우주 환경의 급격한 변화가 사회·경제적으로 막대한 손실을 끼친다는 점을 일반대중 뿐만 아니라 관계 정책입안자들에게 홍보하는 일이다. 1989년 3월 13 - 14일에 발생한 강력한 자기폭풍이 캐나다의 퀘벡주 전역의 송전시설에 영향을 미쳐 약 20,000 Megawatt의 전력선 손실 사건이 발생하였다. 이로 인하여 수백만 주민에게 전력공급의 차질을 야기한 바 있다.

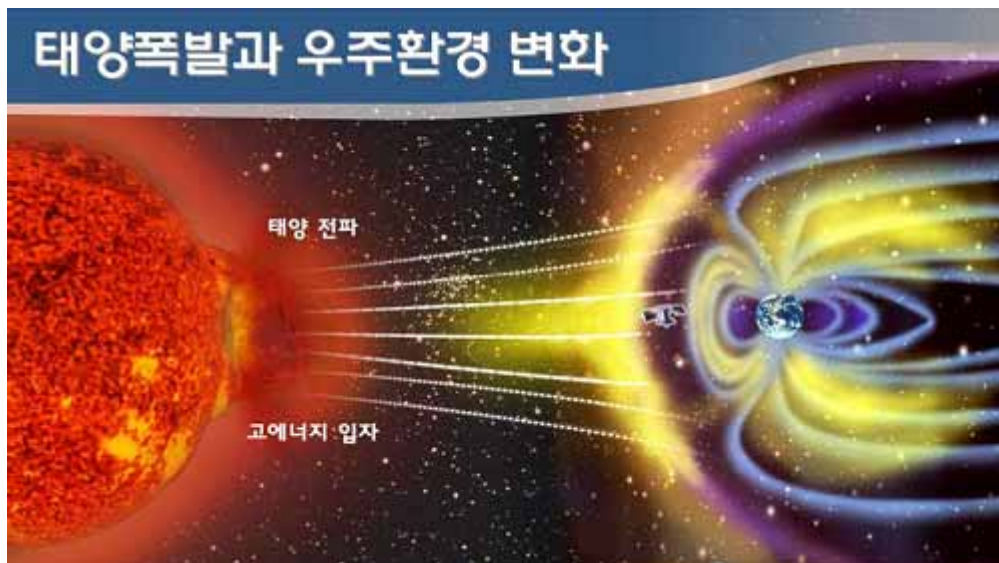


그림 1-4 태양 지구간 상호 영향

자기폭풍의 시작으로부터 송전시설의 마비까지 약 90초가 소요되었을 뿐이다. 뿐만 아니라 HF영역의 주파수대는 전 세계적으로 거의 사용불능상태가 되었다. 반면 VHF방송은 비정상적으로 멀리 전파되기도 하였고, 또한 심한 간섭현상이 유발되기도 했다. 1997년 1월 6일 및 11일에 발생한 대규모의 태양 물질 방출 현상으로 인해 정지궤도상을 운행하던 미국 AT&T사의 통신위성 Telstar 401호의 회로단절이 발생해서 수명이 9년이나 단축되는 바람에 2억 달러의 손실이 발생했다. 2003년에는 일본 통신위성과 지상간의 통신두절 사태가 발생하였는데 그 원

인으로 태양 흑점 폭발로 인한 초강력 자기폭풍의 입자와 방사능이 컴퓨터 센서들을 파괴했을 가능성을 제기하였다. 다행히 당시 우리나라 위성에는 영향을 미치지 않았으나 또다시 그러한 상황이 발생했을 때 우리의 위성이 피해를 보지 않을 것이라고 확신할 수 없는 일이다. 이 밖에도 고에너지 입자에 의한 위성의 태양전지판, 본체 차폐막 등의 파괴로 인한 위성 오동작 및 소실 현상이 여러 차례 보고되고 있다.

우주환경예보(Space Weather Prediction; Space Environment Forecast)란 지구 주변 우주 공간의 물리적 변화와 현재 상태를 실시간으로 감시하고 미리 예측하는 기능으로 정의할 수 있다. 과학 기술의 발달과 함께 경제 활동에 필수적인 도움을 주는 무선통신, 위성통신, 위성관제, 항법, 송전, 자원탐사 등의 분야에서 사용되는 첨단 정밀 기기 및 시스템은, 지상뿐만 아니라 지구 주변의 우주 공간으로 그 활용 범위를 넓혀가게 됨으로써 우주환경의 변화와 밀접한 관련을 가지게 되었다. 따라서 우주 전파 환경 예보는 위에서 언급한 분야의 시스템이 우주환경의 급격한 변화에 의해 손상됨으로써 발생하는 경제적 손실을 방지 또는 최소화하는 역할을 한다.



그림 1-5 태양활동이 지구에 미치는 영향

이 분야를 주도하고 있는 미국은 우주환경이 위성 및 지상의 정밀 기기에 미치는 부정적인 영향으로 인한 경제적 손실을 줄이기 위하여 1970년대부터 국가 차원에서 우주환경예보 자료를 공급해 오고 있으며 민·관·군의 연구소에서 활발하게 연구를 진행해오고 있다. 또한 EU, 일본, 호주 등에서도 우주환경예보의 경제·사회적인 가치를 인식하여 자국의 기간산업 보호를 위한 우주전파환경예보 서비스를 개발하고 필요한 사용자를 발굴하여 웹, E-mail, SMS 등의 방법을 통해 주기적으로 실시간 정보를 제공하고 있다. 또한 여러 선진 연구 기관들이 연합하여 국제기구 설립 등을 통해 국제적인 협력 관계를 유지하고 있으며 공동 연구를 활발히 진행하고 있다.

우리나라의 경우 관련 국가 연구 기관들(천문연구원, 전파 연구소 등)이 우주환경예보의 기초적인 자료 수집을 시작하고 있으나 연구 인력의 부족과 관측 장비의 부족, 노후화 등으로 인해 그 연구 결과는 선진국의 경우와 비교할 때 취약한 형편이다. 현재 우리나라도 인공위성 보유국으로서 2015년까지 5조원대의 국가 우주 개발 사업을 수행 중에 있고, 더불어 2005년 완공을 목표로 인공위성 발사를 위한 우주센터를 건립하는 등 우주 진출을 활발하게 추진하고 있기 때문에, 우주전파환경 관련 연구 및 예·경보 서비스의 개발은 점차 우리 실생활에 미칠 영향을 생각하면 필수 불가결한 것이라 할 수 있다.

태양복사는 전 스펙트럼 영역에서 무선통신·방송 주파수 등과 동일한 전자파를 방출하기 때문에 전파 간섭요인으로 작용할 뿐만 아니라 적외선, 자외선, X선 등의 전자파 방출로 인해 인체에 유해한 원인으로 작용할 수 있다. 특히 고에너지 입자는 그 고유의 전도 특성으로 인해 위성기기의 오동작, 전리층 이온변화 등을 일으킬 수 있다.

태양활동이 GPS 전파에 미치는 과정으로 전리층은 해발 고도 100~1,000km에서 이온층인 플라즈마로 구성되고, 도플러 효과로 인한 플라즈마의 흐름(약 100m/s)의 shift 발생(수 Hz), 전자밀도 변화로 인한 산란파, 신틸레이션 및 감쇠 등이 발생하여 신호의 오차로 작용하기 때문에 현재 사용 중인 각종 항법장치의 위치오차, 시간오차 발생으로 인해 사고로 이어질 수 있다. (그림 1-6)은 GPS 신호 수신시 신호레벨

보다 상세한 우주전과 환경 변화에 기여하는 주요요소는 붙임 3.에 자세하게 기술하였다.

가. 우주전파환경의 영향

- 12 -

(가) 전력망 장애

정전은 오로라가 발생 되는 곳에서 일어날 가능성이 크다. 오로라에는 강한 전류가 흐르는데 이것이 지상의 송전시스템 전류에 변화를 가하면 결국은 전기가 끊어지는 정전 사태가 발생한다. 1989년 3월 캐나다 몬트리올과 퀘벡 지역이 난데없이 정전돼 도시 기능이 마비됐다. 9시간 동안 이어진 이 정전 사고의 범인은 뜻밖에도 태양으로 밝혀졌다. 1989년은 천문학사에 기록될 정도로 태양의 활동이 활발했다. 태양 흑점의 수가 절정을 이뤘고, 태양 표면의 폭발 활동도 극에 달했다. 태양으로부터 쏟아져 나온 에너지는 우주공간으로 퍼져나갔고, 지구에도 도달했다. 거대한 자석 덩어리인 지구는 몰려드는 전자와 양성자를 끌어들이므로써 자신의 자력을 더욱 강화했다. 문제는 평소보다 강해진 지구의 자력 때문에 발생했다. 지구의 자기장이 강해지자 자기장에서 발생하는 유도전류가 평소보다 높아졌고 결국 땅 깊은 곳에 매설된 고압선에 영향을 미친 것이다. 유도전류에 의해 순간적으로 용량을 초과한 전압이 걸리자 고압선들은 이를 견디지 못하고 급기야 합선을 일으켰다. 이는 태양의 활동에 의해 지구의 자기장이 교란된 데 따른 현상으로, 태양의 활동이 지구에 절대적인 영향을 끼친다는 사실을 입증하는 단적인 예다.

(나) 통신장애

자기폭풍에 의해 전리층의 F층 전자밀도가 교란이 일어나게 되는데, 이것을 전리층 폭풍(Ionosphere storm)이 한다. 많은 통신망은 장거리 교신을 위해 전리층에서 전파의 반사를 이용하게 되는데 이러한 전리층 폭풍은 모든 위도에서 무선 통신에 영향을 미친다. TV나 상업 라디오방송 등은 태양활동에 거의 영향을 받지 않지만 인공위성을 이용한 지대공 통신(ground-to-air), 선박과 해안 간의 교신, 단파방송 그리고 아마추어 무선 등은 자주 교란을 받는다. 또한 몇몇 군 탐지 또는 조기경보체계는 태양활동에 의해 영향을 받는다. 초 지평선 레이다

(over-the Horizon Radar)는 먼 거리에서 항공기와 미사일의 발사를 감지하기 위하여 전리층에 신호를 반사시킨다. 하지만 자기폭풍동안 불필요한 전파에 의해 영향을 받게 된다. 미연방항공국은 이러한 통신 문제를 인식하고 태양활동 경보체계를 갖추었다.

(다) 항법시스템

LORAN이나 OMEGA같은 항법시스템은 태양활동에 의해 영향을 받는다. 전 세계를 관장하는 8개의 송신기로 구성된 OMEGA 시스템은 저주파신호를 이용하여 선박이나 항공기의 위치를 알려준다. 그러나 태양표면 폭발이나 자기폭풍동안 수 km에 해당하는 위치상의 오차를 유발한다. 특히 전리층에 의한 전자기파의 신호약화 및 반사현상은 HF 주파수대를 이용하여 수평선 너머에 위치한 항공기나 선박을 추적하는데 지대한 영향을 미친다. 또한 태양활동에 따른 전리층의 전자밀도 증가는 그 속을 통과하는 전파신호의 시간적인 지연을 일으켜 GPS의 정확도와 신빙성에 영향을 미친다(Hefley, 1972). 그 외 전리층의 불균일은 전파신호에 잡음을 유발하기도 한다.

(라) 인공위성

자기폭풍과 태양의 자외선 복사에너지의 증가는 상층대기를 가열시켜 이를 팽창시킨다. 가열로 인한 대기와의 과도한 마찰로 인공위성은 속도가 줄어들어 궤도가 바뀌게 된다. 저궤도위성의 경우 궤도를 부상시켜주지 않으면 지구 대기권으로 진입하여 타버리게 된다. 태양활동의 과도한 증가로 인해 Skylab 우주선이 기대한 것보다 수명이 짧아졌으며, 1989년 3월의 자기폭풍동안 미국 해군의 항법 인공위성 4개가 1주일동안 서비스를 하지 못한 것이 예이다. 전자기술의 발달로 인공위성이 소형화되면서 태양이 방출하는 고에너지 입자에 의한 피해가 급증하고 있다. 이러한 입자들은 실제 마이크로칩을 손상시키며, 또한 위성에 탑재된 컴퓨터의 소프트웨어 명령을 변환시킨다. 자기폭풍 기간에는

인공위성이 운행되는 공간의 전자와 양이온의 수와 에너지가 증가하여 인공위성에 대전현상이 나타난다. 특히 하전입자와 인공위성의 충돌로 인해 인공위성의 각 부위별 대전 정도가 달라지면 방전현상이 일어나고 인공위성 내부로 전류가 흘러 부품을 손상시키기도 한다. 그 외 주로 고에너지 전자들은 인공위성을 투과하여 내부 부품들을 대전시킨다. 충분히 대전된 부품은 다른 부품들을 대전시켜 인공위성의 전자회로에 매우 심각한 영향을 미칠 수 있다.

자기권 전면에 미치는 태양풍의 압력 증가는 자기권계면을 지구 쪽으로 압축시키고, 이때 정지궤도 인공위성이 자기권 밖에서 운행되는 경우가 발생하여 인공위성의 자세제어에 영향을 미친다.

표 1-1 궤도에 따른 우주환경의 특징

궤도	우주환경의 특징
저궤도(LEO)	저온, 고밀도의 이온층 플라즈마, 초음속 고밀도의 대기권 분자 층가, X-ray 및 자외선, South Atlantic Anomaly (SAA), 우주잔해(Debris)
중궤도(MEO)	X-ray 및 자외선, 방사선대(Trapped Radiation Belts), 플라즈마권(Plasmasphere)
극궤도(PEO)	저온, 고밀도의 이온층 플라즈마, 초음속 고밀도의 대기권 분자 층가, 우주잔해, 오로라입자, 우주방사선(Cosmic Rays), SAA, 방사선대
정지궤도(GEO)	고에너지 플라즈마면(Plasma Sheet), 자기폭풍, X-ray 및 자외선, 외방사선대(Outer Radiation Belts)
행성간 (Interplanetary)	태양풍, 플레어, 우주방사선

표 1-2 (a) 우주전파환경변화가 위성체에 미치는 영향

위성체(S/C) 서비스시스템	중성대기입자의 열원	열환경	플라즈마	유성체와 우주폐기물
전자장비 (avionics)	-	열적인 설계 고려	위성체(S/C)대전 및 아크 EMI에 의한 Upset	충격에 의한 전자파환경간섭 (EMI)
전력	태양전지판 성능 저하	전력분배, 전력 시스템 성능 및 태양전지판 설계 고려	부동전위 이동, 전류 감소, 오염물질의 재 흡착	태양전지에 피해
GN&C/ 포인터	전체적인 GN&C/ 포인팅 시스템 설계 고려	-	유도전위에 의한 토크	충돌무시
재질 (materials)	재질 선택 고려, 자질성질 저하	재질 선택고려	아크, sputtering, 오염물질 등 표면 특성에 영향을 줌	표면광학특성저하
광학 (optics)	S/C glow, 센서 간섭	광학설계영향	오염물질의 재흡착, 표면광학특성변화	표면광학특성저하
추진체 (propulsion)	drag 구조/견인제작/ 필요한 연료	-	플라즈마와 접촉에 의해 생성된 thruster발진에 의한 부동전위를 높임	충돌무시, 부가적 차폐에 의한 연료 요구 증가와 압력 탱크의 파열
구조 (Structures)	-	열에 민감한 표면의 지역적 영향, 열에 의한 유도진동 발생	S/ C 대전효과에 의한 구조적 크기에 영향 아크, sputtering 으로부터의 질량감소	전체 S/C 하중과 우주비행사 생존을 위한 구조적 피해, 차폐 설계 고려
TT&C	추적에러 가능. 추적손실 가능		아크에 의한 전자파간섭(EMI)	충돌에 의한 EMI
열제어 (Thermal Control)	대기권에 재 진입시 부하에 대한 고려. 원자 산소로 인한 가열, 표면저하	수동적, 능동적 열제어계 설계, 방사체 크기, 어는점 고려	오염원 흡입, 흡수율/방사특성의 변화	열/광학특성 변화
우주비행임무 (mission operation)	적절한 재발사시 및 S/C 수명 판단에 고려	임무의 계획과 순차적인 임무에 영향	-	우주비행사 생존고려

표 1-2 (b) 우주전파환경변화가 위성체에 미치는 영향

위성체(S/C) 서브시스템	태양환경	이온화된 방사	자기장	중력장	중간권
전자장비 (avionics)	열적인 설계 고려	장비기능저하: SEU, bit에러, bit교환	유도된 전위 영향	-	-
전력	태양전지판 설계, 전력배분	태양전기출력 감소	유도된 전위 영향	-	-
GN&C/ 포인 터	밀도와 drag 영향, 중성 대기 입자유도, 중력 토크력 유발	-	자기토크의 크기 고려	안정성, 제어, 중력 토크에 영향	재진입에 의한 GN&C영향
재질 (materials)	태양 UV 노출에 대한 재질선택	재질의 퇴화	-	-	대기상호작 용에 의한 재질퇴화
광학 (optics)	광학설계를 위한 자료 필요	우주선 창 및 광학계에 darking	-	-	-
추진체 (propulsion)	밀도와 drag 영향	-	-	연료소비율 영향	-
구조 (Structures)	열적 민감 구조의 위치 영향	-	큰 구조에서 의 전류 유도가 고려	추진체 소요 예산 증가	구조적 설계
TT&C	추적정확도, 밀도와 흡입 영향	-	SAA 영향	추적에러 포함	-
열제어 (Thermal Control)	대기권 재진입에 따른 열 부하/ 가열 영향	-	-	-	-
우주비행임무 (mission operation)	임무 스케줄, 무계획	우주 비행사의 생존	-	-	-

(마) 지구물리탐사

지질학자들은 자기장을 이용해서 지하의 유용광물, 예를 들면 석유, 천연가스 및 광물자원 등을 탐사한다. 이것은 지자기활동이 매우 낮을 때만 가능하다. 그래야만 실제 지구자기장의 이상을 판단하는 것이 가능하다. 반면 지구물리탐사는 지자기 교란시기를 선호하는 경우도 있다. 예를 들면 지자기 교란 시 지하에서 흐르는 전류가 정상 값으로부터 얼마만큼 벗어나는가를 이용해서 석유나 광맥의 구조를 밝힌다. 이러한 이유 때문에 물리 탐사팀은 조사계획을 수립할 때 지자기 예보를 활용한다.

(바) 송전시스템

자기장을 도체에 접근시키면 도체 내에는 유도전류가 발생한다. 이러한 현상은 자기폭풍기간 중 송전설비에 고 대규모로 일어난다. 전력회사는 전기를 교류의 형태로 장거리 송전선을 통해서 소비자에게 보낸다. 자기폭풍기간 중 천천히 변하는 유도 직류전류는 교류를 수송하도록 설계된 송전장비를 비정상적으로 가열시키고 마침내 이를 손상시킨다. 이와 같이 예고 없이 발생하는 정전은 막대한 사회, 경제적인 손실을 야기할 것이다. 전력회사들은 자기폭풍예보나 경보를 이용함으로써 송전설비의 보호와 단전을 최소화 할 수 있을 것이다.

(사) 송유관

급격히 요동하는 지자기장은 송유관에 유도전류를 발생시킬 수 있다. 이 경우 몇 가지 문제점이 발생한다. 먼저 송유관에 설치된 계기판의 오작동으로 송유관을 통과한 유량에 대한 그릇된 정보를 제공하게 된다. 그리고 송유관이 부식률이 증가한다.

표 1-3 우주전파환경변화에 의해 영향을 받는 분야

우주전파환경변화에 의한 장애 대상	태양-지구계의 제현상			
	지자기 활동	태양전파 간섭	고에너지 태양입자 복사	태양 제현상
위성운용(Satellite operations)				
- 궤도변화	◆			
- 조정 및 조절 이상 현상	◆	◆	◆	
- 지상-위성 통신 장애	◆	◆		
비행체(Aviation)				
- 중위도 교신(VHF)		◆		
- 고위도 교신(HF)	◆			
- 항행술(Navigation)	◆		◆	
고위도에서의 초고 비행			◆	
장거리 전기 전력망	◆		◆	
장거리 전화 통신망	◆			
HF 통신	◆		◆	
파이프 시설(송유관, 가스관 등)	◆			
지구물리탐사	◆			
과학위성(서틀, 우주실험실, 태양물리, 오존변화, 행성 간 공간 위성)	◆		◆	◆
과학로켓(자기권, 전리층, 고층대기)	◆		◆	◆
지상실험(태양, 자기권 및 전리층, 고층대기 및 성층권, 대류권, 지자기, 지진 등)	◆		◆	◆

(2) 우주전파환경의 변화가 통신에 미치는 영향

(가) 전파의 종류에 따른 우주환경의 영향

전자기파는 공간을 통해 전달되므로 합리적으로 이용하지 않으면 유해한 혼선이나 장애가 발생할 우려가 있으므로 전파(주파수가 3000GHz 이하인 전자기파)의 이용방법은 국제적으로 국제전기통신조약 및 무선통신규칙에 정해져 있다. 한국에서도 이를 받아들여 전파법을 바탕으로 정보통신부 전파관리국이 전파를 이용할 때의 주파수를 할당

한다.

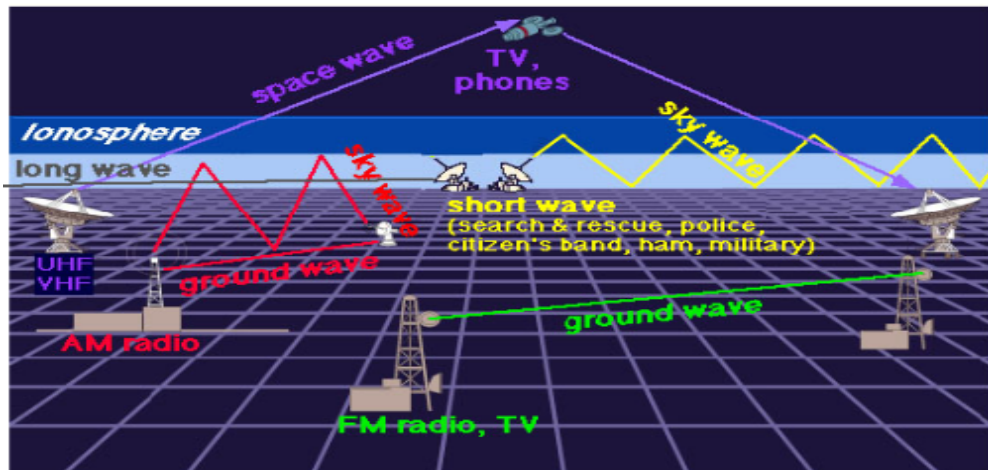


그림 1-7 전파의 종류와 이동 경로

주파수 할당은 국제전기통신조약 등 국제적 규정을 바탕으로 주파수 할당원칙에 따라 그 주파수대의 전파가 이용목적에 맞도록 효율적으로 쓰이고 다른 쪽으로부터의 혼신 등 방해와 다른 쪽에 대한 방해가 적어지도록 전파의 성질을 확인·시행한다. 무선통신규칙에서는 3kHz를 기점으로, 주파수가 10배로 될 때마다 구분지어 그 사이의 주파수 범위를 특정주파수대로 하여 각각 명칭을 붙이고 있다. 이 때, 전파의 전달 속도는 30만km/s이고 주파수와 파장의 곱이 전파속도이므로 주파수 구분을 3의 배수로 하면 파장은 3kHz일 때 100km부터 1/10마다 구분할 수 있다.

○ 초장파와 장파

전파대역	주파수 : 150 ~ 300kHz 파장 : 1000 ~ 2000m
이용	항해와 군사교신
파동경로	지상파는 지구 표면의 수천 km 주위에서 곡선을 그린다.

우주환경의 영향	D층과 E층으로 불리는 이온층의 가장 하부지역이 교란되었을 때 신호는 감소한다. 태양의 X-ray, 자기 폭풍, 전자강하현상, 전리층폭풍, 그리고 극관 흡수현상(PCA)에 의해 영향.
-------------	--

○ 중파

전파대역	주파수 : 525 ~ 1700kHz 파장 : 180 ~ 570m
이용	AM 라디오 (535 ~ 1605MHz)
파동경로	공중파와 지상파 모두 생긴다. 지형이나 나무, 건물 등에 의해 강한 지역적 간섭형태가 나타난다. 전리층에 의해 공중파가 많이 손실되므로 지상파가 가장 안정적인 범위를 제공한다.
우주환경의 영향	낮 시간동안 D층에서 신호가 심각하게 감소하므로 D층이 옅어지는 밤에 신호가 강해진다. 전리층에서의 폭풍이나 태양 플레어 X-ray, 그리고 태양 프로톤 등에 의한 저고도 전리층 현상은 공중파를 감소시킨다. AM 라디오는 보통 지상파에 주로 의존하기 때문에 우주환경 현상에 의해 영향 받지 않는다.

○ 단파

전파대역	주파수 : 2300 ~ 26,100kHz 파장 : 11 ~ 130m
이용	지역적 또는 국제적 아마추어 무선, 해상 또는 지상 운송 수단, 지점 대 지점 통신, 경찰의 탐색과 구조, 그리고 택시 무선 호출

파동경로	신호가 전리층에 의해 반사되므로 장거리 통신을 가능하게 한다. 신호의 이동경로는 전리층이 밤에 더 높은 고도가 되므로 밤에 더 멀리 간다. 단파는 가장 싸기도 하고 때때로 원거리 통신의 유일한 수단이 되기도 한다. 더 길거나 짧은 주파수보다 이 주파수의 범위가 더 멀다.
우주환경의 영향	<ul style="list-style-type: none"> - 태양 플레어 폭발과 동시에 지구의 낮 지역에서 큰 통신 교란이 일어난다. 이것은 전리층의 D층이 플레어와 관련되어 증가된 X선과 자외선에 의해 낮지역에서 발생된 이온화와 관련 있다. 이온화된 D층은 단파를 흡수하는데, 이러한 현상을 단파감쇄라 하며 수분에서 수 시간동안 지속된다. - 태양 활동 후 수 시간에서 수 일이 지나서 지구에 도착하는 태양 프로톤은 극지방으로 침투하여 HF 통신을 완전히 단절시키기도 한다. 이러한 현상은 극관 흡수 현상(PCAs)이라 부르는데, 플레어의 규모에 따라 수 일간 계속되기도 한다. - 전리층 폭풍 또한 태양활동에 의해 발생한다. 이러한 전리층 폭풍은 지역과 시간에 따라 전리층의 전자밀도를 증가시키거나 감소시킨다. 전자밀도의 감소는 단파통신에 심각한 문제를 발생시킨다. - 위성-지상 통신 : 신호의 상태는 수신신호의 위상과 진폭의 변동을 유발하며, 전리층의 불균일성에 의해 영향을 받는다.

○ 초단파

전파대역	주파수 : 30 ~ 300MHz
이용	TV (54 ~ 88MHz, 174 ~ 216MHz) FM 라디오 (88 ~ 108MHz)
파동경로	일반적으로 송신기의 성능에 따라 ~100 km까지의 범위

	를 갖는 시선방향 송신이 사용된다. 이 주파수는 전리층을 통과하며 위성에 의해 재송신 되어 원거리 수신기까지 연결될 수 있다. 전리층의 상태에는 적은 영향을 준다.
우주환경의 영향	위성-지상 통신 : 신호의 상태는 수신신호의 위상과 진폭의 변동을 유발하며 전리층의 불균일성에 의해 영향을 받는다. 불균일성은 우주환경 변화 시 극지방에서 증가된다.

○ 극초단파

전파대역	주파수 : 30 ~ 3000MHz
이용	TV (채널 14 ~ 69까지) 비행기와 선박의 항해 경찰의 비상 통신
파동경로	80 km까지의 범위를 갖는 시선방향 경로가 사용된다. 또한 원거리 통신에 위성을 사용한다.
우주환경의 영향	위성-지상 통신 : 신호의 상태는 수신신호의 위상과 진폭의 변동을 유발하며 전리층의 불균일성에 의해 영향을 받는다. 불균일성은 우주환경 변화 시 극지방에서 증가된다.

(나) 태양활동에 의한 전파장애

○ 태양플레어에 의한 단파장 감쇄

태양플레어 발생 후 수 분 이내에 자외선과 X선이 지구의 낮 지역을 강타한다. 이 고에너지 복사는 대기입자에 의해 흡수되고 입자의 에너지 상태를 여기시켜 광전효과에 의해 자유전자를 증가시킨다. 지구의 낮 지역에 걸쳐 전리층의 D, E층의 전자밀도는 급격히 증가한다. 이러한 태양 플레어에 의해 HF 파장대의 단파는 전리층 하층의 입자증가로 인해 흡수되는데 그 결과 전파통신에 장애를 유발한다. 이를 단파 페이드 아웃(Short Wave Fadeout, SWF)이라 한다.

○ 태양 프로톤 현상과 Polar Cap 흡수 현상에 의한 단파통신 장애

때때로 지구에는 태양으로부터 매우 빠른 속도를 가진 프로톤 입자구름이 불어온다. 이를 태양 프로톤 현상이라 한다. 태양 프로톤은

자극 근처의 지구 자기권을 투과하며 천만 eV이상의 에너지를 갖고 전리층에 도달한다. 이때 대기입자들과 충돌하여 자유전자를 발생시켜 전리층의 D, E층의 전자밀도를 증가시킨다. 이러한 저층의 전리층에서의 입자들의 증가는 HF 영역에서의 단파통신 두절을 유발한다. 이를 Polar Cap 흡수 현상이라 한다. 일반적으로 D, E층의 낮은 전리층에서 반사되는 저주파 전파는 전파경로의 급격한 변화로 인하여 평소보다 낮은 높이에서 반사된다.

(다) 전리층에 의한 전파 장애

전리층은 지표면 상공 약 50km부터 2,000km까지의 공간을 일컫는 것으로 입자들의 이온화가 매우 중요한 물리적 파라미터로 작용하는 영역으로 전자밀도 분포에 따라서 D, E, F1, F2층으로 나눌 수 있다. 이온화를 일으키는 주원인은 태양으로부터 방출되는 자외선과 X선과 같은 전자기 복사이다. 전리층의 변화 현상은 일일, 계절, 위도, 태양활동 주기에 따른 변화 등 크게 네 가지로 나눌 수 있다. 일일변화는 전리층 생성의 주요한 원인인 태양 복사의 존재 유무에 따라서 밤과 낮의 전자밀도가 차이가 발생한다. 특히 야간에는 F1, F2층의 구분이 사라진다. 계절 변화는 사계절에 따라서 F2층의 높이가 변하는데 우리나라의 경우 춘, 추분에서 F2층의 임계주파수인 foF2 값이 연중 최대값을 가지며 여름과 겨울에는 상대적으로 낮게 측정된다. 그리고 전리층은 저위도, 중위도, 고위도마다 변화 양상이 각기 다르게 나타나며 태양 활동주기에 따라서 foF2 측정값이 2배 이상 차이가 나기도 한다. 특히 태양활동 주기 변화에 있어서 foF2 값의 변화를 가지고 예측이 가능할 정도로 태양 활동과 밀접한 관계가 있다 그 외에 태양과 지구 자기권으로 유입되는 강력한 전하입자와 은하 우주선도 전리층 이온화에 커다란 영향을 미친다.

자기폭풍과 태양 코로나 물질 방출(CME) 등은 지구 자기권과 전리층까지 영향을 준다. 많은 통신망은 장거리 교신을 위해 전리층에서 전파의 반사를 이용하므로 우주환경 변화에 의한 전리층 교란은 항

법시스템의 신호와 지상 통신에 영향을 미친다. 전리층의 갑작스런 교란을 의미하는 Sudden Ionospheric Disturbance (SID)는 태양의 플레어가 발생할 때 수반되는 X-ray 복사에 기인한다. 이들은 다른 층에도 영향을 미치지만 특히 D층의 전자밀도를 비정상적으로 증가시킨다. 또한 플레어나 CME에 수반된 고에너지 하전입자들이 극관 영역의 상층대기로 입사하여 D층의 전자밀도를 증가시키는데 이러한 현상을 극관흡수(Polar Cap Absorption, PCA)라 한다.

○ 전리층 교란과 관련된 통신장애

- MF, HF, VHF 전파흡수
- 최적운용주파수 변동
- 전파의 위상, 진폭, 편파파동
- GPS 정밀도 에러
- HF/VHF 전파간섭

나. 우주전파 환경에 의한 피해

태양 플레어가 폭발하는 순간 방출되는 물질은 1천만℃까지 가열되며, 이처럼 높은 온도에서는 엄청나게 많은 X-ray와 자외선 복사가 방출된다. 태양 플레어 현상이 새삼 중요하게 떠오르고 있는 것은 바로 이 X-ray와 자외선 같은 고에너지입자가 지구에 엄청난 영향을 미치기 때문이다. 이들 고에너지입자는 우주공간에 떠 있는 인공위성의 태양 전지판이나 핵심 부품을 그대로 통과해 아예 못쓰게 만들어버린다. 문제는 여기서 그치지 않는다. 플레어 현상은 코로나질량방출(Corona Mass Ejection, CME)을 동반하고, 이는 커다란 자석인 지구에 일대 혼란을 일으킨다. 태양으로부터 온 전자가 유입되면서 자력이 강해지고 지구 내부를 향하는 자력선이 통과하는 지점에서는 나침반의 바늘이 북이 아닌 엉뚱한 방향을 가리키는 사태가 발생한다. 이처럼 지구 자기장의 교란으로 인해 항상 북을 가리키던 나침반의 바늘이 갑자기 남쪽이나 서쪽을 가리키는 일이 생기게 되는 것이다. 전문가들은 최근 2003년

10월 28일 태양 플레어 폭발이 발생하였을 때 우리나라 상공에서 오로라가 관측된 것도 한반도 주변의 자력선이 강해지면서 우주에서 날아온 입자를 강하게 끌어당긴 결과로 설명하고 있다. 이밖에도 태양 플레어 현상은 지구에 다양한 영향을 미친다. 플레어가 진행되는 동안 방출된 파장 복사는 지구 상층 대기를 가열시킨다. 1981년 우주왕복선 콜롬비아 호에 탑승했던 우주인은 지구를 선회하는 중에 260km 상공 대기의 온도가 정상치를 훨씬 벗어난 사실을 관측했다. 당시 측정온도는 2,200K로 평상시의 값인 1,200K를 훨씬 웃돌았다. 이렇게 상층 대기가 가열되면 팽창하기 때문에 지구 대기는 우주 밖으로 더 확장된다. 따라서 우주선과 대기의 마찰이 증가하고, 덕분에 인공위성을 낮은 고도로 끌어내리는 결과도 초래한다. 1989년에 미 위성추적소가 1만 개가 넘는 위성의 궤도를 추적하지 못했던 것도 바로 이런 현상으로 위성들이 계산된 궤도에서 벗어났기 때문이다. 또한 1982년 11월에 발생한 태양플레어는 고에너지 양성자를 다량 방출했다. 이때 운량을 조사하는 GOES 4호 기상위성의 가시광선 및 적외선 spin-scan radiometer가 45분 동안 작동을 멈추었다. 그리고 태양활동 극소기인 지난 1997년 1월 미국 AT&T사의 통신방송위성인 텔스타 401호의 기능이 상실됐던 것이 대표적인 피해 사례로 꼽히고 있다.

또한 대규모 자기 폭풍도 지구에 심각한 영향을 미친다. 지난 1994년 1월에는 강한 전자의 이상증가로 캐나다 위성에 장애가 생겨 전화두절 및 TV, 라디오 수신 불능 사태가 발생했던 경우도 있고 지난 1991년 4월에는 자기폭풍으로 미국의 핵발전소 변압기가 파손된 사례도 있다. 1940년 3월에 발생한 자기폭풍은 미국 Minnesota주 Minneapolis시의 거의 80%에 해당하는 시외전화선을 불통되게 했으며, 1958년 2월에 발생한 자기폭풍은 Western Union사의 North Atlantic 전신케이블에 심각한 장애를 유발했다. 그리고 Bell 전화회사의 경우는 Newfoundland에서 Scotland에 이르는 대서양횡단 케이블에 의한 음성통신의 장애가 발생했다. 1972년 8월에는 Bell 전화회사의 Illinois주 Plano시와 Iowa주 Cascade시를 연결하는 동축케이블을 30분간 불통시켰다. 이외에 지난 1989년 3월 자기폭풍 및 열권의 대기밀도 증가로 인

해 미국, 일본, 캐나다 등 여러 국가의 위성 기능이 일부 파손됐고, 캐나다의 송신시설에 이상이 생겨 2만 MW의 전력이 손실됐던 일도 있다.

보다 상세한 우주전파환경에 의한 구체적인 피해사례는 붙임 4.에 자세하게 기술하였다.

3. 우주전파환경연구의 중요성

앞서 살펴본 바와 같이 지구 이온층, 고층대기, 자기권 등의 근지구환경은 태양의 활동 정도에 따라 매우 민감하게 반응한다. 또한 최근 인류의 활동 영역이 우주공간으로 확대됨에 따라 우주 공간상에는 수많은 과학·통신·군사위성들, 그리고 향후 건설될 우주정거장에 이르기까지 많은 위성 및 그에 탑재된 장비들이 운용되고 있고 또 운용될 예정이다.

태양활동에 따라 급변하는 우주전파환경에 의해 우주상에서 운용되고 있는 수많은 위성들이 심각한 문제가 생길 수 있고, 지구의 이온층, 고층대기 및 자기권의 요동으로 각종 통신과 지상의 시설물 그리고 인간의 생활에 까지 심각한 피해가 생길 수 있다는 사실은 이미 그 사례들을 충분히 접해 왔다. 특히 기존의 유선통신 시대에는 태양폭발에 따른 피해가 크지 않았으나, 태양전파가 전 주파수 대역에 걸쳐 발생하기 때문에 방송, 이동통신, 소출력 무선통신 등의 분야에 모두 영향을 미치고, 최근의 유비쿼터스 환경에서는 사회전반에 걸쳐 미치는 파급영향이 막대할 것으로 예상된다.

이러한 인간의 생활 및 우주관련 장비에 심각한 경제적, 사회적 손실을 가져올 수 있는 우주전파환경으로부터 피해를 최소화하기 위해서는 국가적 차원에서 태양활동 및 근지구환경의 변화를 관측·연구하여 우주전파환경에 대한 이해를 높이고 우주전파환경의 갑작스러운 변화에 기인된 피해를 최소화할 수 있는 조치를 강구할 수 있는 방안이 요구되고 있다.

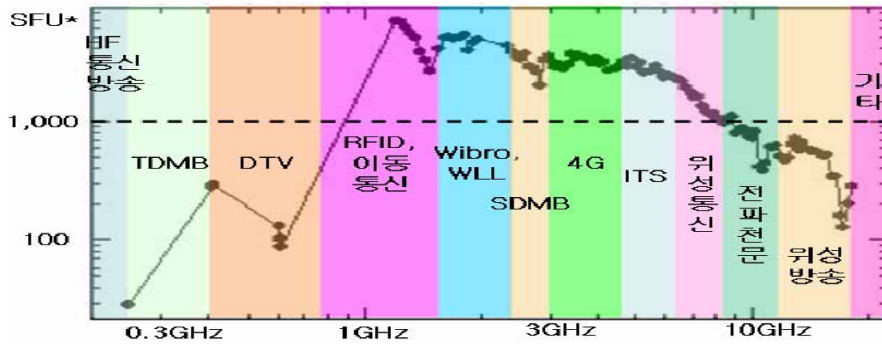


그림 1-8 태양폭발로 발생하는 태양전파의 스펙트럼 분포

※ 2000년 태양활동 극대기시 뉴저지 공과대학에서 관측한 자료('00.6월)

- 태양폭발시마다 태양전파의 스펙트럼 분포는 상이하게 발생
- SFU(Solar Flux Unit)는 단위면적/시간당 유입되는 태양전파의 양으로 통상 1000 SFU 이상일 경우 이동통신 두절 등 서비스 장애가 발생하는 것으로 최근 보고

제 3 절 우주전파환경 예보서비스 현황

1. 해외 현황

1-1. 미국 SWPC(Space Weather Prediction Center)

미국은 현재 우주개발과 군사 전략의 일환으로 범정부차원에서 세계 최고 수준의 우주전파환경 관측 인프라를 구축하여 운영 중에 있다. 우주전파환경 관측은 콜로라도주 볼더에 위치한 미국 국립해양대기청 산하의 미국 우주기상 예보센터(SWPC)에서 수행되고 있다. 미국 내의 8개의 국립 환경예보센터 중의 하나로 2007년 10월1일 SEC (Space Environment Center)에서 명칭이 변경된 SWPC는 우주기상으로 인한 사람과 시설 및 장비에 영향을 미칠 수 있는 장애요소에 대비해 경계경보와 주의보를 발령하는 미국의 공식적인 우주전파환경 정부 기구이며 세계최고 수준의 예보서비스 기술력을 보유하고 있다.

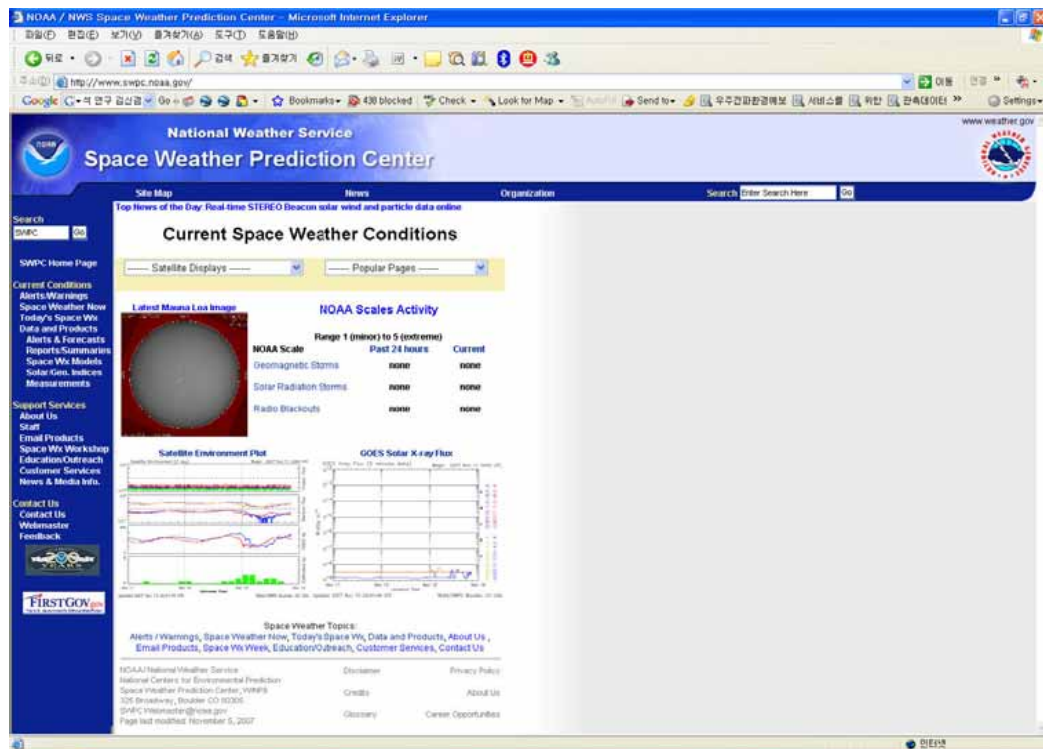


그림 1-9 SWPC의 홈페이지 메인화면

가. 개요

SWPC는 미 상무성 소속 국립해양대기청(NOAA, National Oceanic & Atmospheric Administration)의 산하 특별 기관 중 하나로 1945년에 SEC(Space Environment Center)로 설립되었다가 2007년도에 SWPC (Space Weather Prediction Center)로 변경되어 우주환경과 관련된 관측 자료 분석 및 예·경보 등을 담당하는 국가 기관이다.

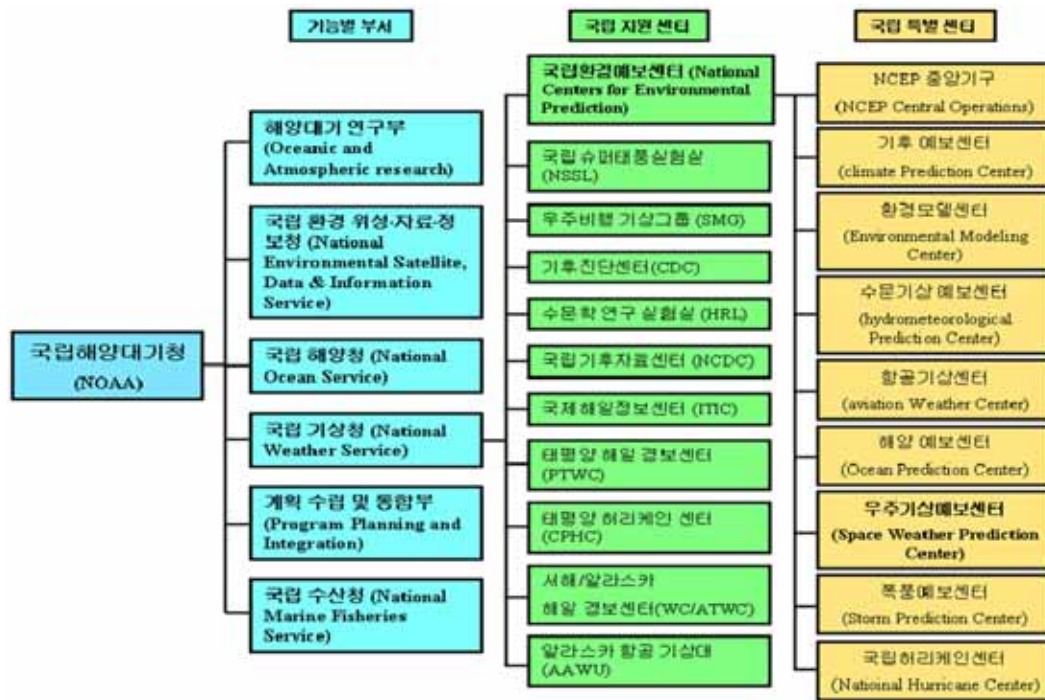


그림 1-10 미국 국립해양대기청(NOAA) 조직도

(1) SWPC 임무

- 관측자료 수집, 분석 및 예·경보를 위한 우주환경 업무
- 국제 자료교환 및 협력을 위한 데이터베이스 시스템 운영
- 태양활동의 물리적 이론 및 모델을 위한 우주환경에 대한 연구
- 미국 NASA, 일본 NICT 등과의 협의체 구성 등 국제 활동

(2) 세부 조직 및 임무

- 2개 분소(기술정책지원국(15명), 우주기상서비스국(52명))
- 우주기상서비스국에 3개과(우주기상예보과, 개발과, 연구과)와 1개 공동 연구소로 구성
 - 기술정책지원국 : 행정업무지원
 - 우주기상서비스국 : 우주기상 예보서비스 총괄

- 우주기상예보과 : 우주기상 예보서비스 실시
- 연구과 : 우주기상 정보 수요기관의 요구사항 분석, 예보모델 시험운용
- 공동연구소 : 지구주변의 환경변화 중요성 홍보 및 지구환경 연구관련 총괄 관리

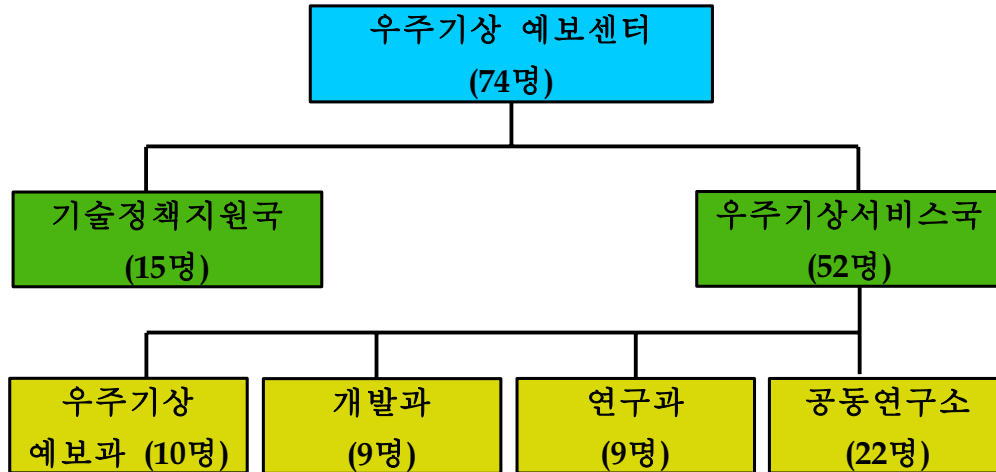


그림 1-11 우주기상 예보센터(SWPC) 조직도

(3) 연구인력 : 74명

- 우주기상예보센터에 74명이 근무하고 있으며, 상위기관인 국립해양대기청(NOAA)에 1000여명 정도가 근무
- 공군, 항공우주국(NASA, National Aeronautics and Space Administration) 등과 범 정부차원의 우주환경연구 수행

(4) 연혁

- 1945 : 우주기상서비스를 제공하는 우주환경센터(SEC) 발족
- 1946 : 일일예보 시작
- 1970 : 현 NOAA 기관에 합병
- 2007 : 우주기상예보센터(SWPC)로 명칭 변경

(5) SWPC 주요 기능 및 업무

- 주요 기능
 - NOAA와 미공군에 의해 공동 운용
 - 우주전파 환경 관측과 지구환경에 대한 지속적인 감시와 예측
 - 국립지구물리 자료센터(NGDC : National Geophysical Data Center), 미공군, 그리고 항공우주국(NASA) 등과 공동 연구
 - 전 세계에 걸쳐 설치 운용되고 있는 각국의 관측소로부터 관측 자료와 결과를 상호 교환 및 공유를 통한 우주전파환경의 실시간 감시
- 주요 업무(SWPC의 상세한 주요업무는 붙임 5. 참조)
 - 우주기상 예보(미 공군과 공동으로 운영)
 - 태양, 지구물리 사건을 실시간 감시·연구·예보
 - 우주전파환경예보 (Space Weather Forecast) : 태양활동 요약, 코로나, 태양활동영역, 플레어확률 보고, 태양활동 사건 정리
 - 자료 수집 및 분석
 - 세계 각처에서 관측된 태양영상 수집, SOHO 위성 및 YOHKOH 위성의 태양 관측 자료 수집
 - 우주전파환경모니터(SEM : Space Environment Monitor)가 탑재된 극궤도 기상위성 TIROS/NOAA로부터 지상 80km 상공의 고층대기자료 실시간 수집 및 분석
 - 1974년부터 X선 센서(XRS), 입자센서(EPS), 자력계 등이 탑재된 정지궤도 기상위성인 GOES (Geosynchronous Operational Environmental Satellite)를 이용한 우주전파환경의 실시간 감시
 - NOAA 및 산하 국립지구물리 자료센터와의 관측자료 교환
 - 태양-지구 물리, 해양물리, 지구물리 등 지구환경정보 수집 및 배부
 - 전세계 자료센터 (WDC : World Data Center)운영
 - 미 우주항공개발국(NASA)과의 관측자료 분석 및 공동연구 (Goddard Space Flight Center)
 - 태양자료 분석센터(SDAC : Solar Data Analysis Center)에서 SOHO 위성 등 위성측정자료 분석
 - 우주전파환경 Network을 구축, 우주전파환경관련 모델 제공

- 대기, 자기권, 방사권대, 태양활동, 우주폐기물, 궤도 역학 등 연구
- GOES, WIND, ACE, STEREO 등 태양활동 감시위성과 전 세계 우주전파관측센터의 지상관측시설을 이용한 우주전파환경의 실시간 모니터링

나. SWPC 동향

(1) 우주기상예보모델 개발

우주기상예보센터 자체적으로 모델을 개발 하지 않으며, 우주환경 관련 학계 및 연구기관에서 개발된 예보모델 중에서 채택하여 검증 후 사용.

(2) 우주기상예보센터 예보모델 채택 절차

- 예보서비스 수요자가 분야별 예보서비스 결정.
- 학계와 연구소에서 모델개발 및 개선연구 수행.
- 우주기상예보센터가 Test-bed에서 모델운용 시험한 후 예보모델로 채택.
- 즉, 우주기상예보센터는 대학이나 연구소의 연구결과 중 현업에 적용 가능한 모델을 중심으로 현업화 하는 것이 주요 업무이고, 이에 필요한 전산 시스템도 다른 연구소의 장비를 이용 중임.

(3) 우주기상모델 개선

우주기상예보센터가 현재 직접 모델개발·개선을 위한 예산을 확보하지 않고 있으나, 향후 모델개발 및 개선연구를 우주기상예보센터에서 수행할 계획임.

(4) 위기관리 체계

- 미국의 경우 우주전파환경 예·경보 발령 시 위기관리에 대해 현재 법률적인 구속이 없음. 그러나 항공분야에 대해서는 가까운 시기에 우주환경이 법률적인 구속력을 가질 수 있음.
- 우주환경의 변화로 인해 통신이 두절될 경우 항공법을 위반하는 결과를 초래 하므로 항공사들과 우주환경 경보 제공 등의 활동을 활발하게 진행 중임.
- Cross Polar Working Group을 중심으로 극궤도 운항 항공사들과 우주환경전문가들이 모여 현실적인 대처법 논의 중(대한항공은 현재 미 참여).



그림 1-12 우주환경 예보실 내부구조

1-2. 스웨덴 IRF(Institut for RymdFysik)

스웨덴 우주물리 연구소 (Swedish Institute of Space Physics)인 IRF (Institut for Rymdfysik)는 스웨덴 왕립 과학아카데미 산하 소속의 정부 출연연구소로서 직원들은 모두 공무원 신분이다.

가. 개요

(1) 조직

- 지구의 상층대기, 이온층 그리고 행성의 자기권에 대한 현상을 전문적으로 연구하며, 키루나(Kiruna)에 본부를 두고 우메아, 읍살라 및 룬드(Lund)에 연구그룹으로 구성됨.
- 연구비는 스웨덴 정부로부터 전체 연구비의 약 50%의 직접출연을 받으며, 국가 연구위원회, ESA(5~10%), EU 등으로부터 나머지를 연구비가 지원되고 있음.



그림 1-13 IRF 홈페이지 메인화면

(2) 연구인력 : 104명

- 우주물리 연구소 인력은 총 104명으로 키루나 본부에 67명, 룬드 5명, 우메아 7명 그리고 읍살라에 25명이 근무하고 있으며, 그 중 37명이 박사학위를 가진 과학자들로 다양한 우주환경 관측기기를 자체 개발하고 있음.

(3) 연혁

- 1957년 : 스웨덴 왕립 과학아카데미 산하 키루나 지구물리 관측

소(KGO)로 시작.

- 1973년 : 키루나 지구물리 연구소(KGI)로서 정부출연연구소로 독립
- 1987년 : 스웨덴 우주물리연구소(IRF)로 확대개편



그림 1-14 스웨덴 우주물리 연구소의 구성

(4) IRF 주요기능 및 임무 (IRF의 상세 수행 업무는 붙임 6. 참조)

- 이온층 관측, 지구자기장 관측, 오로라 광학관측 및 전파 관측을 위하여 Kiruna 관측소를 비롯하여 Lycksele 관측소, Uppsala 관측소 등에 Magne-tometer, Riometer, All-Sky Camera, Ionosonde, MST radar 등을 설치·운용하며 정기적인 관측을 함과 동시에 Astrid 및 Freja 위성의 자료도 수신 및 분석 수행.
- 룬드 그룹은 자체개발한 시스템을 사용하여 Space Weather에 대한 모델링과 예보를 수행하며, 우메아 그룹은 대기에서의 infra sound 전파를 연구하고 옅살라 그룹은 옅살라 대학과 함께 Space Plasma에 대한 이론적인 연구를 수행.

나. IRF 동향

(1) 예보 프로그램의 개발

- IRF는 아래와 같은 이유로 scratch 모델 (초기부터 직접 개발하는 모델)로부터 예보 프로그램을 개발하고 있음.
 - 기 개발된 상용 예보 프로그램을 사용하게 되는 경우 예보 모델의 업그레이드와 유지보수 어려움.
 - 세계 각국의 관측소로부터 접수되는 입력 데이터의 사용이 용이함.
- 스웨덴은 자체 개발된 예보 프로그램의 검증 후 우주전파환경 예·경보에 활용하고 있음.



그림 1-15 스웨덴 IRF의 예보 시스템

(2) 위기 관리 체계

- 스웨덴의 경우 우주전파환경 예경보 발령 시 위기관리에 대한 법률적 구속이 없으며, 수요기관의 자발적인 조치에 의해 관리되고 있음.
- EU 등에서 위기관리를 위한 규제 작업 움직임이 있으나, 정부차원의 규제를 위한 구체적인 법제화는 현재까지 없으며, 일부에서

Cosmic Ray에 대한 DOSE를 바탕으로 비행규제는 시작하고 있음.

- 대부분의 규정들은 EU에서 관리하므로 개별 국가들은 자체 위기 관리체계를 운영하지 않음.

1-3. 유럽 ESA (European Space Agency)

1975년에 설립되어 프랑스 파리에 본부를 두고 있는 유럽 우주청(ESA)은 EU통합과 함께 우주환경 분야에서도 국가 단위보다는 EU 전체로 활동을 하고 있다. 특히 우주환경 자료 및 정보들이 미국 주도하에 움직이는 것에 반하여 독자적인 우주환경예보 능력 소유와 독자적인 우주전파 환경정보 시스템을 구축·운영하려는 방향으로 진행하고 있으며, 유럽의 우주산업을 발전시키고, 지속적인 투자가 유럽 각국에 이익을 가져다 줄 수 있도록 보장하기 위한 목적으로 연구를 수행하고 있다. 유럽은 미국에 비해 후발주자이지만, EU 가입 국가들 간의 조직적인 역할 및 비용 분담을 통하여, 우주환경 관측 위성 제작, 센터 수립, 연구 분야 등에 많은 투자를 하고 있다.

가. 개요

- 목적 : 유럽 우주개발계획을 통합하여 효율적으로 추진하기 위함
- 설립 : 1975년 5월
- 주요활동 : 아리안 발사, 유럽 우주산업의 경쟁력 강화
- 참여국가 : 오스트리아, 벨기에, 덴마크, 핀란드, 프랑스, 독일, 그리스, 아일랜드, 이탈리아, 룩셈부르크, 네덜란드, 노르웨이, 포르투갈, 스페인, 스웨덴, 스위스, 영국 등 17개국
- 인원 : 약 2000여명
- 예산 : 29억 4백만 유로 (2007년)
- 주요 연구소
 - ESTEC(European Space Research and Technology Centre)

- ESOC(European Space Operations Centre)
- ESRIN(The ESA Centre for Earth Observation)
- EAC(European Astronaut Centre)



그림 1-16 ESA 홈페이지

나. ESA 우주전파환경 서비스 현황

(1) 우주전파환경 예·경보

- 고위도 극지방, 오로라 지방의 전리층 예보
- 저위도 적도지방의 전리층 예보
- 중위도 전리층 예보

- 우주와 지구의 통신 관련 교란 경고
- 지자기 활동 경고
- 코로나 질량 방출(CME) 관측 정보
- X-ray 플레어 관측 정보
- GPS 정확도 정보
- 모든 조용한 정보의 시작과 끝점

(2) SOHO에서 받은 태양 및 행성간 공간 이미지

- 5분 간격 태양 X-ray 플럭스
- 고에너지 양성자 플럭스
- 흑점의 개수
- 최근 태양 이벤트 등

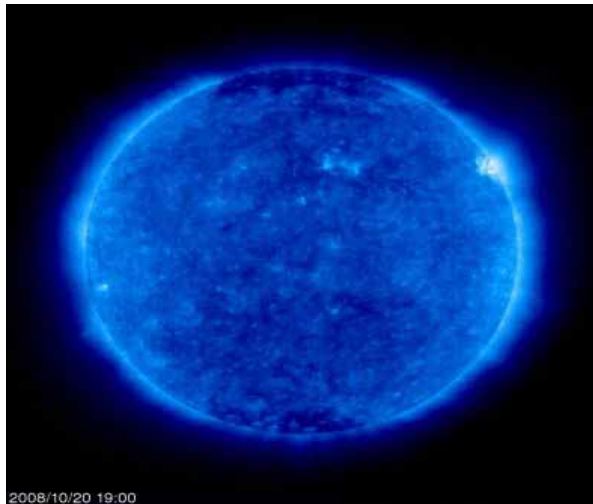


그림 1-17 SOHO 위성의 EIT 171 Å 이미지

(3) 자기권

- GOES 위성에서 받은 데이터를 바탕으로 고에너지 입자 (2MeV 이상의 전자, 1, 10MeV 이상의 양성자) 플럭스 제공
- Ap 지자기 지수, Kp 지수의 변화 제공
- 실시간 자기 권계면, bow-shock 모델 확인

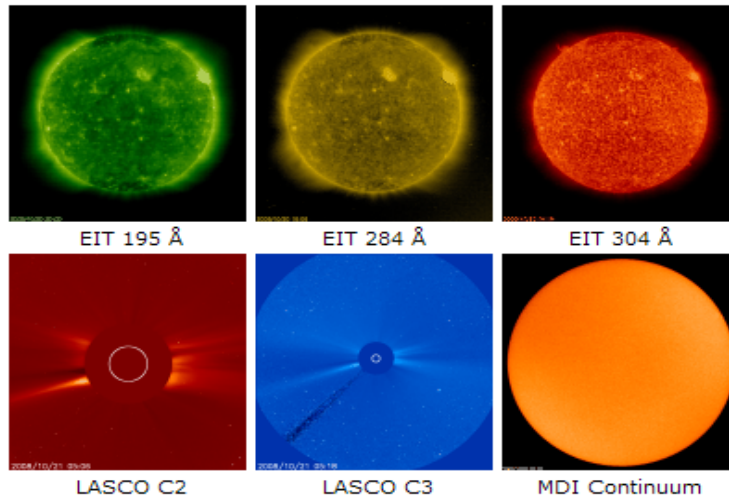


그림 1-18 SOHO/MIT의 다른 파장 이미지

다. ESA 내 유럽 각국의 연구기관 및 동향

(1) 그리스

- National Observatory of Athens (NOA), National and Kapodistrian University of Athens (NKUA) 등 7개의 관련 연구소와 대학이 활동
- 태양 활동과 영향, 전리층 연구

(2) 영국 RAL (Rutherford Appleton Laboratory)

- Space Weather 모니터링 및 전리층 관련 연구

(3) 러시아 우주연구소(IKI)

- 고에너지 천체물리연구 (High Energy Astrophysics)
- 행성탐사 연구 (Planetary Exploration)
- 우주플라즈마 물리연구소 (Space Plasma Physics)

- 위성궤도 역학연구 (Satellite Situation Center)
 - 위성궤도 계산을 기초로 위성궤도 환경분석 연구
 - 위성궤도 및 위치상태 예측연구
- 우주전파환경 감시 (Environment Monitoring)
- 우주전파환경정보 시스템 (Information System) 운용

(4) 핀란드 Oulu 대학 우주물리 연구팀

- 전리층/ 자기권 물리연구, CASSINI 위성을 통한 태양풍 및 타 행성 관측

(5) 벨기에 기상 및 항공관측소(OME) 우주항공연구소 (BIRA-LASB)

- 우주물리 및 환경 영역의 balloon, rocket 및 위성 borne 실험, 측정

(6) 프랑스 RWC 센터

- 우주전파환경 관련자료 제공, 예보

표 1-4 유럽 주요국가의 우주전파 연구기관 현황

국가명	기관명	설립 연도	주요 기능	연구인력
영국	Rutherford Appleton Laboratory	1921	우주개발, 우주전파환경예보, 관측업무 수행	1200명
스웨덴	Swedish Institute of Space Physics	1957	우주물리, 관측업무 수행	80명
그리스	National Observatory of Athens	1960	우주전파 환경예보, 관측업무 수행	30명

※ 영국의 경우 200여명의 조직이 우주전파환경 연구업무를 수행

※ 유럽 주요 연구소의 상세 수행업무는 붙임 7. 참조

1-4. 호주 IPS (Ionospheric Prediction Service)

호주의 우주기상 서비스는 호주 정부의 산업 관광자원부 소속인 IPS 전파 우주국에 의해 제공된다. IPS는 호주 우주기상 예보센터를 관리·운영하며, 우주 환경 변화로부터 영향을 받는 다양한 분야의 많은 사람들에게 광범위한 서비스를 제공하고 있다. 이 서비스를 제공하기 위해 IPS는 호주 전 지역에 태양, 지자기 및 이온층의 상태를 감시하는 관측소망을 갖고 있고, 여기에 호주 동부의 쿨구라에 위치한 태양관측소와 호주 서부의 러먼스 태양관측소(미 공군과 공동으로 관리)가 포함되어 있다. IPS는 우주기상상태를 지속적으로 감시하는데, 필수적이고 광범위한 국제 자료에 접근할 수 있다. IPS 우주기상 서비스는 팩스나 전자메일로도 제공되지만, 대부분이 인터넷 국제전산망인 월드 와이드 웹을 통해 고객에게 제공된다. IPS는 고객에게 지원할 우주기상자료의 수집을 위해 호주지역 및 남극에 위치한 관측소들의 광범위한 관측망을 운영하고 있으며, 유사한 업무를 담당하고 있는 전세계의 우주기상 전담기관들과 밀접하게 정보를 교환하고 있다.



그림 1-19 호주 IPS 홈페이지 메인화면

가. 개요

IPS는 호주의 정부 출연연구소로서 시드니에 본부를 두고 있으며 소속원은 모두 공무원 신분이다.

(1) 임무

- 지구의 이온층, 지자기 그리고 태양 자기권에 대한 현상을 연구하는 전문기관으로서, 시드니에 본부를 두고 러머스 및 쿨구라 지역에 태양, 지자기 및 이온층 측정을 유인관측소를 두고 있으며, 타운스빌 등 16개 지역에 주로 전리층 및 지자기 측정을 위한 무인관측소를 운영하고 있음. 이중 2개소는 GPS 및 TEC 신틸레이션 측정을 함께 하고 있음.
- 이온층 관측 및 지구자기장 관측을 위하여 16개 무인지역에는 ionozonde 및 magnetometer 등 장비를 이용하여 전리층 및 지자기 관측과 분석을 수행하며, 유인관측소인 러머스 및 쿨구라 지역은 ionozonde, magnetometer, solar telescope, heliostat, schmidt-cassegrain 및 radiospectrograph 등 장비를 이용하여 태양활동, 이온층 및 지자기 관측과 분석을 수행하고 예측결과는 Australian Space Forecast Centre로 보내 경보를 발령.
- 시드니 본부에서는 자체개발한 시스템을 사용하여 각 관측소에서 접수된 데이터를 이용하여 space weather에 대한 모델링과 예보를 수행하며, 시드니 대학과 공동으로 모델링 연구를 수행.
- 호주 관측소에서 수집된 관측자료의 데이터베이스화 및 ISES를 통한 국제자료교환 및 협력 수행.

(2) 조 직

- IPS는 호주 Department of Environment, Water Resources and the Arts 소속의 정부산하기관으로서 본부는 시드니에 있으며, 러머스 지역과 쿨구라 지역에 태양관측 유인시설을 설치하고 있으며, 그리고 16개 지역에 무인시설을 설치하여 전리층 관측을 수행.
- 시드니 본부는 기술자문 및 개발, 고객서비스, IT 서비스 및 엔지니어링 부분으로 구성.

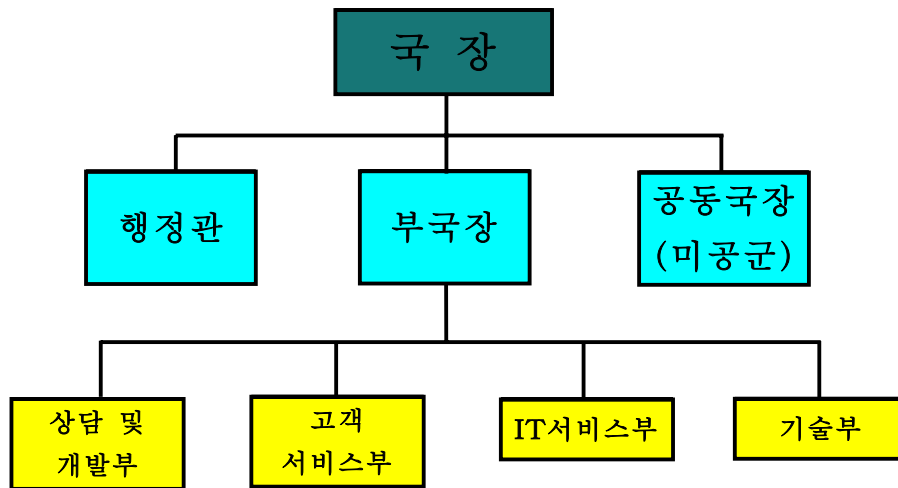


그림 1-20 IPS 조직도

(3) 연구인력 : 46명

- IPS의 인력은 정직원 35명 내외와 서비스 제공직원 10여명 정도로 대부분 박사학위를 가진 과학자들로 구성되어 있으며 다양한 우주환경 관측기기를 자체 개발하여 사용.
- 유인 센터인 러먼스 지역은 3명의 직원이 미공군과 함께 근무를 하고 있고, 쿨구라 지역은 2주마다 직원이 방문하여 관측장비, 통신장비 및 전원장비 등을 관리하고 있으며 평상시에는 인터넷을 이용한 원격 제어로 관측을 수행.

(4) 연혁

- 1948년 : HF 예측 및 전리층 관측소로 출발
- 1957~1959년 : 전리층 관측소 확대
- 1970년 : 쿨구라 태양관측소 설치
- 1978년 : 러먼스 태양관측소 설치(미국 공군의 기상관측소 및 우주관측소에 의해 러먼스 지역에 태양관측소 설치)
- 1990년 초 : 관측장비 자동화 구축(one person station)
- 1990년 말 : 관측소 관측데이터 송신을 위한 인터넷 환경 구축

(5) IPS 주요기능 및 업무

IPS는 호주 국립전파통신 및 우주기상서비스를 제공하는 호주 우주기상국으로서 주요기능은 다음과 같다.

○ 주요 기능

- HF 전파 통신 및 감시체계
- 지구탐사 전력 시스템보호 및 장거리 파이프라인 보호
- 위성 및 우주선 운영
- 우주환경분야의 국내외 연구 지원

○ 주요 업무

(IPS의 상세 우주환경 예·경보 및 서비스는 붙임 8. 참조)

- 1949년에 설립 당시 대부분 단파통신 지원업무만 수행 해 왔기 때문에, 현재 단파 사용자들이 IPS의 중요한 고객이 되음 있음.
- 최근 방위군과 긴급서비스 고객들이 증가하고 있으며 사회 전반에 걸쳐 많은 단체들이 IPS 서비스의 중요 사용자가 되고 있음.
 - IPS 전파 우주국은 적시에 신뢰할만한 전파 통신상태 및 우주 날씨 안내를 호주 사회에 제공
 - IPS는 방위, 통신, 항공, 지구탐사, 우주활동 국내외 과학계 전 분야의 고객들 대상으로 포괄적인 서비스 제공
 - 호주 방위부, 항공부, 교통부, 세관, 해상 안전국, 라디오 방송, 국가 경찰 비상국, 콰타스·안셋 및 여타 항공사
 - 뉴질랜드, PNG(파푸아 뉴기니아) 방위군
 - Optus 통신, Telstra(호주 텔레콤 Telecom Australia)
 - 지구탐사 관련 기업
- 우주환경 업무
 - 우주환경 예·경보 업무
 - 태양 플레어 활동, 태양폭발 등의 감시
 - ACE, GOES, SOHO 위성 등의 자료분석을 통해 실시간 우주기상 정보발령 및 웹, E-mail 등을 통하여 관련 정보 제공

- 태양 및 우주환경 관측시설 개발 및 운영
- 지상·위성관측 자료분석 및 우주기상 보고서 발간
- 우주기상 주의보, 경보 및 예보 서비스 실시
- 우주기상 교란 요인분석 및 연구
- 우주기상 사용자에게 대한 교육
- WDC에서 데이터 분석 툴을 개발하여 태양 활동의 물리적 이론 연구 및 모델 개발
- 지자기권 변화, 고에너지 입자 등에 대한 지속적인 관측
- 데이터베이스 시스템 운영
 - 우주환경 예보서비스 총괄을 위한 국제 우주환경 서비스 (ISES) 와 협력을 하며 데이터 공유 및 정보 제공
 - ISES의 호주 지역경보센터(RWC) 운영
 - 호주 ASFC(Australian Space Forecast Center)에 태양관측자료, 전리층 자료 및 지자기 자료 등의 데이터베이스를 구축하여 운용
- 우주환경 영향 및 경보 발령
 - 태양풍에 의한 지구자기장 교란에 따른 지자기 폭풍의 영향 분석 및 경보 발령
 - 태양 고에너지 입자에 의한 지구 주변의 방사능 피폭에 따른 태양 복사풍(Solar Radiation Storms) 영향 분석 및 경보 발령
 - 태양 X-ray에 의한 전리층 교란에 따른 전파통신 장애(Radio Blackouts) 영향 분석 및 경보 발령

1-5. 일본 NICT (National Institute of Information and Communications Technology)

일본 정보통신 연구기구(NICT)의 연구 그룹에 속해있는 우주환경 연구 그룹은 인류 활동에 영향을 미치는 우주환경을 보다 정확하게 예보하는데 기여하고 있다. 실시간 SOHO 태양 이미지, 흑점, 플레어,

태양풍, 자기 폭풍 등의 상태를 한 눈에 볼 수 있는 차트를 제공한다. 또한 NICT의 우주환경센터는 위성과 지상 관측소로부터 태양의 X-ray 플럭스, 고에너지 입자 플럭스, 자기장, 태양풍의 속도와 밀도, 지자기 활동 등을 실시간으로 관측하여 매일 6:00 UT에 우주환경예보를 하고 있다. 또한 아래와 같은 desktop viewer를 통하여 실시간 우주환경을 확인할 수 있는 서비스를 제공하고 있다.

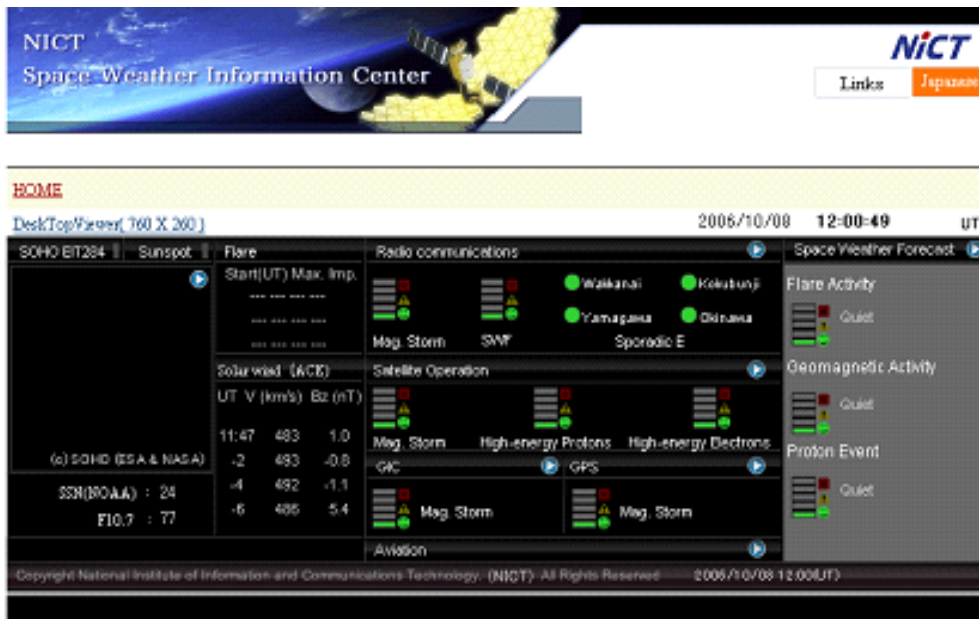


그림 1-21 NICT 홈페이지의 우주환경 정보서비스 화면

가. 개요 및 조직

- 우정성 산하 통신총합연구소 우주과학부 및 히라이소 우주환경 센터
- 연구인력 : 40여명
- 운영목적
 - 단파통신에 대한 예·경보
 - 우주환경 자료의 수집 및 분석
- 자국 내 오키나와(Okinawa), 와까나이(Wakkanai) 등 관측소 설

치 운영

- 우주기구(JAXA), 나고야 대학, 문부성 등 관계기관과 연계를 통한 연구 인프라 구축
- 조직 : 우주환경 그룹은 3개의 연구그룹 중에서 3번째 그룹에 소속

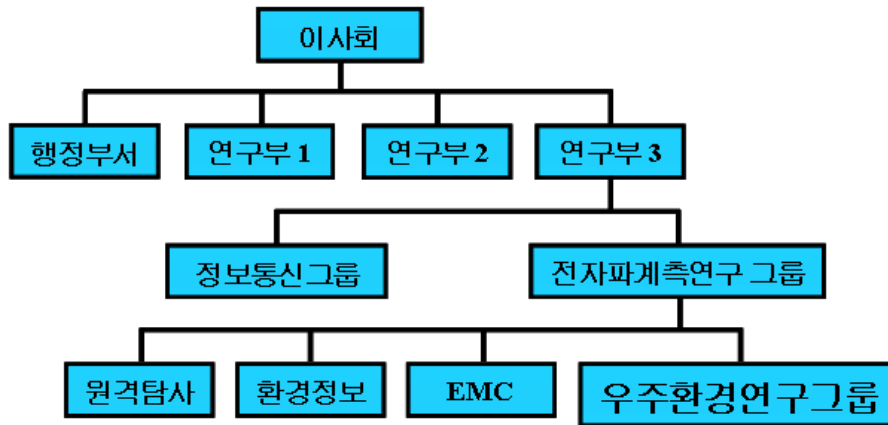


그림 1-22 NICT 조직도

나. 우주전파환경 예·정보 및 서비스

- 태양흑점, 플레어, X-선 플럭스, F10.7 지수 예·경보
- ACE 위성으로부터 받은 태양풍 데이터, 전자 양성자 플럭스, 지자기 활동(K-지수로 표현) 자료 서비스

2. 국내 현황 및 문제점

가. 국내 현황

(1) 전파연구소

전파연구소에서는 1966년부터 전리층 관측을 시작으로 우리나라의 우주전파환경연구를 수행하고 있다. 전파연구소에서 1966년부터 지속

적으로 수행하고 있는 전리층 관측은 단파 사용자에게 전리층 단파 교란에 대한 정보로 제공해 왔으며 1966년부터 관측을 통해 확보한 전리층 자료는 매우 가치 있는 자료로 평가되고 있다. 특히 1980년대까지 주요 무선통신에 단파대역이 사용되고 있었는데, 단파통신은 전리층 반사를 통해 이루어지기 때문에 전리층 관측이 중요한 요소이기 때문에, 전파연구소에서 축적하고 있는 전리층 관측 자료를 토대로 단파대역 최적주파수를 군, 방송사, 해운사 등 관련기관에 예보 해 왔다. 1990년 이동통신 등 새로운 무선서비스의 등장은 기존의 전리층 단파 교란 연구 외 태양폭발시 발생하는 태양전파와 고에너지 입자에 의한 전리층 및 지자기 교란으로 지상의 무선서비스에 심각한 장애를 야기하는 태양전파 및 지자기까지 연구영역이 확대되었다. 이에 따라 전파연구소는 1995년 태양전파관측기와 지자기관측기를 설치하여 태양폭발 유형분석, 지자기 폭풍 감지 등 우주전파환경에 대한 기초연구를 실시하고 있다.

최근, 무선통신서비스가 유비쿼터스화로 진화함에 따라 새롭게 등장하는 다양한 유무선 서비스의 안정적 운용을 위한 체계적이고 지속적인 우주전파환경 연구의 중요성이 급증하고 있다. 즉, 모든 기기와 사물이 유무선 네트워크로 연결된 유비쿼터스 환경에서 급격한 우주전파환경변화는 태양전파 노이즈의 영향에 의한 RFID, Wibro, ITS 등 사회 인프라 서비스에 동시 다발적인 장애가 발생시켜 막대한 사회적 혼란 초래와 본격적인 우주시대 도래에 따라 증가하고 있는 위성발사 및 운용 등 우주개발활동에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 이에 따라, 전파연구소 이천 분소에 설치된 태양전파 관측기는 동적 스펙트럼(dynamic spectrum)을 이용한 태양 코로나에서 발생하는 충격파의 속도 계산을 통해 지구까지의 도착 시간 예측, 태양 전파폭발의 발생순간 포착 및 Type II burst의 시간당 주파수 변화로부터 태양 코로나에서 발생한 충격파의 속도를 측정하고 있다. 30MHz ~ 2500MHz 대역의 태양전파를 관측할 수 있는 2개의 파라볼릭 안테나와 1개의 대수주기 안테나로 구성되었고, 1995년에 설치하여 관측자료를 지속적으로 확보하고 있으며, 1997년 처리 및 분석용 소프트웨어를 자체 개발하여 본격적인 태양전파 관측을 이용한 태양전파폭발의 유형과 특성연구를 수행하고 있다. 그리고 1997년 이천과

용인(경희대), 그리고 제주도(제주대)에 지자기 연속관측시스템 구축을 완료함으로써 한반도 지역에서의 위도별 지자기 변화를 실시간으로 모니터링하고, 코로나 질량방출(CME)과 플레어에 의한 자기권 격변(SC: Sudden Commencement) 또는 자기폭풍을 관측하고 있다.

표 1-5 전파연구소의 관측시설 및 데이터 활용

관측시설	관측데이터	데이터 활용
태양전파 관측기 (이천)	30MHz ~ 2500MHz 전파 스펙트럼	태양 폭발 유형 분석
지자기 네트워크 (이천, 용인, 제주)	3축 성분의 지자기 변화 및 지자기 총 세기 변화	지자기 폭풍 감시
전리층 관측기(안양, 제주)	Ionogram	전리층 상태 단파 최적 주파수 감시

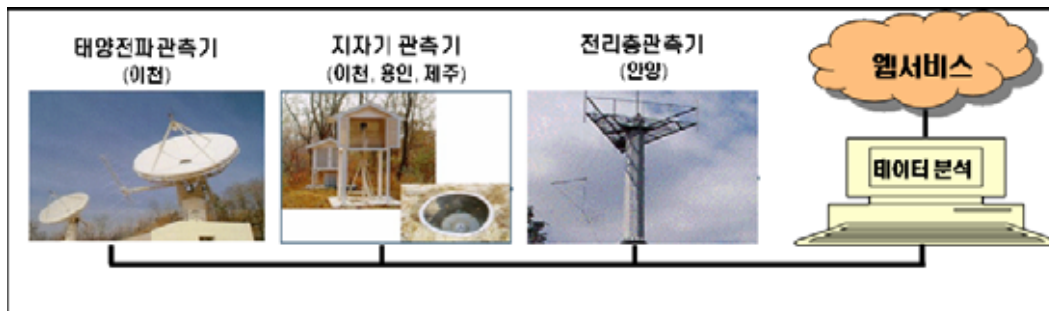


그림 1-23 전파연구소 관측 네트워크

○ 태양전파 관측

- 태양전파 관측시스템

전파연구소는 1995년 세 개의 안테나로 30MHz ~ 2500MHz 대역의 태양전파를 관측할 수 있는 광대역 태양전파분광시스템 (Solar Radio Spectrograph)을 설치하였다. 대수주기 안테나 (Log Periodic Antenna)는 30MHz ~ 100MHz, 10m 파라볼릭 안테나는 100MHz ~ 500MHz, 그리고 6m 파라볼릭 안테나는 500 MHz ~ 2500MHz 대역의 태양전파를 수신하고 있다. 1일 관측

은 안정된 관측시스템의 운용과 관측데이터의 정확한 처리 분석을 위해 개발된 운용 소프트웨어에 의해 데이터 취득에서 실시간 데이터 서비스에 이르기까지 자동으로 이루어지고 있다. 또한 자료 분석을 통해 각 유형의 태양전파폭발 현상을 규명하고 태양 대기에서 진행하여 오는 충격파의 속도결정을 위한 연구를 수행하고 있다.

- 태양전파폭발 유형 관측

코로나 충격파의 속도는 지자기 폭풍을 일으키는 태양-지구간 충격파의 초기속도로 사용되기 (Dry and Smart, 1984) 때문에 태양활동에 의한 우주환경변화를 예측하는데 매우 중요하다. 태양전파폭발은 플레어 발생 직후 수 분 내에 뒤따르며 메타파(30MHz ~ 300MHz)에서 데시메타파(30MHz ~ 3000MHz) 대역에 걸쳐 수 초에서 수 시간동안 지속되는 다양한 스펙트럼 구조를 갖는다. 이러한 이유로 태양전파폭발에 관한 관측은 비교적 넓은 대역의 전파를 수신할 수 있는 안테나가 필요하며, 이를 이용하여 전파연구소에서는 시간에 따른 상대적 전파강도의 변화를 표현하는 동적 스펙트럼(dynamic spectrum : 횡축은 시간, 종축은 주파수)으로 표현되는 전파방출 구조, 방출 주파수 변화 및 지속시간에 따른 (표 1-6)와 같은 5개 유형의 태양전파폭발 분류와 관련 현상을 연구하고 있다.

표 1-6 태양전파폭발 유형 분류 및 관련 현상

유형	특징	관련현상
Type I	짧은 주파수 대역에서 연속 전파방출, 수시간에서 수일동안 지속	Eruptive Prominence Geomagnetic Storm Ionospheric Storm
Type II	고주파수에서 저주파수로 천천히 하강, Fundamental, Harmonic 구조, 수분에서 수십분 동안 지속	태양 코로나 충격파 우주환경변화의 주요 징후 Geomagnetic Storm
Type III	고주파에서 저주파로 급격히 하강 집단으로 발생, 수십초간 지속	태양플레어에 의한 고속의 전자빔
Type IV	플레어 관련 광대역 연속 전파현상 Stationary, Moving Type IV로 분류	태양 Plasmoid
Type V	Type III group과 함께 발생 1~2분간 지속, 구분하기 힘들	고속의 전자빔

- 관측자료 분석 요약

태양활동 현황 및 예보를 위해서는 분석결과를 일정한 형태로 요약하는데 이를 위해 전파연구소는 국제천문학회의 태양활동 분기보고 (QBSA : Quarterly Bulletin on Solar Activity, 975) 매뉴얼에 준한 태양전파 요약표(표 1-7)를 만들고 있다. 태양 스펙트럼 관측자료의 분석은 각 유형별 전파폭발 스펙트럼으로부터 관측 시간, 관측소, 전파폭발의 시작 및 종료 주파수, 세기, 유형 등으로 나누어 분류한다. 전파폭발의 시작 및 종료 주파수는 데시메터파(300MHz ~ 3000MHz) 영역, 메터파(30MHz ~ 300MHz)영역으로 분류되고, 전파폭발의 세기는 정량적(1=weak, 2=moderate, 3=strong)으로, 혹은 1 태양속 단위(SFU)의 전파속 세기에 따라 정성적(1은 50SFU 미만, 2는 50 이상 500 미만, 그리고 3은 500 이상)으로 3 단계로 나누어 분석된다. 전파폭발 유형은 방출 주파수의 유형과 시간에 따라 5개의 유형으로 분류된다. (표 1-8)은 국제적으로 통용되는 태양전파폭발의 세부분류 기호를 정리한 것이다.

표 1-7 태양전파 관측자료 분석 요약 도표

DEC 2000	Time of obs.		Station	Events						Spectra 1 Type	Pol & Position Remark
	Start	End		Decimetric Band			Metric Band				
				Start	End	INT	Start	End	INT		
1											

표 1-8 태양전파분석을 위한 기호 요약 및 내용

기호	내용	기호	내용
B	단일 폭발	RS	역 드리프트 전파폭발 (reverses lope burst)
G	10 개 이하의 폭발군	DP	이중 드리프트 구조(drift pairs)
GG	10 개 이상의 폭발군	DC	드리프트 고리 구조(drift chains)
C	연속전파방출	H	Herring bone 구조
S	전파폭발과 관련된 간헐적인 전파방출	W	약한 전파폭발
		P	맥동형
N	간헐적인 활동	MOV	이동형 (Type IV)
U	U 모양 전파폭발	STA	정지형 (Type IV)

○ 전리층 관측 및 예보

- 전리층 변화 관측

전리층 변화 현상은 일일, 계절, 위도, 태양활동 주기에 따른 변화 등 크게 네 가지로 나누어진다. 일일변화는 전리층 생성의 주요한 원인인 태양 복사의 존재 유무에 따라 밤과 낮의 전자밀도가 차이가 발생하게 되며, 야간에는 F1, F2 층의 구분이 사라진다. 계절 변화는 사계절에 따라 F2 층의 높이가 변하는데 우리나라의 경우 춘, 추분에서 F2 층의 임계주파수인 foF2 값이 연중 최대값을 가지며 여름과 겨울에는 상대적으로 낮게 측정된다. 전

리층은 저위도, 중위도, 고위도마다 변화 양상이 각기 다르게 나타나며 태양 활동 주기에 따라서 foF2 측정값이 2배 이상 차이가 나기도 한다. 특히 태양활동 주기 변화는 foF2 값의 변화를 가지고 예측이 가능할 정도로 태양활동과 밀접한 관계가 있어, 전파연구소에서는 전리층 변화를 지속적으로 관측하고 있다.

- 전리층 관측시스템

전파연구소는 높이에 따른 전리층 플라즈마의 전자밀도의 분포 측정은 전파를 수직 입사하여 전리층내의 여러 전자층에 반사되어 오는 전파를 측정하여 전리층내의 전자들의 분포를 높이에 따른 함수로 나타내는 Ionosonde를 통해 관측하고 있다. 전파연구소는 안양과 제주에 Ionosonde를 설치하여 전리층 관측을 수행하고 있다.

- 제주 전리층 관측 시스템
 - 관측 주파수 범위 : 0.1 ~ 30MHz
 - 최대 출력 : 300W
 - 관측 주기 : 15분 간격
 - 관측 고도 : 90 ~ 600km
- 안양 전리층 관측 시스템
 - 관측 주파수 범위 : 0.1 ~ 30MHz
 - 최대 출력 : 300W
 - 관측 주기 : 15분 간격
 - 관측 고도 : 90 ~ 600km



그림 1-24 안양 전리층 관측 시스템

- Ionosonde를 이용한 전리층 관측

- 전리층 관측
 - E, F층 높이
 - 최대 임계 주파수(foF2)
 - 최대사용 주파수
- 전리층 현상과 통신에의 영향 연구
 - 비 정상상태의 전리층 현상
 - 전리층 교란
 - 이동 전리층 교란
 - 전리층 폭풍 (Ionospheric Storm)
 - 스폰타닉 E 현상 (Sporadic E)
 - 통신에서의 문제
 - MF, HF, VHF 전파 흡수 (Short Wave Fadeout)
 - FoF2 변동 (최적 운용 주파수 변동)
 - 전파의 위상, 진폭, 편파 변동
 - Scintillation (GPS 정밀도 에러)
 - HF / VHF 전파간섭

표 1-9 전리층 교란에 의한 통신시스템의 영향 및 관련기관

전파통신분야	전리층 효과	관련기관
HF Communication	- 전파흡수증가 - MUF Depress, - LUF Increase - Fading 증가	- 철도청, 산림청, 기상청, 군, 방송국, 아마추어 무선연맹, 해상 무선 표지국
Surveillance System	- 레이더 감도 감소 - Range 에러, 방위각, 고도에 러	- 군, 공항 공단
위성통신 시스템	- 신틸레이션 - 주파수 간섭	- KT, 온세통신, 데이콤, 한국 디지털 위성방송(주)
Loran-C 항법시스템(GPS) OMEGA	- 위상 및 진폭변동 - 위치에러 - 전리층 반사층의 변화에 의 한 전파 위상의 이상 현상	- 해상 무선 표지국, SK텔레 콤, CDMA 이동전화 기지국, 선박 통신사 협회

○ 지자기 관측

- 지자기 관측시스템

전파연구소는 지자기 연속관측을 통한 통신위성에 영향을 미치는 지구근접 우주환경 연구를 위해 1996년 8월에 이천 및 용인(경희대)에 연속 관측 시스템을 설치하여 pair station으로 운영하고 있으며, 1997년 상반기 제주도에 같은 시스템을 추가로 설치하여, 본격적인 한반도 지역에서의 위도별 지자기 변화를 실시간으로 감시하고 있다. 이천, 용인(경희대) 및 제주(제주대)에 구축하여 운용 중인 지자기연속 관측 시스템은 동일한 성능의 지상 자력계로 구성되어 있으며, 이 자력계들은 H(North-South), D(East-West), Z(Upward-Downward) 등의 지구 자기장 성분의 변화를 측정하는 자기장 3축 센서와 지자기 총 변화량의 절대값을 측정하는 프로톤 센서로 구성되어 있다.



그림 1-25 국내 지자기 관측소(좌)와 지자기 관측기(우)

- 지자기 현상 관측 및 분석

지자기 관측 자료의 분석은 지자기 3축 성분의 변화와 지역 지자기 K 지수를 통해 이루어진다. 지자기 3축 성분의 변화는 지자기 현상을 규정하는데 사용되고 지자기 K 지수는 지자기 활동 정도를 규정하는데 사용된다. 지자기 활동지수 K는 3시간 간격으로 평상시 자기장 값을 기준으로 변동하는 자기장의 평균값을 취하여 log scale에 의해 K0에서 K9까지 10개의 단계로 구분한다. 우주전파환경 변화에 의한 지자기 변화는 (표 1-10)과 같이 분류하고 있다. 이러한 지자기 변화는 평상시 지구자기장에 의해 차단되었던 고에너지의 대전입자들이 지구에 유입되어 인공위성, 통신, 송전설비 등에 문제를 일으키는 등 우리 경제, 사회에 막대한 피해를 입히게 된다.

전파연구소는 프랑스의 CETP(지구행성환경연구센터)의 도움으로 이천, 용인, 제주 관측소의 최대 자기장 변동량과 핀란드 기상 연구소에서 개발한 FMI 코드를 이용하여 관측데이터로부터 K 지수 산출 방법을 수립하였다. 현재 전파연구소는 각 관측소에서 관측되는 최대 지자기 변동량과 적절한 계산 알고리즘을 이용하여 지자기 K 지수를 산출하고 있다.

표 1-10 우주전파환경 변화에 의한 지자기 변동 현상

현상 분류	특징	지속시간
Geomagnetic Storm(SSC)	H성분 급격한 증가(SSC)로 시작, 크게 감소한 후 마침내 회복	1일 ~ 수일
Sudden Impulse (SI)	H성분 급격한 증가(SSC)로 시작되 지만 지자기 폭풍 발생 안함	수시간
Solar Flare Effect (SFE)	태양 플레어에 의한 지자기 변동	수분
Bay	한밤중에 자기장이 증가	1시간

- 지자기 분석 요약

지자기 현상은 (표 1-11)에서와 같이 수평성분의 변화에 따라 섭동, 교란, 지자기 폭풍 등의 10단계로 나누어 기록

표 1-11 지자기 분석에 따른 지자기 현상 구분

기호	의 미	기호	의 미
0	Clam	5	Bay Disturbance
1	Giant Pulsation (ITS Period is short than minute)	6	Impulsive Disturbance
2	Oscillation (PC)	7	Sudden Commencement of Geomagnetic Storm (SSC)
3	Irregulater Disturbance	8	The First Phase of Geomagnetic Storm
4	SFE (Solar Flare Effect)	9	The Main Phase of Geomagnetic Storm

○ 예 · 정보 서비스

- 전파연구소는 (표 1-12)의 전파 정보 등급에 따라 같은 예 · 정보 서비스를 하고 있음.
 - 태양 활동 모니터링
 - 전파 예보 · 정보
- 예 · 정보 서비스는 전파연구소 홈페이지(그림 1-26)를 통해 제공

되고 있으며, 홈페이지에 등록된 기관 사용자의 경우 E-mail이나 문자메세지를 통해 개별적으로 서비스가 제공되고 있다.

표 1-12 전파연구소의 전파 경보 등급

전파 경보 등급 분류					
단계	상황	태양 활동	고에너지 입자	지자기 활동	예상되는 주요 장애 현상
1	일반	M1 이상	10MeV 이상	Kp=5	- 극지방 통신 장애 가능성 - 저고도 위성 궤도 수정 가능성
2	주시	M5 이상	10MeV 이상	Kp=6	- 고위도 HF통신 및 LF항법 장애 발생 - 위성 고도 조절 필요
3	주의	X1 이상	10MeV 이상	Kp=7	- 일시적 HF통신 두절, LF항법 오차 발생 - 위성영상 노이즈 발생
4	경보	X10 이상	10MeV 이상	Kp=8 ~9	- 1시간 이상 HF통신 두절, LF항법 장애 - 위성 위치 추적 장애 발생
5	비상	X20 이상	10MeV 이상	Kp=9	- 2~3시간 이상 HF통신 두절 - 항법 오차 발생 및 위성 통제 장애 발생



그림 1-26 전파 연구소의 전파 예·경보 화면

(2) 천문연구원

한국 천문연구원은 태양활동 연구 및 태양 활동과 지자기 변화의 관련성 연구, 지구 근접 우주환경 변화 연구를 수행하고 있다.

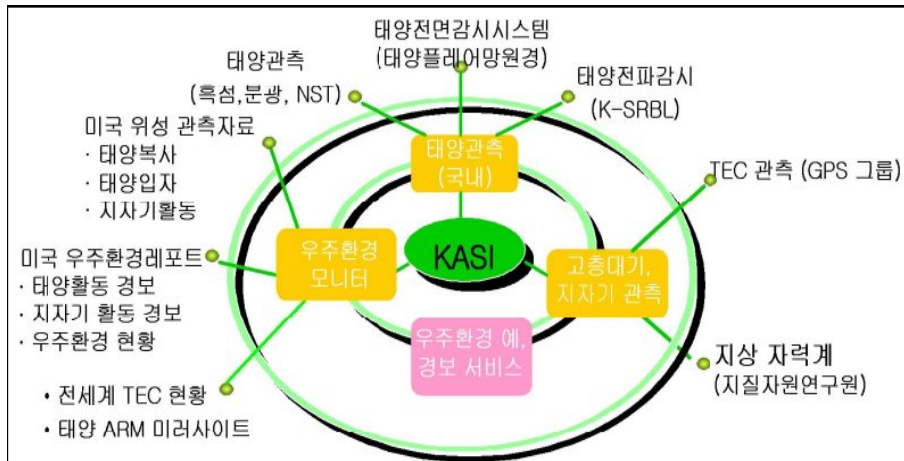


그림 1-27 한국 천문연구원의 연구 업무

(가) 우주환경 관련 연구분야

- 태양활동 연구
 - 자기 나선도와 태양활동 관련성 연구
 - CME - flare - Type II 관련성 연구
 - X-ray 플라스마 분출 연구
 - 필라멘트-CME 운동학적 특성 연구
- 태양활동과 지자기 변화의 관련성 연구
 - CME 물리적 인자와 Dst 지수 관련성 연구
 - CME 지구전달 예보 분석 연구
 - CME 방향과 Dst 지수 관련성 연구
- 지구 이온권 및 고층대기 관측

- F층에서 발생하는 파동현상 관측 및 연구
 - MF Radar를 이용한 이온층 상태 변화 연구
- 지구근접 우주환경 변화 연구
- 위성체 끌림 현상 연구
 - 지구근접 ULF 파동 연구
 - 태양풍과 지상 자력계 변화의 상관성 연구
 - 우주환경 예·경보



그림 1-28 한국 천문연구원의 우주환경예보 화면



그림 1-29 한국 천문연구원의 우주환경 모니터링 화면

(나) 보유 장비

- 태양 플레어 관측 망원경 (Solar Flare Telescope)
 - 고도 1124m 보현산 천문대에 설치
 - 서로 다른 파장을 관측
 - 광구, 채층, 벡터 자기장, 코로나, 홍염 등을 관측



그림 1-30 보현산 태양 플레어 관측 망원경

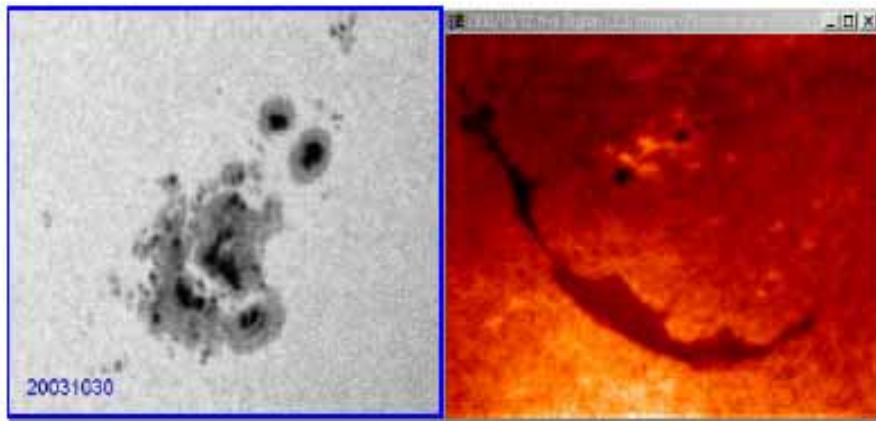


그림 1-31 태양 플레어 망원경으로 관측한 태양 이미지

- 태양 분광 망원경 (KASI Solar Imaging Spectrograph)
 - 2002년부터 관측
 - 대전 한국 천문연구원에 설치
 - 태양의 가시광선 영역의 분광선, 3차원 영상 스펙트럼 등을 관측



그림 1-32 한국 천문연구원의 태양 분광 망원경

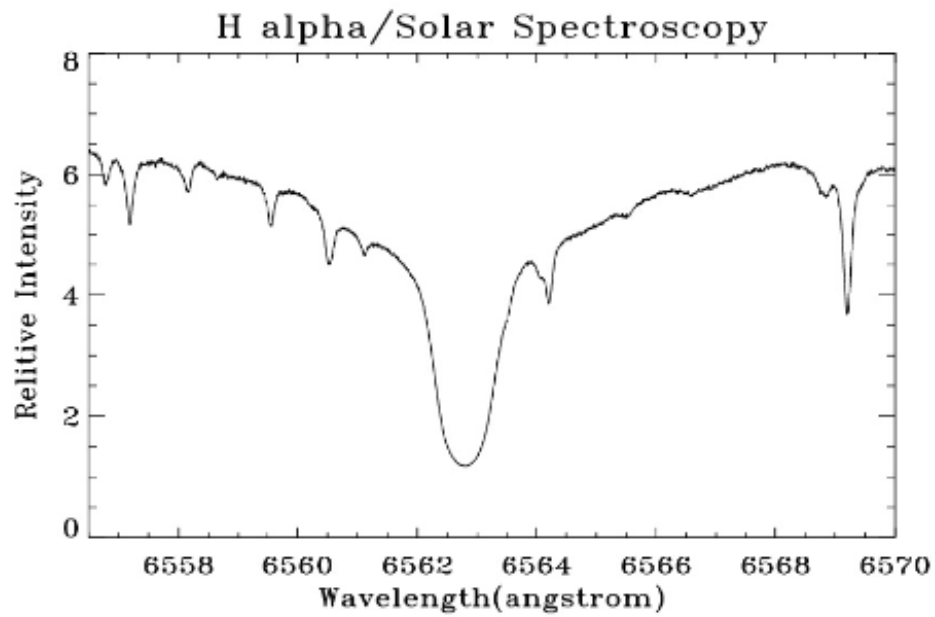


그림 1-33 태양 분광 망원경으로 관측한 분광선

- 전천 카메라(All-Sky Camera)
 - 2008년 3월 시설 및 필터링 세팅
 - 한국천문연구원 보현산 천문대에 설치
 - 전리층을 포함한 상층 대기의 광시야 전천 하늘 관측



그림 1-34 보현산 전천카메라

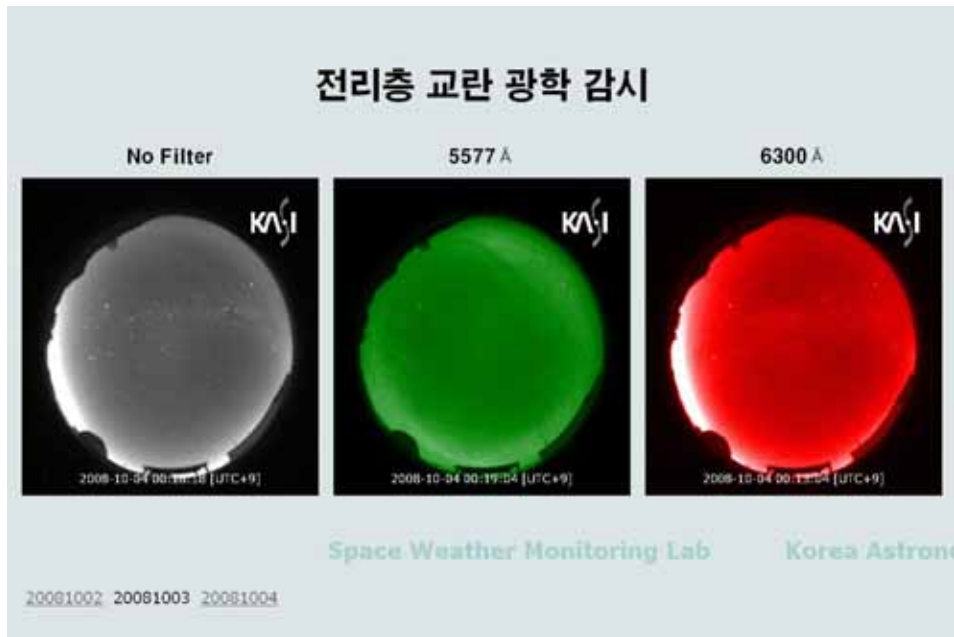


그림 1-35 전천카메라의 실시간 관측 자료 (2008.10.03)

○ VHF Coherent Scatter Radar (설치 예정)

현재 VHF 레이더 공급 업체 중 한곳으로서 호주에 소재하고 있는 Genesis Software로부터 공군과 전파연구소에 제공한 기본적인 CSR 장비 스펙을 제공받고, 세부디자인 결정을 위한 자문을 코넬대학 Hysell 교수로부터 요청하여 현재 장비 구입단계이며, 2009년 상반기에 설치될 예정이다.

(3) 한국해양연구원 부설 극지연구소

극지연구소에서 수행하고 있는 주요 연구 업무는 다음과 같다.

- 남극 세종기지에서 지자기 측정 및 미국 USGS로 자료전송
- 남북극 기지 및 스웨덴에 고층대기 관측 장비 설치·운영
- 중간권 상부 및 열권 하부 온도 지속적 관측

(가) 지자기 관측(상시 관측)



그림 1-36 극지 연구소의 지자기 센서 및 관측실

(나) 고층대기(MLT region) 및 전리층 관측 · 연구

○ VHF Meteor Radar

- 지구 대기로 진입하는 유성체가 마찰열로 인해 플라즈마 꼬리를 만들고, 이 플라즈마 꼬리에 특정 전파가 반사되는 원리를 이용하여 해당 고도의 대기에 관한 여러 가지 물리적 특성 연구
- 유성꼬리에 반사되어 되돌아오는 전파를 5개의 수신안테나에서 동시에 수신하면 그 위상차(phase difference)로부터 유성의 위치(방향 및 거리)를 결정할 수 있고, 많은 수의 유성들을 관측(20000 개 이상/24hr)함으로써 해당 고도에서의 바람 및 온도 정보를 얻음



그림 1-37 남극세종기지에 설치한 유성 레이더

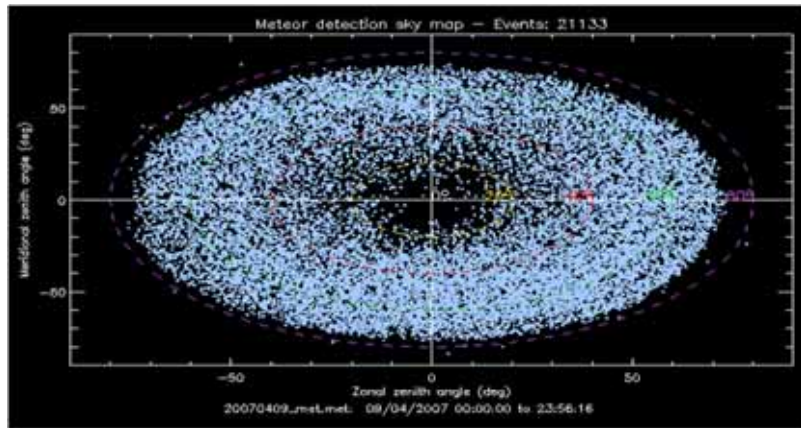


그림 1-38 유성 레이더로 관측한 유성들의 공간 분포

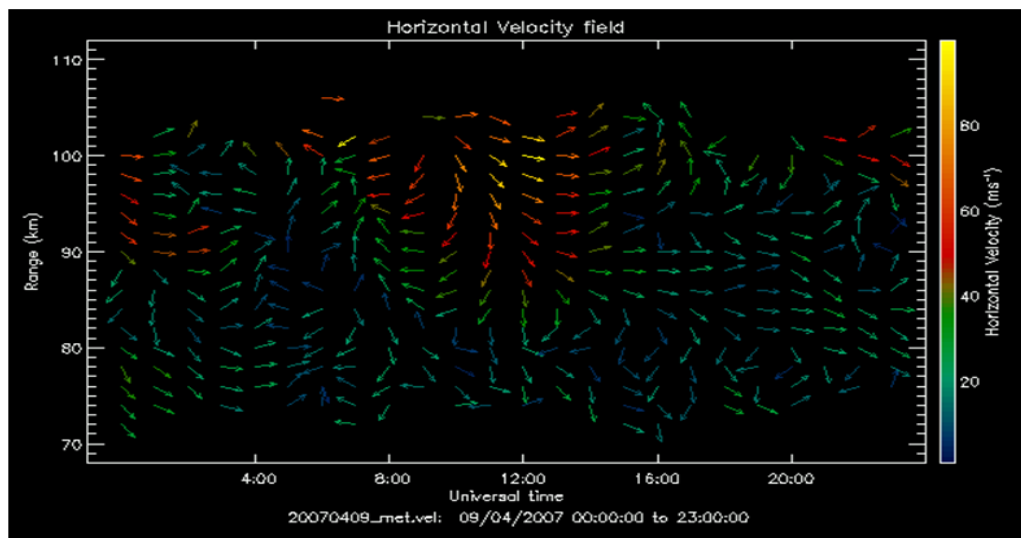


그림 1-39 유성 레이더 관측으로 얻은 MLT지역의 wind field

- ※ MLT region : Mesosphere and Lower Thermosphere region
- ※ 유성 레이더(Meteor Radar)는 충남대학교 우주과학실험실에서 극지연구소의 협조로 세종기지에 설치하여 자료획득 및 처리·분석을 담당하고 있음.

- SATI(Spectral Airglow Temperature Imager)

- 고도 약 90km 부근에서 방출되는 대기광을 관측하여 MLT region의 온도 변화 감시

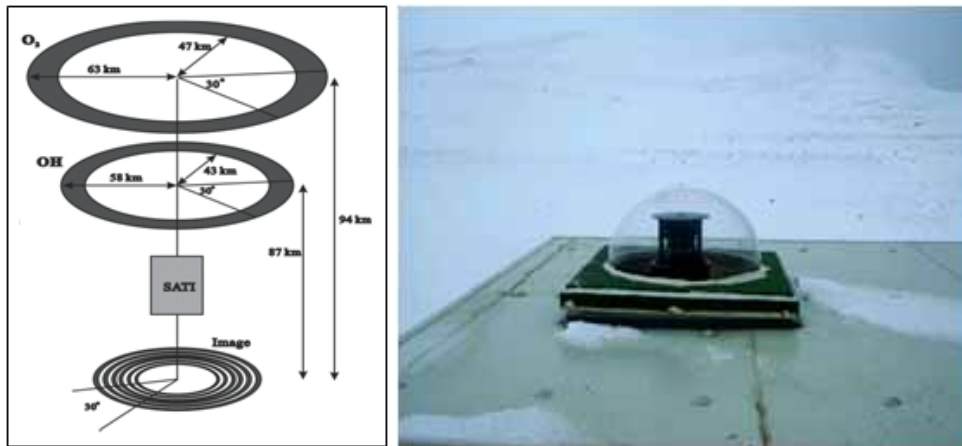


그림 1-40 SATI 관측 개요도(좌)와 관측 준비 상태(우)

(다) 남극 대륙에 제 2의 과학기지 설립 예정

- 남위 70 ~ 80° 부근의 고위도이며 주변 관측시설이 많지 않아
전리층에 대한 새로운 연구 수행 예정
- 고층대기 분야의 새로운 관측기기 설치예정
- 관련 연구기관과의 공동연구에 문호개방
- 타 기관의 관측 장비 설치 가능

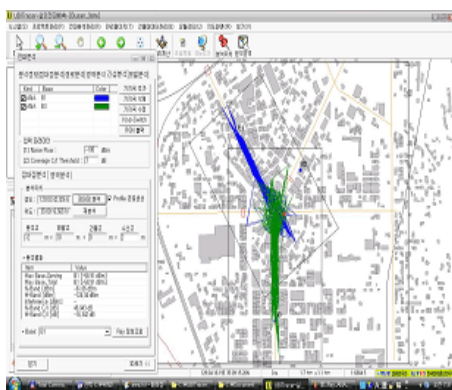
(4) 한국전자통신연구원(ETRI)

한국전자통신연구원은 지상 전파의 간섭, 불법전파의 감시장치 개발, 전파의 효율적 이용방법 연구 등의 전파기술 및 전파환경 연구와 위성탑재체 개발, 우주복사(Radiation)가 위성 및 부품에 미치는 영향 및 위성통신의 간섭연구 등을 연구하고 있다.

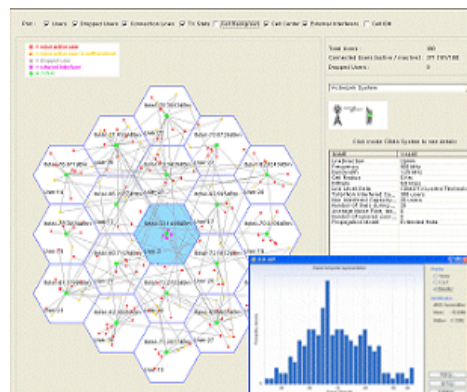
더구나 유비쿼터스 환경에 필요한 모든 무선 IT 서비스 및 제품 등에 대한 기반기술을 연구하고 있기 때문에 우주전파환경의 변화가 위성 및 지상을 이용한 유비쿼터스 환경에 미치는 영향을 연구하기 매우 좋은 여건을 갖고 있다.

(가) 전파기술 및 전파환경연구

전파기반기술 연구는 첫째 공공기술 개발, 둘째 공용 기반기술 개발, 셋째 무선통신 원천 핵심기술 개발을 목표로 하고 있습니다. 공공기술 개발은 주파수 자원 관리 연구, 전파 감시기술 연구, 그리고 전자파 환경기술 연구를 수행하고 있으며, 공용 기반기술 개발은 기술전문성과 효율면에서 이동통신 방송 및 위성통신 등의 연구분야가 독립적으로 조직을 구성하여 수행하기 어려운 RF 및 안테나 기술 연구를 수행하고 있습니다. 그리고 무선통신 원천 핵심기술 개발은 무선통신 기술을 선도하기 위해 RFID, DSA, Cognitive Radio, 밀리미터파, LTCC 등과 같은 차세대 핵심기술에 대한 선행연구를 수행하고 있다.



<전파전파특성연구>



<전파간섭분석연구>



<전파모니터링기술연구>

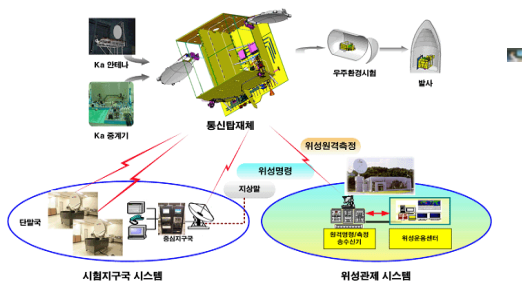
그림 1-41 ETRI의 전파기술연구

(나) 위성통신연구

21세기의 본격적인 우주통신 시대를 맞이하여 우리나라 최초의 통신방송 상업위성인 무궁화위성 1, 2, 3호 발사를 계기로, 미래의 고도 정보화 사회에서 위성통신 역할을 최대화 할 수 있는 위성통신 핵심 기술을 개발 하였다. 여기에는 위성망 설계기술개발, 위성통신망 감시제어 기술개발 등이 포함되어 있다. 이를 근간으로 하여 고속이동체 인터넷 위성무선 연동기술, 통신해양기상위성 위성통신시스템, 위성항법 지상국시스템 및 탐색구조 단말기 기술, 21GHz대역 위성방송 전송기술, IMT-Advanced 위성접속기술, 다목적실용위성 위성관제시스템 등의 개발을 추진하고 있다.

또한 다양한 무선 멀티미디어 서비스 제공을 위한 위성 및 무선 인프라 구축을 위해 위성 및 무선 전송, 다원접속 등 핵심 기반기술과 함께 위성 멀티미디어 서비스를 위한 지구국 기술, 광대역 위성통신 및 방송기술, 성층권 통신기술, 광대역 무선전송 및 차세대 광대역 통합무선 멀티미디어 재난통신 표준기술을 개발하고 있다. 주요 실적은 다음과 같다.

- 고속이동체 인터넷 위성무선연동 기술 개발
- 통신해양기상위성 위성통신시스템 개발
- 위성 관제시스템 기술 개발
- IMT-Advanced 위성접속기술 개발
- 위성항법 지상국 시스템 및 탐색구조 단말기 개발
- 21GHz대역 위성방송 전송기술 개발
- 반도체 레이더 TR모듈용 MMIC 개발



<통해기위성통신시스템>

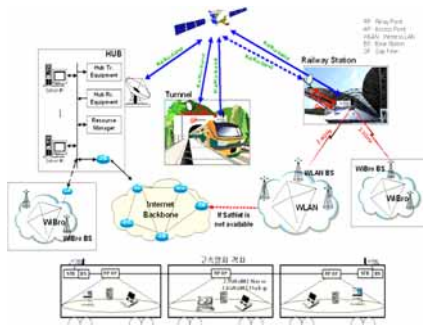
<위성망설계기술>



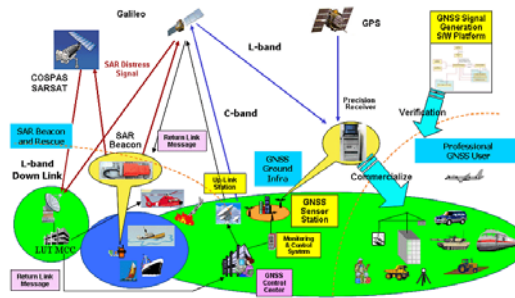
<위성통신감시제어시스템>



<위성관제시스템>



<고속이동체 인터넷 무선연동시스템>



<위성항법 지상국시스템>

그림 1-42 ETRI의 위성통신연구

(5) 한국항공우주연구원

한국항공우주연구원은 우주 개발 사업 및 우주센터 건설, 우주인 양성사업, 무인 비행선 사업 등을 수행 중에 있으며 수행 내용은 다음과 같다.

(가) 우주개발 프로그램 계획

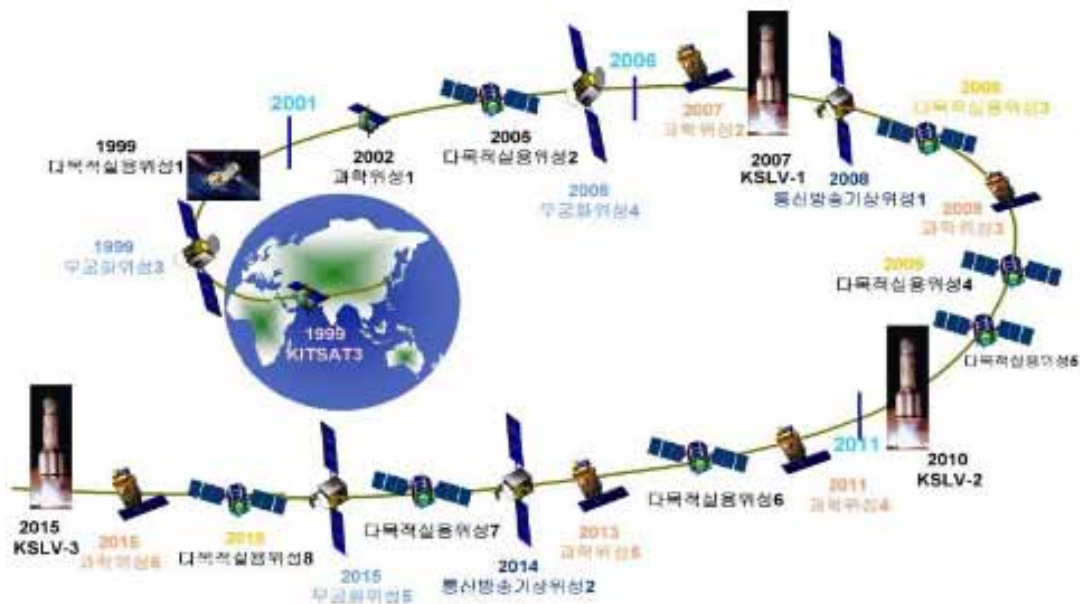


그림 1-43 국가 우주개발 프로그램

(나) 우주센터 개발사업

국가 우주개발 중장기 기본계획을 기반으로 한 우주센터에는 위성 발사대를 비롯하여 발사통제시설, 추적레이더 및 발사체, 위성 조립/시험시설 등과 발사체 엔진 개발에 필수적인 연소시험장을 확보하여 국내 우주기술 개발을 위한 인프라를 구축할 계획이며 2단계 사업으로 1톤급 다목적 실용위성을 발사할 수 있는 발사대 및 위성시험시설 등을 추가할 계획이다.

- KSLV(Korea Space Launch Vehicle)-I 개발
 - 100 Kg의 과학위성 2호를 2007년 발사
 - 개발기간 : 2002년 ~ 2007년
 - 개발예산 : 5,098 억원
 - 사양 : 직경 2.9m, 길이 33m, 무게 140톤

- 나로우주센터 설립 및 운영
 - 선정발표 : 2001년 1월 30일
 - 위치 : 전라남도 고흥군 외나로도
 - 면적 : 150만평
 - 예산 : 2,650 억원



그림 1-44 외나로도 우주센터

- 성층권 장기체공 무인비행선 사업
 - 개발기간 : 2003년 9월 ~ 2007년 8월(4년)
 - 개발비 401.4 억원 규모(정부 301.4 억, 민간100억)

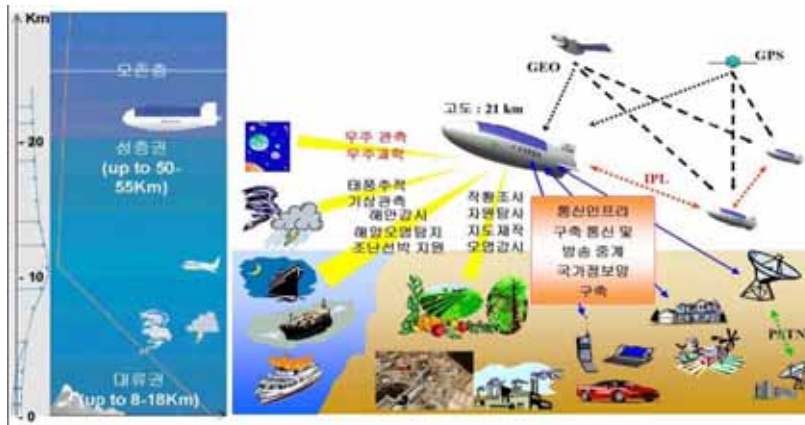


그림 1-45 한국항공우주연구원의 무인 비행선 사업의 효과

(6) 한국지질자원연구원

한국지질자원연구원은 광물탐사, 지도 제작, 측지, 지진 활동 및 화산활동 예측 등 측지학적, 지질학적, 지구 물리학적 목적을 위해 지자기장 관측 망을 구축하여 지구 자기장 관측, 자료제공, Dst 지수 예측 등의 업무를 수행하고 있다.

(가) 지자기장 관측

○ 한국의 지자기장 관측소

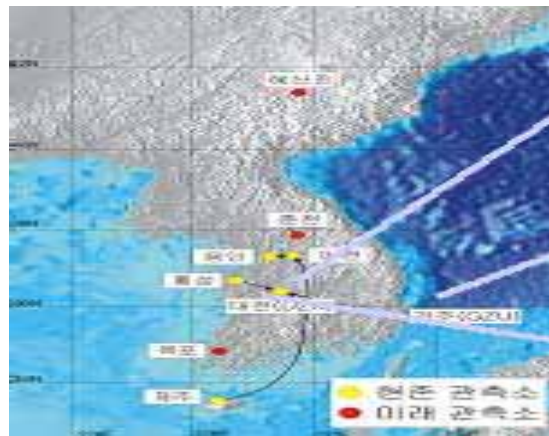


그림 1-46 한국의 지자기장 관측소

○ 응용분야

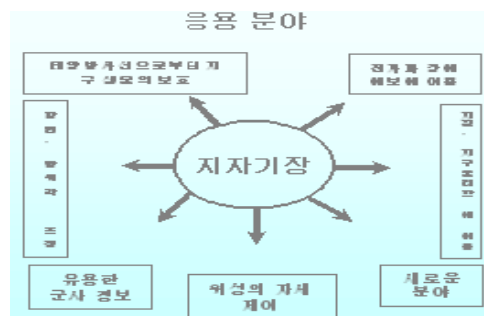


그림 1-47 지자기 관측 응용분야

나. 문제점

(1) 전파연구소 역량 부족

태양폭발 시 발생하는 태양전파와 고에너지 입자는 전리층 및 지자기 교란을 통해 지상의 무선 서비스에 심각한 장애를 야기하고, 최근 유비쿼터스화의 진전에 따라 새롭게 등장하는 다양한 유무선 서비스의 안정적 운용을 위해서는 우주전파환경에 대한 심도 있는 연구가 매우 중요하다. 이미 국내 현황에서 언급되었듯이 1966년부터 전파예보 업무를 실시해 온 전파연구소는 단파대역 최적 주파수를 군, 군, 방송사, 해운사 등 관련기관에 예보하는 능력은 보유하고 있으나, 1990년대 이후 새롭게 등장하고 있는 이동통신 무선서비스 및 위성통신 서비스에 영향을 미칠 수 있는 전리층 반사, 태양흑점 폭발, 태양 전파 및 지자기 폭풍 등 우주전파환경에 대한 관측 및 종합예보 수행은 불가능한 상태이다.

특히 학계와 언론에서 우려를 표명하고 있는 2012년 ‘태양활동 극대기’에 대한 우주환경 변화에 대해 국가적인 차원에서 체계적으로 대응하지 못할 경우 심각한 경제·사회적 피해가 예상되고 있으나, 현행 전파연구소의 조직규모(1개과 7명)와 관측시설로는 이러한 우주전파 환경 변화에 효율적으로 대응하기 어렵고 현재 전파연구소의 보유시설은 태양폭발에 대한 단순 관측업무만 가능할 뿐이다.

< 2012년 태양활동 극대기 관련 주요 언론보도 >

- ▶ 대규모 정전사태와 방송·통신장애 등 수백억달러의 피해를 야기할 것으로 예상되는 강력한 태양폭풍이 2012년 지구를 삼킬 것 (조선일보 등, '06.5.4)
- ▶ 2012년 태양폭발은 GPS시스템에 의존하고 있는 항공기 항법장치 및 응급 위치정보시스템에 치명적 장애 초래 (New Scientist Space, '06.9.29.)
- ▶ 2012년 중반께 태양활동이 절정에 달할 것이며 이로 인해 2천억 달러 이상의 인공위성 피해가 예상, 또한 점차 많은 기기들이 태양의 영향에 민감하게 반응하기 때문에 태양폭발 규모가 크지 않아도 큰 피해 예상 (abc NEWS , '07.4.25)

“(표 1-13) 우주전파환경 분석 시스템 구축 국내외 기술현황” 및
“(표 1-14) 국내외 우주전파환경 예보기관 현황”에서 보여주고 있듯이 전
파연구소를 포함한 국내기관의 우주전파환경 관측, 분석 및 예보 능력은 외
국기관에 비해 기술, 시설 및 인력 모든 면에서 부족한 실정이다.

따라서 이러한 전파연구소의 문제점을 극복하기 위해서는 우주전파
환경예보센터 설립을 통한 우주전파환경 관측시설 및 관측/분석 전문인력
확충으로 국가차원의 예·경보 체계 운영, 첨단 관측기술 개발, 다양한
국제 활동 등 우주전파환경 관측 및 예보 역량을 확보하는 것이 시급히
요구되고 있다.

표 1-13 우주전파환경 분석 시스템 구축 국내외 기술현황

관련 기술 수준	국 내		국 외	
	관련기관	기술현황	관련기관	기술현황
우주전파환경 예보기술	전파연구소 천문연	초보단계	미국 NOAA SWPC 일본 CRL 호주 IPS Space & Radio 유럽(스웨덴, 프랑스 등)	응용단계 응용단계 응용단계 완성단계
우주공간환경 분석기술	전파연구소 천문연 자원연구소 인공위성센터	초보단계 초보단계 초보단계 초보단계	미국 NASA, 관련대학 일본 CRL, 관련대학 호주 IPS Space & Radio 유럽(스웨덴, 프랑스 등)	응용단계 응용단계 응용단계 완성단계
위성궤도환경 분석기술 위성체 환경영향 분석기술	한국전자통신 연구원	초보단계	미국 NOAA, NASA 러시아 IKI 일본 CRL, LASA, ASDA	응용단계 응용단계 응용단계

※ NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration

※ SEC : Space Environment Center

※ NASA : National Aeronautics & Space Environment

※ CRL : Communication Research Laboratory

※ LASA : Institute of Space Astronautical Science

※ IKI : Space Research Institute (Russia)

표 1-14 국내외 우주전파환경 예보기관 현황

구 분	미 국	영 국	호 주	일 본	한 국
기 관 명	SWPC	RAL	IPS	NICT	RRA
설립연도	1945	1921	1949	1952	1966
연구인력	74명	100여명	50여명	40여명	7명
보유시설	50여종 (전리층관측기, GOES 위성 등)	30여종 (전리층관측기, SOHO 위성 등)	20여종 (태양관측소, TIGER 위성 등)	30여종 (태양관측소, SELENE 위성 등)	4종 (태양관측기, 전리층관측기 등)

(2) 전파연구소와 천문연구원의 업무 유사성

현재 우주전파환경 관측 결과에 대한 우주전파환경 예·경보가 전파연구소와 천문연구원에서 홈페이지를 통해 제공하고 있다. 그러나 우리나라의 우주전파환경 예·경보 체계는 SWPC(미국), IRF(스웨덴), IPS(호주), NICT(일본) 등과 같은 외국기관에 비하면 아주 미흡한 상황이다. 외국기관과 마찬가지로 우리나라의 우주전파환경 예·경보 공식 기관은 전파연구소이나, 천문우주연구원에서도 우주전파환경 예·경보를 위한 우주전파환경 연구를 수행하고 있어 외견상 양 기관이 유사한 우주전파환경 업무를 수행하고 있는 것으로 보이고 있다. 따라서 우리나라의 우주전파환경 예·경보 체계 구축을 위해 두 기관의 업무를 사전에 정의하여 불필요한 유사업무 지양과 상호 보완적인 업무 및 역할 분담이 필요하다.

전파연구소는 방송통신위원회 산하 정부기관으로 우리나라 우주전파환경 예·경보 공식기관이다. 이에 따라 전파연구소는 기관고유 업무로 1966년부터 전파환경의 지속적인 관측과 이에 따른 예·경보를 수행하는 역할을 수행하여 왔다. 그러나 1990년대 새로운 전파환경으로 등장한 이동통신 무선서비스 및 위성통신 서비스와 2000년 이후 다양한 유무선 통신 서비스를 하나의 네트워크로 묶는 유비쿼터스 환경으로의 진화가 이루어지고 있는데 대해 전파연구소에서의 우주전파환경 관측 및 예·경보

는 우주전파환경에 대한 심도 있는 연구를 통해 제공되어야 하지만 시설 및 인력이 부족한 실정이다. 또한 전파연구소가 지난 1966년부터 관측해 온 전리층 자료는 국제적으로도 매우 가치 있는 자료이지만, 현재까지는 그 자료의 가치들을 국내 또는 국제 관련 커뮤니티에 알리고 제공하는 업무에 많은 노력을 기울이지 못하고 있다.

천문연구원은 정부출연 연구기관으로 천문 및 우주환경 분야에 대한 다양한 연구를 수행하는 기관으로 태양에서 고층대기에 이르는 다양한 분야를 연구하고 있으며, 이를 위한 다양한 우주환경 분야의 장비를 구축하고 있다. 또한 천문우주 분야 연구 분야에 대해 국제적 인지도를 가지고 국제협력을 수행하고 있으나, 기관의 성격 상 연구 사업을 근간으로 수행되는 제한사항으로 인해 우주전파환경 관측시설 및 인력의 상시 운영을 할 수 없는 제한사항이 있다.

따라서 전파연구소와 천문연구원 간의 기관 성격 및 기능이 고려된 두 기관 간의 상호보완적인 업무 분담 설정을 통해 각 기관의 장점을 극대화한 효율적인 우주전파환경 예·경보 체계를 구축하는 것이 필요하다. 예를 들어 전파연구소에서 미 보유 시설을 천문연구원에서 보유하고 있는 경우 천문연구원에 상시 위탁운영 한다든지, 천문연구원에서 개발하는 우주전파환경 예측모델을 전파연구소에서 검증을 통해 실제 우주전파환경 예측에 활용하여 우리나라 우주전파 예·경보에 활용하는 등 양 기관의 능력을 상호협력 하에 최대한 활용할 수 있는 방안 수립이 요구된다. (표 2-1 참조)

(3) 국내 유관기관과의 데이터 교환 및 공유 체제 미비

우리나라에서 현재 관측되고 있는 우주전파환경 중 지자기 관측과 전리층 밀도 관측은 전파연구소 외에 천문연구원, 한국지질자원연구원, 한국항공우주연구원, 한국해양연구원 부설 극지연구소, 해수부 등에서 각 기관 수행목적에 따라 지자기 관측시설 및 전리층 밀도 관측시설을 설치하여 업무를 수행하고 있다.

현재 국내 각 기관에서 수행되고 있는 관측으로는 국지적인 현

상을 관측할 뿐 한반도 전체를 관측하는데 한계가 있다. 따라서 각 기관에서 설치하여 운영하고 있는 관측시설의 통합 운영 또는 관측결과 교환을 통한 공유 체계를 구축하여 운영할 수 있다면 관측결과의 정확성을 향상시킬 수 있을 뿐 아니라 관측범위도 한반도 전역으로 확대될 수 있다. 그러나 국내 기관에서 생성되고 있는 지자기 관측 데이터 및 전리층 밀도 관측 데이터의 통합 및 관리를 위한 체계가 없어 현재 국내 각 기관에서 보유하고 있는 지자기 관측 데이터 또는 전리층 밀도 관측 데이터는 각 기관의 수행목적에 따른 분석에 사용된 후 해당 기관 별로 자료관리가 이루어지고 있다.

따라서 국내 지자기 및 전리층 밀도 연구의 상호 교류 및 연구 성과의 극대화를 위해 국내 각 기관에서 관리되고 있는 시설의 필요 시 공동 활용 및 관측데이터의 상호 교류와 공유를 위한 체계구축이 요구되며, 우리나라 우주전파환경 예·경보 발령 공식기관인 전파연구소가 주축이 되어 주도적으로 지자기 및 전리층 밀도 시설 및 관측 데이터 통합 관리 체계를 구축하는 것이 중요하다.

제 2 장 국내 우주전파환경연구센터 설립 타당성

제 1 절 설립 필요성 및 목적

최근 본격적인 유비쿼터스 시대가 시작되었고, 기술의 발달로 인해 사회에 깊숙이 퍼져있는 각종 전파기반 서비스 이용의 증가에 따라 여기에 크고 작은 영향을 미칠 수 있는 태양 전파, 전리층 등 우주전파환경 연구의 중요성이 증가하고 있다. 앞서 설명한 바와 같이 태양활동 증가에 따라 태양전파 노이즈 및 지자기 폭풍에 의한 지상 무선통신 장애 문제는 절대 간과할 수 없는 중요한 사안이고 유무선 통신서비스가 하나의 네트워크로 묶이는 유비쿼터스로의 진전으로 태양폭발 등 급격한 우주전파환경 변화에 체계적으로 대비하지 못할 경우 심각한 물리적, 경제적 피해가 사회전반으로 확산될 수 있다. 또한, 우주시대를 맞아 인공위성의 안정적인 운용과 우주-지구간 통신 신뢰성 보장 등을 위해 우주전파환경 연구가 더욱 필요한 상황이다.

미국, 유럽, 영국 등의 선진국은 우주환경변화에 따른 사회·경제적 피해의 심각성을 인식하여 범국가적인 차원에서 우주전파환경 연구를 위한 관측을 수행하고 연구결과를 바탕으로 예·경보 체계를 구축 및 발표하여 자국 내 관련 기관 및 주요 과학 장비들의 피해가 최소화 될 수 있도록 하고 있다. 특히 우주전파환경 선진국들은 SWPC(미국), CSWFC(캐나다), IRF(스웨덴), ESA(유럽), IPS(호주), SEPC(중국), NICT(일본) 등의 전담조직들을 설립하여 체계적이고 종합적인 우주전파환경 예보 및 연구를 수행하고 있다. 태양활동은 약 11년 주기로 극대기가 도래하는데 학계에서는 다음 극대기(2012년)가 종래 가장 강력했던 1859년의 위력에 버금갈 것으로 전망하고 있다. 이에 선진국들은 태양활동에 대한 예측기능 강화를 위해 미국, 일본, 유럽 등이 공동으로 STEREO 위성(태양관측), 신규 GOES 위성(태양 X-ray 관측) 등의 발사를 추진하며 2012년 태양활동 극대기를 대비하여 우주전파환경 연구 활동을 강화하고 있다.

우리나라의 경우 1966년부터 전파연구소에서 ionosonde를 이용한 전리층 관측을 시작하고 그 이후 몇 가지 장비들을 추가하여 우주전파환경 예보업무를 수행하고는 있으나 국제적인 수준에는 현저히 미흡한 실정이다. 따라서 2012년 태양활동 극대기로 인한 사회적 피해 최소화와 안정적인 유비쿼터스 통신환경 구현을 위해서는 체계적인 우주전파환경 연구와 신뢰성 있는 우주전파예보 서비스를 위한 우주전파환경 전담 조직 설립이 필수적인 상황이다.

제 2 절 국내 관련 연구기관의 기능

1. 전파연구소

가. 역할 및 기능

- 국내 전파 및 방송, 통신 관련 우주전파환경 상시 예·경보

나. 예보대상

- 국내 이온층 및 통신방송위성 운용 관련

다. 예보에 필요한 상시 관측

- Ionosonde 및 GPS를 이용한 이온층 관측
- Scintillation monitor를 이용한 전파 교란 관측
- 태양
 - 이온층 변화에 직접적인 변화를 미치는 태양폭발 현상 (광학) 및 전파 잡음 상시 관측
 - 태양풍에 의한 간접적 효과에 대한 태양활동 관측
- 지자기
 - 이온층을 비롯한 우주환경의 변화 관측

- 방송, 통신위성 운용 자료 확보
 - 우주환경의 변화에 따른 방송, 통신위성의 운용 현황 감시

라. 예보모델 검증 및 활용

- 국내 대학 및 연구소에서 개발한 모델 검증 및 채택
- 관측데이터를 이용한 활용 예측모델 정확성 향상

마. 상시 관측 및 예보

- 이온층/전파통신 예보를 위한 모델 개발 및 한반도 대상 상시 예보
 - 천문연을 비롯한 외부 관측자료 병행 활용
- 국내 방송, 통신위성의 안정적 운용에 필요한 정보 안내 시스템 운영
 - 천문연을 비롯한 외부 관측자료 병행 활용
- ISES의 RWC 운영
 - 국내 우주전파환경 관측데이터 교환 및 공유 시스템 운영
 - 국내 서비스 중심 기관 역할

2. 천문연구원

가. 역할 및 기능

- 태양에서 고층대기에 이르는 우주환경 전 요소의 연구

나. 연구대상

- 세계 전 지역을 대상으로 태양, 자기권, 이온층, 고층 대기 연구

다. 연구에 필요한 관측

- 기 확보된 관측 장비를 이용한 연구수행을 위한 수시관측
- 전파연구소와의 협력을 통한 상시관측
- 국제협력을 통한 해외관측 자료 확보

라. 예보 모델 개발

- 국내 우주전파환경 예보모델 개발
- 한반도가 대상이 아닌 global 예보 모델 개발

마. 관측자료 제공

- ISES에 다양한 우주전파환경 관측자료 제공

표 2-1 자문위원회에서 제시한 전파연구소와 천문연구원의 업무 및 역할 분담(안)

기관	전파연구소	천문연구원	비고
명칭	우주전파예보센터	우주환경연구센터	우주환경예보 위한 전담연구기관 절대필요
기능	<ul style="list-style-type: none"> - 우주전파 예정보 전담 서비스기관 - 우주전파 예정보를 위한 상시 감시 및 관측 - 예보모델 시스템 운영기관 - 관측위성 개발 기획조정 - 국제공동연구 참여 - ISES RWC 공동운영 	<ul style="list-style-type: none"> - 우주환경 전담 연구기관 - 우주환경 수시 감시 및 연구 관측 - 예보모델 개발 연구기관 - 위성 탑재체 개발 - 국제공동연구 참여 - ISES RWC 공동운영 	양 기관의 역할은 기관 고유기능 및 역할에 따른 상호 보완
관측 장비 및 시설	상시관측	연구관측(수시관측)	
태양관측	<ul style="list-style-type: none"> - 태양전파관측 - 태양전파 경보시스템 - 2.8GHz 태양전파플럭스 관측 - 태양 흑점관측 - 태양풍 관측 	<ul style="list-style-type: none"> - 태양흑점 관측 - 태양분광망원경 - 태양플레어 망원경 - 전천 카메라 	전파연은 태양전파관측, 천문연은 태양광학관측으로 관측업무가 확연히 구분
전리층 관측	<ul style="list-style-type: none"> - 전리층 관측기 - 전리층 전자밀도 관측기 	<ul style="list-style-type: none"> - 단파레이더 - 신틸레이션 모니터 - 전리층 전자밀도 관측기 	
지자기 관측	<ul style="list-style-type: none"> - 지자기 관측(3곳) 	<ul style="list-style-type: none"> - 지자기 관측(1곳) 	지자기 관측은 주위 환경에 매우 민감하여 천문연은 백업 기능

3. 한국전자통신연구원

가. 역할 및 기능

- 우주환경이 지상전파환경에 미치는 영향 연구추진

나. 연구내용

- 전리층 교란이 전파통신 및 항법신호에 미치는 영향 연구
- 전파통신 예경보 모델링 개발을 위한 사용자 요구사항 분석
- 우주방사선이 위성에 미치는 영향 연구
- 우주전파환경의 변화가 위성통신에 미치는 영향연구
- 태양관측위성 개발 및 위성수신시스템 연구
- 예경보모델 개발 및 관측위성 개발 로드맵 연구

4. 기타 연구기관 (지질자원연구원, 극지연구소 등)

가. 역할 및 기능

- 지자기 관측 및 전리층 밀도 관측 데이터 제공 및 공유

나. 연구에 필요한 수시 및 상시 관측

- 기 확보된 관측 장비를 이용한 연구수행을 위한 수시 또는 상시 관측
- 전파연구소와의 협력을 통한 상시관측

다. 관측자료 제공

- 전파연구소를 통한 ISES에 우주전파환경 관측자료 제공

제 3 절 활용 및 기대효과

- 과학 기술적 측면

- 예보기술의 자립화를 통해 예보서비스의 외국 의존 탈피
 - 우주개발 기술의 경쟁력 증대를 통해 우주강국 진입토대 마련
 - 위성관측, 지상관측, 모델링 등 다양한 첨단 우주전파환경 기술력 확보
- 국가 안보적 측면
 - 유무선 유비쿼터스 통신 서비스 장애 피해 최소화
 - 신뢰성 있는 예보서비스를 통해 다양한 우주개발활동 강화
 - 위성, 전력, 송유 시설 등 국가 기간시설의 피해 최소화
 - 독자적인 예보 서비스를 통해 군의 능동적인 우주전략 수립 지원
- 대내외적 측면
 - 선진 연구기반 조성을 통한 국내 연구 활성화 주도
 - 국제 공동연구 및 기구 활동을 통한 국제적 역량 과시
 - 예보기술의 자립화를 통한 국민의 자긍심 고취

제 3 장 우주전파환경연구센터 설립 추진 방안

제 1 절 센터의 목표, 역할 및 기능

1. 센터의 목표

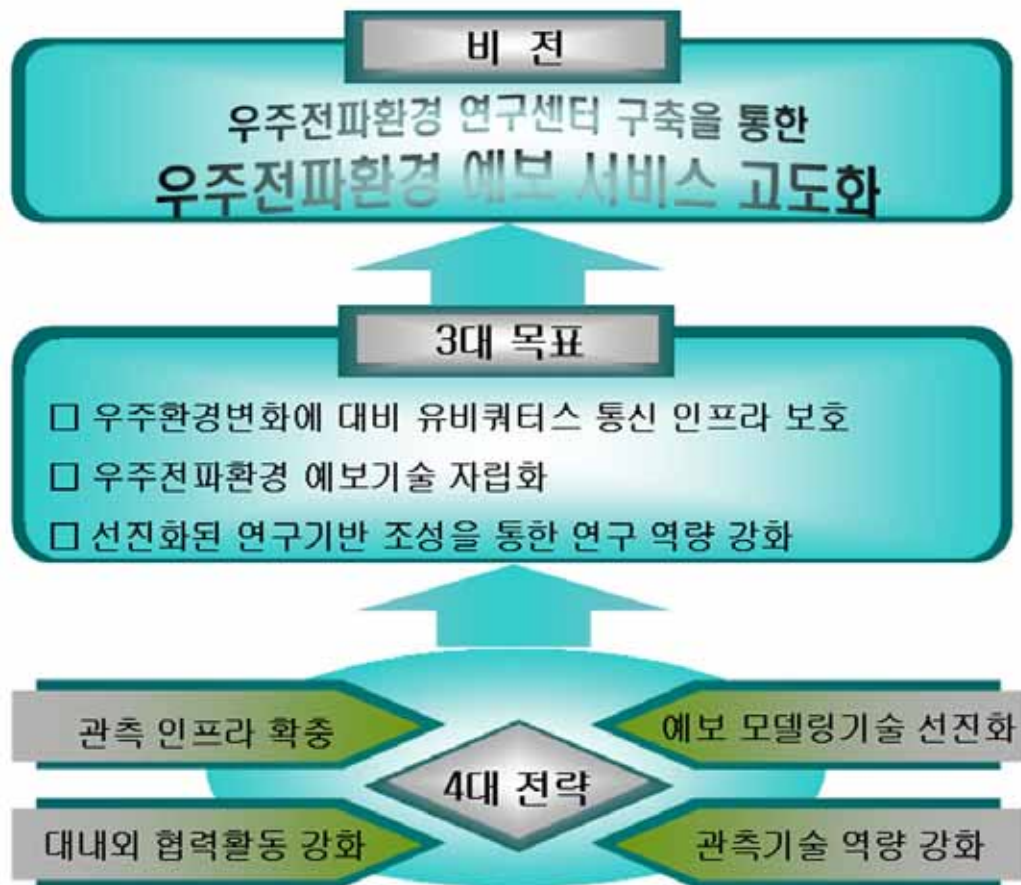


그림 3-1 우주전파환경 연구센터의 비전 및 목표

2. 센터의 역할

가. 센터의 대내적 역할

- 각 연구기관 축적 데이터 통합 관리
 - 선진국의 우주전파환경 연구 전담 기관과 마찬가지로 국가적인 차원에서 우주전파환경 변화에 대해 관측 및 연구하고 그로인한 사회·경제적 피해를 최소화 할 수 있도록 우주전파환경에 관한 자료 및 정보 제공
 - 국내 연구기관의 우주전파관측 데이터 교환 및 공유 시스템 운영
- 우주환경예보를 위한 상시 감시 및 관측
 - 지속적으로 관측을 수행하며 국내·외 관측자료 모니터링 및 준실시간 우주환경 경보등급 결정
- 예보모델 시스템 및 관측 위성 운영
- 우주전파환경 예보서비스 전담기관으로서 공공적 역할
 - 국내 보유 관측 장비의 계획적 운용 및 조화
 - 관측 데이터의 상호 호환성을 유지하기 위한 표준화 작업
 - 연구 결과물을 최종 취합하여 사용자에게 실질적인 서비스 제공
 - 우주전파환경 업무의 홍보 및 방문자 교육 실시
 - 연구진과 실수요자간의 유기적인 연결 통로 역할
 - 우주과학 발전의 중심적인 역할

나. 센터의 대외적 역할

- 국제적 우주환경 관측자료의 교환 및 관리를 위한 국가 대표기관
- 선진국 전담 예보센터와의 공동연구 창구

3. 센터의 기능

가. 기술개발

- 국내 관측위성 개발 기획·조정
 - 국가 전담기관으로서 우주전파환경 관측 위성 개발에 대한 중장기 계획 수립·추진
- 관측위성 및 센서기술 개발
 - 해외의 관측센서 기술동향 조사 및 국내 개발 가능성 검토 및 개발 로드맵 수립
- 해외 관측위성 개발 프로젝트 공동 수행
 - 외국 관측위성 프로젝트에 대한 현황조사 및 참여 타당성 검토
- 관측시설 유지, 운용기술 개발
- 첨단 관측기술 개발
 - 자체 유지 보수 및 개발 역량 확보를 위한 운용 관측장비에 대한 주기적인 기술교육 및 선진기술 벤치마킹
 - 관측 기술 전문가 양성을 위한 장비 제작기관 운용교육 참여 및 관련 해외 연구기관과 인력교류
- 산업체와 공동 프로젝트 수행

나. 상시관측

- 태양전파 노이즈 관측 및 경보
 - 태양 폭발에 의한 무선통신 주파수의 영향 분석 및 경보
- 태양전파관측 및 폭발유형 분석
 - 폭발 유형별 전리층에 미치는 영향 분석 및 경보
- 2.8GHz 태양전파 절대 플럭스 관측 및 분석
 - 태양활동 변화 측정을 통해 전파 예보에 활용
- 전리층 관측 및 분석
 - 전리층 변화가 단파통신에 미치는 영향 분석 및 예보

- 전리층 전자밀도 관측 및 분석
 - 전리층 총 전자밀도를 관측하여 GPS 서비스에 미치는 영향 분석
- 지자기 관측 및 분석
 - 우주환경 변화에 따른 지구 자기장 변화량 및 지자기 폭풍세기 측정

다. 예보 시스템 개발 및 검증

- 태양활동 예보 모델 개발 및 검증
- 전리층 예보모델 개발 및 검증
- 지자기 예보 모델 개발 및 검증
- 관측 자료와 모델과의 비교·분석
- 우주환경 모델 개발 국제 협력

라. 예·경보 서비스

- 전파환경 예·경보 서비스
 - 각종 관측 자료들을 수집·분석하여, 상황에 따라 다양한 방법으로 관련 사용자들에게 정보 제공(홈페이지, SMS, e-mail 등)
- 우주전파환경 캐스트 서비스
 - 우주전파환경의 실시간 변화를 일반 국민들이 알기 쉽게 제공
- 관측자료 수집·분석 및 관리
 - 우주전파환경 감시 및 예·경보 서비스와 RWC 직무 수행
- 우주전파환경 홈페이지 관리
 - 우주전파환경 및 지자기 정보 실시간으로 제공
- 긴급상황 전파체계 운영
 - 긴급상황의 효과적인 전파 및 관리 체계 구축 및 운영
 - 군, 통신사, 전력회사 등 유관기관과 공조체계 구축 및 Hot-Line 운영
- 국가 차원의 우주전파환경 Contingency Plan 수립·운영
 - 국가 우주전파환경 Contingency Plan 수립
 - 국내 주요기관 자체 대응 계획 의무적 수립 권고

제 2 절 센터설립 세부 추진 전략

1. 우주전파환경 관측 인프라 확충

1-1. 태양전파 관측 및 분석 시스템 구축

가. 태양전파 관측 현황

무선통신에 직·간접적으로 영향을 미치는 태양전파의 관측 및 연구를 위해 전파연구소는 이천분소에 태양전파 분광관측기 및 2.8GHz 태양전파 절대플럭스 관측기를 설치·운영하고 있다.

(1) 태양전파 관측기

전파연구소는 1995년에 세 개의 안테나로 30MHz ~ 2500MHz 대역의 태양전파를 관측할 수 있는 광대역 태양전파분광시스템(Solar Radio Spectrograph)을 이천분소에 설치하였다. 대수주기 안테나(Log Periodic Antenna)는 30MHz~100MHz, 10m 파라볼릭 안테나는 100MHz~500MHz, 그리고 6m 파라볼릭 안테나는 500MHz~2500MHz 대역의 전파를 수신한다.



그림 3-2 6 m 파라볼릭 대수주기 안테나



그림 3-3 10 m 파라볼릭 안테나

(그림 3-4)에서 태양전파 관측기로 얻어진 자료가 처리되는 과정을 보여주는데, 각 안테나에 수신된 전파는 하이브리드(Hybrid)를 거치면서 좌·우 원편광 성분으로 분리되며, 각 편광전파는 강한 인공신호를 제거하기 위한 필터, 신호의 세기를 증폭하는 저잡음 증폭기(LNA)를 거쳐 스펙트럼 분석기에 입력된다.

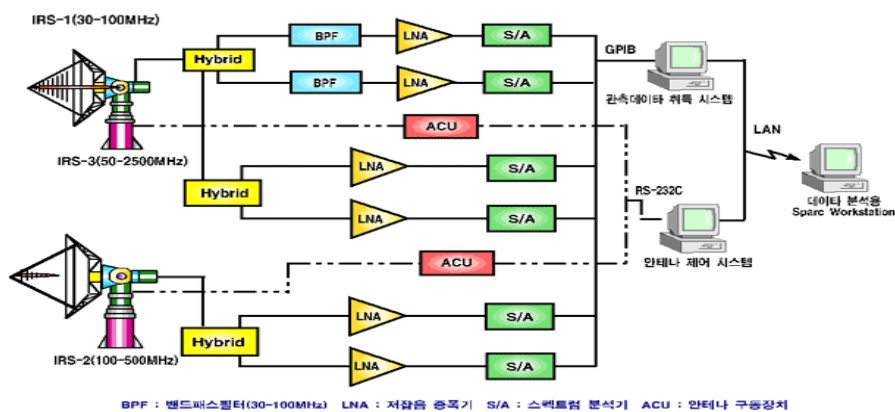


그림 3-4 태양전파 관측시스템 및 자료처리 구성도

관측은 안정된 관측시스템 운용과 관측 자료의 정확한 처리·분석을 위하여 개발된 소프트웨어에 의해 데이터 취득에서부터 자료 처리·분석 및 실시간 데이터 서비스에 이르기까지 모두 자동으로 이루어진다.

(2) 2.8GHz 태양전파 절대플럭스 관측기

2.8GHz 태양전파 관측은 태양 X-ray 등 지상에서 관측할 수 없는 다양한 태양활동 현상의 간접 관측 효과를 나타낸다. 또한 태양흑점, 전리층 및 지자기의 변화와 상관관계가 매우 높아 우주전파환경 연구에 필수적인 관측시설이다.

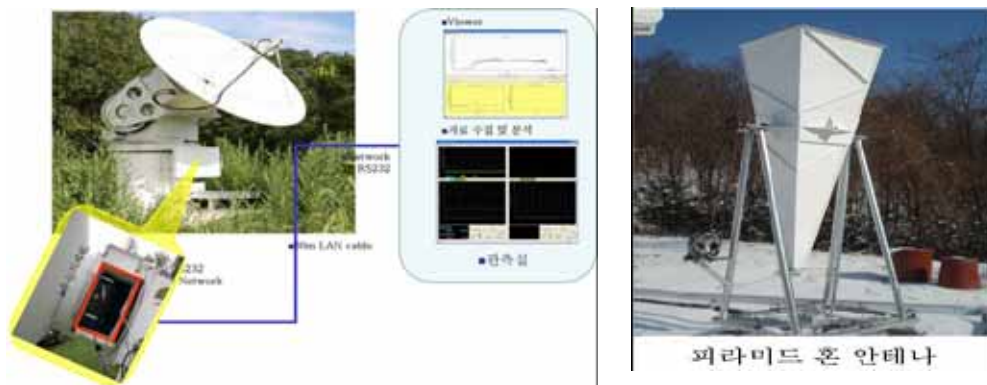


그림 3-5 2.8GHz 태양전파 수신시스템

표 3-1 태양전파 관측 안테나 성능 및 특성

항 목	성능 및 특성
주파수 범위	2.827 GHz
안테나 직경	1.8M
이득	31.4 dB
빔폭	4°
정재파비	≤1.5 : 1
안테나 지향정밀도	50 arcsec (No wind)
방위각 운용범위	-170 ~ +170
앙각 운용범위	-5 ~ +90
최대 방위각 이동 속도	3 deg/sec
최대 고도각 이동 속도	3 deg/sec
직경 / 적위 직교성	3 arc min.
운용 온도	-20℃ ~ +40℃
생존 풍속	60 m/s

나. 문제점

- 기존의 태양전파 관측기는 태양폭발 유형분석만 가능하기 때문에 여러 종류의 무선서비스에 미치는 다양한 태양전파의 영향을 분석하는데 한계가 있음
 - 주변의 인공잡음이 배제된 태양전파의 절대값을 관측하여 신속한 태양전파 노이즈 스펙트럼 특성을 분석하는 것이 필요
- 2.8GHz 태양절대플럭스 관측기는 설치환경에 매우 민감하여 복수의 관측기를 추가 설치하여 관측자료 비교를 통한 신뢰성 제고 필요
- 복수의 2.8GHz 태양절대플럭스 관측기를 운영함으로써 한 쪽의 기기에 문제가 생기더라도 상호 백업기능을 통하여 자료의 공백이 없이 지속적인 관측을 하는 시스템이 필요

다. 향후 추진방안

(1) 태양전파 스펙트럼 분석 시스템 구축

- 급격한 태양폭발에 따르는 태양전파로부터 지상 무선통신 서비스에 대한 영향을 분석하여 간접 경보를 제공
 - 18GHz까지 태양전파 분석을 통해 다양한 무선서비스에 대한 태양전파 경보서비스 실시

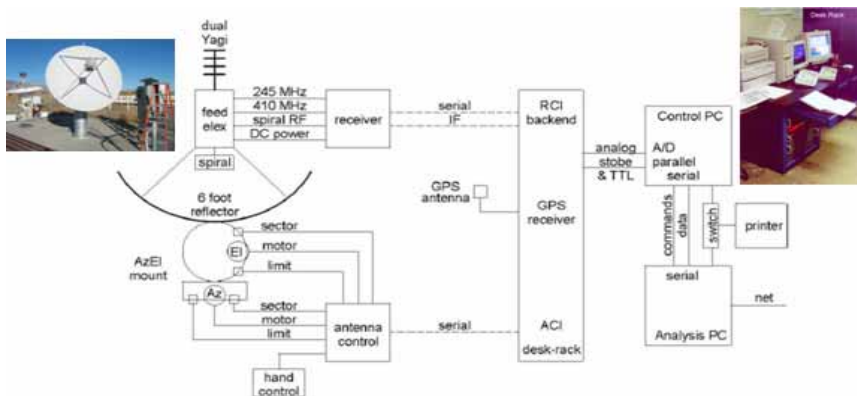


그림 3-6 태양전파 스펙트럼 분석 시스템 구성도

(2) 2.8GHz 태양전파 절대플럭스 관측기 추가 설치

- 신뢰성 있는 태양활동 감시와 태양전파 관측 자료의 공백이 없도록 지속적인 관측을 위해 현재 이천에 설치되어 있는 1기 외에 우주전파환경연구센터에 추가 설치(1기 → 2기)
 - 복수의 관측기로부터 측정된 관측 자료의 상호 비교·분석을 통해 관측 신뢰성 확보 가능
 - 한 장비에 이상이 생기더라도 태양 활동 감시 및 관측 자료의 공백 없이 지속적인 관측 가능

(3) 태양흑점 관측기 설치

- 기존에 있던 태양흑점 관측기는 노후화로 인해 재사용이 어렵기 때문에 새로운 태양흑점 관측기가 필요
- 태양활동 감시의 가장 기본이 되는 태양흑점 관측을 지속적으로 수행하여 다른 태양활동 감시 기기의 관측 자료와 상호 검증 및 연구

1-2. 한반도 전리층 관측 체계 구축

가. 전리층 관측 현황

여러 형태의 태양폭발이 전리층에 미치는 영향을 분석하고, 전리층의 상태 변화가 인간 환경에 미칠 수 있는 영향을 연구하여 단파대역 전파예보에 활용하기 위해 안양에 전리층 관측기(Ionosonde) 1기를 설치·운영하고 있다.

(1) Ionosonde

Ionosonde 관측은 높이에 따른 전리층 플라즈마 전자밀도의 분포를 측정하기 위한 가장 기본적인 방법으로, 전파를 수직 입사하여 전

리층 내의 여러 전자층에서 반사되어오는 전파를 측정함으로써 전리층 내 전자들의 분포를 높이에 따른 함수로 나타내 준다. 전파연구소가 보유하고 있는 Ionosonde는 미국 메사추세츠 대학 로웰 대기연구센터 (UMLCAR : Univ. of Mass. Lowell Center for Atmospheric Research) 에서 제작한 Digisonde-256 모델로써, 관측 가능 주파수 sweep 범위는 0.1~30MHz이며 펄스 파워는 5kW, 밴드폭은 20kHz, 관측 주파수는 100kHz단위로 설정하여 기기를 운용하고 있다. Ionosonde로 관측한 결과를 나타낸 그림을 Ionogram이라고 부르는데, Ionogram은 반사되어 온 전파가 수신된 결과를 나타낸 것이므로 이 그림을 해석하면 관측 당시의 전리층 상태를 추정할 수 있다.

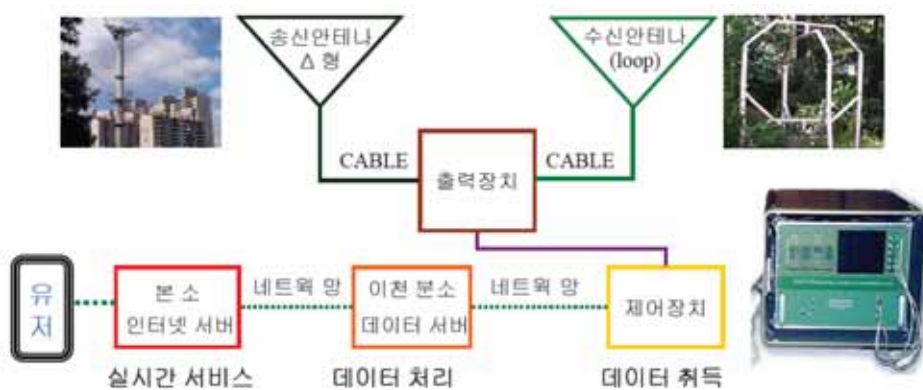


그림 3-7 전파연구소의 전리층 관측 및 자료 처리·서비스 흐름도

나. 문제점

- 현재 운용중인 전리층 관측기는 관측범위가 경인지역(안양) 상공 (200 km)에 한정되어 전국 범위의 전리층 관측·분석 불가
 - 현행 관측기는 단파대 최적주파수 관측용으로 특화되어 있어 GPS 신호 보 정 등 다양한 전리층 응용연구 수행하기 어려움
 - 전리층의 전자밀도 변화는 GPS 신호를 왜곡하여 위치정보 등에 오차를 발생시키는 주요인 중의 하나임
- 국내 여러 기관에서 각 기관의 용도에 따라 전리층 전자밀도 관측기를 상당 수 설치하여 자료를 취득하고 있으나, 모든 전리층

자료를 통합·관리·제공하는 조직이 없기 때문에 자료 활용측면에서 비효율적임

다. 향후 추진방안

(1) 전국을 커버할 수 있는 전리층 관측체계 구축

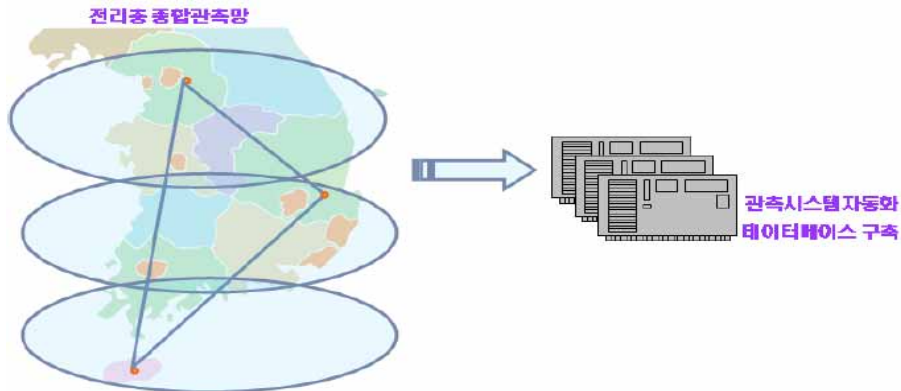


그림 3-8 한반도 전역 전리층 관측을 위한 종합관측망 구축도(안)

- 1단계로 남부지역의 전리층 관측을 위해 제주에 전리층 관측기(300W급) 설치(2008년)
- 2단계로 한반도 주변 해상까지 관측이 가능한 10 kW급 고출력 전리층 관측기 도입(2011년)
- 울릉도 지역에 전리층 관측기를 추가 설치 할 경우 이천, 제주, 울릉, 세 위치의 전리층 관측기를 통해 우리나라 대부분의 지역과 주변 해상까지 모두 커버할 수 있음(실제 호주의 경우, IPSNet으로 네트워크가 구성된 Ionosonde의 설치 위치를 보면 내륙에는 거의 없고 대부분이 호주 가장자리의 해안 부근에 설치되어 있음)
- 전리층 관측 자료의 활용도 제고를 위해 산·학·연 협력체계 구축
 - 군, 항공사, 학계 등 전리층 정보 수요기관에 국내 전리층 관측 자료 및 최신 국제 전리층 동향 등을 실시간으로 제공
 - 전리층 관련 기반기술, 전리층을 이용한 미래 통신기술 개발 등에 대한 산·학·연 공동연구 추진

(2) 전리층 전자밀도 관측기 설치

- GPS 신호 보정 등 전리층과 관련된 다양한 응용연구를 수행할 수 있도록 단계적으로 10기의 전리층 전자밀도 관측기 도입
 - 전리층 전자밀도 관측기의 특성 상 관측기가 많으면 많을수록 더 높은 자료 신뢰도를 가짐
 - 우주전파환경 예보의 관점에서는 신뢰도 높은 전리층 전자밀도 계산이 매우 중요하기 때문에, 전리층 전자밀도 관측기의 단계적 설치와 함께 국내 모든 전리층 전자밀도 관측기로부터 나오는 자료를 여러 기관들이 서로 공유할 수 있는 네트워크 구성도 필요 함
- 전리층 전자밀도에 따라 전리층을 통과하는 주파수별 전파의 속도와 방향 등이 변화되므로 전리층 전자밀도 관측을 통해 다양한 분야의 전리층 연구 가능

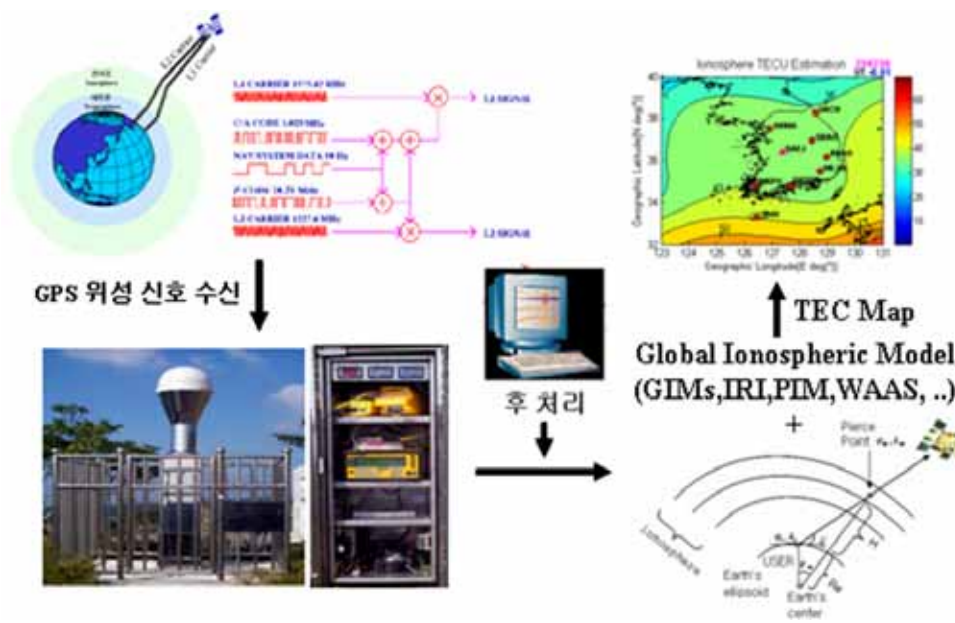
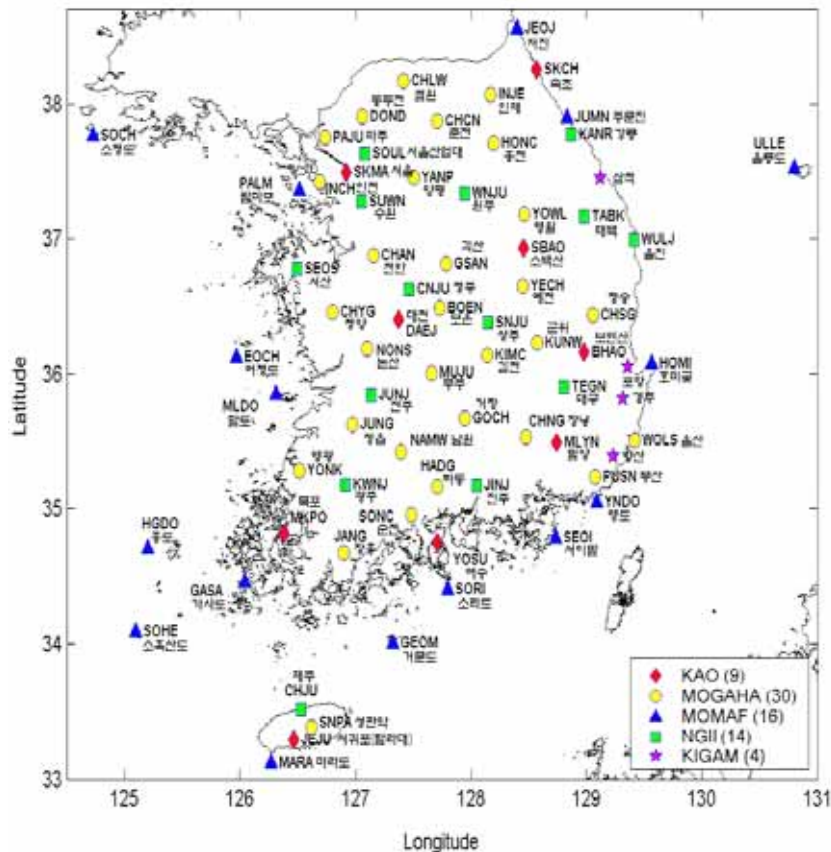


그림 3-9 전리층 전자밀도 관측 시스템 모식도



한국천문연구원 Korea Astronomy Observatory (KAO)
 행정자치부 Ministry of Government Administration and Home Affairs (MOGAHA)
 해양수산부 Ministry of Maritime Affairs and Fisheries (MOMAF)
 국토지리정보원 National Geographic Information Institute (NGII)
 한국지질자원연구원 Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM)

그림 3-10 전국에 설치된 GPS 수신기 분포도

1-3. 지자기 관측 및 분석기술 개발

가. 지자기 관측 현황

우주전파환경 변화로 인한 지구 자기장의 실시간 감시를 위해 1996년부터 이천, 용인, 제주에 3기의 지자기 관측기를 설치·운영하고 있다.



그림 3-11 Magnetogram 관측소

표 3-2 지자기 관측소와 각 관측소의 좌표 정보(IGRF, 1995)

Observatory	Symbol	Geographic		Geomagnetic		L-value (100KM)
		Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	
ICHON	ICH	37.15°N	127.55°E	30.63°	199.88°	1.37 R _⊕
YONGIN	YON	37.24°	127.08°	30.74°	199.43°	1.38 R _⊕
CHEJU	CHE	33.45°	126.57°	26.82°	198.75°	1.28 R _⊕

표 3-3 Magnetogram 사양

Fluxgate Sensor	<ul style="list-style-type: none"> - Ring core Type - 0.01nT (Resolution) - 1, 2, 4, 8 times/sec (option) - 0.22nT/°C
Proton Sensor	<ul style="list-style-type: none"> - 0.1nT (Resolution) - 1 time/10, 20, 30, 60 sec
Data Logger	<ul style="list-style-type: none"> - GPS Clock - RS232C External output - Flush Memory Card Driver(10Mb)
Power Supply	<ul style="list-style-type: none"> - 220V/24V



그림 3-12 지자기 관측 시스템 구성도

나. 문제점

- 현행 시설은 도입한 후 특별한 성능개선 없이 10년 이상 사용하고 있어 관측 자료의 신뢰성 저하 우려
- 그간 연구인력 부족 등으로 관측 자료를 이용한 다양한 지자기 응용연구 없이 단순 관측 기능만 수행
 - 급격한 지자기 변화는 전리층 교란을 야기하여 우주-지구간 전파 통신에 장애를 초래하고 지표면에 강한 유도전류를 발생시켜 유선 통신망에 피해를 유발
- 현재 우리나라에는 모두 7기의 지자기 관측기가 설치되어 있지만, 여기서 나오는 자료들을 효율적으로 통합·관리하는 조직이 없음
 - 7곳의 관측기로부터 생성되는 자료를 통합·관리하며, 필요로 하는 기관 및 수요자들에게 체계적으로 제공하는 조직 필요

다. 향후 추진계획

- 지자기 관측의 신뢰성 향상을 위해 노후 시스템을 단계적으로 교체
 - 2007년 제주 → 2009년 용인 → 2010년 이천

- 지자기 관측 자료를 활용한 응용연구 강화
 - 관측된 자료를 토대로 정밀한 사후 분석이 가능하도록 분석프로그램 개선
 - 현행 지자기 분석 프로그램은 일단위 분석만 하고 있는데, 시간대별·강도별 다양한 분석이 가능하도록 개선
 - 지자기 관측자료와 태양전파 관측자료 간 비교·분석을 통해 대규모 태양폭발 및 지자기 폭풍 발생가능성 분석
- 국내 지자기 관측 표준기관으로서의 위상 정립



그림 3-13 전국에 설치된 각 기관별 지자기 관측기

- 지자기 관측기를 보유한 유관기관과 공유체계를 구축하는 등 국내 지자기 연구의 중심 역할 수행
- 국내 지자기 연구 결과를 토대로 국제 지자기 모델 개발에 참여

1.4. 태양풍 관측 시스템 구축

가. 태양풍 관측기(IPS ; InterPlanetary Scintillation)

- 태양에서 지구로 향하는 태양풍 및 CME(Coronal Mass Ejection) 관측
- 태양풍 3차원 밀도분포 및 이동 속도 자료 획득
- 관측 자료를 이용한 모델 개발을 통해 우주전파환경 예보능력 보유 가능
- ACE 위성의 임무 중단 후에도 태양풍 정보 획득 가능
- 일본, 호주, 인도 등의 장비와 공동 관측을 통한 국제 협력 가능
- 100m X 40m의 array 구조로서 비교적 대규모 관측 장비 임

(1) IPS 예상 관측 결과

- 태양-지구 사이 행성간 공간에 대한 태양풍 속도 맵

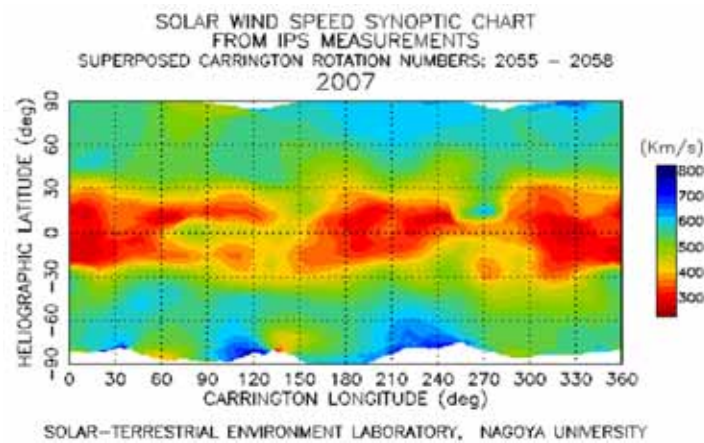


그림 3-14 IPS 관측으로부터 얻은 태양풍 속도 지도

- IPS 자료를 이용한 태양풍 속도와 g-value 예보

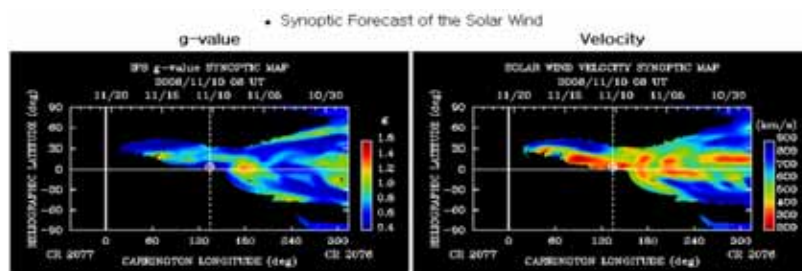


그림 3-15 IPS 관측으로 계산한 g-value 와 태양풍 속도 맵

$$g-value = \frac{\text{관측된 소스의 } scintillation\ amplitude \text{의 변화량}}{\text{오랫동안 관측한 소스의 평균 } scintillation\ amplitude \text{의 변화량}}$$

- IPS 자료를 이용한 지구 근방에서의 태양풍 속도와 밀도 예측

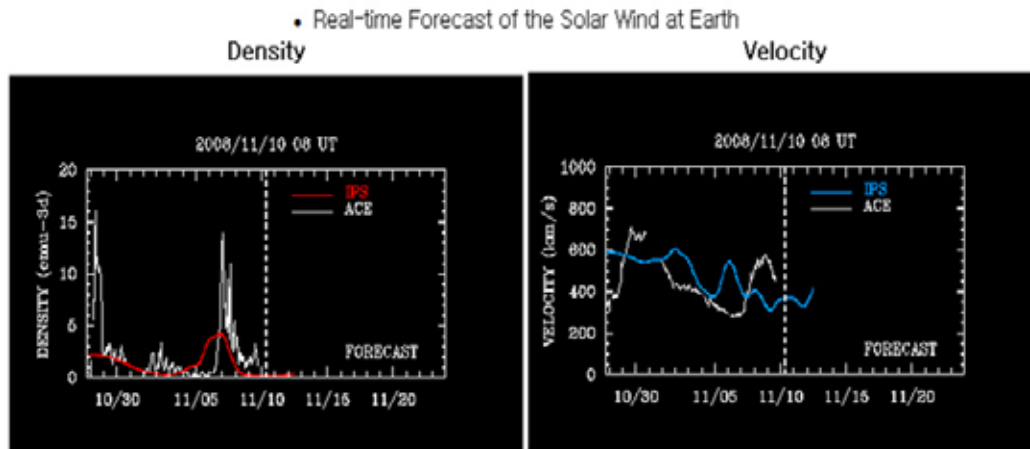


그림 3-16 IPS 자료를 이용한 지구 근처에서의 태양풍 밀도와 속도 예측

(2) 일본 나고야 대학 STEL 그룹의 태양풍 관측기 시스템

- 일본 STEL의 태양풍 관측기 시스템은 불임10. 참고

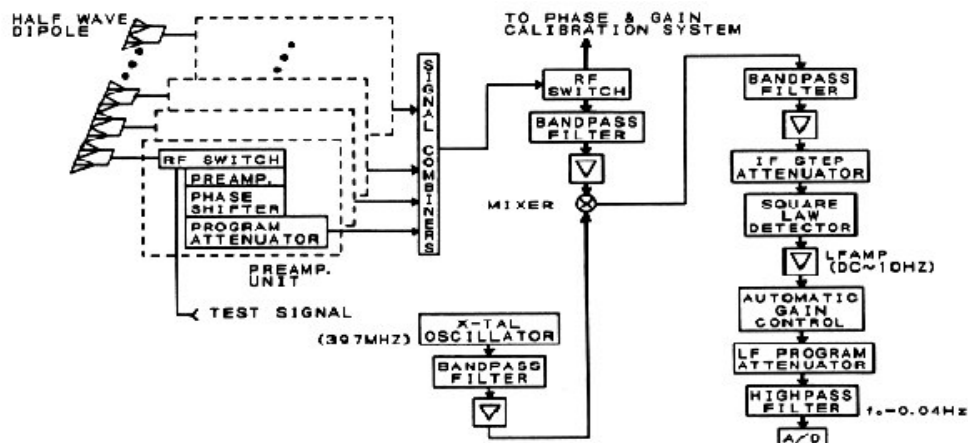


그림 3-17 IPS 안테나 수신신호 처리 개요도

나. 현황 및 문제점

- 현재 우리나라는 태양풍 관측기(IPS, InterPlanetary Scintillation)가 없으나, 일본, 영국, 인도 등의 나라에서는 태양풍 관측기를 이용한 태양풍 특성을 연구 및 우주전파환경 예보에 활용하고 있음
- 태양풍의 물리적 성질들은 우주전파환경 예보모델에 input 값으로 상당히 중요한 관측 자료임
- 태양풍 관측기가 없는 우리나라의 현 상황의 경우, 우주전파환경 예보를 위해서는 미국 위성이 관측하여 취득하고 있는 태양풍 자료에 절대적으로 의존해야 하는 상황임

나. 향후 추진방안

- 일본 나고야대학 STEL의 태양풍 관측기 중, 기존의 안테나보다 공간분해능이 뛰어난 신형 IPS 안테나를 설치한 Toyokawa 관측소의 IPS 시스템을 모델로 제주부지에 IPS 설치

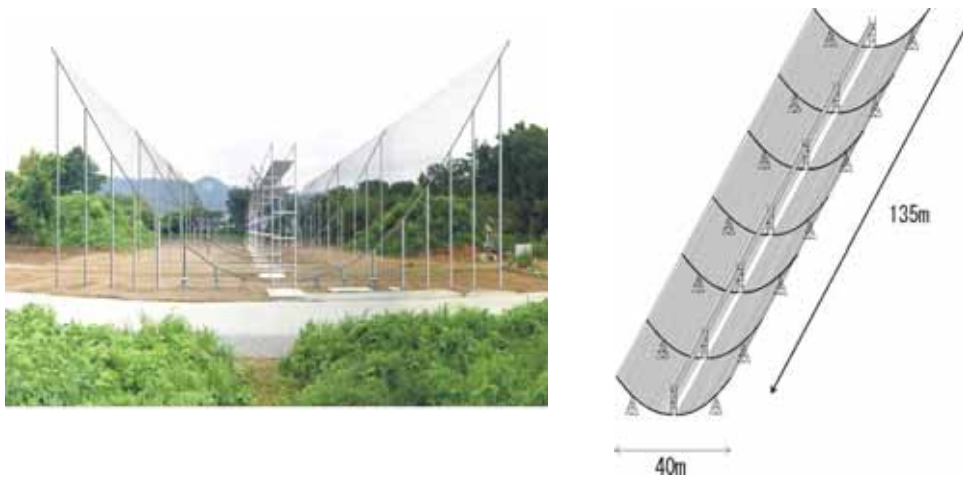


그림 3-18 일본 Toyokawa 관측소에 설치한 신형 태양풍 관측기(IPS)

2. 우주전파환경 예보 모델링 기술 선진화

2-1. 우주환경에 의한 지상전파환경 영향 분석연구

가. 현황 및 문제점

(1) 국내 현황

- 오랫동안 전파연의 전리층 관측결과를 바탕으로 우주환경의 변화가 단파통신에 대한 영향연구가 이루어졌으며 비교적 신뢰성 있는 예보도 할 수 있게 됨.

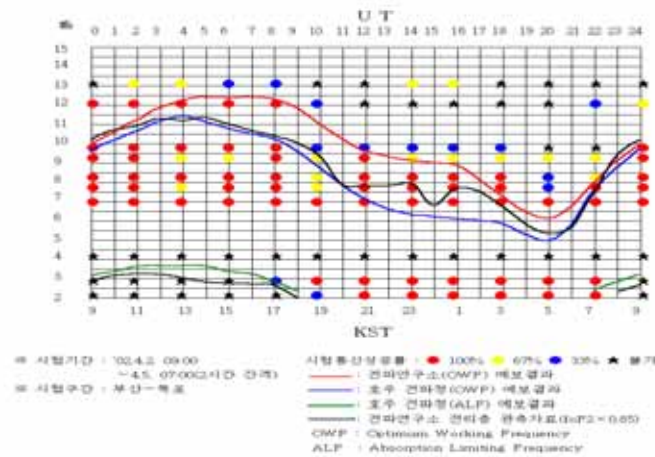


그림 3-19 단파통신 실험 및 예보

- 그러나 IT기술의 발달과 정보의 대량화로 인해 점점 의존도가 커지는 초단파, 극초단파 및 마이크로파 통신에 대한 우주환경의 직간접의 영향을 분석은 거의 이루어 지지 않고 있음.
- 특히, 태양전파폭발이 휴대폰의 통신장애 또는 잡음증가, 위성통신의 영향연구 그리고 전리층의 변화에 따른 위성항법정보의 영향분석 등이 우선 이루어져야 예보모델링의 개발 기본방향을 설정할 수가 있을 것임.

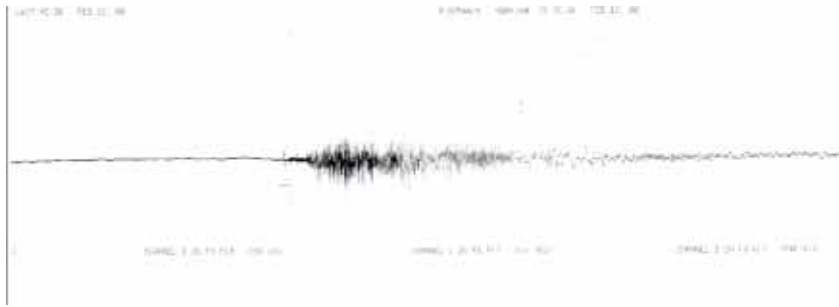


그림 3-20 위성수신(온세통신) 장애현상(2000년)
(수신대역 3.9GHz, 신호레벨 3-4dB 변동)

(2) 해외 현황

- 미국, 유럽, 호주 등 우주 선진국에서도 IT기술에 힘입어 점점 발전하고 있는 통신 인프라의 보호를 위하여 우주환경연구에 집중하고 있음.
- 특히 전통적으로 HF대역 통신에 의존도가 큰 호주는 이 분야에서 상당한 연구를 진행 중 임.

나. 향후 추진방안

주파수 대역	전파통신 분야	우주환경영향연구	수요기관
HF	HF 통신 및 단파방송	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전리층 전파흡수 ○ 전파두절 ○ Fading 증가 	군, 지방 항공청, 철도청, 산림청, 야마추어무선, 방송국, 군, 공항공단, 국정원, 한국통신(위성추적), 온세통신 및 데이콤 위성지구국 CDMA GPS 지구국
VHF UHF	감시 시스템 방송	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전리층 및 태양전파의 전파간섭 ○ 전파위상 및 진폭 변화 ○ 위성추적에러 	
SHF	위성통신 및 GPS	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전리층 및 태양전파의 의한 신틸레이션 및 통신장애 	

2-2. 예보 모델 개발 역량 강화

가. 현황 및 문제점

(1) 국내 현황

- 현재 우리나라에서는 우주전파환경과 관련하여 학계에서 연구되어 온 모델은 일부 있으나 우주전파환경 예보를 위해 개발된 모델은 극히 적음
- 전파연구소에서는 국제적으로 통용되고 있는 전리층 예보모델을 이용해 단파통신 보호를 위한 단파대 최적주파수 예보 서비스만 실시하고 있음
- 우주전파환경 예보는 환경변화 예측이 중요한데, 현 시점에서는 예측을 위한 예보 모델 개발 역량이 거의 없다고 볼 수 있음.
 - 우리나라의 예보 서비스 수준은 지자기, 태양 X-ray 등 주요 우주전파환경 예보 정보를 미국 SWPC로부터 자료를 수집 전달하고 있는 상황임
- 이러한 상황에서 만약 SWPC가 외국에 대한 우주전파환경 예보 서비스를 중단할 시에는 급격한 태양활동으로 인한 사회경제적 피해에 우리나라는 무방비로 노출될 것임
- 따라서 신뢰성 있는 우주전파환경 예보서비스와 예보기술의 자립화를 위해 다양한 예보 모델 개발이 시급함

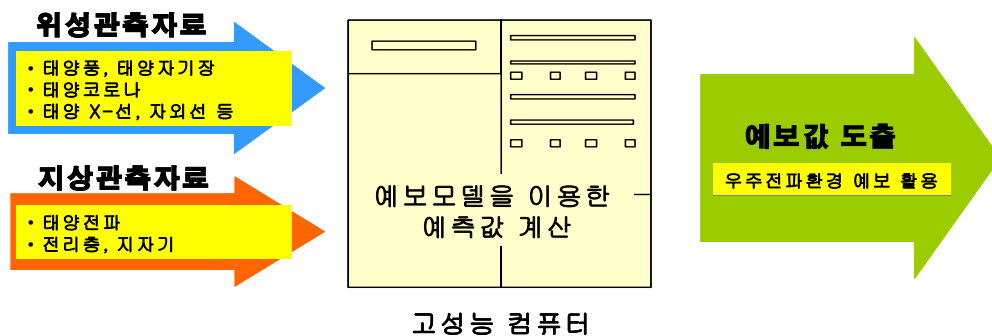


그림 3-21 우주전파환경 예보모델 개요

(2) 해외 현황

- 미국, 유럽, 호주 등 우주 선진국에서는 태양활동, 지자기 폭풍 등의 주요 우주전파환경 예보모델을 국가 안보차원에서 학계와 연동하여 자체 개발을 통해 운영하고 있음
- 미국의 경우, 관련 대학 및 학계와 긴밀한 관계를 유지하며 우주전파환경 예보모델을 개발하고 있음

나. 향후 추진방안

- RFID, Wibro 등 유비쿼터스 기반의 다양한 무선 서비스가 급증하고 있는 국내 현실을 고려한 예보모델 개발 필요
 - 우주전파환경 예보를 위한 모델을 개발하기에 앞서 예정보 수요자들의 요구사항이 어떤 것인지 파악되어야 함
 - 예보모델은 과거 관측자료를 토대로 수치 해석적 분석과 현재 관측값을 이용하여 미래의 우주전파환경을 예측하는 소프트웨어
- 독자적인 우주전파환경 예보 서비스 구현을 위한 우주전파환경 예보 모델 개발 역량 확충
 - 우주전파환경에 대한 기본 지식과 모델링에 대한 전문지식을 겸비한 전문 인력들로 전담 연구팀 신설
 - 미국 SWPC 수준의 예보모델 개발 및 예보서비스 고도화를 위한 고성능 컴퓨팅 인프라 구축

표 3-4 신뢰성 있는 우주전파환경 예보서비스를 위해 요구되는 예보모델

예보 모델	예보 용도
태양풍 모델	태양풍 밀도 및 속도 예측
태양코로나 모델	태양 코로나의 발생규모 및 변화 예측
지자기권 모델	지구주변의 자기장 변화 예측
태양자기권 모델	태양 자기장의 변화 예측

- 선진국 수준의 우주전파환경 예보 서비스 구현을 위해 예보 모델 개발 로드맵 수립
 - 해외 우주전파환경 연구기관에서 운영 중인 예보모델 동향 조사를 토대로 개발 우선순위 결정
 - 천문연구원, 학계 등 국내 관련 연구기관과 예보모델 개발을 위한 공동 연구협력 체계 구축
- 2012년 태양활동 극대기시 통신장애 피해를 최소화하기 위해 미국 SWPC에서 운용중인 예보모델을 우선적으로 도입 검토
- 장기적인 안목으로 볼 때, 원활한 예보모델 업데이트 및 예보 서비스 제공을 위해서는 기초모델부터 자체 개발하는 것이 바람직한 것으로 판단

2-3. 예보 모델 선정 및 평가

가. 현황 및 문제점

- 현재 국내에서는 우주전파환경 예보 전담기관이 없고, 따라서 우주전파환경 예보를 위한 모델 개발 및 모델 선정에 관한 경험이 전무한 상황임
- 앞서 언급한 바와 같이 대부분의 우주 선진국에서는 우주전파환경 예보를 위한 모델을 모두 자체적으로 개발하여 사용하고 있음
- 스웨덴 IRF의 경우 약 5명의 예보모델 전담 연구원들이 IRF 설립 초기부터 약 40여년간 개발하여, 현재는 소수의 인원이 모델 업그레이드 및 관리를 하고 있음.
- 미국은 우주전파환경 예보에 필요한 많은 모델 중 SWPC에서 자체 개발하여 사용하는 것들도 있지만, 대부분의 모델은 학계에서 연구되어온 여러 가지 모델 중 수요자들의 요구사항에 맞는 모델을 SWPC에서 선정하여 학계와 함께 개발 후 검증을 거쳐 사용하고 있음
- 우리나라의 경우 시급한 모델은 미국의 예보모델을 벤치마킹하여

사용할 수도 있겠지만, 장기적으로는 미국처럼 관련 대학 및 학계의 모델 개발 그룹과 긴밀히 교류하며 자체 개발하는 것이 바람직한 방향으로 판단 됨

나. 향후 추진방안

- 예보 모델의 선정을 위해서는 우선, 분야별 예보 서비스를 이용할 개인, 기업 그리고 기관 소비자들의 요구사항이 무엇이고 필요로 하는 서비스가 무엇인지에 대해 체계적으로 파악해야 함
 - 이를 통해서 수요자가 필요로 하는 정보 및 예보를 제공하는 것이 매우 중요
- 예로서, 현재 전파연구소에서 예보 모델을 개발한다고 가정하면 우선적으로 실생활에 바로 도움이 될 수 있는 항해용 전리층 예보 모델 같은 종류를 개발하는 것이 현실적이기도 하고 국민이나 외부 기관에 대해 호소력이 있을 것으로 판단됨
- 우리나라의 상황에 맞는 예보 모델 선정 및 개발에 참고할 수 있도록, 미국 SWPC에서 개발하였거나 진행 중에 있는 여러 분야의 각종 모델들을 간략한 설명과 함께 별첨으로 정리
- 미국 SWPC에서 개발 및 진행 계획 예보 모델의 종류는 붙임9에 나타냄

3. 우주전파 관측기술 역량 강화

3-1. 첨단관측 기술 역량 확보

가. 현황 및 문제점

- 국내의 경우 우주전파환경 관측 장비에 대한 기술력 부족으로 대부분 관측 시설을 외산제품에 의존하는 실정임
 - 전리층, 지자기 관측기는 해외도입 장비로 장애발생 후 정상동작까지




상당한 시간과 비용이 소요되어 안정적인 관측자료 확보 곤란

- 지자기 관측기의 경우 일본 현지수리 후 재 설치까지 약 3개월 소요
- 태양풍 관측기 등 첨단 우주전파환경 관측 장비들은 수요부족으로 외국기관들도 자체 제작하고 있어 국내 도입이 어려운 실정
- 급속히 발전하고 있는 우주전파환경 관련기술을 적기에 수용하고 나아가 기술 발전을 선도하기 위해서는 관측 장비의 자체 제작을 통한 기술력 확보가 중요
- 일본의 경우 1973년부터 태양풍 관측기를 설치하여 자료를 취득해옴
- 태양풍 관측기는 위성 관측을 배제했을 때 유일하게 지상에서 태양풍의 물리적 정보를 얻을 수 있는 관측기로 평가됨
- 우주전파 환경 관측을 위한 자체 기술력을 가진 국가는 지속적으로 장비를 업그레이드하며 우주환경 변화 연구에 선도적인 역할을 담당
- IPS 관측의 경우 일본, 영국, 인도 등은 IPS 자료를 서로 공유하며 상호 보완적인 관측을 수행하고 있음

나. 향후 추진방안

- 현재 운용중인 전리층, 지자기 관측 장비에 대한 주기적인 기술교육 및 선진기술 벤치마킹을 통해 자체 유지보수 및 개발 역량 확보
- 장비 제작기관의 운용교육 참여확대 및 관련 해외 연구기관과 인력 교류를 통한 관측기술 전문가 양성
- 해외 연구기관이 보유한 각종 첨단 관측 장비에 대한 현황조사 및 국내 개발 타당성 검토를 토대로 설치 및 개발 로드맵 수립

표 3-5 국내 개발 검토대상 관측 장비

관측장비	용도
 <div>태양풍관측기</div>	태양풍의 밀도, 전파과정 등을 분석
 <div>전파흡수관측기(Riometer)</div>	천체 전파의 전리층 흡수량을 측정하여 태양풍 입자가 전리층에 미치는 영향 분석
 <div>단파레이더</div>	인위적 전리층 교란을 야기시켜 단파통신 제어 및 전리층 특성 분석

3-2. 우주전파환경 관측위성 개발

가. 현황 및 문제점

(1) 국내 현황

- 현재 국내에서 운용중인 우주전파환경 관측 장비는 모두 지상에 설치되어 있어 다양하고 신뢰성 있는 우주전파환경 관측에 한계
 - 우주전파환경 예·경보에 중요한 태양 X-ray, 고에너지 입자 등은 지상에서 관측이 불가능

※ 위성을 통한 태양 X-ray 및 고에너지 입자 관측으로 보다 신속한 전리층 및 지자기 폭풍 예·경보가 가능함

- 국내에서는 다목적실용위성 1호와 과학위성 1호, 2호를 통하여 우주환경관측을 수행한 바 있으나 국제적인 경쟁력을 갖추지는 못한 것으로 평가됨

표 3-6 국내 우주전파환경 예보를 위한 관측위성 프로그램

위성명	다목적 실용위성 1호	우리별 시리즈	과학위성 1호
목적	한반도 지형관측	위성제작기술 습득 및 인력양성	본격적인 과학관측
탑재체 (우주환경 측정용)	<ul style="list-style-type: none"> - 고에너지 입자 검출기 - Langmuir Probe(LP) - Electron Temperature Probe (ETP) 	<ul style="list-style-type: none"> - 우주방사선 실험장치 - 저에너지 입자 검출기 - 전리층 측정센서 - 마그네토 미터 - Electron Temperature Probe (ETP) 	<ul style="list-style-type: none"> - 원자외선 분광기 - 우주환경 측정장치 - 마그네토미터 - Langmuir Probe (LP)
위성제원	<ul style="list-style-type: none"> - 수명 : 3년 이상 - 무게 : 470kg 	<ul style="list-style-type: none"> - 수명 : 3년 - 무게 : 50~110kg 	<ul style="list-style-type: none"> - 수명 : 3년 - 무게 : 100kg
궤도	<ul style="list-style-type: none"> - 685km 원궤도 - 태양동기궤도 	<ul style="list-style-type: none"> - 1,300km~700km의 원궤도 	<ul style="list-style-type: none"> - 700km 원궤도
모양		 KITSAT-1 (Aug '92) <i>Technology Acquisition</i>	

- 신속한 우주전파환경 관측과 신뢰성 있는 예보서비스를 위해 위성을 이용한 관측기술 개발에 대한 중장기적 계획 수립 필요

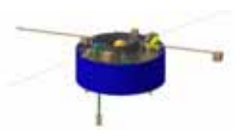
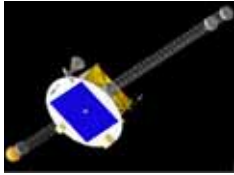
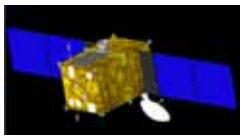
(2) 해외 현황

- 세계적으로 지상장비의 첨단화는 정체되어 있는 상태이고, 예보서비스를 위한 모델링의 입력 데이터는 위성 데이터가 절대적임.
- 해외의 거의 모든 예보서비스기관은 태양 감시 모니터링과 예보

프로그램 가동을 위한 위성 입력 데이터는 미국의 SWPC에 전적으로 의존하고 있는 상황임.

- 미국을 제외한 예보서비스 기관들은 자체 관측위성을 보유하기를 원하나 예산 부족으로 실현하지 못하고 있음.
- ESA에서도 2001년 Space Weather에 대한 유럽 공조프로그램에 대한 타당성 검토 시에도 다음과 같은 관측위성프로그램을 계획한 바 있으나 실현되지 못한 것으로 보임

표 3-7 ESA의 우주환경예보를 위한 관측위성 프로그램

위성명	IMM (Inner Magnetosphere Monitor)	SWM (Solar Wind Monitor)	SAM (Solar Activity Monitor)
목적	지구자기권과 입자의 실시간 감시	지구자기권 앞단의 태양풍 특성 관측	코로나와 태양디스크의 이미지 관측
탑재체	<ul style="list-style-type: none"> - 고에너지 입자검출기 - 열 플라즈마 감시기 - 중간에너지 입자검출기 - 마그네토미터 - 파동분석기 - GPS 수신기 	<ul style="list-style-type: none"> - 열 플라즈마 감시기 - 중간에너지 입자검출기 - 마그네토미터 - 저주파 분광기 	<ul style="list-style-type: none"> - 원자외선 망원경 - X-ray광전관측기 - 우주복사감시기 - 코로나그래프
위성제원	<ul style="list-style-type: none"> - 수명 : 5년 - 무게 : 1004kg - 전력 : 300W 	<ul style="list-style-type: none"> - 수명 : 5년 - 무게 : 208kg - 전력 : 140W 	<ul style="list-style-type: none"> - 수명 : 5년 - 무게 : 538kg - 전력 : 500W
궤도	<ul style="list-style-type: none"> - 650 x 39,717km (극타원궤도) - 10도 궤도경사각 	L1 궤도	L1 궤도
모양			

나. 향후 추진방안

(1) 국내 개발 방안

- 우주전파환경 예보서비스에 필요한 관측센서(탑재체) 기반기술 개발
 - 해외 관측센서 기술동향 조사 및 국내 개발가능성 검토 후 개발 로드맵 수립
- 우주환경 관측위성의 형태로는 저궤도 위성, 정지궤도 위성, L1 궤도 위성 그리고 태양궤도위성 등으로 나눌 수 있는데, 국내에서 고려될 수 있는 것은 저궤도, 정지궤도 그리고 L1궤도 위성이 될 수 있음.
- 정지궤도 위성의 경우는 과기부 우주개발계획에 포함되어 있는 “정지궤도 복합위성”이 가장 좋은 대안이라 생각할 수 있음.
- 저궤도 위성의 경우는 과기부 우주개발계획 및 국제 우주전파환경연구 동향 등을 고려하여 우주전파환경 위성기술 개발계획을 수립 추진할 수 있음
 - 최근 인공위성의 소형화 추세에 발맞추어 우주전파환경연구 전용 소형위성 발사 추진(개발기간 3~4년, 약 30억원 소요)
- 우리나라의 경우 기존의 위성 사업을 통해 기술들을 많이 확보하고 있음. 태양을 보는 위성의 경우 대구경 광학계는 필요 없을 것. L1 지점으로 위성을 보낼 때 클 필요 없음. L1 포인트로 보낼 때 500~600억 정도는 있어야 신뢰성 있는 데이터를 얻을 수 있을 것임
- 우주관측위성의 개발을 위하여는 ETRI, 항공우주연구원 및 인공위성연구센터와 관측전용 위성기술개발을 위한 공동협력 및 연구관리 체계를 구축하여 추진함.
- 본 보고서에서는 단계별 추진을 추천함.
 - 1단계로 소형시험위성 또는 다목적 실용위성 등을 이용하여 전용 우주관측위성을 운용하는 것이 바람직하며, 이때 탑재할 관측 센서는 예보모델개발 로드맵과 연관을 지어서 결정해야 함.

- 2단계로 정지궤도 복합위성에 탑재할 관측센서를 개발하는 것이 좋겠음. 여기에는 지구자기권 관측과 태양풍 관측기가 모두 고려될 수 있음.
- 3단계로 L1궤도 위성을 개발하여야 우주환경예보서비스 고도화의 목표를 궁극적으로 달성 가능함. 예산 절감과 국제 경쟁력 확보를 위해서는 유럽, 호주 등 자체위성 프로그램이 없는 해외기관과의 공동개발이 절대적임.

(2) 해외 협력 개발 방안

- 해외 우주전파환경 관측위성 개발 프로젝트 참여추진
 - 향후 3년 내에 발사예정인 외국의 관측위성 프로젝트에 대한 현황조사 및 참여 타당성 검토
- 우주전파환경 관측위성에 탑재 가능한 관측센서 기반기술 개발
 - 해외 관측센서 기술동향 조사 및 국내 개발가능성 검토 후 개발 로드맵 수립
- 국내 관측위성 개발에 해외 예보기관과의 협력은 필수적임
 - 해외기관들의 다년간 경험을 관측위성개발에 반영하면 적은 예산으로 경쟁력 있는 데이터를 생산해낼 수 있으므로 국제적 지위 향상에 큰 도움이 됨.

4. 대내외 협력 네트워크 강화

4-1. 우주전파환경 예·경보 대응체계 구축

가. 현황 및 문제점

- 현재 전파연구소에서 제공하고 있는 예·경보 체계

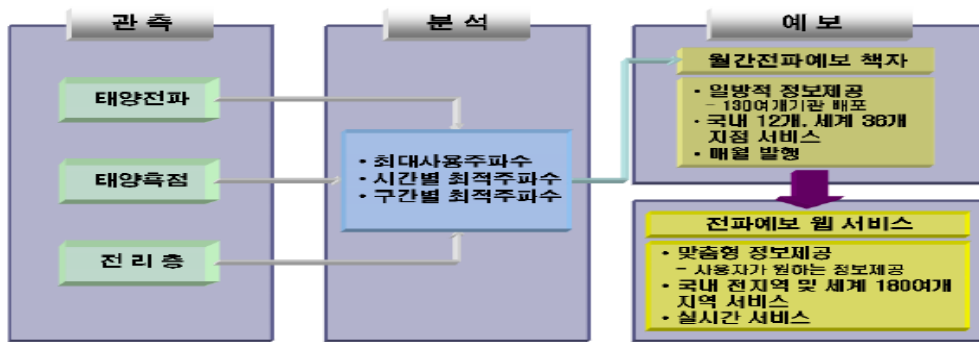


그림 3-22 현재 전파연구소에서 실시하는 단파대역 전파 예보 흐름도



그림 3-23 전파 경보 체계

- 최근 우리나라의 우주전파환경 연구에 대한 높은 관심과 인식수준 향상으로 관련정보 서비스 요구가 증가하고 있으나, 예·경보 대응체계나 서비스 수준 및 활용범위가 기대 수준에 미치지 못하고 있음
- 현재 우리나라는 우주전파환경 변화로 인해 야기되는 피해를 예측한 경우에도 이를 효과적으로 전달할 수 있는 전달 체계조차 갖추어지지 않음
 - 막대한 경제·사회적 피해와 직결될 수 있는 긴급한 우주전파환경 경보를 일회성 언론보도에 의존하고 있음
- 군, 통신사, 항공사 등 우주전파환경 변화로 인해 직접적인 영향을 받는 기관들도 이에 대한 인식 부족
 - 우주전파 환경과 관련된 긴급상황 발생 시 효과적으로 대처하기 위한 대책도 전무한 실정

나. 향후 추진방안

- 태양활동 변화 및 예측정보의 신속·정확한 상황전파체계 구축
 - 우주전파환경의 실시간 변화를 신속하게 분석하여 알기쉽게 대국민에게 설명하는 우주전파환경 캐스트 서비스 실시
 - 긴급상황을 효과적으로 전파 및 관리하기 위해 군, 통신사 등 유관기관과 공조체계 마련 및 Hot-Line 신설
 - 우주전파환경 상황전파 전달체계 개선
- 우주전파환경 정보 수요처 파악 및 수요처별 대응체계 구축
 - 정보 수요처 조사 및 선정
 - 우주전파환경 비상대응을 위한 연구반 구성
- 우주전파환경 변화로 인해 발생하는 재난피해에 대한 홍보 및 교육을 통해 국내 관련기관의 인식변화 유도
 - 우주전파환경 경보등급별 예상피해 분석
 - 우리나라에 적합한 경보등급에 따른 예상피해(안) 마련
- 미국의 경우 우주전파환경 경보등급별 피해발생 사례를 제시하여 경보 발생 시 각 기관별 자체 대응 계획수립을 유도
- 우주전파환경에 의한 피해 최소화를 위해 국가 차원의 Contingency Plan을 수립하고 주요기관에 대해서는 자체 계획 수립 의무화
 - 항공사, 위성사업자 등 주요 정보수요처별 대응체계 매뉴얼 작성 유도

4.2. 국제기구 및 연구기관 협력 체계 강화

가. 현황 및 문제점

- 선진국 중심으로 우주전파환경 연구 네트워크가 형성되어가고 있으나, 우리나라의 참여는 전무한 실정
 - 전리층, 태양폭발 등 전문분야별로 국제 협력활동이 활발히 전

개되고 있으나 우리나라는 인원 및 기술력 부족으로 참여가 어려운 실정

- 국제간 우주전파환경 관측 및 분석 자료의 실시간 교류 네트워크 참여부재로 경보 발령 시 사회경제적 피해 가중 우려
- 우주전파환경 연구 관련 기술력 확보 및 우리나라의 국제위상 제고를 위해 국제협력 프로그램 참여 확대 필요

표 3-8 우주전파환경 관련 선진국 간 협력

구 분	참여 국가	협력 내용
COST296	영국, 독일 등 유럽 23개국	전리층 관측 및 예보모델 개발
IHY	미국, 유럽, 일본	태양활동 관측
ISES	미국, 일본, 영국 등 11개국	우주전파환경 공동관측 및 자료공유
SOHO 위성	유럽, 미국, 호주	태양자기장 및 태양폭발 관측

나. 향후 추진방안

- 전리층 등 우리나라가 일정 수준의 경쟁력을 보유한 분야부터 국제협력 프로그램에 단계적으로 참여
 - 2008년 COST296, 2010년 IHY 가입 추진
 - WDC 센터 유치(세계데이터센터, WDC : 미국 등 12개국 52개 센터가 있으며 태양 및 지구물리 관련 데이터의 취득, 보관, 제공의 서비스 수행)
- Co-funding, 연구실적, 연구시설 등 일정 조건을 요구하는 협력 프로그램에 대해서는 중장기 가입계획을 수립하여 참여 추진
 - 서비스제공 능력, 연구 활동 등 가입요건이 요구되는 국제우주환경 서비스기구(ISES)는 국내 여건 정비 후 가입(2011년)
 - 가입 후 RWC(Regional Warning Center)로서의 업무 수행
- 전파연구소를 중심으로 각계 전문가로 ISES 가입 추진위원회를 구성·운영하여 연구 활동을 조직화 및 국제화(2009년), ISES 정기총

회 참석하여 ISES 가입 협의(2010년)

○ 해외 연구기관과의 교류·협력활동 강화

- 일본(NICT), 중국(CAS) 등과 전리층, 지자기 등 공동관측·연구 추진
- 국제간 우주전파환경 관측·분석 자료교환 및 공유를 통해 국내 우주전파환경 관련 기술 발전 기여
 - 미국(SWPC) : 우주전파환경 응용분야 협력
 - 유럽(ESA, IRF) : 우주환경 모델링 및 인력양성 프로그램 운영
 - 호주(IPS) : 전리층 및 태양폭발 분야 공동연구와 소프트웨어 공동개발
 - 일본(NICT) : 우주전파환경 공동관측, 관측기기 공동개발, 자료공유 협력
 - ISES : 국제위상 제고 및 국가간 협력을 통해 국제공동 프로그램에 단계적 참여
- 아르헨티나, 칠레 등 지구 반대편에 위치한 국가와 24시간 태양활동 감시를 위한 관측자료 및 분석기술 교류
- 해외 우수 연구기관의 풍부한 우주기상예보 및 관측 경험과 우리의 기술을 접목한 관측 탑재체에 대한 공동설계, 제작·운영 등을 수행하고 관측 자료를 공유하면 세계적으로도 경쟁력 있는 우주전파연구 센터로 올라설 수 있음



그림 3-24 우주전파환경연구 협력체계

제 4 장 우주전파환경연구센터 설립 및 운영(안)

제 1 절 센터 위치 및 시설 배치

1. 센터부지 선정 및 활용 방안

가. 센터부지 최적 환경 조건

- 전파 잡음이 없고 인적이 드문 지역(해안 및 도서지역)
- 주변지역에 전파혼신 논란이 없는 지역(도시지역 절대 불가)
- 해양상공에 대한 우주전파환경 관측이 용이하고 외국과 인접하여 국제 공동관측이 가능한 지역(해안지역)

나. 센터부지 선정 배경

- 전파연구소 이천분소는 야외 안테나 시험장에서 발생하는 전파잡음으로 인해 신규관측시설의 설치가 곤란
- 2012년 전파연구소가 이전할 나주지역은 주변의 전력선, 도심차로, 건물 엘리베이터 등으로 인해 전파환경이 매우 불량하며 전리층 관측 시 인근에서 전파혼신 민원 제기 우려
- 우주전파환경 관측을 위한 전파환경이우수하고 관측시설의 운용 및 유지관리가 용이하며 부지확보에 소요되는 시간과 비용을 고려시 전파연구소 제주부지(한림) 활용을 추진

※ 제주부지는 기존에 제주전파관리소 부지로서 우수한 전파환경이 입증되었음

다. 센터부지 소개

(1) 대상지역 : 제주시 한림읍 귀덕리 1814번지

(2) 부지 면적 : 59,860m² (18,139평)

○ 토지 17,760평, 건물 : 379평(구 중관소 건물)

(3) 제주부지(한림읍) 관련경위

- 1980. 01. : 중관소 제주분소 업무개시
- 1997. 09. : 제주대에 지자기 관측시설 설치
- 2003. 11. : 제주대 건물신축 관계로 지자기시설 이전요구
- 2004. 05. : 제주부지에 지자기 관측시설 이전설치
- 2004. 11. : 중관소 제주분소 신축청사(애월읍) 이전
- 2005. 03. : 제주부지 중관소에서 전파연구소로 이전

(4) 부지도면

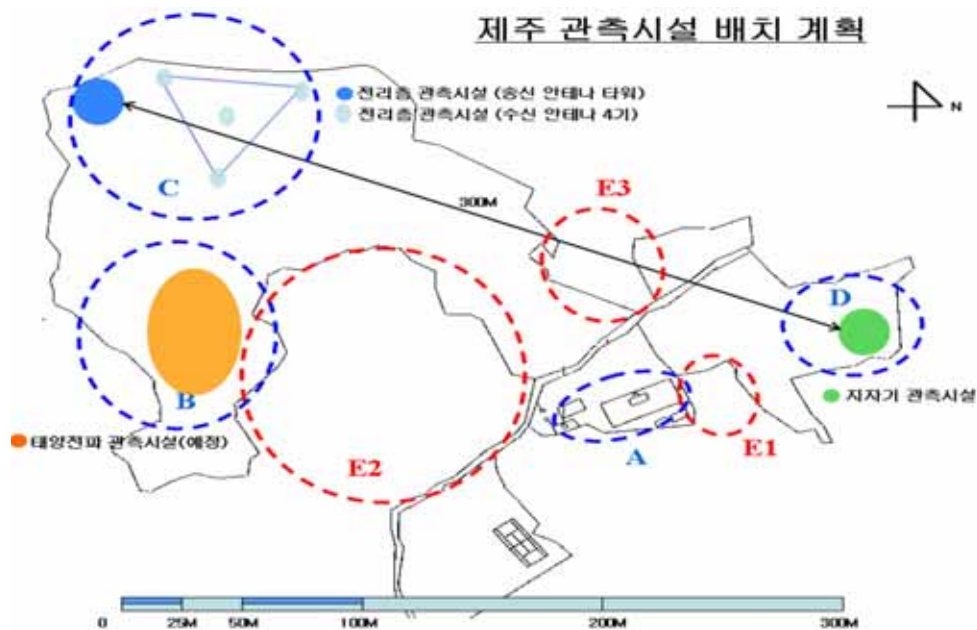


그림 4-1 전파연구소 보유 제주 한림부지 도면 및 관측시설 배치 계획

- A 지역 : 기존에 사용하던 사무실 건물
- B 지역 : 태양전파 관측시설 설치 예정지
- C 지역 : 전리층 관측시설 설치 예정
- D 지역 : 지자기 관측시설 운영 중
- E1, E2, E3 지역 : 구획 정비를 고려할 필요가 있는 지역

(5) 위성사진



그림 4-2 제주부지 위성사진

라. 부지 조사 결과 검토

- 한림읍에서 7km정도 떨어져 있는 조그만 시골마을에 위치하였음.
- 주위가 전부 평지이며 구릉지도 볼 수 없는 평야지대임. 현재 계획하고 있는 전리층 관측 시설(송신 및 수신안테나), 지자기 관측 시설 그리고 태양 관측시설 등을 설치하기에는 입지조건이 좋음.

주위에 방해 전파소스도 없으며 측정으로 인한 피해예상 시설도 없음.

- 현재 중관소에서 사용하였던 사무실, 태양관측시설지역, 전리층 관측 시설 지역, 지자기 관측시설지역 및 구획정리 예상지역 등 5개 지역으로 나누어서 조사하고 사진촬영 함.
- 조사결과 관측시설을 설치하기에는 아무런 문제도 발견하지 못했으며, 관측 시설 특성 상 최적의 입지조건임을 확인함.
- 다만, 부지의 모양이 너무 복잡하여 도로, 전기, 수도 등 편의시설 등을 조성하기가 매우 비효율적으로 보임.

다. 부지 정비 방향 검토

- 최소한 태양관측예정지와 사무실예정지와 사이 부지(E2 지역)를 매입하여 가능한 한 직사각형모양으로 구획을 정비하는 것이 바람직함.
- 현재 이곳은 개인농지로 되어 있어 관측과 보안문제에도 지장이 있을 것으로 판단됨.

2. 센터 시설 배치 방안

가. 센터 건물 배치 방안

- 기존 중관소 건물 위치에 지하 1층 및 지상 4층 규모의 새로운 건물을 건축
- 현 건물은 남북 방향으로 배치되어 있으나, 채광 및 관측시설 조망권 등을 고려하여 새로 지을 센터는 동서 방향으로 배치 권장.
- ※ 현재 지역주민 사유지인 E2 지역을 매입할 경우, 부지 내의 모든 관측 시설을 건물 내에서 조망 가능
- 기존 건물이 위치한 곳이므로 전기, 수도, 배관 등의 설치에 문제가 없을 것으로 예상되며 주차장 설치도 용이 함.

(1) 센터 건물 내 시설 계획

- 센터 건물 내 필요한 시설

표 4-1 센터 건물 내 필요 시설

명칭	개수	용도	명칭	개수	용도
사무실	5	각 과별 1개	실험실	2	기기 정비, 장비 제작 및 시험
사무실	1	센터장 집무실	창고	1	물품 적재용
회의실	4	대회의실 1개, 중회의실 1개, 소회의실 2개	휴게실	1	직원 휴식 및 외부 손님 대기
전산실	1	서버 및 네트워크 관련 장비	식당	1	-
예경보실	2	- 우주전파환경 예 경보 모니터링 - 예보모델 개발	체력 단련실	1	샤워실 포함
측정 장비실	1	- 전리층관측기, 태양풍관측기, 태양전파경보시스템 등의 측정장비 보관실			
당직실	1	- 당직근무자	경비실	1	- 출입자 통제

- 센터 건물 배치도 및 층별 평면도

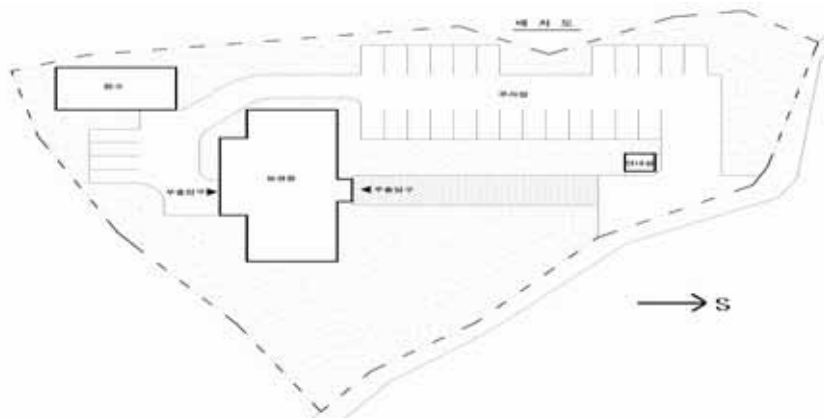


그림 4-3 건물배치도



그림 4-4 건물 1층 평면도



그림 4-5 건물 2층 평면도



그림 4-6 건물 3층 평면도

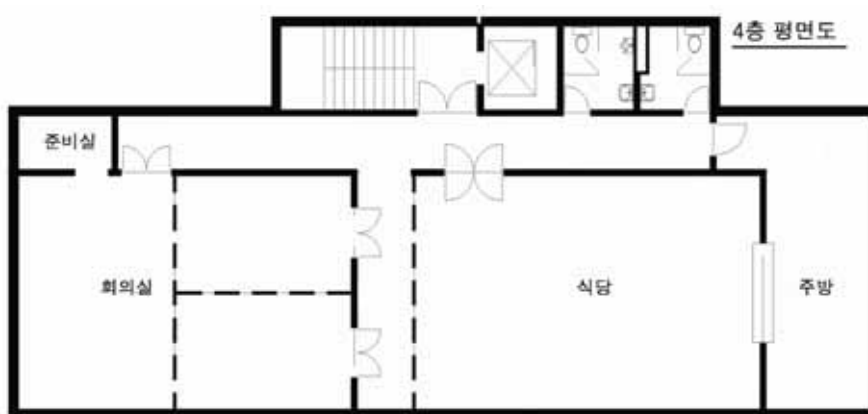


그림 4-7 건물 4층 평면도



그림 4-8 건물 지하층 평면도

(2) 센터 건물 외 시설

센터 건물 외 시설로서 센터소개 및 우주전파환경 수행업무에 대한 소개 및 홍보를 위한 대외홍보용 전시관이 필요함

나. 관측 장비

우주전파환경연구센터 설립 예정부지인 제주부지에 설치될 시설은 (표 4-2)와 같으며, 기 구축된 장비 중 대체가 필요하거나 신규로 구축이 필요하다고 판단되는 장비도 포함되었음.

표 4-2 전파연구소의 기존 관측장비와 신규 관측장비

구 분	관측 시설명	용도	수량	비고
기 구축 관측 장비	지자기 관측기	지구자기장 관측	3	이천, 제주, 용인
	전리층 관측기	전리층 관측	1	안양
	태양전파 관측기	태양폭발 유형 감시	1	이천
신규 관측 장비	전리층 관측기	전리층 관측	2	전국 전역 관측을 위해 2기 (제주, 울릉) 추가
	전리층 전자밀도 관측기	전리층 전자밀도 관측	10	전국 10개 지역 설치
	2.8GHz 태양절대 전파 관측기	태양활동 장기적 변화 관측	1	양호한 전파환경 부지 필요
	태양풍 관측기	고에너지 입자 관측	1	설치부지(100m X 40m) 필요
	태양흑점 관측기	흑점수 관측	1	흑점관측 강화
	태양전파 경보시스템	태양전파 경보	1	양호한 전파환경 부지 필요
	우주환경 관측위성 수신시스템	위성관측데이터 수신	1	ACE 위성 또는 GMS 위성

(1) 지자기 측정기

- 96년부터 현재까지 이천, 용인, 제주에 3기의 지자기 관측기를 설치·운영
- 도입 후 성능개선 없이 10년 이상 사용하여 자료의 신뢰성 저하 우려가 되므로 지속적인 시스템 업그레이드가 필요함.



그림 4-9 지자기 측정기

(2) 전리층 관측기

- 1기는 안양에 기 구축되어 있으며 현재 제주에 1기 설치되고 있어 2008년 말까지 완공 예정임
- 한반도 전체와 한반도 인근지역을 커버하려면 안양, 제주 외에 울릉지역에 1기를 추가 설치하여 삼각형을 이루는 것을 제안함.



그림 4-10 전리층 관측기

(3) 전리층 전자밀도 관측기

- GPS 수신기를 이용하여 전리층에 의한 신호 지연량을 관측하고 이를 통해 전자밀도를 계산함
- 전국의 중앙전파관리소중 약 10곳에 GPS 수신기를 설치함
- 천문연, 행안부 등 기존 GPS 수신소들을 연계하여 망을 구성하고 전리층 전자밀도 관측 통합망 구성하는 것이 바람직함



그림 4-11 전리층 전자밀도 관측기

(4) 2.8GHz 태양 절대플럭스 관측기

- 기존에 설치된 이천의 절대플럭스 관측기와 관측자료의 상호 비교분석을 통한 관측 신뢰성 확보
- 이천 및 제주 동시 운영으로 구름 및 강우로 인한 관측 중단 일 수 감소
- 한 곳의 장비가 고장 시에도 지속적인 관측자료 획득



그림 4-12 2.8GHz 태양전파 절대플럭스 관측기

(5) 태양풍 관측기

- 태양에서 지구로 향하는 태양풍 및 CME(Coronal Mass Ejection) 관측
- 태양풍 3차원 밀도분포 및 이동 속도 자료 획득
- 관측 자료를 이용한 모델 개발을 통해 우주전파환경 예보능력 보유 가능
- ACE 위성의 임무 중단 후에도 태양풍 정보 획득 가능
- 일본, 호주, 인도 등의 장비와 공동 관측을 통한 국제 협력 가능
- 100m X 40m의 array 구조로서 비교적 대규모 관측 장비 임.



그림 4-13 일본 나고야 대학의 태양풍 관측기

(6) 태양 흑점 관측기

- 태양의 일변화 모습 및 흑점의 위치 등을 지속적으로 관측
- 광학 파장에서 태양의 폭발 현상 관측(전파 관측 자료와 비교)
- 가장 기본적인 우주전파환경 자료로 활용
- 독립부지 혹은 센터 건물의 옥상을 활용하여 설치 가능
- 2.8GHz 태양 절대플럭스 관측기와 함께 태양의 활동주기 측정



그림 4-14 태양 흑점 관측기

(7) 태양전파 스펙트럼 분석 시스템

- 30MHz~18GHz 사이의 태양전파를 분석하여, 선택 주파수 별 절대플럭스 값을 산출(Solar Flux Unit)
- 구성 : 태양 전파 수신용 안테나, 수신기, 후처리 시스템
- 태양전파의 주파수별 절대값을 이용하여, 다양한 무선 서비스에 대해 경보 서비스 가능
- 태양의 절대플럭스를 주파수 별로 산출 가능하다는 점이 이전에 설치되어 있는 태양전파 관측기와 차이가 있음.



그림 4-15 태양전파 스펙트럼 분석 시스템

(8) 우주환경 관측위성 수신시스템

- 현재 L1 지점에서 태양풍 자료를 취득하고 있는 ACE 위성 신호를 받을 수 있는 ACE 위성 수신시스템 통해 태양풍 자료 활용 가능

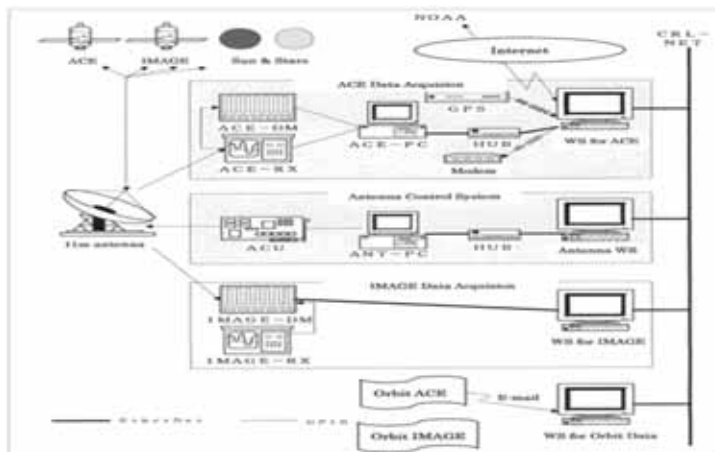


그림 4-16 ACE 위성 수신시스템

다. 관측장비 배치 방안

(1) 관측 시설 종합 배치 계획(안)

- 지자기 측정기와 전리층 관측기는 기존 위치 확보
- 태양전파 스펙트럼 분석기의 수신기와 2.8GHz 태양 절대플럭스 수신기는 나란히 배치
- 비교적 규모가 큰 장비인 태양풍 관측기는 남쪽을 가리지 않는 가운데 지역에 배치
- 태양 흑점 관측 망원경은 매일 관측을 고려하여 센터 건물의 일부로 배치하는 것을 권장

(가) 현재 부지 이용 시



그림 4-17 현재 부지 이용 시 센터 및 관측 시설 종합 배치 계획

(나) 부지 매입 시



그림 4-18 민간부지 매입 시 종합 배치 계획

제 2 절 센터 설립 방안

1. 센터 구축 예산

가. 사업기간

- 2009년~2011년 (1단계 : 3년)
- 2012년~예보모델 및 관측 위성시스템 완성 시(2단계)

나. 총사업비(단위 : 백만)

표 4-3 단계별 우주전파환경연구센터 구축 예산안

구 분	1 단계			2 단계	총 액
	2009년	2010년	2011년	2012년	
합 계	500	19,200	17,000	2,700	39,400
○ 실시설계 및 부지조성	500	-	-	-	500
○ 연구센터 건물 신축	-	10,000	-	-	15,000
○ 관측시설 구축	-	3,100	3,700	-	6,800
○ 예경보 서비스 시스템 구축	-	1,000	5,900	1,100	7,900
○ 국제공동연구 및 교육훈련	-	200	300	100	500
○ 관측위성 기술 및 센서 개발	-	4,700	7,000	1,500	13,200

표 4-4 단계별 우주전파환경연구센터 구축 상세 예산안

구 분	1 단계			2 단계	총 액
	'09	'10	'11	'12	
합 계	500	19,200	17,000	2,700	39,400
○ 실시설계 및 부지조성	500	-	-	-	500
○ 연구센터 건물 신축	-	10,000	-	-	15,000
○ 감리용역 및 사업운영비	-	200	100	100	400
○ 관측시설 구축	-	3,100	3,700	-	6,800
-전리층 전자밀도 관측기 설치	-	500	500	-	1,000
-지자기 관측기	-	200	200	-	400
-전리층 관측기(울릉)	-	600	-	-	600
-2.8GHz 태양전파관측기 설치	-	300	-	-	300
-태양전파 스펙트럼 분석시스템 구축	-	300	700	-	1,000
-태양풍 관측기	-	1,000	2,000	-	3,000
-태양흑점 관측기	-	200	300	-	500
○ 예보 서비스 인프라 구축	-	1,000	5,900	1,000	7,900
-우주전파환경 모니터링 시스템	-	-	2,000	-	2,000
-관측시설 통합 네트워크 구축	-	-	900	-	900
-예보모델 개발 인프라 구축	-	-	1,000	-	1,000
-예보 모델 개발	-	1,000	2,000	1,000	4,000
○ 국제공동 연구 참여 및 교육훈련 등	-	200	300	100	600
○ 관측위성 기술 및 센서 개발	-	4,700	7,000	1,500	13,200
-해외 관측위성개발 프로젝트 참여	-	500	1,000	-	1,500
-센서 개발	-	1,500	2,500	1,000	5,000
-수신시스템 구축	-	2,700	3,500	500	6,700

다. 세부비용 산출

(1) 건축비용

- 건설교통부 산정기준에 따르면 건물의 최대 1인당 연면적은 56.53m^2 (17.13평)임
- 상기 기준을 따라서, 센터인력을 55명으로 하였을 때 건물의 연면적을 $3,109.15\text{m}^2$ (990평)으로 하고, 주차장과 도로 등을 포함하여 건물 외 토지는 500평으로 함.
- 건축비용(전기, 소방, 설비 및 인텔리전트 등 포함)은 3.3m^2 당 900만원으로 하여 90억원으로 산정되며, 토목비용(조경비, 주차장, 진입도로비 등 포함)은 10억원으로 추산함

(2) 설계 및 감리비용

- 설계비용은 건축 및 토목비용인 100억원에 대해 5%로서 5억원으로 하였으며, 감리비용은 약 1%인 1억원으로 하였음

2. 일정 및 추진 계획

표 4-5 우주전파환경연구센터 구축 계획(안)

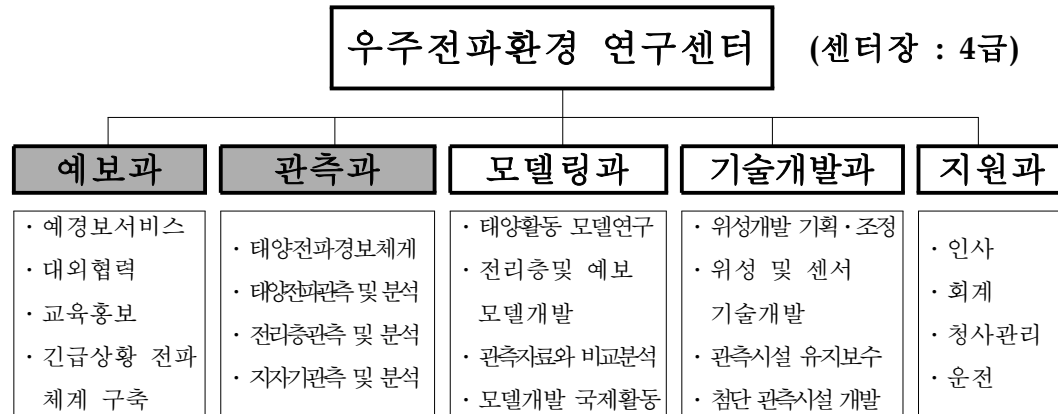
구 분	'09		'10		'11		'12	
	상	하	상	하	상	하	상	하
○ 실시설계 및 부지조성								
○ 연구센터 건물 신축								
○ 관측시설 구축								
○ 예보서비스 인프라 구축								
-모니터링 시스템 구축								
-인프라구축								
-예보모델 개발								
○ 국제공동연구 참여								
○ 관측위성기술 및 센서 개발								
-해외 관측위성 개발 프로젝트 참여								
-국내 센서 및 수신시스템 개발								

제 3 절 센터 운영 방안

1. 센터 조직 및 인력

가. 우주전파환경 연구센터 조직구성(안) : 1 센터 5 과

(1) 조직



※ : 기존 조직, : 신설 조직

그림 4-19 우주전파환경연구센터 조직(안)

(2) 소요정원

○ 석·박사급 중심의 연구인력 충원

표 4-6 우주전파환경연구센터 연도별 연구인력 인원

구분	2009년	2010년	2011년	2012년	계
센터업무 총괄	-	-	1	-	1
예보업무	4	4	4	1	13
관측업무	3	5	2	2	12
기술개발	-	5	3	1	9
예보모델링	-	4	4	2	10
지원업무	-	3	4	3	10
계	7	21	18	9	55

(3) 소요정원 세부 산출내역

표 4-7 우주전파환경연구센터 과별 업무 및 세부인력

업무 내용	소요 정원					비고
	계	4급	5급	6급 이하	기능직	
센터 업무 총괄 (센터장)	1	1				
소 계	1					
예보과 업무 총괄 (과장)	1		1			
전파 예경보 서비스 및 긴급상황 전파 체계 운영	1			1		
우주전파환경 예보 및 캐스트	3			3		3교대
관측자료 분석 및 관리	1			1		
대외협력(보도자료, 국제기구)	1			1		
우주전파 연구센터 홈페이지 관리	2			1	1	
관측자료 전송망 관리	1			1		
전파예보 발간 및 인터넷 서비스	1			1		
교육 및 홍보	2			2		
소 계	13		1	11	1	
관측과 업무 총괄 (과장)	1		1			
태양전파 스펙트럼 관측 및 분석	1			1		
태양전파 관측 및 폭발 유형 분석	1			1		
2.8GHz 태양전파 관측 및 분석	1			1		
전리층 관측 및 분석	1			1		
지자기 관측 및 분석	1			1		
태양풍 관측 및 분석	1			1		
전리층 전자밀도 관측 및 분석(TEC)	1			1		
태양흑점 관측 및 분석	1			1		
위성 관측자료 수신 및 분석	1			1		
관측기기 유지 보수	2			1	1	
소 계	12		1	10	1	

표 4-7 (계속)

업무 내용	소요 정원					비고
	계	4급	5급	6급 이하	기능직	
기술개발과 업무 총괄 (과장)	1		1			
국내외 관측위성 개발, 기획, 조정	1			1		
산업체 공동 프로젝트 수행 및 관리	1			1		
관측위성 및 센서 기술 개발	1			1		
해외 위성 프로젝트 공동 수행 및 관리	1			1		
관측자료 전송 네트워크 기술 개발	1			1		
관측시설 유지 및 운용기술 개발	1			1		
첨단 관측 기술 개발	2			1	1	
소 계	9		1	7	1	
모델링과 업무 총괄 (과장)	1		1			
태양활동 예보모델 검증 및 개발	2			2		
태양-지구간 전파모델 검증 및 개발	2			2		
전리층 예보모델 검증 및 개발	2			2		
지자기 예보모델 검증 및 개발	2			2		
우주전파환경 모델 개발 국제 활동	1			1		
소 계	10		1	9		
지원과 업무 총괄 (과장)	1		1			
청사관리(전기, 방호, 운전, 식당 등)	6				6	식당:2명 전기:1명 방호:1명 운전:2명
청사관리(인사, 시설, 회계)	3			3		인사:1명 시설:1명 회계:1명
소 계	10		1	3	6	
소요 인원 총계 (A)	55	1	5	40	9	
현 정원 (B)	7		1	6		
증원 (A-B)	48	1	4	34	9	

2. 센터 업무 및 역할

표 4-8 우주전파환경연구센터의 업무 및 역할

과 명	주 요 업 무	구 분		
		유지	강화	신설
예보과	<ul style="list-style-type: none"> 전파 예·경보 서비스 우주전파환경 캐스트 서비스 관측자료 분석, 관리, 제공서비스 대외협력(보도자료, 국제기구 등) 우주전파환경 홈페이지 관리 관측자료 전송망 관리 전파예보 발간 및 인터넷 서비스 교육홍보 긴급상황 전파체계 운영 		◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎	★ ★ ★
관측과	<ul style="list-style-type: none"> 태양전파 스펙트럼 관측 및 경보 태양전파관측 및 폭발유형 분석 전리층 관측 및 분석연구 2.8 GHz 태양전파 절대플럭스 관측 및 분석 전리층 전자밀도 관측 및 분석 지자기 관측 및 분석연구 태양풍 관측 및 분석 태양 흑점 관측 및 분석 		◎ ◎ ◎	★ ★ ★ ★ ★
모델링과	<ul style="list-style-type: none"> 태양활동 예보모델 개발 전리층 예보모델 개발 지자기 예보모델 개발 관측자료와 모델과의 비교·분석 우주환경 모델개발 국제활동 (IRL, IES, IHY 등) 			★ ★ ★ ★ ★
기술개발과	<ul style="list-style-type: none"> 국내 관측위성개발 기획·조정 관측위성 및 센서기술 개발 해외 관측위성 개발 프로젝트 공동 수행 관측시설 유지, 운용기술 개발 첨단 관측기술 개발 산업체와 공동 프로젝트 수행 		◎	★ ★ ★ ★ ★
지원과	<ul style="list-style-type: none"> 청사관리(전기, 방호, 운전, 인사, 회계 등) 	신규		★

제 5 장 결 론

제 1 절 결어

본 보고서는 방송통신위원회 전파연구소의 “우주전파환경 연구센터 구축계획”에 따라 한국전자통신연구원이 주관하고 우주환경분야 국내 전문가로 구성된 자문위원의 적극적인 자문과 협력을 바탕으로 센터 설립에 대한 타당성 검토, 해외기관 방문 및 센터의 구축 및 운영에 대한 조사 분석 결과를 정리한 것이다.

당초 구축될 센터의 명칭을 “우주전파환경연구센터”로 할 예정이었으나, 법적으로 부여된 전파연구소 본연의 기능 및 타 관련 기관과의 업무내용을 조사한 결과 및 자문위원회 전문가의 의견을 반영하여 “우주전파환경예보센터”로 변경되어야 한다는 결론에 도달하였다.

국가 경쟁력의 일환으로 구축되고 있는 유비쿼터스 무선통신 환경, 전파기반 서비스 및 위성통신 등은 우주전파 환경변화에 영향을 받아 동시 다발적인 피해를 입을 수 있다. 이러한 국가 기간통신망의 유지 및 피해의 최소화를 위해 전파연구소의 우주전파환경예보센터는 국가가 필수적으로 운영해야할 중요한 업무라는데 참여연구원 및 자문위원들과 의견을 같이 하였다. 그러므로 우주전파예보센터는 우주환경이 유비쿼터스 통신 인프라에 미치는 영향을 분석연구하고, 국내 우주전파 환경의 예·경보를 위한 서비스 전담기관의 역할을 해야 하며 이를 위하여 우주환경 상시감시 및 상시 관측기관이 되어야 한다. 우주환경 예보의 국내 대표기관이므로 국제협력기구인 ISES의 RWC를 운영하는 것이 바람직하며 이를 천문연구원과 공동으로 운영하는 것도 고려할 수 있을 것이다.

우주전파예보센터는 단기적으로 2012년 태양흑점 극대기에 대비하

여 통신 인프라를 보호하고, 장기적으로는 우주전파환경 예보 및 관측 기술 자립화를 통하여 대내외적 연구위상을 강화하는 목표를 가지고 우주전파환경예보 서비스 고도화를 이루도록 해야 할 것이다. 이를 위하여 4대 추진전략을 다음과 같이 제시한다.

- 우주전파환경 관측 인프라 확충
- 우주전파환경 예보 모델링기술 선진화
- 관측기술 역량 강화
- 대내외 협력활동 강화

우주전파예보의 국내 대표 전담기관으로서의 위상을 실현하면서 최대 예산 절감을 위해서는 센터의 부지를 현재 방송통신위원회 소유로 전파환경이 가장 뛰어난 제주도 한림부지에 구축하는 것이 가장 바람직한 것으로 분석되었다. 센터 운영 인원은 관측시설 운영, 예보 모델 개발 검증 및 관측위성 개발 등 센터의 기능을 원활하게 수행하기 위하여 약 55명 정도가 적당한 것으로 분석되었으며, 이는 해외기관 조사에서 그 타당성이 검증되었다. 우주전파환경예보센터 인원 및 시설을 수용하기 위해서는 지상 3층, 지하 1층의 건물이 필요할 것으로 예상되며, 센터장 아래 기존의 예보과와 관측과 외에 예보모델링과, 관측기술개발과 및 지원과 등을 신설하여 5개과가 운영될 것을 제안하였다. 특히 예보 모델링 및 관측기술개발을 위해서는 관련분야의 석·박사급의 연구 인력 충원이 필수적으로 제시되었고, 이외에도 센터설립과 구축을 위한 소요 예산 및 추진 일정이 제시되었으나 이를 확정하기 위해서는 좀 더 심도 있는 분석과 조사가 뒤따라야 하겠다.

센터를 설립하는 것도 중요하지만, 유용하고 가치 있는 우주전파 예보서비스를 하기 위해서는 진정한 수요자가 누구인지와 수요자가 원하는 서비스가 어떤 종류인지를 우선적으로 찾아내고 밝혀내야 한다. 즉 수요자 요구사항을 정확하게 파악하는 것이 무엇보다 중요한 사항이라 할 수 있다. 정확한 수요자 요구사항을 바탕으로 예보 Product를 구성하고 여기에 맞는 예보모델링 개발, 관측기술 개발 및 관측시설 확보

로드맵을 작성하는 것이 국가예산을 가장 효율적으로 사용하는 방안이 될 것이다.

제 2 절 관련법규

전파법 제 61 조 제 2 항 제 8 호에서 제 10 호 법령에 따라 우주 전파 수신기술연구 및 수신자료 분석, 지자기 및 전리층 관측 및 태양 흑점의 관측결과 분석 및 예·경보 연구업무를 수행해야 한다.

따라서 방송통신위원회(구 정보통신부) 소속기관인 전파연구소로 하여금 “정보통신부와 그 소속기관 직제(대통령령)” 제 21 조 제 2 호에서 “전파예보 및 경보” 업무를 규정하였고, 세부사항으로 “정보통신부와 그 소속기관 직제 시행규칙(정보통신부령)” 제 9 조 제 6 항에서

1. 지자기, 전리층, 태양전파의 관측 및 분석과 이에 따른 전파의 예보 및 경보
2. 우주전파환경에 관한 연구
3. 우주전파환경 관측시설의 관리 운영업무를 수행토록 하였다.

붙임 목차

붙임 1. 자문위원회 개최 회의록	147
붙임 1-1 1차 자문위원회 개최 회의록	
붙임 1-2 2차 자문위원회 개최 회의록 (Workshop)	
붙임 1-3 3차 자문위원회 개최 회의록	
붙임 2. 해외 관련기관 방문 보고서	162
붙임 2-1 미국 및 캐나다 방문 보고서	
붙임 2-2 스웨덴 및 호주 방문 보고서	
붙임 3. 우주전파환경 변화에 기여하는 주요 요소	229
붙임 4. 우주전파환경에 의한 구체적 피해사례	245
붙임 5. SWPC 상세 수행업무	267
붙임 6. IRF 상세 수행업무	281
붙임 7. 유럽 주요 연구소 상세 수행업무	287
붙임 8. IPS의 상세 우주환경 예·경보 및 서비스	300
붙임 9. SWPC에서 개발 및 진행계획 예보모델의 종류	327
붙임 10. 일본 IPS(InterPlanetary Scintillation) 시스템 ...	338

붙임 1-1. 1차 자문위원회 개최 회의록

회의록

회의명	우주전파환경예보센터 설립에 관한 1차 자문위원회	작성자	박재우 책연 / ETRI
문서번호		주관 부서	방송통신융합연구부문
일 자	2008.8.26(화) 16:00~18:00	장 소	ETRI
참석자 (17명)	1. 자문위원(8명) : 민경욱 교수(KAIST, 자문위원장), 배석희 연구관(전파연),박용선 교수(서울대), 조경석 그룹장(천문연), 김정훈 사장(SET systems), 박광량 사장(ART), 이동진 상무(하이게인), 선종호 소장(Satrec I) 2. ETRI(7명) : 안치득 소장. 이호진 부장, 김창주 부장, 최용석 팀장, 박재우 책연, 정철오 책연, 이병선 책연 3. 전파연구소(2명) : 김영규 과장, 허영태 계장		
회의내용			
첨부자료			
배포처			
주요내용			

1. 회의 주요 내용

- 가. 연구 배경, 내용, 연구 추진전략 및 일정
- 나. 연구기본 방향
- 다. 보고서 목차 및 내용
- 라. 해외기관 방문 계획
- 마. 자문위원회 역할 및 중점 검토 분야 선정

2. 회의 결과

- 가. 연구 배경, 내용, 연구 추진전략 및 일정

- 발표자료 Pp16의 소속에 명시된 방통위 산하 전파연은 방통위 전파연으로 수정 필요함. (김영규 과장, 전파연)
- 발표자료에서 사용하고 있는 우주전파 환경 용어가 맞는가? 전파연이 천문연의 학술적 연구결과를 이용하여 서비스하는 관점이라면 이에 맞는 용어가 필요할 것으로 보임. (조경석, 천문연)
- 전파연이 정통부에서 방송위로 소속이 변경되면서 전파연의 역할 변경이 예상됨. 기본적으로 국민이 필요한 서비스가 어떤 것인지를 확인하여 이를 바탕으로 수행되어야 할 것으로 보임. 발표자료 내용이 기술개발이나 인프라 확충으로 보이는데, 서비스는 어떻게 되는가? (배석희, 전파연)
- Key word 자체에 중복성이 많아 보임. 천문연에서는 2005년부터 태양연구를 시작하여 2007년부터 우주전파센터 사업을 수행중에 있음. 우주전파 관측이 통신과 전파에 어떻게 연결되는가? (조경석, 천문연)
- 국가에서 과제 제목으로 보면 과제 중복성 문제를 제기할 수 있음. 이러한 사항이 고려되어야 함.
- 금번 연구에서 이러한 중복성이 정리될 필요가 있음. (박재우, ETRI)
- 이러한 중복성을 피하기 위해서는 천문연과 전파연 상호간의 역할에 대한 조정이 필요함. (민경욱, KAIST)

나. 연구기본 방향

- 천문연은 관측에 대한 Know-how를 가지고 있음. 발전적 차원에서 중복에 대한 Solution이 필요함. 이를 위해 예보가 전파에 어떻게 연계되는지를 고려할 필요가 있으며, 우주전파통신이라는 Title을 반영하는 방법을 고려할 필요가 있음. (조경석, 천문연)
- 하반기 방통위에서 Vision을 제시할 예정임. 통신 Infra, 방송서비스 보편화 포함이 예상됨. 이것이 전파연에 영향을 줄 것임. 여기에 맞춰 Vision과 시스템 수립이 필요할 것으로 보임. (배석희, 전파연)

- 국가적 서비스가 목표라면, 본 연구가 국가적으로 필요한지에 대해 focus를 맞춰 검토할 필요가 있음. (이호진, ETRI)
- 우주전파환경에서 전파를 빼면 우주환경이 됨. 전파라는 단어가 들어간 것은 천문연과의 차별성을 염두에 둔 때문으로 보임. 보고서 3장에서 우주전파 환경에 통신을 강조하고 통신관점에서 보고서 작성에 반영하면 천문연과의 차별성이 가능할 것으로 보임. (민경욱, KAIST)

다. 보고서 목차 및 내용

- 우주전파환경에서 전파를 빼면 우주환경이 됨. 전파라는 단어가 들어간 것은 천문연과의 차별성을 염두에 둔 때문으로 보임. 보고서 3장에서 우주전파 환경에 통신을 강조하고 통신관점에서 보고서 작성에 반영하면 천문연과의 차별성이 가능할 것으로 보임. (민경욱, KAIST)
- 용어를 우주전파환경에서 우주 전파환경 또는 우주 전파통신 환경으로 보완할 필요가 있음. 방통위에서 방송통신서비스에 필요한 내용이 무엇인가 확인 후 전문위원 등이 용어를 정의할 필요가 있음.
- 3장에 5장2절의 법규 제도 활용 촉진이 반영될 필요가 있음. 또한 대내외 환경변화에 맞추어 2장에 센터 설립에 대한 근거 명시를 반영할 필요가 있음. 이것은 추후 국회에서 요구하는 자료로 활용될 수 있음. (배석희, 전파연)
- 보고서 초안은 ETRI에서 기존의 자료를 이용하여 목차 순서대로 작성을 진행할 예정이며 현재 계획으로는 9월 말까지 보고서 초안이 완료되는 것으로 계획하고 있음. 이후 초안에 대해 각 분야별로 전문위원에게 수정, 보완 및 추가를 요청할 예정임. (박재우, ETRI)
- 보고서 초안을 전문위원에게 송부 시 전체내용을 배포해 주기 요청함. (민경욱, KAIST)

라. 해외기관 방문계획

- 제안한 방문하고자 하는 해외기관들은 우주환경 분야에 대해서 계속 접촉 했던 기관들임. 통신 관점에서 접근하고자 하는 기관은 없는가?
- 통신을 위한 서비스 영향에 대한 조사 목적을 명확히 할 필요가 있음.
- 유럽의 경우 현재 practice 한 분야로 접근 중에 있음. (조경석, 천문연)
- 센터 설립 시 어떠한 목적의 센터를 만들지에 대한 센터기능이 중요함. 중복성을 고려하기 않고 센터의 기능 및 역할에 대해 개조식으로 현재의 기능을 알려줄 수 있는가? (선종호, SI)

마. 자문위원회 역할 및 중점 검토 분야 선정

- KAIST 민경욱교수님이 자문위원회 위원장으로 선출됨.
- 전문위원 별 보고서 중점 검토 분야를 다음과 같이 결정함.
 - 2장 : 배석희연구관(전파연)
 - 3장 : 민경욱교수(KAIST), 박용선교수(서울대), 김정훈사장 (SET), 조경석그룹장(천문연)
 - 4장 : 박광량 사장(ART), 선종호소장(SI), 이동진상무(하이게인)
- 1차 자문위원회에 참석하지 못한 자문위원에게는 위원장께서 검토분야를 결정하여 통보토록 함.
- 1장과 5장은 ETRI에서 주관하도록 함.
- 10월 중 예정된 Workshop은 결정된 것인가? 1박2일의 경우 교수님들은 학교 수업에 영향을 미칠 수 있음. 장소 선정 시 대전 근교로 정하는 것이 어떤가? 이럴 경우 1일 full로 참여가 가능함. (민경욱, KAIST)

붙임 1-2. 2차 자문위원회 개최 회의록

회의록

회의명	우주전파환경예보센터 설립에 관한 2차 자문위원회(워크숍)	작성자	박재우 책연 / ETRI
문서번호		주관 부서	방송통신융합연구부문
일 자	2008.10.29(수) ~10.30.(목)	장 소	원주 오크밸리
참석자 (19명)	1. 자문위원(9명) : 민경욱 교수(KAIST, 자문위원장), 김석환 교수(연세대), 이동훈 교수(경희대), 박용선 교수(서울대), 조정석 그룹장(천문연, 대리참석 : 김관혁 박사), 김정훈 사장(SET systems), 박광량 사장(ART), 이동진 상무(하이게인), 선종호 소장(Satrec I) 2. ETRI(6명) : 이호진 부장, 최용석 팀장, 박재우 책연, 정철오 책연, 이병선 책연, 김정한 연구원 3. 전파연구소(4명) : 이종훈 분소장, 김영규 과장, 허영태 계장, 이종완 연구사		
회의내용			
첨부자료	발표자료		
배포처			
주요내용			

1. 회의순서

가. 해외연구기관방문 결과 발표

- 미국(SWPC) 및 캐나다(DRAO) 방문결과 발표(이병선, ETRI)
- 스웨덴(IRF) 및 호주(IPS) 방문결과 발표(박재우, ETRI)

나. 중간연구결과에 대한 자문위원 의견 발표

- 타당성 조사(민경욱, KAIST, 자문위원장)
- 센터의 기능 및 역할(김석환, 연세대)

- 우주전파환경 관측인프라 확충(김관혁, 천문연)
- 우주전파환경 예보모델링(이동훈, 경희대)
- 우주전파환경 관측기술 역량 확보(선종호, SI)
- 대외협력 네트워크 강화(이동진, 하이게인)
- 부지선정/센터의 설립 및 운영(안) (박재우, ETRI)

2. 주요 검토 내용

가. 해외연구기관방문 결과 발표

- 전파 통신과 관련해서 우주환경예보 서비스를 받는 구체적인 분야가 무엇인가? (이호진)
 - 현재의 SWPC에는 SEC 시절에 비해서 연구분야가 상당히 감축된 상태 (김정훈)
- 스웨덴과 호주의 예보센터 경우 예보 모델 파트의 인력은 얼마나 되나? (김영규)
 - 스웨덴은 개발 및 운영인력이 5명정도 되며, 호주는 7명정도 됨
- 키루나 레이더 사이트 근처에 마을이 있는가 (김영규)
 - 없음

나. 우주전파환경예보센터 설립 타당성(민경욱, 자문위원장)

- 발표요약
 - 천문연은 연구중심의 센터로, 전파연은 예보중심의 센터를 역할을 분담하는 것이 바람직
 - 천문연은 연구중심으로서 글로벌하게 태양부터 자기권에 이르는 모델 개발. 전파연은 이온층연구를 중심으로 대국민 서비스에 초점
 - 천문연의 5년 과제가 연구 목적에서는 바람직하나 5년 후에 뒤를 잇는 연구가 계속 유지가 될 수 있을지는 의문.
- 주요토론 내용
 - 예보 서비스는 현재의 법에 근거하여 전파연에서 하는 것이 맞

는 듯. (이동훈)

- 예보시스템/모델은 민간에서 개발 가능하지만 운영은 정부에서 해야 하는 것임. (박광량)
- 천문연의 우주환경예보센터구축 사업은 관측기 등 기반 인프라 구축, 예경보 시스템 개발, 서비스 제공을 포함한 것이기에 학술적 연구만을 위한 사업이 아님을 언급. 천문연구원도 우주환경예보 분야의 국내 서비스 중심 기관이 되고자 함. (천문연)
- 천문연에서의 예보는 공신력 있는 예보가 어려움. 예보라는 점에서 기상청(전파연)과 기상연구소(천문연)의 업무 분담과 비슷한 상황임. 전파연구소에서는 공무원 조직으로서 정부 차원에서 9시 뉴스에 나올 수 있는 서비스를 할 수 있는 것임. (김석환)
- 전파연구소에서는 신뢰성 있는 모델을 가지고 예보서비스를 하는 것이고 천문연구원에서 자체 개발한 모델을 가지고 모델의 시험을 위해서 예보를 해 보는 것도 가능한 것이 아닌가 함. (선종호)
- 예보센터 특성상 연속성이 필요한데 천문연의 경우 이 점이 부족하며, 상시 예보를 해야하는 전파환경 예보센터는 전파연에서 운영하는 것이 나올 듯. (민경욱)
- 전파연에서 설립하는 예보센터를 운영하기 위해서는 예보모델개발, 관측위성 개발 등의 연구개발이 필요한 데 이를 천문연이 맡아주면 상호보완 될 것임. (박재우)
 - 초기에는 상호 협력에 의해 진행된다 하더라도 향후 예산문제로 인해 초기 협력부분이 어긋날 수 있음. 상호 맡아야 할 내용을 사전에 기관별로 미리 결정해서 진행하는 것이 좋을 것 같음. (이동훈)
 - 초기에 큰 틀의 구분을 확실히 하고 상호보완을 전제하에 시작하는 게 좋을 것. (이호진)
- 두 기관이 어떤 일을 해야 하는지 기술적인 부분은 도달한 것 같음. 중복성에 대한 부분을 잘 정리해나가는 부분이 필요함. (민경욱)

다. 우주전파환경예보센터의 역할 및 기능(김석환, 연세대)

○ 발표요약

- 우주전파환경예보센터는 국내 우주전파환경 예·경보를 위한 서비스 전담 국가 기관의 역할을 하며
- 그 기능은 우주전파환경 예경보, 관련기술개발 및 대외 협력의 창구로서 기능을 함

○ 주요토론 내용

- 각자의 본연 임무 범위, 공무원 역할, 연구원 역할을 벗어나면 예산위원 관점에서는 이해할 수 없음.
- 현 상황에서의 의존도에 맞춰서 점진적으로 발전시켜 나가는게 좋을 것. 우리나라는 현재 위성에 대한 의존도가 낮기 때문에 무리해서 위성 사업을 할 필요 없음.

라. 우주전파환경 관측 인프라 확충(김관혁, 천문연)

○ 발표요약

- 기존 전파연의 관측기 현황 및 중간보고서에서 제시한 관측기 현황을 설명하고 추가로 전파환경관측기, 위성자료 수신시스템 및 공군의 관측기 구축계획을 발표

○ 주요토론 내용

- 제안한 전파연구소 시설에 대한 구체적인 내용 제공이 필요함. (김영규)
- 여러개의 지자기 관측계(전파연, 천문연)이 필요함
- 어떤 위성의 수신이 가능하며 예산은 얼마정도 되는지? (김영규)
⇒ ACE 위성 수신 가능하나 GOES 위성은 수신 어려움. 예산은 확인된 바 없으며 천문연은 수신장비 설치 예정이 없음.(김관혁)

마. 우주전파환경예보 모델링 선진화 방안(이동훈, 경희대)

○ 발표요약

- 우주전파환경 예경보 체계구축을 위해 미국 SWPC의 우주전파 환경 예경보 등급을 알아보고 이를 근거로 우주전파환경 경보기

준을 검토함

- 우주전파환경 예보모델링 시스템 구축을 위해 우리나라의 현황 및 문제점, 그리고 미국 SWPC에서 사용하는 예보모델을 살펴본 후에 우주전파환경 예보모델 개발 계획을 제안함

○ 주요 토론 내용

- 예보모델 중 어떤 모델을 시급히 개발해야 하는가? (전파연 김영규)
⇒ 관측한 물리적 자료를 제공하는 것이 예보가 아님. 개인 소비자, 기업 소비자, 기관 소비자의 요구사항을 잘 파악하여 수요자를 중심으로 한 예보 프로덕트를 만들어야 함. 만약 전파연에서 개발한다고 가정하면 항해용 전리층 예보모델이 국민들에게 또는 외부에 어필 할 수 있을 것임. (김석환)
- 전파연구소의 예보서비스 수준을 고려할 때 모델, 인원 및 컴퓨터 시설은 어느 정도가 적당한 가? (김영규)
⇒ 예를 들어 아마추어 무선가들에게라도 어떤 경보일때 어떤 문제가 생기는지 등에 대해서 현실적으로 설명을 해 줄 필요가 있음. (이동훈)
- 우리나라에 있는 대학이나 연구소의 모델 개발 기술은 어느정도 인가? 예보센터 운영이 예정되어 있다면 전파연에서 가장 우선적으로 개발해야 하는 예보 모델은 어떻게 있는지? (김영규)
⇒ 현재 국내 대학의 연구수준은 매우 높다고 평가. 수요자의 수준이나 종류가 먼저 파악되어야 모델 개발에 있어서도 우선순위를 나름대로 정할 수 있을 것. (이동훈)
- 무선통신사용자를 위한 미국수준의 전리층 예보모델 개발 필요. 전파연이 금번 사업 수행하면서 천문연과 파트너가 될 수 있는 부분이 TEC 임. 인력 및 환경을 보완하여 예보업무에 이러한 부분을 수행하면 TEC은 세계적으로 선도할 수 있는 분야 임. (이동훈)
- 실제로 태양활동에 의해서 다목적 실용위성 2호의 정밀궤도 결정에 오차가 생긴 경험이 있음. (이병선)

- 예보 모델 개발을 위해서는 설사 천문연이 개발을 주도한다고 해도 전과연에서도 모델의 개발방향 제시 및 개발결과의 검증을 위하여 전문 연구원들을 확보하는 것이 현시점에서 중요할 것. (이동훈)

바. 우주전파환경 관측기술 역량 확보(선종호, SI)

○ 발표요약

- 세계적인 우주환경관측위성의 현황을 알아보고, 우리나라의 과학위성기술을 살펴봄. 이를 바탕으로 우주전파환경연구를 위한 관측위성의 규모에 대해 제안함.

○ 주요토론 내용

- 우리나라의 경우 기존의 위성 사업을 통해 기술들을 많이 확보하고 있음. 태양을 보는 위성의 경우 대구경 광학계는 필요 없을 것. L1 지점으로 위성을 보낼 때 클 필요 없음. L1 포인트로 보낼 때 500~600억 정도는 있어야 신뢰성 있는 데이터를 얻을 수 있을 것임. (김석환)
- 50~100억 정도의 예산으로 소형 독자 위성을 해봐야 신뢰성이 없음. (민경욱)
- 현실은 risk가 적고 신뢰가 높은 것을 요구함. 여기에서는 금액을 제시하기 보다, 조건(멀티위성이 세계적으로 대세, 이정도 조건의 위성은 되어야 성과가 좋을 것, 등등)을 강조하는 것이 나은 방향일 듯함. (이호진)
- 우주전파환경 관측위성의 경우, 타 국가와 공동개발을 하거나 타국가의 프로젝트에 참여하는 형태가 가장 현실적이고 가능성도 높은 것 같음. 현재는 외국에서도 한 국가가 단독으로 위성 개발을 하는 프로젝트는 드물고 국제협력, 공동개발이 대세임. (선종호)

사. 대외협력 네트워크 강화(이동진, 하이게인)

○ 발표요약

- 산학연 Network, 국제간 Network 그리고 국제 우주전파환경연구센터로의 발전방향을 제시해 봄.

○ 주요토론 내용

- 센터의 비전과 정책적인 목표이 연계가 되어야 효율적인 대외협력 추진이 가능함. 그리고 전파연구 본연의 목적에 맞는 대외 네트워크가 구성되어야 함. (이호진)
- 위성은 예보를 위한 상시 관측 보다는 연구를 위한 의미가 더 많다고 봄. (민경욱)

아. 부지선정/센터의 설립 및 운영(안) (박재우, ETRI)

○ 발표요약

- 부지를 제주도 한림부지로 선정하게된 경위를 설명하고, 본 부지에 설치할 관측기 및 건물의 배치방안을 제안함
- 센터 설립에 필요한 예산, 인력 및 일정에 대해 제시하고, 운영을 위한 조직규모 및 기능 등을 제안함.

○ 주요토론 내용

- 건물의 총 건평은 얼마정도로 예상하나? (김석환)
⇒ 지하 1층, 지상 4층, 총 5개 층 2000평 정도 예상. (박재우)
- 지원부서 인원이 너무 적다. 보통 총무부서 1/3, 장비감시 1/3 등으로 하는 것이 적당할 듯. (박광량)
- 인원은 현재보다 늘이는 것이 좋을 듯함. 특히 기술개발과 전문 기능직은 인원을 많이 포함해야 할 듯. (민경욱)
- 건물 예산을 제주도 한림읍의 위치를 감안해서 현실적인 가격으로 해야 할 것임. (김석환)
⇒ 조달청에 평당 금액 규정이 있음. 참고해야 함. (김영규)
- 해외 관측 위성 개발에 15억은 말이 안됨. 금액을 줄이고 해외 관측위성 개발 조사나 다른 걸로 변경하는게 좋음. 국제 공동연구 참여 및 교육훈련 6억은 명확히 구분이 되어야 함. 장기적으로 볼 때 인재가 상당히 중요하기 때문에 학교의 학생을 대상으로 장비에 대해 교육하는 장기적인 계획이 필요. (김석환)

- 워크숍이나 국제사회 미팅에 참석해서 우리장비를 홍보 및 설명할 수 있어야 함. (선종호)
- 실제 인력양성 방안에 대해 언급된 적 없음. 센터 설립 후 얼마나 효과가 나오는가는 짧은 인력 양성이 관건임. (김석환)
- 초창기 선발인력의 경우 바로 업무투입이 어려움. 초기 외국 전문가 초청 비용을 고려해야 함. (민경욱)

회의록

회의명	우주전파환경예보센터 설립에 관한 3차 자문위원회	작성자	박재우 책연 / ETRI
문서번호		주관 부서	ETRI 방송통신융합연구부문
일 자	2008.11.25(화)	장 소	전파연구소
참석자 (16명)	1. 자문위원(5명) : 김용하 교수(충남대), 김정훈 사장(SET systems), 박광량 사장(ART), 이동진 상무(하이게인), 선종호 소장(Satrec I) 2. ETRI(6명) : 안치득 소장, 이호진 부장, 김창주 부장, 박재우 책연, 정철오 책연, 김정한 연구원 3. 전파연구소(5명) : 김춘희 소장, 이종훈 분소장, 김영규 과장, 허영태 계장, 이중일 주무관		
회의내용			
첨부자료	발표자료		
배포처			
주요내용			

1. 회의순서

- ☐ 인사말 : 안치득 소장(ETRI)
- ☐ 격려사 : 김춘희 소장(전파연구소)
- ☐ 최종연구결과 발표 : 박재우 책연(ETRI)
- ☐ 종합토의

2. 주요 검토 내용

- o 센터건설비에 홍보관 예산이 포함되어 있는가? (김영규)

- 포함되어 있지 않음 (박재우)
- 본 사업에서의 ETRI의 역할이 있는가? (이동진)
 - 보고서의 국내기관의 역할에서 한국전자통신연구원이 우주전파 예보센터의 설립을 위하여 기여할 수 있는 역할 및 기능이 포함되어 있음. (박재우)
- 대외 협력이라는 단어가 국내외 협력 모두에서 적용되고 있어 혼란을 줄 수 있음. (이호진)
- 3대 목표 설정에 사용된 단어들을 약간 수정할 필요가 있음. 예를 들어 “우주강국”이라는 단어는 “우주전파환경예보 강국”, “연구역량”은 “예보역량”로 변경하는 것을 고려해볼 것. (이호진)
- 관측장비중 태양풍 관측기(IPS)와 태양정보시스템은 매우 까다로운 장비임. 국내에서 상기시스템을 구현이 가능한가? (김영규)
 - 태양 정보시스템은 국내 구현이 가능한 것으로 보이나, 태양풍 관측기는 국내 개발이 가능한지 추가 연구가 필요할 것임. 보고서에서는 도입가격으로 예산에 포함하였음. (박재우)
- 본 센터가 국가에 전략적으로 꼭 필요하다는 당위성이 우선 제시되어야 하고 이를 수행하기위하여 국내법체계상 전파연구소에서 수행해야 한다는 것을 제시하여야 하겠음. 즉 내부적이 아닌 대외적으로 누가 보더라도 센터를 꼭 설립해야 한다고 생각할 정도가 되어야 함. (안치득)
- 보고서에 본 센터의 필요성에 대해서 많이 할애되어야 하며, 우주전파환경예보가 필요성에 의해 전 세계적으로도 이루어지고 있음을 부각시켜야 할 것임. 또한 전 세계적인 정보시스템을 그냥 쓰면 되지 않느냐는 질문에 답을 할 수도 있어야 함. (김용하)
- 전 세계 예보시스템에 참여하기 위하여 국제적으로 자료교환이 절대적으로 필요한데 이때 창구역할을 할 수 있는 국내 대표기관이

- 필요함. 전파연구소가 대표서비스 기관으로의 위상을 제시하는 것이 바람직함. (김용하)
- 관측위성부분에서 1단계로 제시하였던 과학위성 시리즈는 단종되었으므로 2단계부터 하는 것으로 수정바람. (김용하)
 - 우주전파예보는 이제 시작단계임. 관련학과와 긴밀한 공조체계 구축이 필요함. 대내외적인 우주환경자료 확보체계를 구축하고 우주전파기술기반에 대한 국내학과와 연계되어야 함. (김용하)
 - 목표에서 2012년 태양활동 극대기를 대비한다고 했는데, 본 센터의 역할이 2012년에 종료된다는 인상을 줄 수 있음. (김용하)
 - 국가적으로 센터가 필요하다는 사항과 예산 투입의 적정성에 주의를 기울여야 하며, 국가 입장에서 국민생활에 어떤 이익이 있는지 등 기대효과를 보장바람. (김창주)
 - 연구비 및 연구기간에 비해 연구결과가 매우 만족스러움. 전리층관측기는 울릉도 외에도 타당성이 있으면 백령도 등에도 설치가능함. 또한 보고서에서 제안한대로 석박사 연구인력에 충원을 많이 고려하겠음. (이종훈)

붙임 2-1. 미국 및 캐나다 방문 보고서

미국 SWPC, 캐나다 DRAO 방문 보고서

2008. 9.

목 차

I. 출장 개요	1
II. 업무 수행 내용	2
1. 캐나다 전파천문관측소 방문	2
가. 개요	2
나. 조사 활동 내용	2
2. 미국 우주기상예보센터 방문	14
가. 개요	14
나. 조사 활동 내용	14
III. 향후 계획	27
IV. 여행소감 등	28

- ※ 별첨 1. 주요 면담자 연락처
2. 우주기상예보센터의 발표자료
3. 전파연구소의 발표자료

I. 출장 개요

1. 제 목 : 우주전파환경 연구센터 구축관련 외국동향 조사

2. 목 적

가. 우주전파환경 관측시설 신규 설치, 운용, 예보서비스 고도화 등 우리
소와 성격이 유사한 기관을 방문하여

나. 우주전파환경 연구센터 구축 종합계획 수립을 위한 벤치마킹 모델로
참고하고자 함

3. 기 간 : 2008. 9. 7.(일) ~ 9. 12.(금) (6일간)

4. 장 소 : 캐나다 팬틱톤, 미국 볼더

5. 출장자 : 이병선(ETRI), 김정훈(SET)

6. 주요 활동사항

가. 캐나다 전파천문관측소(DRAO) 방문, 태양전파시설 및 연구동향
조사

나. 미국 우주기상예보센터(SWPC) 방문, 우주전파환경 예·경보 체계
및 연구동향 조사

7. 주요 일정

- 9월 7일 : 출국
- 9월 8일 : 캐나다 전파천문관측소(DRAO) 방문
- 9월 9일 : 이동
- 9월 10일 : 미국 우주기상예보센터(SWPC) 방문
- 9월 11~12일 : 귀국

II. 업무 수행 내용

1. 캐나다 전파천문관측소(DRAO) 방문

가. 개 요

- (1) DRAO는 NRC 소속 Herzberg Institute of Astrophysics 산하 4개 조직(DRAO, DAO, 전파천문학, 광학천문학) 중 하나로 공무원 신분임

※ DRAO : Dominion Radio Astrophysical Observatory

- (2) 설립년도 : 1959년

- (3) 임 무

- (가) 전파천문관측소는 세계 표준관측기로 인정받고 있는 2.8GHz 태양전파 절대플럭스 연구를 수행하고 있으며,
(나) 전파망원경 접시 자체 제작, Multi-phase 전파수신기 개발, 대용량 자료처리 보드 개발, VLBI 자료 처리 시스템 개발 추진 중
(다) 전파천문관측소 상급기관인 국가 연구위원회(NRC National Research Council)는 모두 20개 이상의 연구기관과 국가연구 프로그램 추진

나. 조사 활동 내용

- (1) 면담자

- Sean Daugherty 박사 - 전파천문관측소 관측소장
- Tapping 박사 - 2.8GHz 태양전파관측기 담당자

- (2) 전파연구소의 우주전파환경 설립계획안 프리젠테이션 발표



그림 1 우주전파환경 설립 계획안 소개 및 회의장면

(3) 전파천문관측소 소개

(가) 조직

- 전파천문관측소는 NRC 소속 Herzberg Institute of Astrophysics (NRC-HIA) 산하기관이며 Penticton과 Victoria에 연구시설 보유

(나) 연구인력 : 40 명

- 전파천문관측소 인력은 약 40명, 대부분이 기술 인력이고 일부는 과학자들로 다양한 우주환경 관측기기를 자체 개발하고 있음
- 전파천문관측소 상급기관인 Herzberg Institute of Astrophysics 인력은 약 150명의 연구인력 보유

(다) 연혁

- 1959년 : 전파천문관측소 설립
- 1959년 : 26m 접시형 전파수신기 설치
- 1960년 : 10MHz 배열형 전파수신기 설치
- 1965년 : 22MHz 배열형 전파수신기 설치
- 1990년 : 태양전파플럭스 모니터 설치

(라) 주요 업무

1) 2.8GHz 태양전파 절대플럭스 관측

- 가) 2대의 동일한 시스템을 운영, 오랜 기간 동안의 개량으로 시스템이 매우 안정되어 있어 거의 무인으로 운영
- 나) 관리적인 부분은 시스템의 결함이나 수리도 거의 발생하지 않아 과학자 1명 (Ken Tapping) 이 거의 혼자서 운영 함
- 다) 기술적인 부분은 전파천문관측소의 전기기술자 1명과 전산기술자 1명이 가끔씩 간단한 문제를 해결해주는 정도임
- 라) 현재는 하루 3회 절대 플럭스를 관측하여 오타와의 NRC에 보내주는 일을 함
 - 자체적인 웹 페이지나 자료제공 등의 업무는 담당하지 않고, 관측 자료를 생산해서, NRC에 전송해주는 일까지만 담당
 - 캐나다의 우주환경 정보제공 통로가 정리되면서, 개별적으로 서비스되던 자료들이 통합되었기 때문으로 생각됨
- 마) 향후 현재의 시스템을 개량한 새로운 5m 급 접시를 이용한 전파수신시스템을 계획 중임 (현재 예산 신청 중)



그림 2-1 2.8GHz 태양전파 절대플럭스 관측 시스템. 주 수신안테나



그림 2-2 예비 수신안테나



그림 2-3 수신기 및 신호처리

2) 전파망원경 접시 자체 제작

- 가) SKA(Square Kilometer Array)라는 국제 프로젝트에 사용할 전파수신기들로 기존의 10m 급 접시는 만드는데 많은 시간과 비용이 들지만 금형을 이용하면 대량 생산이 가능
- 나) 전파천문관측소에서는 10m 전파망원경 접시를 자체개발을 위해 금형을 이용하여 한번에 제작
- 다) 자체 제작된 10m 접시의 표면 정밀도는 약 1/2mm로 20GHz 까지 관측이 가능하고, 10m 이내의 다양한 크기의 접시를 대량 생산 할 수 있음



그림 3-1 전파망원경 도장 처리 과정



그림 3-2 시 제품 시험

3) Multi-phase 전파수신기 개발

- 가) 기존의 전파망원경들은 한번에 하늘의 한 지점만 관측이 가능하여 여러 영역을 관측하기 위해서는 망원경을 움직여 여러 번 관측하여야 함
- 나) Multi-phase receiver는 이런 단점을 극복, 한번에 하늘의 여러 지점의 전파를 관측할 수 있도록 사진기처럼 2차원 영상을 한번에 촬영하는 것이 가능함
- 다) 군사용 레이더 기술과 같은 원리이며 이지스함에 사용되는 레이더 기술임



그림 4-1 Multi-phase 전파수신기 제작 과정



그림 4-2 시 제품 시험

4) 대용량 자료처리 보드 개발

- 가) 전파관측에서 발생하는 많은 용량의 데이터를 실시간으로 처리해주는 고성능 보드 개발
- 나) 많은 자료를 실시간으로 처리하는 컴퓨터 기관임



그림 5-1 대용량 자료처리 보드 개발. 시험실 내부 구조



그림 5-2 시 제품 보드

5) VLBI(Very Long Baseline Interferometry) 자료 처리 시스템 개발

- 가) 전파망원경 여러 대를 이용하여 같은 천체를 관측하는 기술로 여러 대의 전파망원경을 이용하면 구경이 그만큼 커지는 장점을 이용
- 나) 한번 관측에 많은 데이터가 생산되기 때문에 이를 처리하는 시스템은 특별한 기술이 요구됨
- 다) 기존의 하드디스크 대신 비디오테이프를 이용한 자료 처리 시스템을 개발, 저비용 고효율 시스템



그림 6-1 VLBI 자료 처리 시스템. 전파천문용 수신안테나



그림 6-2 자료 저장시설

6) 캐나다의 우주환경 예보서비스 현황

- 가) 캐나다는 ISES의 지역경보센터(RWC Regional Warning Center) 중의 하나임
- 나) 캐나다 오타와에 우주환경경보센터(Canadian Space Weather Forecast Center)가 있으며 NRCan(Natural Resource Canada)에 의해서 운영
- 다) 연구비는 캐나다 항공우주국으로부터 지원받아, 알버타, 켈거리, 뉴브런즈윅, 웨스트 온타리오 대학 등에서 연구
- 라) 캐나다 우주환경 예측분야는 다음과 같음
 - 10.7cm 태양전파 측정

- 단기·장기 지자기 및 지역별 지자기장 예측
- Energetic Electron Fluence 예측
- 오로라 관측

마) 캐나다 지자기 관련 연구는 CGSM (Canadian Geospace Monitoring) 프로젝트 및 CARISMA 프로젝트에서 수행

※ CARISMA (Canadian Array for Realtime Investigations of Magnetic Activity)

(마) 주요 회의내용

- 1) (회의진행 방식) 전파천문관측소 측에서 수행중인 연구프로젝트 및 업무내용 중심으로 설명
- 2) 예보서비스 현황
 - 가) 전파천문관측소는 전파천문 전문 관측소로서 주로 천문학 연구에 역량을 집중하고 있음
 - 나) 우주환경 예보는 2.8GHz 태양전파 관측을 통해 태양흑점 예측, 단파대 최적주파수 환산업무를 수행하고 있음
 - 다) 지자기 관측과 태양 고에너지입자 관측 및 예보업무는 수행하지 않음
- 3) 위기관리 체계
 - 가) 캐나다는 법률적 구속이 없고, 수요기관의 자발적인 조치에 의해 관리되고 있음
 - 나) 즉, 미국 우주기상예보센터 및 ISES에서 정한 우주환경 경보등급에 따라 수요기관 자체 위기관리체계를 운영
- 4) 2.8GHz 태양전파 수신기 운영 현황
 - 가) 두 개의 태양전파 수신기로 F10.7 데이터를 생성하여 하루에 세 번씩 미국 볼더 우주기상예보센터로 관측데이터 전송
 - 나) 태양전파 플럭스 모니터링 시스템은 전 자동화를 구축하여 자체적으로 유지보수하고 있음
- 5) 전파연구소에 구축된 2.8GHz 태양전파 수신기와의 비교 논의

가) 수신기 구성 방법

- 2.8GHz 태양전파 수신기는 주·예비 관측시설로 구성
- 태양에서 오는 절대플럭스는 거의 편광이 되어있지 않아 두 개의 편광을 관측하는 전파연구소 방식은 적절함
- 또한, 상호 독립적인 관측을 할 수 있어 전파연구소에 설치된 수신방식은 적절함

나) 수신기 안정화 방안

- 전파천문관측소의 수신기는 건물 안 알루미늄 박스에 위치하여 시간에 따른 온도변화가 거의 없음
- 안테나로부터 수신기까지 연결하는 긴 웨이브가이드와 회전 조인트로 인한 신호 손실 및 온도 변화의 가능성이 있어, 전파천문관측소에서도 노이즈 소스에 온도 검출기를 달아 온도 조정
- 전파연구소의 경우 안테나 바로 뒤에 수신기가 위치하고 수신기에 온도 안정화 장치를 부착하였으나 외부 날씨 변화로 인한 노이즈발생 가능성 있음

다) 인공잡음 제거방법

- 수신안테나를 태양으로부터 12~15도 정도 움직여 태양을 관측할 때와 주변 하늘을 관측할 때의 주변 환경을 동일하게 둠
- 이 경우 태양이 있고 없과의 차이만 있고 나머지 환경은 동일하게 되므로 두 대의 flux monitor로 동시 관측하면 관측 데이터간 비교 가능
- 배경 하늘을 측정할 때의 위치를 실제 태양이 지나가는 길목과 동일하게 관측하면 하늘과 주변 지상의 영향을 같은 조건하에서 제거 할 수 있어 수식보다는 직접 측정이 우수함
- 전파연구소에서도 전파천문관측소와 동일한 잡음제거 방식임

6) (전 세계 2.8GHz 태양전파 관측기 운영현황) 일본 등에서 설치 운영 중이나 관측 측면에서 전파천문관측소 시설이 안정적인

7) 기타 연구

- 가) 7개 전파수신기로 은하를 대상으로 성간물질이 별의 탄생과 소멸에 어떤 영향을 미치는지 연구 수행 중
- 나) 26미터 전파수신기로 펄서를 이용한 전파천문 연구 수행 중



그림 7 전파천문용 수신안테나

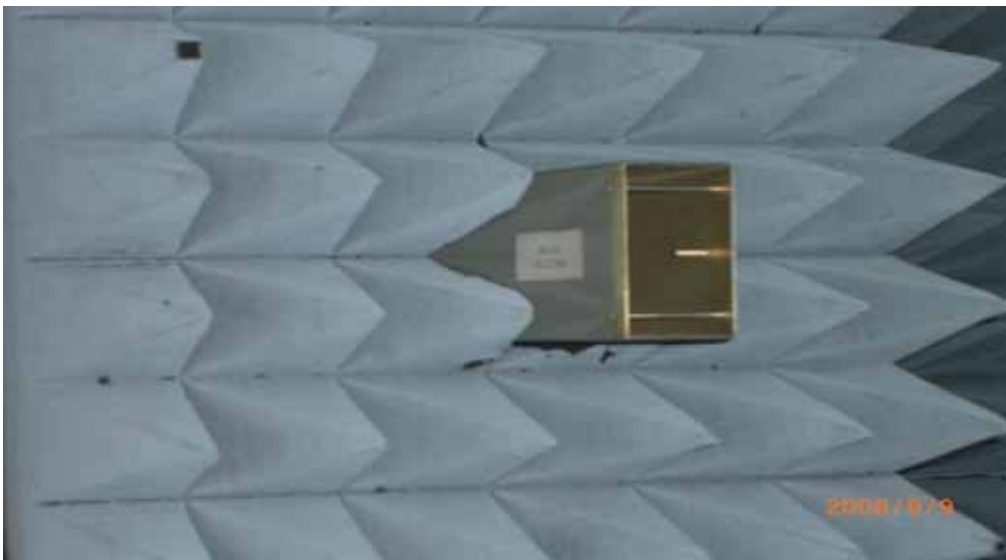


그림 8-1 전파천문용 수신안테나 제어실 내벽 구조(외부 전자 장애 방지기능)



그림 8-2 전자파 차단 내벽

2. 미국 우주기상예보센터(SWPC) 방문

가. 개요

- (1) SWPC는 미 상무성 소속 국립해양대기청(NOAA, National Oceanic & Atmospheric Administration) 산하 9개 센터(태풍예보 센터, 토네이도 예보센터 등) 중 하나
- (2) 설립년도 : 1945년
- (3) 임무
 - (가) 관측자료 수집, 분석 및 예·경보를 위한 우주환경 업무
 - (나) 국제 자료교환 및 협력을 위한 데이터베이스 시스템 운영
 - (다) 태양활동의 물리적 이론 및 모델을 위한 우주환경에 대한 연구
 - (라) 미국 NASA, 일본 NICT 등과의 협의체 구성 등 국제 활동

나. 조사 활동 내용

(1) 면담자

- (가) (Bill Murtagh) 우주기상예보센터에서 우주환경 수요자들과의

의사소통, 홍보 등을 담당 함. 미 공군 출신으로 공군에서 23년간 일한 후 은퇴한 뒤 우주기상예보센터에서 일하고 있음. 우주기상예보센터의 우주환경 분야와 미 공군의 우주환경 분야가 매우 밀접하게 관련되어 진행 중

(나) (Terry Onsager 박사) Space Science가 전공으로 박사학위를 우주환경 분야로 받았음. 그 동안 우주기상예보센터에서 모델개발과 관련된 연구를 담당하고 있음. 현재는 Bill과 함께 여러 가지 대외 협력 활동을 담당함

(다) (David Finelli) SWPC의 전산 시스템과 프로그래밍을 담당하는 IT 전문가로 자료 수집 및 웹 서비스 등의 전산 관련 담당

(라) (하드웨어 전문가) GOES 위성 · ACE 위성 수신시설 및 SWPC의 전산실 운영업무를 담당

(마) (William Denig) NOAA 태양지구물리과장으로 NGDC 관련 업무를 총괄

(바) (Joe Kunches 박사) 우주기상예보센터에서 ISES 관련 업무를 담당

(2) 우주기상예보센터 소개

(가) 조직

- 2개 분소(기술정책지원국(15명), 우주환경서비스국(52명))
- 우주환경서비스국에 3개 과(우주환경예보과, 개발과, 연구과), 1개 공동연구소로 구성

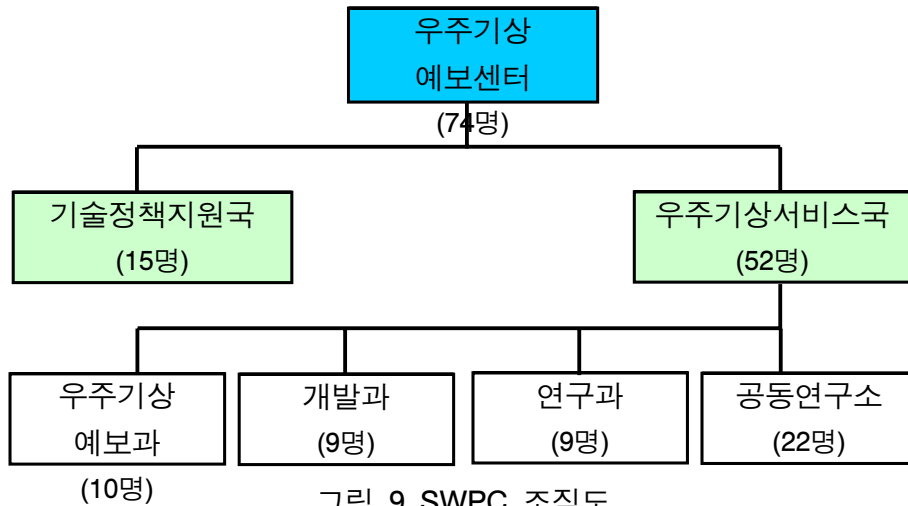
(나) 연구인력 : 74명

- 우주기상예보센터에 74명이 근무하고 있으며, 상위기관인 국립 해양대기청(NOAA)에 1000여명 정도가 근무
- 공군, 항공우주국(NASA, National Aeronautics and Space Administration) 등과 범 정부차원의 우주환경연구 수행

(다) 연혁

- 1945 : 우주기상서비스 센터 발족
- 1946 : 일일예보 시작
- 1970 : 현 NOAA 기관에 합병
- 2007 : 우주기상예보센터(SWPC)로 명칭 변경

(라) 조직도



- 기술정책지원국 : 행정업무지원
- 우주기상서비스국 : 우주기상 예보서비스 총괄
- 우주기상예보과 : 우주기상 예보서비스 실시
- 개발과 : 위성수신시설 유지·관리, 웹 사이트 운영, 관측 전송망 관리
- 연구과 : 우주기상 정보 수요기관의 요구사항 분석, 예보모델 시험운용
- 공동연구소 : 지구주변의 환경변화 중요성 홍보 및 지구환경 연구관련 총괄관리

(마) 주요업무

1) 우주환경 업무

가) 우주환경 예·경보 업무

- 나) Kp, AE 지수, 태양 플레어 활동, 태양폭발 등 감시
- 다) ACE, GOES, SOHO 위성 등의 자료 분석을 통한 실시간 우주환경 경보발령 및 웹, E-Mail 등을 통하여 관련정보 제공
- 라) 태양 및 우주환경 관측시설 개발 및 운영
- 마) 지상·위성관측 자료 분석 및 우주환경 정보 요약서 발간
- 바) 우주환경 주의보, 경보 및 예보 서비스 실시
- 사) 우주환경 교란 요인 분석 연구
- 아) 우주환경 사용자 교육 및 우주기상 민간기업 지원육성



그림 10-1 우주환경 예보실 내부. 예보관의 위성관측자료 분석 장면



그림 10-2 예보실 내부구조



그림 11-1 위성자료 수신처리과정. GOES 위성 수신안테나



그림 11-2 수신 위성신호 처리장비



그림 11-3 자료 분석 및 서버실 내부

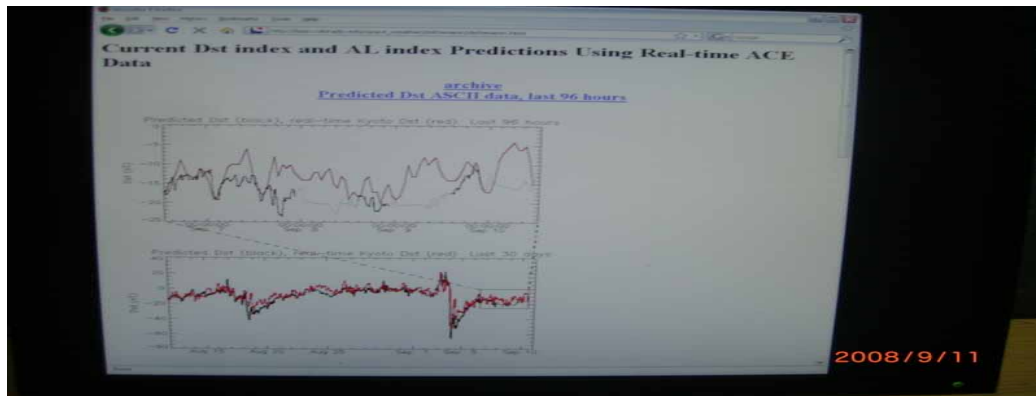


그림 11-4 웹 페이지를 통한 자료 제공

2) 데이터 베이스 시스템 운영

가) 우주환경 예보서비스를 총괄하기 위한 국제 업무 기구인 국제우주환경서비스(ICES the international space environment service)와의 협력을 통한 데이터 공유 및 정보 제공

나) 지구물리자료센터(NGDC national geophysical data center) 운영

※ NGDC 자료 분야 : 태양 및 상층대기, 전리층, 지구자기장, 태양x-ray, 태양입자, 극지방유입입자 등

3) 우주환경 관측 및 예측

가) 태양 활동의 물리적 이론 연구 및 모델 구축

나) 지자기권 변화, 고에너지 입자 등에 대한 지속적 관찰

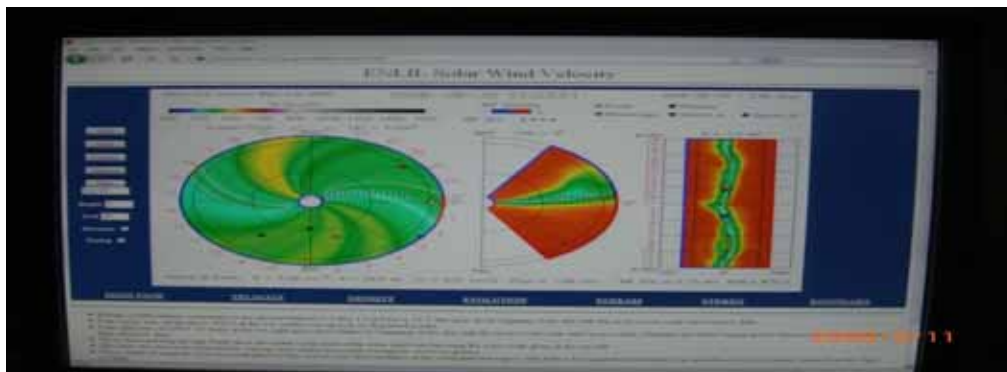


그림 12-1 태양풍 예측 모델 실행 화면

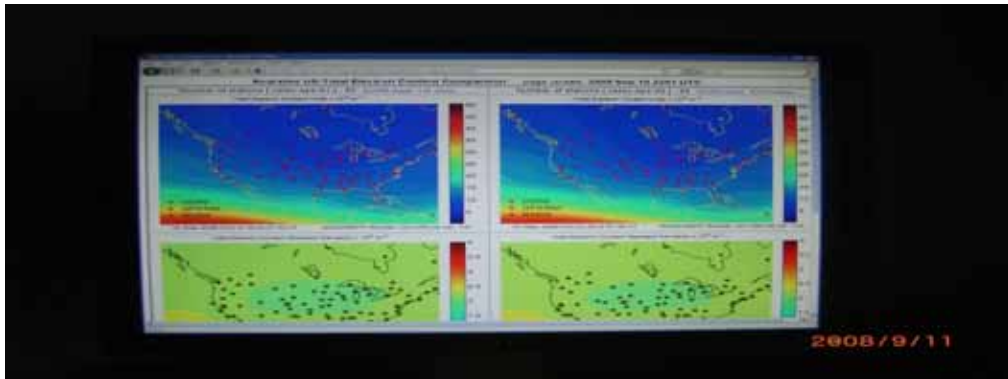


그림 12-2 전리층 전자밀도 실시간 관측

4) 국제 활동

- 가) NASA, NICT 등과 협의체 구성 및 공동 연구 수행
- 나) ISES 회원으로의 지속적인 활동

5) 우주환경 영향 및 경보발령

가) 우주환경 영향

- 지자기 폭풍(geomagnetic storms): 태양풍에 의한 지구자기장 교란
- 태양 복사풍(solar radiation storms): 태양 고에너지 입자에 의한 지구 주변의 방사능 피폭
- 전파통신장애(radio blackouts): 태양 x-ray에 의한 전리층 교란

(나) 우주환경 경보발령 기준

표 1 SWPC의 우주환경 경보 발령 기준

분류	기호	분류 기준	영향 대상	예상되는 장애	발생 빈도
E X T R E	R5	X20 이상	통신, 항법	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수시간동안 일조지역에서의 HF 통신 완전 두절 ○ 수시간동안 해상, 비행용 LF 항법 신호 두절 ○ 위성 항법 위치 에러 증가 	1회/11년
	S5	10 ⁵ Mev	통신,	○ 항법 위치 에러로 항법 운용에 큰 장애	3회/11년

M E		이상	항법	o 극지역에서의 HF 통신 불가	
			위성	o 일부 위성 분실, 위성체 내 메모리 고장 o 위성 영상에 심각한 노이즈 발생 o 태양 전지판의 영구적인 손상	
	G5	Kp=9	통신, 항법	o 1~2일간 다수 지역에서의 HF 전파전파불가 o 수일간 위성 항법상태 저하 o 수 시간 LF 항법 통신 두절	4회/11년
			위성	o 광범위한 위성체 표면 대전 o 위성 회전, 상하향 링크 장애, 위성 통제 장애	
S E V E R E	R4	X10이상	통신, 항법	o 대부분의 일조지역에서 1~2시간 HF 통신 두절 o 1~2시간 LF 항법 신호 오차 발생 o 위성 항법에 약간의 이상발생	8회/11년
	S4	10 ⁴ MeV 이상	통신, 항법	o 수 일간 항법 오차 발생 증가 o 극 지역 통과 HF 통신 불가	3회/11년
			위성	o 기억소자 문제 발생 o 위성 촬영 이미지 노이즈 유입 o 태양 전지 패널 운용 효율 감소	
	G4	Kp=8~9	통신, 항법	o 수 시간 동안 HF의 산발적인 장애 o 위성 항법 이상 o LF 전파 항법 두절	100회/11년
			위성	o 위성체 표면 대전 및 위성 위치 추적 장애 발생	
S T R O N G	R3	X1이상	통신, 항법	o 일부 지역에서 HF 통신 두절 o 1시간정도 LF 항법 신호 감쇄	175회/11년
	S3	10 ³ MeV 이상	통신, 항법	o 수일간 간헐적인 항법에러 발생 o 극지역을 통과하는 HF 통신 감쇄	10회/11년
			위성	o single event upset, 위성영상 노이즈 발생 o 태양 전지 효율 감소	
	G3	Kp=7	통신, 항법	o 간헐적인 위성 항법 이상발생 o 간헐적인 LF 항법신호 및 HF 통신 이상	200회/11년
			위성	o 위성체 표면 대전 가능성 대두 o 위성 공기저항(drag)으로 저궤위성 고도 조절 필요	
M O D E R A T E	R2	M5이상	통신, 항법	o 일부지역 HF 통신 두절 o 수 십분 정도 LF 항법 신호 감쇄	350회/11년
	S2	10 ² MeV 이상	통신, 항법	o 극지역 통과 HF 통신과 항해에 약간의 영향 가능성	25회/11년
			위성	o 드물게 single event upset 발생 가능성	
	G2	Kp=6	통신, 항법	o 고위도 지역에서 HF 전파 신호 감쇄 가능성	660회/11년
			위성	o 위성 궤도 보정 필요 가능성 o 대기 저항 증대로 위성 궤도 예측 곤란 가능성	
MIN OR	R1	M1 이상	통신, 항법	o 순간적 LF 항법신호감쇄 발생 o 일시적인 HF 통신 감도 저하	2000회/11년
	S1	10MeV	통신,	o 극지방 HF 통신에 미세한 영향	50회/11년

		이상	항법		1700회/11 년
			위성	o 영향없음	
	G1	Kp=5	통신, 항법	o 영향 없음	
			위성	o 위성 운용에 사소한 문제 발생 가능성	

※ 출처: 미국 해양대기청 산하 우주기상예보센터(SWPC)

(바) 주요 회의내용

1) 회의진행 방식

가) 우주기상 예보센터측에서 준비한 프리젠테이션 자료발표에 대한 질의응답

나) 발표제목 및 주요내용

- o 우주환경 수요자 및 영향(Bill Murtagh) : 항공분야, GPS 이용분야, 전력전송망분야, 우주관련분야 등에 미칠 수 있는 예상 사례 제시
- o 우주환경 이용자 요구사항(Bill Murtagh) : 항공분야, 군, 위성분야에서 웹, 메일 등을 통해 우주환경 정보 이용자가 급격히 증가 추세
- o 우주환경예보센터 IT 기술 개요(David Finelli) : SWPC와 미 공군이 GOES, ACE 위성 관측자료 수신시설을 보유하고 SWPC가 경보발령
- o 현 SWPC 현황(Bill Murtagh) : 웹, 메일에서 제공하는 서비스 및 위성 운영 현황



그림 13 우주기상 예보센터의 예보서비스 현황 설명 장면

2) 예보모델 개발 현황

가) 우주기상예보센터 자체적으로 모델 개발을 하지는 않음

※ 우주환경관련 학계 및 연구기관에서 개발된 예보모델 채택

나) 우주기상예보센터 예보모델 채택 과정

- 예보서비스 수요자가 분야별 예보서비스 결정
- 학계와 연구소에서 모델개발 및 개선연구 수행
- 우주기상예보센터가 Test-bed에서 모델운용 시험한 후 예보모델로 채택
- 즉, 우주기상예보센터는 대학이나 연구소의 연구결과 중 현업에 적용 가능한 모델을 중심으로 현업화 하는 것이 주요 업무이고, 이에 필요한 전산시스템도 다른 연구소의 장비를 이용중임

다) 우주기상예보센터가 현재 직접 모델개발·개선을 위한 예산을 확보하지 않으나 향후 모델개발 및 개선연구를 수행할 계획이라고 밝힘

3) (위기관리체계) 현재 법률적인 구속이 없으나, 항공분야에서 가까운 시기에 우주환경이 법률적인 구속력을 가질 수도 있음

가) 우주환경의 변화로 인해 통신이 두절될 경우 항공법을 위반하는 결과를 초래하므로 항공사들과 우주환경 정보 제공 등의 활동을 활발하게 진행 중

나) Cross Polar Working Group을 중심으로 극 궤도 운항 항공사들과 우주환경 전문가들이 모여 현실적인 대처법 논의 중 (대한항공은 아직 참여하지 않음)

4) (우주환경 정보 수요자 현황) 항공사, 위성운용기관 등 다양한 기관에서 우주환경 정보를 필요로 함

※ 한국 공군에서도 우주기상예보센터를 방문하였고 자체적인 우주환경예보 능력을 갖추기 위해 여러 방면으로 준비 중임

5) 상호교류 방안 협의

가) 전파연구소와 인력교환 (우주환경예보 교육), 자료 제공 등에 관한 MOU 맺는 부분에 대해 우주기상예보센터측은 매우 긍정적으로 의사 표명

○ MOU를 맺고 특별회원이 되면, 우주기상예보센터의 자료를 우선적으로 제공 받을 수 있음 (유럽 ESA가 특별 회원임)

○ MOU 체결 가능 분야

- 우주환경 예보관 교육 프로그램 참여
- 우주환경 연구센터 구축관련 우주기상예보센터의 조언
- 우주기상예보센터의 우주환경 예보(실) 구조 관련
- 전리층 총전자밀도함유량(TEC) 관측자료 교환
- 미국 GOES, POES 관측위성의 직접수신 관련
- 우주환경 예보모델 교환관련

나) ISES 회장은 캐나다의 David Botler 박사로 우주기상예보센터에서 ISES를 담당하는 Joe Kunches 박사를 만나 한국의 ISES 가입을 위한 협력을 약속함

※ 남아프리카 공화국이 최근 회원으로 가입(ISES 회원국 : 미국, 일본 등

12개국) 하였고, 브라질도 곧 회원으로 가입할 예정임

6) 우주기상예보센터의 우주환경 예보실 운영

가) 오전 9시부터 저녁 6시까지는 2명이 근무, 오후 6시 이후는 1인이 근무하는 체제임

나) 태양 활동이 활발할 때는 인원을 2배로 늘리고, 예보관은 각자가 맡은 일만 전문적으로 담당



그림 14 우주기상 예보센터 예보관의 예보실 내부 설명 장면

7) 기타 사항

가) NGDC는 전파연구소의 전리층 관측자료 제공에 대해 감사를 표명하였으며, 전파연구소는 다른 국가의 전리층 관측자료에 접근할 수 있는 권한 획득

나) 우주기상예보센터가 미 해양대기청 산하에 있기 때문에 한국의 기상청과 교류도 활발할 것으로 예상되고, 10월 중 한국의 기상청과 NOAA의 책임자가 한국에서 회의 개최 예정

다) 우주환경 연구센터 구축 계획수립(정책용역과제) 자문위 차원에서 미국 우주기상예보센터 전문가(예: Bill Murtagh, Terry Onsager) 초청 검토



그림 15 NOAA 태양지구물리과장 William Denig 과의 지속적인 관측자료 교환 필요성 설명 장면

III. 향후 계획

1. 우주전파환경 연구센터 설립 시 보조 위성 수신 센터, 관측자료 상호교환 등 다양한 분야에서 미국의 우주기상예보센터 및 캐나다의 전파천문관측소와의 지속적 협력 체계 구축
 - 협력 가능 분야 조사 실시
 - 우주기상예보센터와의 MOU 협약 체결 추진
2. 미국 우주기상예보센터의 우주환경 예보서비스 및 미국의 우주환경관련 연구 수행 환경을 고려하여 우주전파환경 연구센터 조직구조 확정
 - 국내 우주전파환경관련 연구 실태 조사
 - 우주전파환경 연구센터의 역할, 기능 및 연구 분야 확정
3. 우주환경 예보서비스를 총괄하는 국제우주환경서비스(ISES) 가입을 위한 계획 수립
 - 국내 우주전파환경분야 인적 및 연구 네트워크 구성

- ISES 가입을 위한 요구조건 조사 및 가입 추진
4. '06년 전파연구소에 설치된 2.8GHz 태양전파 관측기의 정밀교정과 안정적 운용을 위해 전파전문관측소와의 지속적인 정보교환 필요
- 관측자료의 신뢰성 향상을 위해 관측자료 교환
 - 관측기의 안정적 운용을 위한 관측정보 및 전문가 교류 추진
5. 기관별 우주전파환경 위기관리 체계를 운영하는 캐나다와 미국의 경우를 참고하여 우리나라의 우주전파환경 위기관리 체계 계획 수립
- 우주전파환경에 의한 피해 최소화를 위해 외국의 동향 및 제도 조사
 - 긴급 상황을 효과적으로 전파하기 위해 위기관리 체계 계획 수립

IV. 여행소감 등

회의 진행은 우리측에서 미리 준비해간 질의 내용을 중심으로 이루어졌으며 상대기관에서도 프리젠테이션을 준비하는 등 매우 성의 있는 자세를 보여 주었다. 특히, 미국 우주기상예보센터측은 직원 2사람이 하루 일정 모두를 할애하여 기관소개, 시설방문 등 성의 있는 자세를 보여 주었다.

다소 여행 일정이 촉박한 가운데서도 주요 기관을 선정 방문하여 미리 준비해간 질의 내용에 대한 해당국가의 우주환경 연구분야와 예보 서비스 분야에 대한 최신 동향을 파악할 수 있었다.

캐나다 전파천문관측소의 경우, 세계표준의 2.8GHz 태양전파 관측기 및 우주전파환경과 관련 있는 시설일 뿐 그 밖의 시설은 모두 전파천문 관측기였다. 연구원들이 매우 자유로운 분위기에서 작업하였고, 시골이라 점심 도시락을 지참해 식당에서 같이 먹는 모습이 인상적이었고, 소수의 연구원들이 할당된 프로젝트에서 열정적으로 일하는 분위기였다.

미국 우주기상예보센터의 경우, 미국의 다양한 학계와 연구기관에서 관측기 개발, 예보모델 개발 및 위성개발이 활발하게 진행되고 있어 별도의 예보모델 개발, 관측기 설치 및 위성개발에 대한 사업의 필요성이 없다고 하였고, 우주기상예보센터는 순수한 우주환경 예보서비스 업무에만 74명의 인력이 존재하고 있었다. 일과 후 우주기상예보센터 측의 Bill Murtagh, Terry Onsager와 저녁식사를 하면서 더욱 친밀한 계기를 만들었고 우주전파환경 연구센터 구축 및 국내 예보서비스 고도화를 위해 향후에도 지속적인 협력을 약속하였다.

붙임 2-2. 스웨덴 및 호주 방문 보고서

스웨덴 IRF, 호주 IPS 방문 보고서

2008. 10.

목 차

I. 출장 개요	1
II. 업무 수행 내용	2
1. 스웨덴 우주물리연구소 방문	2
가. 개요	2
나. 조사 활동 내용	2
2. 호주 우주기상예보센터 방문	14
가. 개요	14
나. 조사 활동 내용	14
III. 향후 계획	27
IV. 여행소감 등	28

- ※ 별첨 1. 주요 면담자 연락처
2. 스웨덴의 우주물리연구소
 3. 호주의 우주기상예보센터의 발표자료
 4. 전파연구소의 발표자료

I. 출장 개요

1. 제 목 : 우주전파환경 연구센터 구축관련 외국동향 조사

2. 목 적

가. 우주전파환경 관측시설 신규 설치, 운용, 예보서비스 고도화 등 구축될 우리센터와 성격이 유사한 기관을 방문하여

나. 우주전파환경 연구센터 구축 종합계획 수립을 위한 벤치마킹 모델로 참고하고자 함

3. 기 간 : 2008. 10. 1.(수) ~ 10. 10.(금) (10일간)

4. 장 소 : 스웨덴 룬드, 호주 시드니 & 쿨구라

5. 출장자 : 박재우 책임연구원, 정철오 책임연구원(ETRI), 이동진 상무(하이게인), 선종호 소장(셰트랙아이)

6. 주요 활동사항

가. 스웨덴 우주물리연구소(IRF) 방문, 태양전파연구동향 및 우주환경 예·경보 체계 조사

나. 호주 우주기상예보센터(IPS) 방문, 우주전파환경 예·경보 체계 및 연구동향 조사

7. 주요 일정

- 10월 1일 : 출국
- 10월 2일 : 스웨덴 우주물리연구소(IRF) 방문
- 10월 3~5일 : 이동 및 자료 정리
- 10월 6일 : 호주 우주기상예보센터(IPS) 방문
- 10월 7일 : 이동

- o 10월 8일 : 호주 쿨구라 태양전파관측소 방문
- o 10월 9~10일 : 귀국

II. 업무 수행 내용

1. 스웨덴 우주물리연구소(IRF) 방문

가. 개 요

1) IRF¹⁾는 스웨덴 왕립 과학아카데미 산하 소속 정부출연연구소로서 공무원 신분임

2) 설립년도 : 1957년

3) 임 무

가) 지구의 상층대기, 이온층 그리고 행성의 자기권에 대한 현상을 연구하는 전문기관으로서, 키루나(Kiruna)에 본부를 두고 우메아, 옅살라 및 룬드(Lund)에 연구그룹을 두고 있음

나) 이온층 관측, 지구자기장 관측, 오로라 광학관측 및 전파 전파관측을 위하여 키루나에는 ionozonde, riometer, magnetometer, all-sky 카메라, MST 레이더 등으로 정기적인 관측수행과 Astrid와 Freja위성 자료 수신 및 분석을 수행함

다) 룬드그룹은 자체개발한 시스템을 사용하여 space weatherdp 대한 모델링과 예보를 수행하며, 우메아 그룹은 대기에서의 infra sound의 전파를 연구하며 그리고 옅살라 그룹은 옅살라 대학과 함께 space plasma에 대한 이론적인 연구를 담당함

라) 스웨덴 정부로부터 약 50%정도의 직접출연을 받고 있으며, 국가

1) IRF(Institut for rymdfysik) : 스웨덴 우주물리연구소(Swedish Institute of Space Physics)

연구위원회, ESA(5~10%), EU 등으로부터 나머지를 지원받고 있음

나. 조사 활동 내용

1) 면담자

- Lars Eliasson - 우주물리연구소장
- Henrik Lundstedt 박사 - Lund 그룹장
- Peter Wintoft 박사 - Space Weather 예보시스템 담당

2) 전파연구소의 우주전파환경 설립계획안 프리젠테이션 발표



그림 1 우주전파환경 설립 계획안 소개 및 회의장면

3) 우주물리연구소 소개

가) 조직

- 우주물리연구소는 스웨덴 왕립 과학아카데미 소속의 독립 정부

출연연구소로서 룬드, 우메아 및 옅살라에 연구그룹을 두고 있음

나) 연구인력 : 104명

- 우주물리연구소 인력은 현재 총 104명으로 키루나 본부에 67명, 룬드 5명, 우메아 7명 그리고 옅살라에 25명이 근무하고 있으며 그중 37명이 박사학위를 가진 과학자들로 다양한 우주환경 관측기기를 자체 개발하고 있음



그림 2 스웨덴 우주물리 연구소 구성

다) 연혁

- 1957년 : 스웨덴 왕립 과학아카데미 산하 키루나 지구물리 관측소(KGO)로서 시작함
- 1973년 : 키루나 지구물리연구소(KGI)로서 정부출연연구소로 독립

- 1987년 : 스웨덴 우주물리연구소(IRF)로 확대개편

라) 주요 업무

(1) 우주환경 지상 관측

- (가) 이온층 관측, 지구자기장 관측, 오로라 광학관측 및 전파 전파관측을 위하여 키루나에는 ionozonde, riometer, magnetometer, all-sky 카메라, MST 레이더 등으로 정기적인 지상 관측수행
- (나) 특히, MST 레이더 관측은 인도와 공동으로 수행하는 것으로서 키루나, 남극 및 인도 등 3군데에서 관측함.



그림 3-1 MST 레이더 관측. 스웨덴 키루나 레이더



그림 3-3 인도 MST 레이더

(2) 우주환경 우주관측

- (가) 1968년 ESRO-1에 처음으로 스웨덴 우주환경장치(?)를 탑재한 이후로 1986년 바이킹, 1992년에 프레야, 1995년, 1998년에 ASTRID-1 & 2위성 그리고 2000년에 무닌위성까지 자체적으로 개발한 장치를 위성에 탑재하여 우주환경관측을 수행하여 왔음.
- (나) 대부분 우주관측은 스웨덴 우주연구소(ESRANG)와 공동으로 수행하는 데 위성외에도 사운드로켓, 기구관측도 굉장히 빈번하게 수행하고 있음.
- (다) 위성프로그램은 많은 경우 ESA와 NASA의 프로그램에 참여하는 형식으로 진행하며, 많은 국가가 참여하는 국제적프

로그래도 활발히 참여함.

- 그동안 참여한 ESA/NASA 프로그램은 카시니(1997), 클러스터(2000), Mars Express(2003), 로제타(2004)등이 있고,
- 국제 프로그램으로는 스웨덴 IRF, 일본 JAXA외에 13개국가가 참여한 ASPERA가 있으며,
- 향후에는 인도의 찬드라얀(2008), 러시아의 포보스(2009), 중국의 YingHua(2009) 그리고 일본/ESA의 BepiColombo(2013)에 참여 예정임.

(3) 스웨덴의 우주환경 예보서비스 현황

- (가) 스웨덴은 ISES의 지역경보센터(RWC : Regional Warning Center) 중의 하나로서, 예보프로그램개발 및 예보서비스는 IRF-Lund를 통하여 이루어짐.
- (나) 미국의 스탠포드대학과 협력하여 SOHO project를 통해 입력되는 각종 이미지와 지수 등을 포함한 현재의 태양활동을 소개하고, 타기관과 비교하여 태양활동을 예보함.
- (다) 또한, 오로라 현상, 위성 anomaly, 지자기 활동(Dst, Kp 지수)와 GIC(Geomagnetic Induced Currents) 등 지자기 관련사항을 직접 예보 발표함.
- (라) 현재 우주환경 예측은 약 30분 정도 이전에 하는 것이나 전력회사 등에서는 약 2~3일 이전에 경보를 주길 원한다고 함. a Two-Phase Approach를 취할 수 있으며 첫 번째 단계에 Early Warning을 준 후 두 번째 단계에 예측을 할 수 있을 것이라고 함
- (리) ESA의 ISAC 프로젝트에 참여하여 태양활동주기가 지구의 기후에 미치는 영향을 연구함.
- (마) 주로 전력회사(Power Companies)가 주요고객이 되어왔으

며, 향후는 군(military)가 주요 고객이 되고 있음.

마) 주요 회의내용

(1) (회의진행 방식) 우주물리연구소 측에서 수행중인 연구프로젝트 및 업무내용 중심으로 설명하고 미리 제시한 질문서에 대한 답변을 위주로 회의 진행함

(2) 우주물리연구소의 소개

(가) 정부출연기관이며 인원은 104명 그리고 1년 예산은 9천만 불임

(나) 정부 외에도 스웨덴의 전력회사 등과 스폰서쉽을 가지고 있으며, 최근에는 군과의 협력이 급증하고 있음

(다) ISES의 RWC로서 Estec, 러시아 등 유럽각국과 매우 긴밀한 협조관계를 갖고 있으며, 미국, 호주 등과도 협력관계를 유지하고 있음

(3) 한국센터 설립에 대한 의견제시

(가) 스웨덴의 우주물리연구소를 설립하여 안정화시키는 데 10여년이 소요되었으며, 1년에 백만불씩 약 2백만불이 초기설립자금으로 사용되었음.

(나) Space Weather Prediction Center의 설립을 위해 약 5명의 인원이 10년 정도의 시간을 투자하였다고 하며 이를 참고하면 필요한 중장기 예산이 나올 것으로 판단됨.

(다) 본부와 관측시설이 모여 있는 키루나와 예보전담인 룬드를 합한 것이 한국 센터의 모델이 될 수 있으며 필요한 인원은 약 70명 정도가 적당할 것임.

- (라) 한국센터의 기능에 따라 어떠한 예측모델이 필요한지 설정될 수 있음. 이것은 센터 설립에 따른 기능정립에 대한 지식이 요구되는 사항임.
- (마) 국내 우주환경예보센터는 통신환경에 미치는 영향에 관심이 많을 것이어서 800MHz ~ 2 GHz대역에서의 우주환경영향을 예측한 사례가 있는지에 대해 없었다고 답변하였으며 일본에서 아마도 할 것이라고 함.

(4) 예보프로그램의 개발

- (가) 스웨덴은 대부분의 프로그램을 처음부터 자체개발을 하였음
- (나) 기존에 개발된 상업용 프로그램을 사용하는 것은 향후 업그레이드와 유지보수가 매우 힘들어질 것임. 또한 각 나라마다 입력 데이터가 다르게 되면 사용이 불가능할 수도 있음. 그러므로 scratch 모델(처음부터 직접 개발하는 모델)부터 개발하는 것이 바람직함.
- (다) 개발계획 작성과 초기 개발 시 원하면 협력이 가능함



그림 4 스웨덴 IRF의 예보시스템

(5) 위기관리 체계

- (가) 스웨덴은 법률적 구속이 없고, 수요기관의 자발적인 조치에 의해 관리되고 있음.
- (나) 정부 규제에 대해서는 EU 등에서 규제 작업을 시작하고 있으나 아직 구체적인 법제화는 없었고 루프트한자에서 최초로 Cosmic Ray에 대한 DOSE를 바탕으로 비행 규제 등을 시작하고 있다고 함.
- (나) 즉, 대부분의 규정들은 EU에서 관리하므로 개별국가들의 자체 위기관리체계를 운영하지 않음.

(6) 훈련프로그램

- (가) 훈련 프로그램은 두 가지로 구성할 수 있음
 - 국내인원이 스웨덴에서 교육을 받음 : 특별한 분야의 전문가를 양성하는 데 이점이 있음
 - 스웨덴의 전문가를 국내에서 활용함 : 많은 수의 인원이 교육을 받을 수 있는 이점이 있음
- (나) 교육훈련항목을 정하여 제시하면 이에 맞는 교육프로그램을 만들어 제공할 수 있음
- (다) IRF는 국가기관이어서 과학적인 협력은 가능하나 상업적인 협력은 복잡한 비용처리 등의 문제를 야기할 수 있어 스웨덴 내에서의 교육보다는 전문가를 파견하는 것을 선호함. 그러나 용역과제로 처리하면 가능할 것으로 판단됨.
- (라) 한국-스웨덴 간의 Forum 개최와 같은 방법에 의해 스웨덴의 전문가 초빙에 대해 우호적인 반응을 보여, 이를 바탕으로 스웨덴과의 경험 및 지식을 상호 교류할 수 있을 것으로 판단됨.
- (마) 초기 설립 시 발생할 수 있는 인력 교육의 가능성에 대해서는 대학 강좌 등을 이용하는 공식적인 방법과 스웨덴 현지에서 함께 근무하면서 교육을 받는 비공식적인 교육이 가능하다고

고 함

(7) 기타

(가) Public domain data는 미국 볼더의 NSSDC가 유일한 소스임

(나) 현재 스웨덴은 SOHO와 ACE 위성의 자료를 주로 사용하고 있으며, 예산상의 문제로 자체 위성 계획은 없음

※ 우주물리연구소의 우주기상예보분야는 스웨덴 내 타 분야에 비해서 작은 그룹에 해당되어 예산상 제약이 많은 편임

(다) IRF-Lund는 Space Weather Forecasting에 집중하고 있으며 Regional Warning Center (RWC)의 기능을 수행하고 있음. RWC는 다른 RWC와 DATA를 교환하고 공유하는 기능으로 미국의 Space Environment Center (Boulder)가 Leader의 위상을 가지고 있음. Europe의 RWC는 순수 학문에 가깝고 미국의 SEC는 SERVICE ORIENTED 되었다고 스스로 평가하고 있음. Beijing, Tokyo, India 등의 RWC와 협력하면 좋은 정보를 얻을 수 있을 것 이라고 함.

(라) 국제협력 일환으로 Cassini, Cluster, Rosetta, Chandraya-1, Phobos Grunt, Bepicolombo 등에 참여하고 있음.

(마) Public Data를 얻을 수 있는 곳은 SEC 및 NSSDC (National Space Science Data Center) Web Site 등을 통해 가능함

2. 호주 우주기상예보센터(IPS) 방문

가. 개 요

1) IPS²⁾는 호주의 정부출연연구소로서 시드니에 본부를 두고 있으

며, 소속원은 공무원 신분임

2) 설립년도 : 1948년

3) 임 무

가) 지구의 이온층, 지자기 그리고 태양 자기권에 대한 현상을 연구하는 전문기관으로서, 시드니에 본부를 두고 러먼스 및 쿨구라 지역에 태양, 지자기 및 이온층 측정을 유인관측소를 두고 있으며, 타운스빌 등 16개 지역에 주로 전리층 및 지자기 측정을 위한 무인관측소를 운용하고 있음. 이중 2개소는 GPS 및 TEC 신틸레이션 측정을 함께 하고 있음.

나) 이온층 관측 및 지구자기장 관측을 위하여 16개 무인지역에는 ionozonde 및 magnetometer 등 장비를 이용하여 전리층 및 지자기 관측과 분석을 수행하며, 유인관측소인 러먼스 및 쿨구라 지역은 ionozonde, magnetometer, solar telescope, heliostat, schmidt-cassegrain 및 radio spectrograph 등 장비를 이용하여 태양활동, 이온층 및 지자기 관측과 분석을 수행하고 예측결과는 Australian Space Forecast Centre로 보내 경보를 발령하고 있음.

라) 시드니 본부에서는 자체개발한 시스템을 사용하여 각 관측소에서 접수된 데이터를 이용하여 space weather에 대한 모델링과 예보를 수행하며, 시드니 대학과 공동으로 모델링 연구를 수행하고 있음.

리) 호주 정부로부터 연간 3,600,000 USD 정도 예산을 출연을 받고 있음.

마) 호주 관측소에서 수집된 관측자료의 데이터베이스화 및 ISES를

2) IPS(Ionospheric Prediction Service) : 호주 스웨덴 우주물리연구소(Swedish Institute of Space Physics)

통한 국제 자료교환 및 협력을 수행하고 있음.

나. 조사 활동 내용

1) 면담자

- Phil Wilkinson 박사 - 소장
- Dave Neudegg 박사 - 기술자문 매니저
- Rakesh Panwar 박사 - 연구개발 담당자
- Graham Steward - 호주 우주예보센터 매니저
- Richard Marshall 박사 - 연구개발 담당자
- Garth Patterson - 쿨구라 관측소 담당자
- Philip Edwards - Narrabri 국립관측소 책임자 (CSIRO 소속)

2) 전파연구소의 우주전파환경 설립계획안 프리젠테이션 발표



그림 5-1 우주전파환경 설립 계획안 소개 및 회의장면(시드니)



그림 5-2 쿨구라 관측소 회의장면(쿨구라)

3) IPS 소개

가) 조직

- IPS는 호주 **Department of Environment, Water Resources and the Arts** 소속의 정부산하기관으로서 본부는 시드니에 있으며, 러먼스 지역과 쿨구라 지역에 태양관측 유인시설을 설치하고 있으며, 그리고 16개 지역에 무인시설을 설치하여 전리층 관측을 수행하고 있음.
- 시드니 본부는 기술자문 및 개발, 고객서비스, IT 서비스 및 엔지니어링 부분으로 구성되어 있음.

나) 인력 : 46명

- IPS의 인력은 정직원 35명 내외와 서비스 제공직원 10명 내외로 대부분 박사학위를 가진 과학자로 구성되어 있으며 다양한

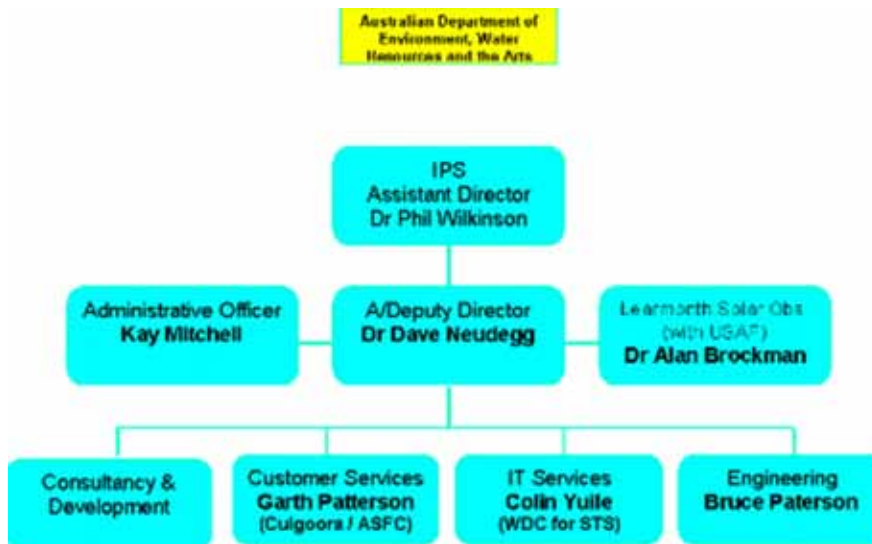


그림 6 IPS 조직도

우주환경 관측기기를 자체 개발하여 사용하고 있음.

- 유인센터인 러먼스 지역은 3명의 직원이 미공군과 함께 근무를 하고 있으며, 쿨구라 지역은 2주일 마다 직원이 방문하여 관측장비, 통신장비 및 전원장비 등을 관리하고 있음.

다) 연혁

- 1948년 : HF 예측 및 전리층 관측소로 출발
- 1957~1959년 : 전리층 관측소 확대
- 1970년 : 쿨구라 태양관측소 설치
- 1978년 : 러먼스 태양관측소 설치 (미국 공군의 기상관측소 및 우주 관측소에 의해 러먼스 지역에 태양관측소 설치)
- 1990년 초 : 관측장비 자동화 구축 (one person station)
- 1990년 후 : 관측소 측정데이터 송신 인터넷 환경 구축

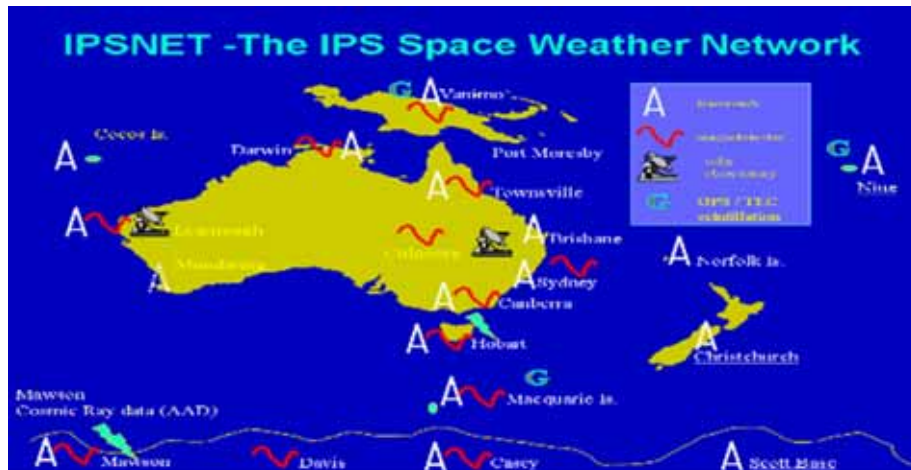


그림 7 호주 IPS 우주환경 관측소 구성

라) 주요 업무

(1) 우주환경 업무

- (가) 우주환경 예·경보 업무
- (나) 태양 플레어 활동, 태양폭발 등 감시
- (다) ACE, GOES, SOHO 위성 등의 자료 분석을 통한 실시간 우주환경 경보발령 및 웹, E-Mail 등을 통하여 관련정보 제공
- (라) 태양 및 우주환경 관측시설 개발 및 운영
- (마) 지상·위성관측 자료 분석 및 우주환경 보고서 발간
- (바) 우주환경 주의보, 경보 및 예보 서비스 실시
- (사) 우주환경 교란 요인 분석 연구
- (아) 우주환경 사용자 교육

(2) 데이터 베이스 시스템 운영

- (가) 우주환경 예보서비스 총괄 위한 국제 우주환경 서비스(ICES the international space environment service)와 협력을 통한

데이터 공유 및 정보 제공

(나) ISES의 호주 지역경보센터(RWC Regional Warning Center) 운영

※ ISES : 미국(본부), 중국, 러시아, 인도, 캐나다, 체코, 일본, 호주, 스웨덴, 벨기에, 폴란드, 남아메리카 등 12개의 센터로 구성

(다) 호주 ASFC(Australian Space Forecast Centre)에 태양관측 자료, 전리층 자료 및 지자기 자료 데이터베이스를 구축하여 운용

(3) 우주환경 관측 및 예측

(가) WDC에서 데이터 분석 툴 개발하여 태양 활동의 물리적인 연구 및 모델 개발

(나) 지자기권 변화, 고에너지 입자 등에 대한 지속적 관찰

(4) 국제 활동

(가) NICT(일본), SWFC(미국), RWC Beijing(중국), SIDC(벨기에), Pentiction(캐나다), ACE(미국) 등과 태양활동 자료 국제교환 및 SEC(미국), 미공군 및 STEL(일본) 등과 지자기 자료 국제교환 그리고 Uni Canterbury(뉴질랜드), 미공군, Ist Nazionale di Geofisica(이태리), RAL (영국), Inst Space Physics(스웨덴), DIAS(그리스) 등과 전리층 자료에 대한 국제 협력을 수행

(나) ISES 회원으로의 지속적인 활동

(5) 우주환경 영향 및 경보발령

○ 태양풍에 의한 지구자기장 교란에 따른 지자기 폭풍

- (geomagnetic storms) 영향 분석 및 경보 발령
- 태양 고에너지 입자에 의한 지구 주변의 방사능 피폭에 따른 태양 복사풍(solar radiation storms) 영향 분석 및 경보 발령
- 태양 x-ray에 의한 전리층 교란에 따른 전파통신장애(radio blackouts) 영향 분석 및 경보 발령

마) 주요 회의내용

(1) 시드니 본부

(가) 우주기상 예보센터측에서 준비한 프리젠테이션 자료발표에 대한 질의응답 및 사전 요청 질문사항에 대한 질의응답

(나) 발표제목 및 주요내용

- 전파연구소 우주기상센터 설립 계획 (박재우)
- IPS 본부
 - IPS 기관 소개(Phil Wilkins)
 - 우주환경과 IPS의 서비스 (Rakesgh Panwar)
 - 러먼스 태양관측소 현황 및 시설 (Al Brokman)

(다) 전파연구소 우주기상센터 설립계획 협의

- 매우 인상적이라는 감상이 있었음.
- 센터건립이 완성되려면 얼마나 걸리느냐의 질문에 3년 프로젝트로 수행될 것이라는 답변이 있었음.
- 현재 제주도에 설치되는 Ionozonde는 어떤 type이며 어느나라에서 만들었는지에 대한 질문에는 추후 답변에 정임.

- 천문연과는 어떤 관계가 될 것이냐는 질문에, 천파연은 한국을 대표하는 기관으로서 국내 통신 인프라에 미치는 영향을 연구하여 예·경보를 하게될 것이며, 천문연은 연구기관으로서 우주기상에 필요로 하는 기초연구와 예보모델 개발 등에 집중할 것이라는 답변을 하였음.

(라) IPS 소개

- 기상청(Bureau of Meteorology)의 이사보(assistant director)인 필 월킨슨(현재 IPS를 대표하고 있음)이 소개를 하였음.
- 관련 자료를 직접 챙겨주는 등 상당히 적극적인 태도로 임하였음.
 - Solar-Terrestrial Predictions, Proceedings of a
 - Solar-Terrestrial Predictions, Proceedings of a Workshop at Hitachi, Japan, Jan. 23-27, 1996
 - Atlas of Stackplots, World Data Center A for Solar-Terrestrial Physics, Oct. 1991.
 - Artificial Satellites Space Physics- No 6.
 - Ionosonde Networks and Stations, World Data Center A for Solar-Terrestrial Physics, Jan. 1995.
 - Computer Aided Processing of Ionograms and Ionosonde Records, World Data Center A for Solar-Terrestrial Physics, Mar. 1998.

(마) 교육훈련 프로그램

- 우주환경에 필요한 기본 우주물리 지식부터 우주기상예보를 위한 on-the-job training(OJT) 형태까지 어떤 종류

의 훈련프로그램도 가능함. (web page의 product & services-training 참조)

- 명확한 목표와 내용 설정이 가장 중요함
- 훈련코스의 하나인 "HF Radio Propagation"의 교육책자를 샘플로 한권을 받았음

(바) 예보 시스템 및 프로그램

- 태양풍 등 위성 데이터의 입력자료 형태는 ASCII코드 형태로서 SWPC ftp서버로부터 받을 수 있음. 현재 태양풍에 대한 입력 데이터는 ACE 위성을 사용하고 있음.
- IPS가 소유하고 있는 예보프로그램을 turn-key로 한국에도 설치 가능한 것으로 보이나 데이터베이스의 경로 등에 대한 것은 자세하게 살펴볼 필요가 있음
- 예보의 정확도는 항목마다 다르지만 대체로 약 70~80% 정도로 얘기할 수 있음.



그림 8-1 IPS의 예보시스템 시설 및 장비



그림 8-2 IPS의 예보시스템 시설 및 장비

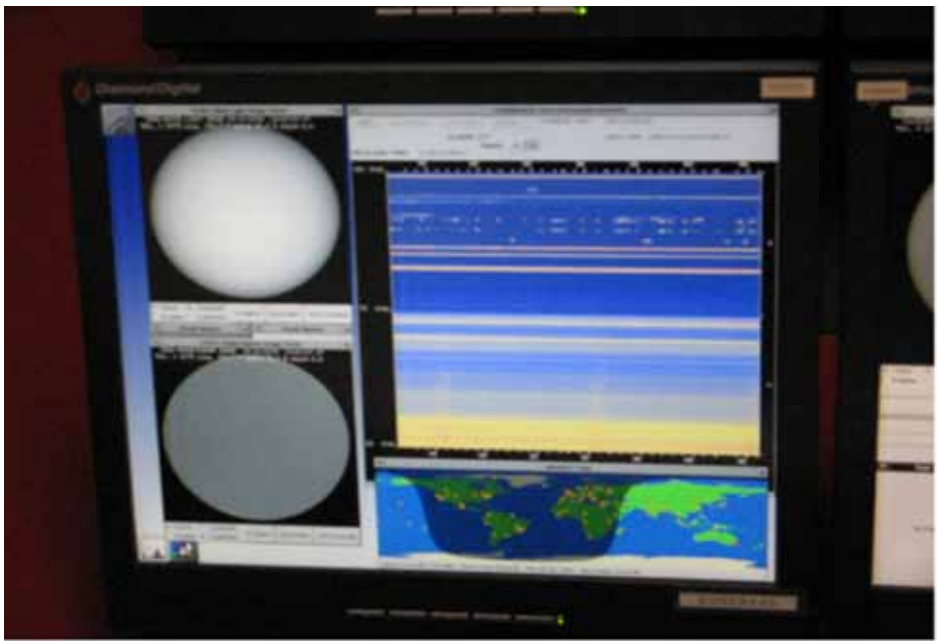


그림 8-3 IPS의 예보시스템 시설 및 장비

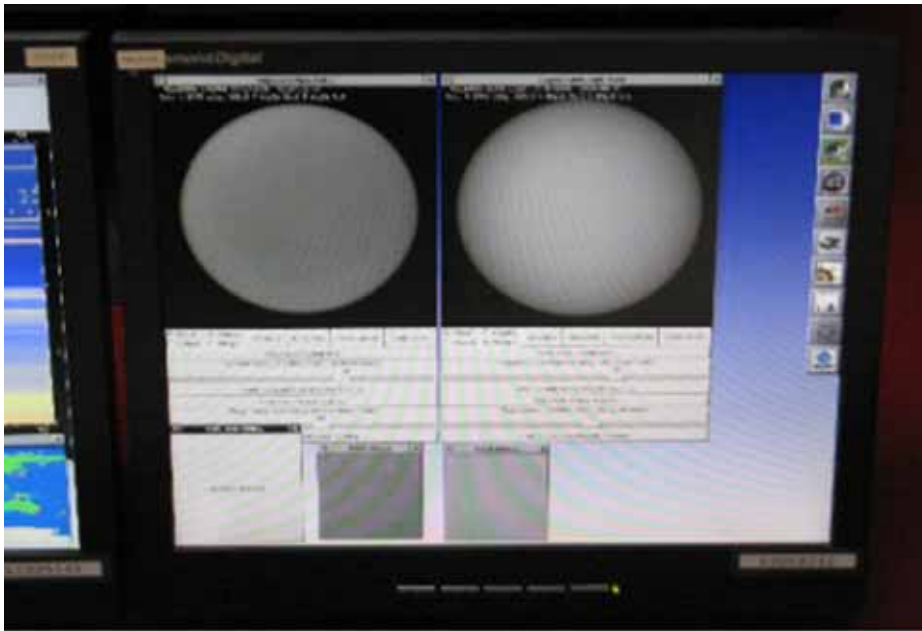


그림 8-4 IPS의 예보시스템 시설 및 장비



그림 8-5 IPS의 예보시스템 시설 및 장비



그림 8-7 IPS의 예보시스템 시설 및 장비

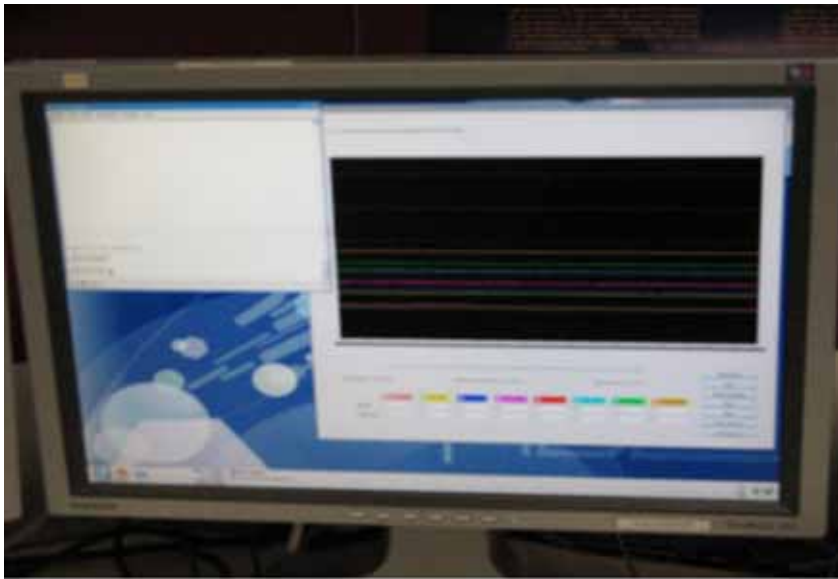


그림 8-8 IPS의 예보시스템 시설 및 장비

(사) 컴퓨팅 능력 및 네트워킹

- IPS는 기존에 Sun Sparc 기종을 사용하여 현재도 UNIX 서버를 활용하고 있음.
- 예보프로그램 및 데이터베이스 운용 그리고 데이터 통신은 1.8GHz의 컴퓨터에 윈도우 OS PC를 사용하고 있음.
- 시드니 본부와 각 관측소간의 네트워크는 56Kbps analog modem에 의해 연결되어 있으며, 일부 관측소와는 ADSL 1/2 modem 및 무선으로 연결되어 있음. 관측소에서부터 본부로 전달되는 데이터 양이 크지 않아 전송에는 지장이 없는 것으로 이야기 함.
- 관측소 내의 네트워크는 본부와 통신을 담당하는 유닉스 서버와 각 측정장비와 연결된 PC로 구성되면 유닉스 서버와 PC간에는 이더넷 허브를 통해 연결됨.

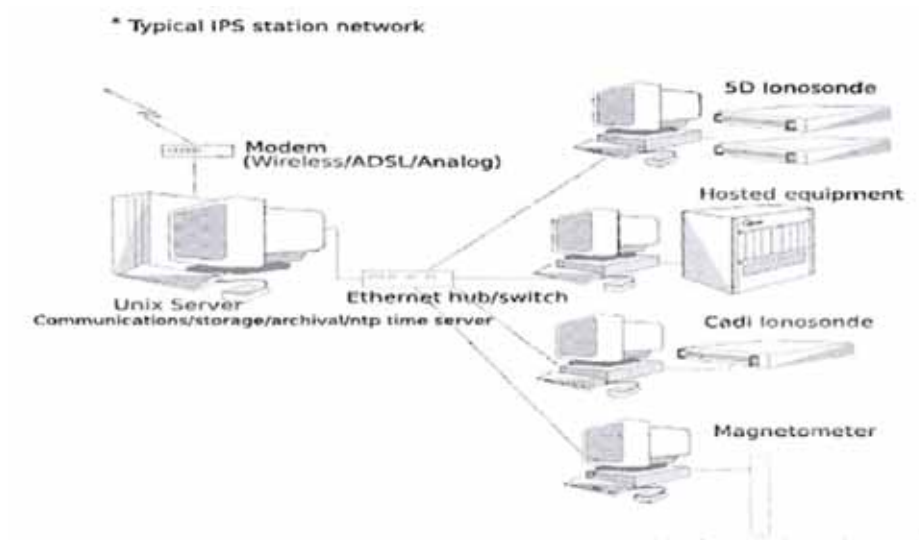


그림 9 관측소 내 네트워크 현황

(2) 쿨구라 태양관측소

(가) 쿨구라 관측소의 시설에 대한 설명을 들으며 질문/답변하는 형식으로 진행되었으며 관측소 견학후 쿨구라 관측소와 러먼스 관측소에 대한 개략적인 업무소개와 미리 제시한 질문에 대한 답변을 들었음

(나) 발표제목 및 주요내용

- IPS 쿨구라 태양관측소 현황 및 시설 (Garth Patterson)

(다) 쿨구라 관측소 견학

- 쿨구라 관측소는 1명의 전담인원과 시드니 본부에서 한달에 한번씩 파견되는 인원으로 운영됨. 쿨구라와 러먼스 관

측소를 제외하면 다른 관측소는 무인으로 운영됨.

- 시드니에서 비행기로 1시간정도의 거리에 있는 Narrabri에서 25km정도 떨어진 거리에 있음. 호주천문관측소 부지의 일부를 사용하고 있으며, 흑점관측 슈미트카메라, 태양백색광 망원경 그리고 컴퓨터, 운영실이 있는 2층 건물과 태양전파분광관측안테나와 백색페인트가 칠해진 벽돌탑으로 보호된 영국산 마그네토미터(Magnetometer)가 있는 외부관측대지로 구성되어있음
- 쿨구라에서 관측된 모든 데이터는 이미지를 포함하여 압축되어 128kbps의 전송선으로 2분마다 한번씩 시드니로 전송됨.(태양백색광 관측데이터는 20초마다 한번씩 데이터를 축적함) 저장되는 모든 데이터는 6개월에 한번씩 DVD 저장장치에 백업이 이루지고 있음.
- 태양전파분광관측을 위하여 3개의 안테나로 4개의 주파수대역을 관측하고 있음(1개의 안테나 2개의 밴드를 담당함). 관측결과는 외부에서 스펙트럼분석기(18MHz에서 1.8GHz)에서 일차 관측되고 운영실에서 모니터링 할 수 있음.
- 천문관측소안에 있는 VLBI 때문에 쿨구라 관측소는 완전히 방출복사 제로지대임. 이로 인해 컴퓨터 등 모든 관측기기는 철제 랙에 보관되며 휴대전화도 가능한 전원을 차단함. 이는 모든 영역에서 전파를 방사하는 태양관측시의 잡음을 최대한 억제하는 긍정적인 면으로 작용됨.
- 쿨구라 지역의 전원상황이 좋지 않아 정전이 발생하는 s 경우에 대비하여 UPS와 예비 발전기 4기가 구비되어 있음. 정전이 발생하면 모든 장비들은 예비 발전기에 의해 전원이 공급되기 전까지 최대 4시간 용량의 UPS에 의해 지속적으로 전원이 공급되어 동작하게 된다. 이러한 장치들은 시드니에서 원격조정에 의해 운용됨.

- 유일한 태양관측위성이었던 FEDSAT은 더 이상 운영되지 않으며 향후에도 예산문제로 계획이 없음. 현재 모든 위성 데이터는 외국에 의존하고 있음.
- 위성분야에 한국과 협력하면 매우 좋은 협력모델이 될 것으로 판단됨. 풍부한 우주기상예보와 관련 관측경험을 바탕으로 관측 탑재체에 대한 공동설계를 수행하고 관측 데이터를 공유하면 세계적으로도 경쟁력 있는 데이터를 가질 수 있음.



그림 10-1 쿨구라 전리층 및 태양관측 시설 및 장비.
쿨구라 관측소 내 모니터링 장비



그림 10-2 쿨구라 관측소 측정자료 관리서버 및 저장장치



그림 10-3 쿨구라 태양백색광 관측 망원경 외부 및 내부 시설



그림 10-4 쿨구라 태양 흑점 관측 카메라



그림 11-1 쿨구라 태양 관측 안테나



그림 11-2 쿨구라 태양 관측 안테나



그림 11-3 쿨구라 태양 관측 안테나



그림 11-4 쿨구라 태양 관측 안테나



그림 11-5 쿨구라 태양 관측 안테나



그림 12 쿨구라 태양관측 측정 장비



그림 13 쿨구라 지자기 관측장비

III. 향후 계획

1. 우주전파환경 연구센터 설립 시 보조 위성 수신 센터, 관측자료 상호교환 등 다양한 분야에서 스웨덴의 우주물리연구소와 호주의 우주기상예보센터와의 지속적 협력 체계 구축
 - 협력 가능 분야 조사 실시
 - 우주기상예보센터와의 MOU 협약 체결 추진
2. 우주환경 예보서비스를 총괄하는 국제우주환경서비스(ISES) 가입을 위한 계획 수립
 - 국내 우주전파환경분야 인적 및 연구 네트워크 구성
 - ISES 가입을 위한 요구조건 조사 및 가입 추진
3. 태양망원경, 분광기 및 Ionozonde등과 같은 지상관측데이터만으로는 우주기상예보의 정확도와 속도에 한계가 있음을 알기 때문에 위성을 이용한 우주관측이 필요함을 인식함
 - 스웨덴이나 호주등은 예산상의 문제로 자체위성 확보에 어려움을 갖고 있음
 - 많은 경험을 갖고 있는 두 기관과의 우주환경위성 탑재체의 공동개발 및 공동관측으로 세계적으로 경쟁력 있는 데이터의 확보가 가능함

IV. 여행소감 등

회의 진행은 우리측에서 미리 준비해간 질의 내용을 중심으로 이루어졌으며 상대기관에서도 프리젠테이션을 준비하는 등 매우 성의있는 자세를 보여 주었다. 스웨덴 IRF측은 소장을 포함하여 3사람이, 그리고 호주 IPS측은 직원 8사람이 하루 일정 모두를 할애하여 기관소개, 시설방문 등 성의있는 자세를 보여 주었다.

다소 여행 일정이 촉박한 가운데서도 주요 기관을 선정 방문하

여 미리 준비해간 질의 내용에 대한 해당국가의 우주환경 연구분야와 예보서비스 분야에 대한 최신 동향을 파악할 수 있었다.

스웨덴의 우주물리연구소의 경우, 우선 한국에서 이런 분야에 관심을 가지고 센터를 설립한다는 것에 매우 큰 호의를 보였으며 아주 진솔한 충고를 많이 해주었다. 특히, 예보시스템은 힘들지만 기초부터 자체개발하는 것이 가장 빠른 길이며 개발 후의 유지보수 및 업그레이드에는 필수라는 것을 자기네 경험을 바탕으로 강조하였다. 그러나 개발시작을 위한 훈련과 관측장비 개발 협력 그리고 국제활동 참가에 대해서는 매우 적극적인 도움을 약속하는 등 호의적인 분위기속에서 회의를 마칠 수 있었다.

호주 우주기상예보센터의 경우, 지속적인 관측기 개발 및 대학과의 연계를 통한 예측 및 예보모델의 개발을 진행하고 있음. 호주는 현재 관측위성을 보유하고 있지 않지만 위성개발에 대한 희망을 보이고 있어 추후 이 분야에 대한 공동협력을 할 수 있는 분야로 판단됨. 또한 IPS 전문가를 활용한 인력양성과 관련하여 심도 있는 의견이 교환되었으며, 한국-호주 간의 공식적인 기술교류의 장을 마련하기 위한 전문가 Forum 개최의 의견 제시도 이루어졌음. 특히 인력양성을 위한 교육 프로그램의 경우 상호기관 합의에 따라 교육장소를 한국으로 하는 교육프로그램 진행에 대한 의견도 제시되었음. 또한 우주전파환경 연구센터 구축 및 국내 예보모델 개발, 관측장비 개발 협력 그리고 국제활동 참가에 대해 매우 우호적인 분위기를 보여 주었음.

붙임 3. 우주전파환경 변화에 기여하는 주요 요소

1. 태양

가. 태양의 광구

태양의 표면을 광구라고 하며, 쌀알무늬와 흑점을 관찰 할 수 있다. 햇빛의 대부분이 복사되는 층이며, 태양반지름 $6.96 \times 10^{10} \text{cm}$ 는 그 중심에서 광구까지의 길이를 말하는 것이다. 또한 광구의 온도 약 6000K를 태양의 표면온도라 한다. 중앙부가 가장 밝고, 가장자리로 갈수록 복사방향에 대한 시선방향의 각이 커지므로 어두워진다. 채층이나 코로나에서 나오는 빛은 상대적으로 매우 약하여 햇빛의 일부를 차지하는데 불과하며, 그보다 깊은 층에서 나오는 빛은 그 상층부에서 흡수되므로 밖으로 나오지 못한다.

나. 홍염

태양활동 영역을 눈에 돋보이게 하는 것이 홍염이다. 홍염이 태양의 원반상에 나타날 때 에는 어두운 줄무늬로 보인다. 홍염은 채층 위 수 만 km의 코로나 영역으로 뻗은 채층 가스의 흐름이다. 홍염의 특징적인 두 개의 형태는 '고요한 홍염(quiet prominence)'과 '활동성 홍염(active prominence)'이다. 고요한 홍염은 수 주일동안 지속되는데 이것은 코로나에서 채층으로 천천히 내려오는 가스의 장막처럼 보인다. 이것은 쌍극성 자기 영역의 두 극을 분리하는 중립선을 따라 나타나는 경향이 있다. 한편 활동성 홍염은 대개 몇 시간 동안 밖에 지속되지 않는다. 그 중 활발한 것은 '루프(loop) 홍염'인데 태양의 플레어와 밀접한 관련이 있고, 수명은 1시간정도에 지나지 않는다. 이 짧은 시간 동안에 가스는 쌍극성 자기 영역의 두 극을 잇는 자력선을 따라 흘러내린다. 플레어는 때때로 고요한 홍염을 붕괴시켜 홍염의 물질을 고속으

로 코로나 밖으로 방출시킨다.

다. 코로나

개기일식 때 태양의 광구가 달에 가려졌을 때 그 둘레에서 태양 반지름의 몇 배나 되는 구역에 걸쳐 희게 빛나는 부분을 말한다. 그 밝기는 가장 밝은 곳이 태양광구의 100만분의 1정도, 즉 보름달 정도의 밝기에 지나지 않는다. 코로나의 모양은 일정하지 않아 흑점의 극대기에는 매우 크고 밝게 나타나고, 극소기에는 작고 태양적도의 방향으로 불룩한 모습을 보인다. 코로나의 방출선의 강도는 아래쪽의 태양광구면의 활동과 관련이 깊다. 코로나그래프에 의한 상시관측으로 태양 둘레의 방출선의 강도분포를 재어서, 이로부터 태양활동 및 지구상의 관련 현상에 대하여 예보하려는 시도가 진행되고 있다.

라. 채층

태양의 광구 바로 바깥쪽에 있는 불그스름한 부분으로써 색권이 라고도 한다. 개기일식 때 달이 태양을 완전히 가린 순간에 명백히 볼 수 있다. 태양대기의 최하층에 해당하며, 코로나와 광구 표면에 있는 반채층 사이에 있고, 두께는 약 1,000~1,500 km이다. 바깥쪽으로 갈수록 밝기가 줄어드는 점으로 미루어 밀도가 밖을 향해 감소하고 있음을 알 수 있다. 붉게 보이는 것은 수소의 스펙트럼인데, 여기서는 열에 의한 원자의 운동과 난류가 혼합되어 물리적인 극한상황을 나타낸다. 이층이 팽창하면서 내뿜는 것이 홍염이다. 개기일식 때 이외에는 광구의 빛 때문에 관측할 수 없었으나, 지금은 코로나그래프를 써서 관측할 수 있게 되었다.

마. 흑점

흑점의 크기는 망원경으로 겨우 보이는 지름 1,500km의 작은 것부터 십만여 km에 이르는 다양한 것이 있다. 수명은 작은 것은 1일 이내, 큰 것은 변화하면서 수개월에 이른다. 태양흑점의 밝기는 둘레의 광구에 비하여 40% 정도로 다소 어둡고, 온도는 4,000~5,000℃로 광구의 6,000℃보다 낮다. 태양흑점이 나타나는 구역은 태양의 자전과 관련이 있는데, 태양의 적도로부터 남북으로 위도 45°의 범위에 한정 된다. 태양 흑점의 가장 중요한 특징은 온도가 낮다는 것과 강한 자기장을 갖는다는 것인데, 자기력선의 방향은 대략 태양 면에 수직이며 안쪽으로 들어갈수록 강하고, 바깥쪽 반암부에서는 수평방향으로 밖으로 퍼져 있다. 자기력의 세기는 100~4만 Gauss이고, 예외도 있지만 크기가 큰 것일수록 강하다. 태양흑점의 온도가 주위에 비하여 낮은 까닭은 강한 자기장 때문에 대류에 의한 에너지 전달이 방해되는 데 있다. 발생하는 태양흑점의 수는 평균 11.2년을 주기로 증감한다. 이 사실은 흑점상대수에 의해서 가장 뚜렷이 나타난다.

흑점의 존재는 태양 자체가 불안정하고 활동적인 것을 나타내는데, 지구에 미치는 영향이 크기 때문에 태양흑점의 주기는 태양활동의 주기라고도 부른다. 극소기에는 2주일 정도 태양흑점이 전혀 없을 때도 있다. 새로운 주기의 시작을 알려주는 최초의 작은 흑점들은 높은 위도에서 나타난다. 해가 갈수록 발생하는 태양흑점의 수가 늘고, 동시에 발생구역은 차츰 낮은 위도로 옮겨간다. 발생구역이 위도 약 15°에 이르면 극대기가 되며, 이후에는 발생구역이 더욱 적도에 가까워지며 극소기에 이른다. 따라서 극소기에는 낮은 위도와 높은 위도의 두 구역에서 태양흑점이 나타난다. 흑점군에 있는 흑점의 자성은 그 방향이 태양의 북반구와 남반구에서 서로 반대이다. 그리고 다음 주기에서는 이 방향이 서로 바뀐다. 따라서 태양흑점의 주기는 정확히는 11.2년의 배인 22.4년으로 보아야 한다. 태양흑점의 발생원인은 아직도 명확히 밝혀지지 않았지만, 광구 밑에 남북방향으로 뻗어 있는 약한 자기장이 태양의 불균일 회전에 의해서 점차 꼬여서 강해지고, 적도에 나란하게 태양을 휘감는 방향의 자기력선이 생겨서, 그 일부가 표면으로 나온 것이 태양

흑점이라고 생각되고 있다.

바. 플레어

플레어는 흑점 가까이에서 발생하는데, 빛을 발하기 시작하면 수분 내에 급격히 밝아지면서 섬광을 발한다. 그는 서서히 감광하여, 수십 분 또는 1시간 후에 본래의 밝기로 되돌아간다. 빛을 발하는 영역은 작은 플레어이며 지구의 표면적 정도이고, 큰 것은 약 10배가량이다. 태양면 위에 흑점이 수없이 많이 출현하는 흑점 극대기에는 하루에 수 개에서 십 수 개의 플레어가 발생하는데, 흑점 극소기에는 며칠에 한 개 정도로 발생수가 적어진다. 플레어가 발생하면 강한 태양전파나 자외선·X선도 복사된다. X선이 지구의 전리층에 충돌하면, 그곳의 입자를 더욱 강하게 이온화하여 전자의 밀도를 크게 증가시키는데, 이 때문에 텔러저현상이 일어난다. 플레어가 일어날 때에는 전자기파뿐만 아니라 고속도의 양성자나 전자·헬륨원자핵 등이 방출되며, 지구에 침입한 것은 우주선의 이상증가로 관측된다. 또 음·양의 하전입자로 이루어진 가스(플라스마 구름)도 방출된다. 이것은 1~2일 후에 지구에 도달하여, 지구자기장에 영향을 미쳐 자기폭풍을 일으킨다. 또한 극지역에 침입한 입자는 지구대기의 산소나 질소의 원자나 분자에 충돌해서 에너지를 주고 그 결과 이들 원자나 분자가 빛을 발하게 되는데 이 현상이 오로라이다. 또 지상에 도달하지 않는 X선이나 극자외선을 비롯해서, 플레어가 일어날 때 방출되는 입자 등이 인공위성에 의해서도 직접 관측되어, 플레어, 태양과 지구간의 공간, 지구의 상층대기, 지구자기권 등의 물리적 성상에 관한 관측결과를 얻고 있다.

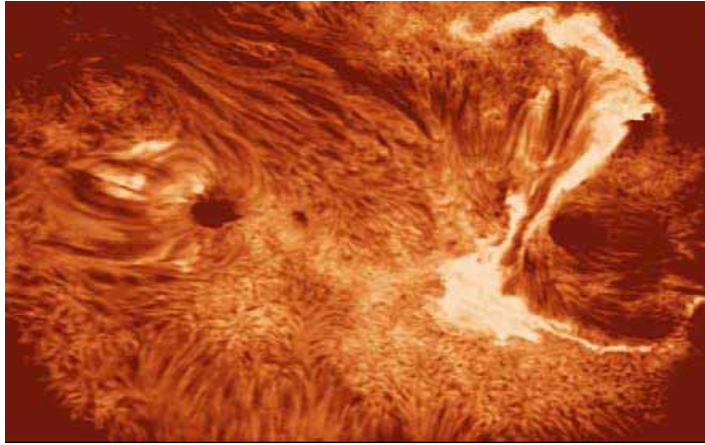


그림 1 태양 플레어

사. 코로나 홀

X-ray가 방출되지 않는 이들 지역은 이들은 주로 태양의 양극지방에 위치하며, 태양활동이 증가하면 저위도 지방으로 확장된다. 코로나 홀은 코로나 기류나 또 다른 구조가 없는 곳에서만 나타난다. 코로나홀이 위치한 양극지방이 어둡게 보이는 이유는 적도부근의 헬멧기류에 비해 기체의 밀도가 낮기 때문이다. 이것은 코로나 홀이 자기력선이 열린 곳이며 여기서부터 코로나 기체가 쉽게 태양풍의 형태로 행성간 공간으로 방출된다는 것을 의미한다.

아. 코로나 질량 방출(Coronal Mass Ejection, CME)

태양으로부터 거대한 질량($\sim 10^{16}g$)이 빠른 속도로 분출되어 나가는 현상을 말한다. 이 물질은 태양 표면의 자기장에 갇혀 있다가 어떤 원인에 의해 분출되는 것으로 여겨진다. CME의 발생 빈도는 태양활동 주기에 따라 다소 다른데, 태양 극소기 기간인 경우 1주에 1번 정도 나타나는 반면, 태양 극대기때에는 하루 2~3회 정도 발생된다. CME는 매우 빠른 속도로 진행하기 때문에 충격파를 만들게 된다. 이 충격파는 고에너지 입자를 만들고, 또한 IMF의 구조를 변형시켜 매우 강한 남쪽

방향 IMF를 형성한다. 이것은 CME가 지구에 도달했을 때 지구 주변 우주환경을 교란시키는 주요 원인으로 작용한다.

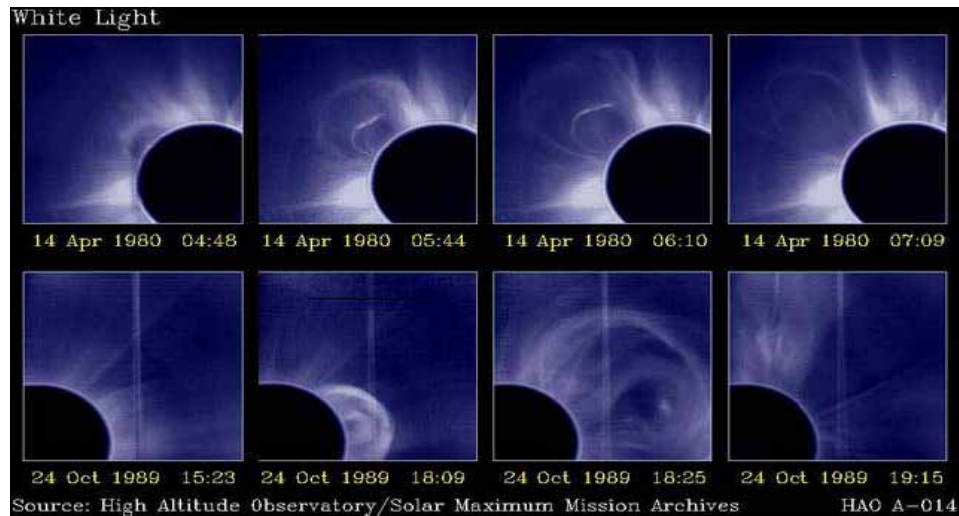


그림 2 CME 분출 과정

자. 태양풍(Solar Wind)

코로나의 높은 온도는 코로나를 태양으로부터 날려 버리려고 한다. 코로나를 잡아당기는 태양의 만유인력은 코로나를 붙들어 두기에는 충분하지 못하므로, 태양으로부터 꾸준히 불어 나가는 태양풍이 존재한다. 이 가스의 흐름은 대략 같은 개수의 전자와 양성자로 이루어진 이른바 플라즈마이다. 플라즈마의 열전도율은 매우 높기 때문에 태양으로부터 먼 거리까지 고온의 상태가 유지된다. 따라서 태양풍은 팽창하면서 가속되고 입자의 밀도는 감소하여 1AU 거리까지 1m^3 당 평균 수백만 개의 전자 및 양성자가 들어 있게 된다. 이러한 태양풍의 특성은 행성 간 우주탐사선에 의하여 직접 측정된 것이다. 플라즈마는 자력선에 밀착되어 붙어 있다. 사실 자기장은 원래 가스 속에 얼어붙어 있는 것이다. 그러므로 태양풍은 태양 자기장의 범위를 행성 간 공간까지 끌어내고 있다. 대규모의 태양 자기장 범위는 부채꼴 구조를 통하여 행성간 공간과 직접 관련되어 있다. 태양의 적도에서 위도 30° 까지의 범위는 흔히 두 가지의 반대방향을 가진 자기를 띤 경도 구역으로 나누어진다.

사방으로 불어나가는 태양풍은 이러한 자기장을 태양으로부터 부채꼴의 형태로 몰고 나간다. 태양은 떨어져 가는 가스와 자기장에 대하여 회전하고 있으므로 부채꼴의 경계는 나선모양으로 변형된다. 태양풍은 그 구조가 대단히 복잡하고 또 시간에 따라 변한다. 이러한 변동은 온도와 밀도가 보통 코로나 구멍과 대단히 밀접하게 관련되어 있다. 자기루프 내에 속박된 코로나 물질을 가열시키는데 들어갈 에너지 중, 그 일부는 열린 자기력선을 따라 가스를 가속시키는데 사용된다. 따라서 태양풍 폭발(solar wind burst)은 물질을 700km/s 이상의 속도까지 가속시킬 수 있다. 태양활동, 특히 플레어는 자기장의 구조를 때때로 놀라운 정도로 변화시킨다. 보통의 태양풍은 낮은 에너지의 양성자와 전자로 이루어진 것에 반하여, 플레어는 높은 에너지의 양성자 구름을 분출시킨다. 이러한 구름은 태양풍을 향하여 돌진하면서 속도와 밀도를 부분적으로 변화시키고, 자기장의 구조를 변형시킨다. 이러한 구름은 우주 비행사에게 위협을 초래할 뿐만 아니라, 태양을 떠난지 수 일 후에 지구의 자기권에 자기 교란을 일으키는 원인이 된다.

2. 자기권

가. 자기권과 자기권의 구조

자기권이란 각 행성의 자기장에 지배되는 공간을 말한다. 지구 자기장에 지배되는 공간은 지구의 자기권이라 하며, 지구 외에 수성, 목성, 토성 등 자기장을 가진 행성 주변에도 존재한다. 태양풍이 지구 자기장에 의해 휘어져서 지나가면서 자기권의 외부 경계를 만들며, 이를 자기권계면이라 한다. 태양에서 끊임없이 행성간 공간으로 불고 있는 수소이온(양자)이나 전자 등 고속 태양풍에 의해 지구자기장은 어떤 유한한 영역에 갇혀져 있는데, 이 지구자기장에 의해 지배되는 공간을 지구의 자기권이라고 한다. 자기권은 지구 외에 수성, 목성, 토성 등 자기장을 가진 행성 주변에도 존재한다. 특히 강한 자기장을 가진 목성이나 토성

은 거대한 자기권으로 둘러싸여 있다는 것이 파이어니어 10호와 11호, 보이저 1호와 2호 등 행성탐사위성 관측으로 밝혀졌다. 지구의 자기권은 대기의 최상층부로서 지구자기의 자기장 에너지가 대기의 열 운동에너지보다 커지는 부분이다. 지표에서 150km 보다 더 높아지면 대기의 이온화도가 급증하여 이온이나 전자의 평균자유행로(mean free path)가 길기 때문에 이온화기체는 자기장에 동결(frozen-in-field)되어 있다. 지상 1만 km 이상인 고공에서는 대기는 대부분 이온화되어 양성자와 전자가 주성분이 되고, 입자밀도는 최상층부에서 약 $10^1 \sim 10^2/\text{cm}^3$ 정도가 된다. 지구 부근에서 태양풍의 속도는 음속이나 알펜파(Alfven wave)의 속도보다 크기 때문에 태양풍의 흐름을 방해하는 지구 자기권의 앞부분에 충격파를 형성하게 된다. 이를 뱃머리 충격파(bow shock)라고 하며 이 충격파는 그 두께가 태양풍의 평균 자유 거리(mean free path)보다 훨씬 얇은 무충돌 충격파(collisionless shock)이다. 뱃머리 충격파(bow shock)를 지나면서 태양풍은 가열되고 유속도 떨어져 음속보다 느리게 된다. 이러한 고온의 난류지역을 자기권 외피층(magnetosheath) 이라고 한다.

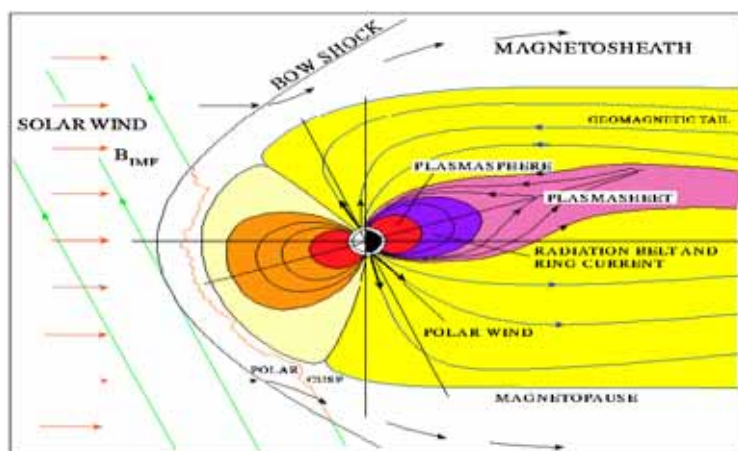


그림 3 지구 자기권의 구조

- 뱃머리 충격파(Bow Shock) : 초음속의 태양풍이 지구 자기권을

만나면서 만들어낸 충격파

- 자기외피층(Magnetosheath) : 태양풍은 bow shock을 통과하면서 그 성질이 급격히 변하는데, 태양풍의 유체속도는 감소하고 온도와 밀도는 증가하게 된다. 이 영역을 자기외피층이라고 부른다.
- 자기권계면(Magnetopause) : 자기외피층과 자기권을 구분해주는 경계면으로서 이 안쪽을 자기권으로 정의한다.
- Cusp : 극지방 근처의 영역으로서, 이 지역의 자기장 특성상 자기외피층의 입자들이 직접 지구 대기권으로 진입 할 수 있는 영역이다.
- 자기권꼬리(Magnetotail) : 태양 반대편의 밤 지역의 영역으로서 자기력선이 길게 꼬리 모양으로 늘어져 있어 tail이라는 용어를 사용한다.
- 플라즈마판(Plasma sheet) : tail의 중심 부분에 해당하는데 수~수십 keV 에너지의 뜨거운 이온 및 전자가 주로 갇혀 있는 영역이다. 이곳에서의 물리적 상태가 자기권의 동역학을 좌우 할 때가 많다. 이 판의 한가운데에는 자기장의 방향이 바뀌는 영역이 존재한다.
- 중성점(Neutral point) : 자기장이 X-자 모양을 하여 그 중심에서 자기장의 크기가 0인 지점을 말한다. 지구 자기권의 꼬리에서는 이런 X-line이 종종 관측된다.
- 플라즈마권(Plasmasphere) : 밀도가 높고 차가운 플라즈마가 갇혀 있는 지구 근방의 영역을 말한다.
- Radiation Belt : 밀도는 낮지만 에너지가 매우 높은 입자들이 갇혀 있는 지구 근방의 영역을 말한다. 플라즈마권과 비슷한 공간에 위치한다.

나. 자기폭풍과 서브스톰

(1) 자기폭풍(Magnetic Storm)

태양의 플레어 폭발이나 코로나 질량유출 등이 일어난 후 자기권 꼬리로부터 다량의 플라즈마가 내부 자기권으로 유입되면서 자기권 적도 주위를 따라 서쪽으로 흐르는 환전류가 발달한다. 이로 인하여 중위도 지방에서는 수일간에 걸쳐 지자기의 수평성분이 감소하는 현상이 나타나는데 이를 자기폭풍(magnetic storm) 이라 부른다. 자기폭풍은 지구 적도 근방 수평 자기장이 급격히 감소한 후 차츰 회복되는 과정으로 말할 수 있다. 적도 근처의 서로 다른 관측소에서 얻은 수평 자기장의 값을 평균 한 값을 Dst 지수라고 하며, 자기폭풍은 이 Dst 지수의 감소와 증가의 변화로 정의된다. 자기폭풍 기간 중 극지방에서는 오로라가 발생하고 오로라 제트전류 또한 연속적으로 강화된다. 자기폭풍의 발달 과정은 Dst 지수의 변화로 확인할 수 있다. 태양풍에 의한 충격파가 지나갈 때 태양풍의 동압이 갑자기 증가하면 자기권계면이 수축하는 동시에 자기권계면 전류 혹은 Chapman- Ferraro 전류가 강화된다. 이 때문에 지상에서는 ΔH 가 수십 nT 정도 증가한다. 이러한 현상이 관측된 후 자기폭풍이 발생한다. 이어서 중위도 지방에 위치한 거의 모든 지자기 관측소에서 H 성분의 급격한 감소가 관측되는데 이 기간을 주상(main phase)이라 한다. 그 후 Dst 지수가 원래 수준으로 되돌아가는 기간을 회복기(recovery phase)라 한다.

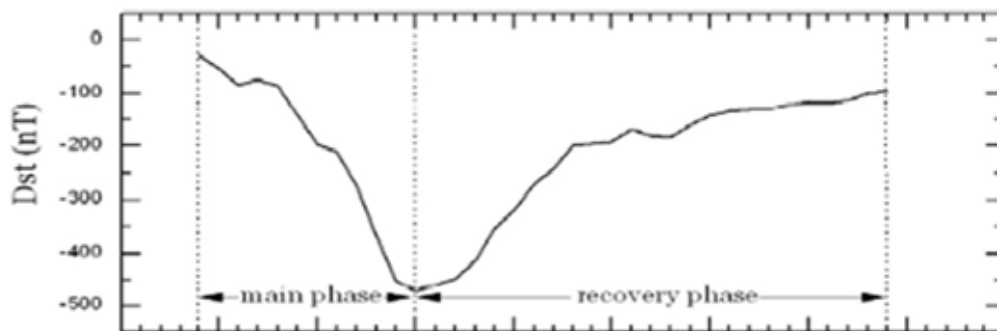


그림 4 자기폭풍 기간 동안 Dst 지수의 변화

(2) 서브스톰(Substorm)

자기권 서브스톰은 주로 오로라 타원체 영역에서 에너지 소모가 증가한 기간이다. 서브스톰은 자정부근 최대로 증가한 후 이전 수준으로 되돌아가는 기간을 지칭한다. 이 기간 동안 Pi2 지자기맥동과 서향 진행 큰 물결을 수반하는 서향제트전류의 강화가 나타난다. 서브스톰이 진행되는 동안, 자정 부근의 discrete 오로라가 극쪽 및 서쪽으로 팽창한다. 마침내 교란된 오로라가 최고 위도까지 확장되었다가 다시 서브스톰 이전의 위치까지 퇴각한다. Pi2 맥동의 시작으로부터 오로라가 최고 위도에 도달했을 때까지를 확장기(expansion phase)라 한다. 극대기(maximum phase)는 최고 위도에 도달했을 때를 나타낸다. 그 후 자정 부근의 오로라가 서브스톰 이전의 위도로 되돌아오며 밝기 또한 이전 수준을 회복할 때까지를 회복기(recovery phase)라 부른다.

3. 전리층

가. 전리층의 개요

전리층은 지표면 상공 약 65km부터 2,000km까지의 공간을 일컫는 것으로 입자들의 이온화가 매우 중요한 물리적 파라미터로 작용하는 곳이며, 온도에 의한 대기 구분에서 보면 중간권과 열권에 걸친 구간이다. 전리층은 다수의 중성입자들과 극소수의 이온화된 입자들로 구성되어 있는데, 이 이온화된 입자들이 이곳으로 입사되는 전파에 영향을 미치게 된다. 태양으로부터 복사되는 EUV(Extreme Ultra-Violet)와 X-ray와 같은 전자기 방사와 은하에서 나오는 우주선은 지구의 상층 대기를 이온화 시켜 전리층을 만든다. 각기 다른 고도에서의 이온화율은 파장의 함수로서 태양 복사세기와 전리층을 이루고 있는 중성가스의 이온화율에 의존한다. 그리고 태양복사가 대기를 투과하여 복사경로가 길어질수록 복사강도가 약해지므로 결과적으로 태양의 천정각에 의존하며 최

대 이온화율은 천정각이 0일 때 이다. 태양에서 복사되는 대부분의 에너지는 약 $5 \times 10^3 \text{Jm}^2$ 의 선속(flux)를 가진 수소 Ly- α (123.6nm)와 그보다 수십 배 약한 헬륨 Ly- α (30.4nm)선에 집중 되어있다. 지표면에서 보면 Ly- α 가 지표면으로부터 60km까지 전자 생성에 크게 기여를 하며 80km 정도에서 가장 큰 영향을 준다. 태양 활동이 조용한 시기의 X선은 약 90km의 대기에 가장 큰 영향을 주며, 태양 플레어에서 나오는 X선은 지표면에서도 전자를 이온화시킬 만큼 강한 에너지를 가지고 있다.

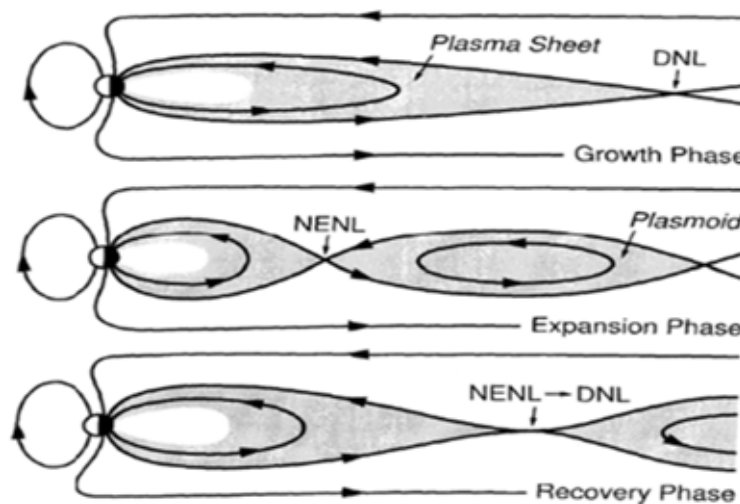


그림 5 서브스톰 진행 시 플라즈마판의 변화

전리층은 전자밀도에 따라서 D, E, F1, F2 층으로 나눌 수 있다. 전리층의 명칭은 전리층의 존재가 알려진 초창기에 HF(High Frequency) 파가 반사되는 층을 E층이라고 칭한 후, 과학이 발달하면서 E층과는 성질이 다른 층을 발견하게 되고 E층과 구분되는 그 영역을 영문자 순서대로 D층과 F층으로 나누었으며, F층은 다시 F1층과 F2층으로 나누었다. D층은 고도의 상승에 따라서 전자밀도가 급격하게 증가하여 최대 전자밀도는 태양의 복사량이 최대가 되는 태양 정오 이후에 일어나며 태양의 복사량이 최저가 되는 밤에는 밀도가 급격하게 낮아진다. D층의 전자밀도는 여름에 가장 크며 계절적 변화 또한 매우 심하다.

다. 그리고 태양의 X선이 지배적인 원천이 되는 70~90km의 범위에서 태양활동 극대기 때 이온화율이 최대가 된다. 태양활동의 극소기일 때는 70km이하에서 우주선에 의한 전리가 매우 지배적이다. 지자기 폭풍이 회복기에 접어드는 조용한 날에는 복사벨트(radiation belt)로부터 강력한 전자의 낙하가 발생되어 전자밀도가 상승한다. E층은 90~130km의 범위이다. 이 부분에는 'Sporadic E'라고 부르는 현상이 나타나는데, 이것은 국지적으로 전자밀도가 주위보다 가끔 몇 배씩 높아지는 현상을 일컬으며 중위도에서는 여름의 낮 시간에 가장 빈번하게 일어난다. F층은 130km이상의 상공의 영역을 나타내며 수직전자밀도의 윤곽으로 F1층과 F2를 구분하고 있다. 그러나 야간에는 전리층에서의 전자 발생에 크게 기여하는 태양 복사의 소멸로 이러한 구분이 되지 않고 있다.

F2층의 전자밀도는 낮과 밤의 차이가 약 100배로서 주간에는 10^{12} e/m³이고 야간에는 5×10^{11} e/m³ 정도의 값을 가진다. E층과 F층은 HF통신에서 무선파를 반사하는 역할을 하기 때문에 장거리 육상 및 해상 통신에 사용되고 있으며, D층에서는 VLF와 ELF파가 반사되지만 HF파는 신호감쇠를 일으키는 흡수 역할을 하고 있다. GIS와 같은 중요사업에 사용되는 GPS위성에서 보내는 신호는 전리층을 통과하면서 시간적 지연으로 인하여 위치 정밀도를 낮추기 때문에 전리층에 대한 연구가 매우 중요하다.

나. 전리층의 구분

(1) D층

D층은 대체로 50~90km의 범위에 걸쳐 있는데, 이 부분의 전자밀도는 고도의 상승에 따라 급속도로 증가한다. D층은 낮과 밤의 전자밀도 변화가 상당히 크다. 이 편차는 고도간격 70~90km 사이에서 가장 크며 일반적인 최대 전자밀도는 $10^8 \sim 10^9$ electron/m³이다. 또한 D층의 전자밀도는 계절의 변화에 따라 뚜렷하게 변하는데, 여름에 최대값

을 가지며 겨울에 최소값을 가진다. 70~90km 지점에서는 태양의 X선이 이온화에 가장 큰 영향을 미치기 때문에 이온화율은 태양 주기의 최고점에서 가장 크다.

(2) E층

E층은 고도 90~130km 범위를 일컫는다. 이 층은 Chapman모델에 근사하게 따르는 규칙적인 층으로, 전자밀도는 태양의 천정각에 따라 크게 변화며, 최대 전자밀도는 정오 가까이에서 나타난다. 최대 전자밀도의 고도는 약 110km이고 약 3MHz의 최대 플라즈마 주파수가 0.4~0.6MHz까지 떨어진다. 또한 E층은 태양의 극대기에서 최대 층밀도를 보인다. 또한 이 부분에는 스포래딕 E라고 불리는 것들이 나타나는데, 이것은 국지적으로 전자밀도가 주위보다 가끔 몇 배씩 높아지는 현상을 일컬으며 중위도에서는 여름의 낮 시간에 가장 빈번하게 일어난다.

(3) F층

F층은 130km 이상의 상공이다. F층은 F1층과 F2층으로 나눌 수 있는데 이 구분은 낮에만 나타난다. F1층은 최대 전자밀도가 $2 \times 10^{11} \text{ m}^{-3}$ 인 130~210km 고도 범위이다. E층처럼 F1층은 Chapman 모델에 유사하게 따르지만 태양의 천정각 의존성은 E층과 다르다. F2층은 전자밀도가 가장 크게 나타나는 지역으로 낮의 10^{11} m^{-3} 부터 밤에 $5 \times 10^{11} \text{ m}^{-3}$ 까지 걸쳐있다. F2층은 바람, 확산 그리고 다른 역학적인 효과에 의해 강하게 영향을 받기 때문에 Chapman 공식에 의해서 나타내기가 매우 어렵다.

다. Chapman 모델

전자밀도 모델 중 가장 기본적인 모델은 Chapman 모델인데, 이 모델은 전자 생성에 대한 복잡한 과정을 광이온화(Photoionization)이론을 기초로 하여 높이에 따른 전자밀도 분포를 서술한다. 이러한 Chapman 모델은 다음과 같은 가정을 하였다. 1) 태양 복사는 단색광처럼 상층대기에 입사하는 것으로 생각한다. 2) 전리층의 구성 성분은 하층 대기의 구성보다 아주 단순하기 때문에 단지 태양 복사광을 흡수하는 플라즈마들로 생각한다. 그러므로 대기의 구성 성분이 일정하다고 생각하고 높이 z 에 따라 지수적으로 감소하는 공기밀도 ρ 의 방정식을 이용하여 전리층의 전자밀도를 구할 수 있다. 3) 상층대기를 거시적으로 수평하다고 가정하여 지구의 기하학적인 요소를 배제한다. 이렇게 하여 광이온화에 대한 Chapman 함수는 다음과 같고

$$q(z, x) = q_0 \exp[1 - z - \sec \chi \exp(-z)] \quad (1)$$

여기서

$$z = \frac{(h - h_0)}{H_p} \quad (2)$$

x 는 태양의 천정각, H_p 는 압력의 척도 높이(Scale height) q_0 는 $x=0$ 일 때 최대 이온화율, h_0 는 층의 가장 낮은 부분의 높이이다.

라. 전리층의 상태변화

전리층의 상태변화는 태양의 활동과 크게 관련이 되어 있다. 전리층의 정상상태의 변화로는 하루 24시간 동안의 변화를 나타내는 일변화(Diurnal variation)와 일년동안의 전리층 변화를 보는 계절 변화(Seasonal variation), 태양의 흑점 주기에 관계되는 영년 변화(Annual variation), 그리고 태양과 달에 의한 조석 현상에 따른 변화 등을 들 수 있다. (그림 1-10)은 전리층의 일변화를 나타내는 것으로 주간에 나타나는 D층이 야간에는 소멸되고, 주간의 F1층과 F2층의 경계면이 야간에

는 소멸된다. 또한 E층과 F층의 전자밀도가 주간에 비해 야간에 현격하게 감소하는 것을 볼 수 있다. 이러한 정상상태의 변화와는 반대로 전리층 교란과 전리층 폭풍 등과 같은 갑작스런 태양활동의 변화에 의해 전리층은 영향을 받는다. 갑자기 전리층에서 교란이 일어나는 SID(Sudden Ionospheric Disturbance)는 강한 태양 플레어 폭발 후 X-ray가 D층에까지 영향을 주어 이 부분을 이온화 시킨다. 또한 극지방에서는 PCA(Polar Cap Absorption)에 의해 전리층의 변화를 유발한다.

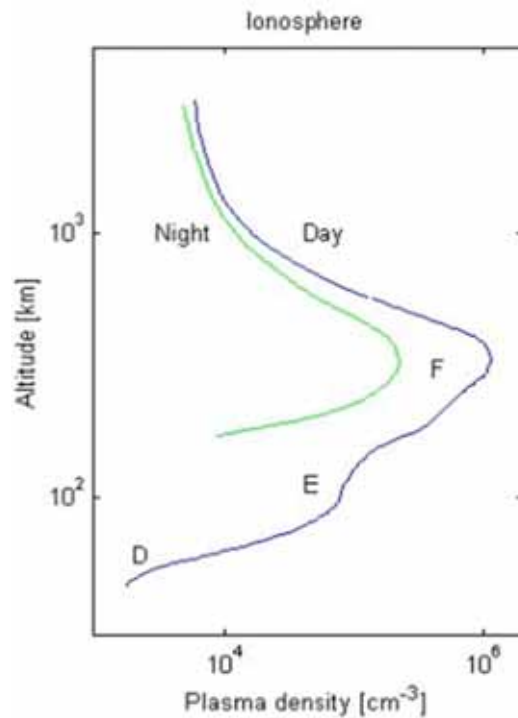


그림 6 낮과 밤의 전리층 전자밀도 구조

붙임 4. 우주전파환경 변화에 의한 구체적 피해사례

1. 1989년 3월의 자기폭풍

우주전파환경 예보를 위해서 현재까지 가장 잘 조화되고 연구된 실제 사례는 1989년 3월 13 및 14일 양일간에 걸쳐 일어난 자기폭풍이다. 여기에서는 미 국립해양대기청(NOAA)에서 조사한 보고서(Abbott et al., 1993)를 토대로하여 상기 자기폭풍 및 그 영향을 소개하였다.

가. 1989년 3월의 태양교란

(1) 광학영역

활동지역(active region) 5395는 1989년 3월 6일 태양의 동쪽 가장자리에 나타나기 이전부터 여러 가지 측면에서 주목할 만했었다. 백색광 태양흑점 유형은 태양표면을 통과하는 도안 매우 복잡한 구조를 유지하였다. 흑점그룹을 분류하기 위해서 흑점분류, 최대흑점의 타입, 흑점분포에 기초한 수정 슈리히(Mcintosh) 흑점분류(modified Zurich sun spot classification)를 사용하며 활동지역 5395는 F K C분류로 분류되었으며 이 분류 체계에서 볼 수 있는 가장 복잡한 형태이다. 특히 이 지역은 가시광선영역에서도 매우 독특한 양상을 보여주었다.

지상의 관측자가 관측할 수 있었던 3월 6일부터 19일까지 2주간은 태양활동이 거의 모든 형태를 나타내 보여주었다. 예를 들면 채층 플라주의 요동(chromospheric plague fluctuations), 밝은 점(bright points), 섬세하면서도 드물게 나타나는 코로나 비(coronal rain) 그리고 대규모이며 강력한 광학 플레어 등을 들 수 있다. 활동지역 5395에서 발생한 플레어의 발생빈도와 규모는 이례적으로 컸다.

태양 플레어는 H α 선의 특성에 따라서 분류하며 분류등급은 15단계로 나누며 플레어의 밝기가 극대가 되는 시점에서의 밝기와 플레어가 가장

일반적인 발생 면에서 결정한다. OF(subfaint)로 분류되는 가장 소규모의 플레어가 가장 일반적인 형태이다. 한편 가장 밝은 플레어는 4B(four bright)로 분류되며 11년 태양주기 동안 수차례 나타날 뿐이다. 1989년 3월의 자기폭풍을 야기한 활동영역 5395에는 적어도 195개의 플레어가 발생했으며 4B분류도 하나 관측되었다.

(2) X-ray 영역

플레어에서 방출되는 X-ray의 강도를 이용해서도 플레어의 분류를 결정한다. NOAA의 인공위성(GOES, Geostationary Orbiting Environment Satellite)에 탑재된 Space Environment Monitor를 이용해서 태양표면 전역에서 발생하는 0.1- 0.8nm 및 0.05- 0.4nm 파장대의 X-ray를 연속적으로 관측한다. 이 파장대의 X-ray는 하부 코로나에서 발생되며 플레어의 강도와 형태를 결정하는데 필요한 정량적인 정보를 제공해준다.

2개 밴드 X-ray는 매 3초마다 측정되어 NOAA의 SWPC로 실시간 전송된다. 그리고 0.1-0.8nm 파장대는 1분 단위로 평균을 취해서 플레어보고서에 실시간대로 제공된다. 태양활동 극소기의 태양 X-ray 배경 복사량은 검출기에 겨우 인식될 정도(10Wm)이나 활동영역 5395의 경우는 검출기가 포화될 정도 (10Wm)였다. GOES인공위성에서 측정되는 0.1- 0.8nm밴드의 최대 X-ray 방출량(I)을 기준으로 하여 SWPC에서 X-ray 플레어를 (표 1)과 같이 분류한다.

표 1 플레어의 분류

분류	복사속(flux : Wm^{-2})
B	$I < 10^{-6}$
C	$10^{-6} \leq I < 10^{-5}$
M	$10^{-5} \leq I < 10^{-4}$
X	$10^{-4} \leq I < 10^{-3}$

표 2 우주환경 변화에 의한 피해 사례

발생일	피 해 내 용	원인
'58. 2. 09	o 미국 Western Union사와 North Atlantic사의 전신케이블에 심각한 장애를 유발	지자기 폭풍
'72. 8. 4.	o 캐나다 Toronto시의 일시적인 정전 발생	강력한 지자기 폭풍 태양플레어에 의한 양성자 지자기폭풍 및 전리층폭풍
	o 캐나다 British Columbia 수력발전소 변압기의 기능 마비	
'82.11.26.	o 운량조사용 GOES4 기상위성의 가시광선 및 적외선 spin-scan radiometer가 45분간 운용 중단	
'89. 3.14.	o 전세계적으로 HF대 사용 불가 o VHF 방송의 이상도달 및 전파간섭현상을 유발 o 일본 위성의 이중잉여 명령회로의 절반 파손 o 미국 NASA가 운영하는 인공위성 궤도 이탈로 수명 단축 o 캐나다의 Quebec주 송전시설에 2만 MW의 전력손실 야기 ※ 태양흑점 극대기에 발생한 사건	
'91. 4.29.	o 미국 Main주 Yankee 핵발전소 변압기 파손	지자기폭풍
'94. 1.20.	o 캐나다 Anik E1, Anik E2와 Intelsat-K 위성 장애로 전화 두절 및 TV 및 라디오 수신 곤란 o 동계올림픽 기간 중 일본통신위성(BS-3a) Single Event Upset 현상으로 방송장애 발생 ※ 일본의 우주전파환경 예보 활성화 계기	강한 전자의 이상 증가
'97. 1. 6.	o 미국 AT&T사 통신, 방송위성 Telstar 401호의 기능 상실 -> 수백만 시청자에게 제공하는 CAT V중계 중단 o 2억\$ 이상의 손해 ※ 태양흑점 극소기에 발생한 최대사건	고에너지의 하전입자유입
'00. 7.14.	o 일본 천문관측 위성 ASKA 기능상실	지자기 폭풍
'00. 8.27.	o 멕시코 Solidaridad 1 위성 콘트롤 프로세서 장애로 기능상실	
'00. 9.28.	o 미국 Galaxy VIII-i위성 이온추진시스템 장애로 수명 10년 단축	
'00.10.31.	o 미국 Echostar IV위성 44개 중 26개의 통신전송 시스템 장애	
'00.11.22.	o 미국 Galaxy VII위성 보조 위성콘트롤 프로세서 장애, 위성 운용 중단	

X-ray 플레어 보고서에는 분류를 세분화하기 위해서 M3과 같이 숫자를 첨부한다. 이것은 X-ray 플레어의 X-ray 영역의 최대 복사량이 $2 \times 10 \text{ Wm}^{-2}$ 임을 의미한다. Gaizauskas and McIntosh (1989)는 특정 활동영역이 태양표면을 지나는 동안 활동성 영역에서 발생한 M 및 X급 플레어 누적 플레어지수(cumulative-flare index)를 창안했다.

(3) 전파

NOAA의 우주전파환경 예보센터(SWPC)는 광학 및 X-ray 활동보고뿐만 아니라 태양활동이 있을 때 전파복사에 관한 정보도 수집한다. 전파보고서에는 몇몇 파장대 및 radio burst형에 대한 최대 전파 방출량을 태양복사속 단위(solar flux unit ; $1 \text{ sfu} = 10^{-22} \text{ Wm}^{-2}\text{Hz}^{-1}$)로 나타낸다. 활동영역 5395에서는 전파복사도 매우 강하였다. 플레어에 수반되어 가장 현저했던 전파복사는 3월 6일에 일어났으며 10.7cm (2.8GHz)파장대에서 20,000 sfu를 기록했다. 한편 245MHz 대에서는 220,000sfu를 기록했다.

주요 불연속주파수 전파버스트(discrete-frequency burst)이외에 연속주파수 활동(swept-frequency)도 있다. 지구상에서 영향을 미치는 효과를 예측하는데 가장 중요한 Type II는 플라스마 충격교란(plasma shock disturbance)이 태양대기를 통과해서 밖으로 나올 때 방출된다. 한편 Type IV는 가장 강력한 플레어와 관련된 것으로 플레어에 의해 방출된 고속으로 움직이는 플라스마 구름내의 고 에너지 전자에 의한 싱크로트론복사에 의해 생성된다.

나. 기기에 미친 영향 및 지상에 나타난 현상

(1) 태양의 proton event

태양의 플레어에서 발생한 고 에너지 하전입자는 우주공간의 배경복사를 증가시켜 우주공간에 위치한 인간과 인공위성 그리고 전파전파에 영

향을 미친다. 이러한 영향을 미치는 하전입자의 에너지 범위는 수 MeV에서 수백 MeV에 이른다. GOES 및 NOAA 인공위성들은 실시간대로 하전입자의 정보를 계속적으로 제공하고 있다. SWPC는 solar proton event를 에너지가 10MeV 이상의 양성자가 10 입자속 단위(particle flux unit ; 1 pfu = 1입자/cm²sec¹sr¹) 이상으로 입사할 때로 정의하고 있다. X15/3B플레어와 함께 시작된 활동영역 5395는 지구상에서 양성자가 검출될 때까지 수십 시간에 걸친 양성자복사의 느린 증가는 상기 예와 일치한다. 비록 장시간 지속된 3월 10일의 X-급 플레어(X4/3B, 위치 : N31, E22)가 그 후에 관측된 입자복사의 증가에 기여한 것으로 간주되지만, 3월 7일 이후 일어난 proton event와 개개 플레어를 확실히 관련 지우는 것은 어렵다. 이 기간 중 주요 proton event로 3월 8일에 시작되어 13일에 극대(3500 pfu)에 달한 것과 17일에 시작되어 18일에 극대(2000 pfu)에 달한 것을 들 수 있다.

(2) 지자기 폭풍

1989년 3월 13일에 시작된 자기폭풍은 대규모(severe)급으로 기술되었다. 비록 자기폭풍의 규모를 정량적으로 기술하는 국제적으로 공인된 척도는 없지만, SWPC는 실무적인 편의를 위해서 다음과 같이 지자기교란의 정도를 규정한 바 있다. 이것은 관측된 A 지수를 기초로 하여 다음과 같이 분류하였다.

표 3 지자기 폭풍의 종류

종류	A지수 범위
소규모폭풍(Minor storm)	$30 \leq A \leq 49$
중규모폭풍(Major storm)	$50 \leq A \leq 99$
대규모폭풍(Severe storm)	$100 \leq A \leq 400$

A 지수는 지역 일일 지수(regional daily index)로 8개의 K 지수로부터 산출된다. 한편 K 지수는 3시간 동안의 지자기의 변화 중에서 두 개의 수평성분 중의 최대치를 이용해서 작성한다. 한 관측소는 K 지수는 관측소 사이의 지

가기위도 차이를 고려해서 작성한다. 한 관측소의 K 지수는 관측소 사이의 지자기위도 차이를 고려해서 구한다. 그리고 A 지수는 세계시(UT)를 기준으로 하여 구한다.

(3) 1989년 3월에 발생한 대규모 폭풍

미국 지질 조사소(US Geological Survey, USGS)가 운영하는 콜로라도주 볼더시의 자력계의 관측을 이용해서 SWPC는 실 시간대의 임시 지수를 계산한다. 그러나 지자기활동을 나타내는 공식적인 지수는 USGS가 운영하는 지자기 관측 망의 하나인 Frederick sburg의 자력계 기록을 이용하여 A 및 K 지수를 작성한다. 3월 13일 및 14일의 Frederick sburg의 A 지수는 각각 248과 125를 기록했다. 이것은 상기 관측소가 1957년 설립된 이후로 두 번째로 큰 값이었다. 가장 큰 값은 264로 1960년 11월 13일에 기록되었다. 이 자기폭풍은 공식적으로 3월 13일 0128 UT 급시(sudden commencement)와 함께 시작되었다. 지자기 수평성분(H)의 북쪽성분의 갑작스런 증가는 태양풍의 충격파면이 태양 쪽의 지자기 경계면에 도달했다는 것을 알리는 신호이다. 이러한 순간적인 충격(impulse)은 전세계의 모든 관측소에서 기록되었다.

자기폭풍의 원인은 플레어 이외에 여러 가지 원인이 있지만 3월 8일부터 22일에 걸쳐 일어난 자기폭풍의 수반된 지자기활동은 활동영역 5395에 기인되었다고 생각된다. 그 지역에서 11개의 X급 현상과 2개의 양성자현상이 발생되었다. Frederick sburg의 지자기관측소 기록에 의하면 비정상적으로 활동적이었던 이번 플레어는 지구의 자기권을 2번씩이나 자기폭풍 급의 교란을 야기시켰다. 첫 번째의 역사적인 자기폭풍은 3월 13일에 시작되어 18일에 끝났다. 두 번째 자기폭풍은 첫 번째에 비해 약간 소규모였는데 3월 19일 UT에 급시를 야기시킨 태양풍은 K지수를 5까지 증가시켰으나 잘 발달된 자기폭풍에 이르지 못했다. 최근 연구에 의하면 코로나의 물질분출(coronal mass ejection : CME)의 원인으로서 플레어가 너무 강조되지 않았을까 하는 의견이 제시되었다. 코로나 구멍(coronal holes) 소멸 필라멘트

(disappearing filaments) 그리고 행성간 자기장의 방향 역시 자기폭풍을 유발하는데 중요한 역할을 하고 있다. 현재 실시간 대의 IMF 자료의 불충분이 지자기활동을 예보하는데 큰 장애로 남아있다.

(4) 자기권계면 통과

보통 태양 쪽으로 지구반경의 10배 정도의 거리에 위치한 자기권계면이라 불리는 자기권의 경계면이 태양풍의 동압력(dynamic pressure)에 의해 지구반경의 6.6배인 정지궤도 안쪽까지 후퇴(excursion)하는 경우가 있다. 이것을 정지궤도 자기권계면 통과(geostationary magnetopause crossings ; GMC)라고 부르며 이때 정지위성에서는 자기장의 H_p 성분(근사적으로 지구자전축에 나란한 방향)의 급작스런 감소로 확인된다. 이러한 사실은 자기권 내부의 자기장영역에서 태양풍이 우세한 자기쉬스(magnetosheath)영역의 자기장으로 변했음을 의미한다. Rufenach et al.(1989)은 태양풍의 동력전압 증가와 행성간 자기장의 남쪽성분(B_z) 성분은 낮영역의 자기장을 침식(erosion)시키는데 기여하고 있음을 보이고 다음과 같은 경험식을 유도하였다.

$$H_{\min} = 3.37 B_z - 60.4 \text{ nT}$$

여기서 H_{\min} 은 자기권계면 이동시 H_p 의 최소값을 나타낸다.

1989년 3월에 일어난 태양 및 지구 물리적인 활동은 매우 극심한 형태로 정지위성궤도에 있어서 일련의 자기권계면 이동현상을 유발하였다. (그림 1)은 3월 13일 1200UT로부터 15시간 동안 인공위성 GOES 6 및 7호에서 관측한 1분 간격의 H_p 관측치이다. 최초의 자기권계면의 이동은 3월13일 1416 UT(지방시로 0702)에 GOES 7호에 의해 관측되었다. 그리고 36분후 GOES 6호에 의해서도 관측되었다. GOES 7호 이동(crossing)에 뒤이어 1300 UT부터 한 시간여 계속되게 H_p 가 75로부터 215nT까지 증가했다. 이것은 강력한 태양풍 압력의 증가의 효과 간주되었다. 그리고 H_p 가 -211nT까지 급격

히 감소했는데, 이것은 그 당시 자기권계면의 이동(GMC) 및 매우 큰 마이너스 값의 Bz의 존재(위 식에 의하면 -43nT)를 의미한다.

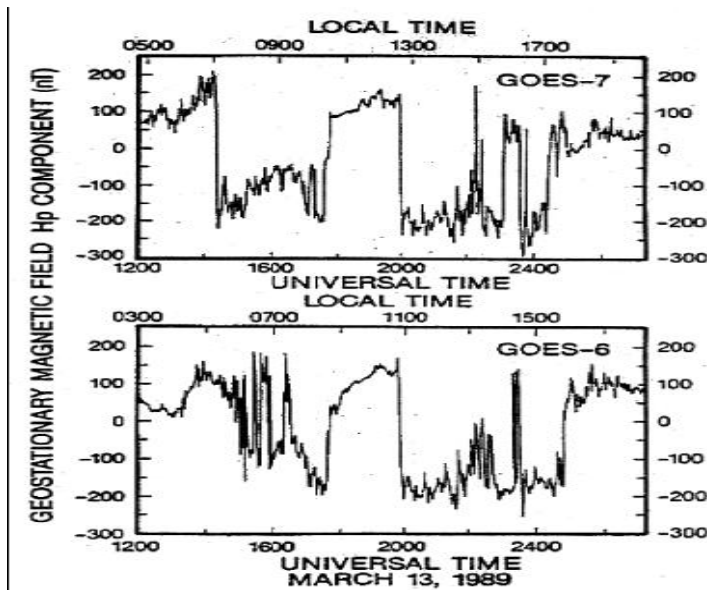


그림 1 GOES 6, 7호 H_p 관측치

새벽영역의 자기권계면이 6.6Re 안쪽에 머문 시간은 3.2시간이었다. 이러한 사건은 GOES 인공위성이 1979년부터 1989년에 걸쳐 관측한 GMC 가운데 가장 오래 지속된 예였다. (그림 2)는 GOES 6호가 1452 UT에 처음으로 자기권계면을 만나게 되었을 때, GOES 6 및 7호의 위치를 나타내고 있다. 이것은 또한 이 기간 중 자기권계면이 최대 안쪽으로 후퇴했던 시점이다.

실선으로 나타낸 자기권계면은 자기권이 정온상태(quiescent)에 있을 경우를 나타낸다. 한편 점선은 교란시의 자기권계면을 나타내며 태양에서 가까운 지점(subsolar point)까지의 거리는 4.7 Re 정도이었다. 정적인 상태에 있는 자기권의 경우 자기권계면까지의 거리가 약 10Re인데 이것을 4.7Re 정도까지 압축시키는데 필요한 에너지를 계산할 수 있을 것이다. 아침에서 저녁영역까지의 자기권전면 단면적에 자기압력($B^2/8\pi$)을 곱하면 태양풍이 자기권에 미치는 힘을 추정할 수 있다(Roederer, 1970). 여기서 B는 낮 영역의 자기장의 세기이다. Holzer and Slavin (1978)이 제안한 자기권계면 경계모형을 이용해서 자기폭풍 시작에서부터 자기권계면이 최대로 압축될

때까지 소요된 전체 일의 양을 계산해 본 결과 4×10^{15} Joule이었다. 이것은 1990년대에 미국전체가 하루동안 사용하는 총 에너지량의 1/ 6에 해당되는 것이다. 자기권계면의 추가 GMC가 1950UT부터 시작되어 그 다음 날 0050UT까지 지속되었다. 이로 인하여 GOES 6호는 거의 5시간이나 계속해서 자기권계면 바깥에 위치하게 되었다.

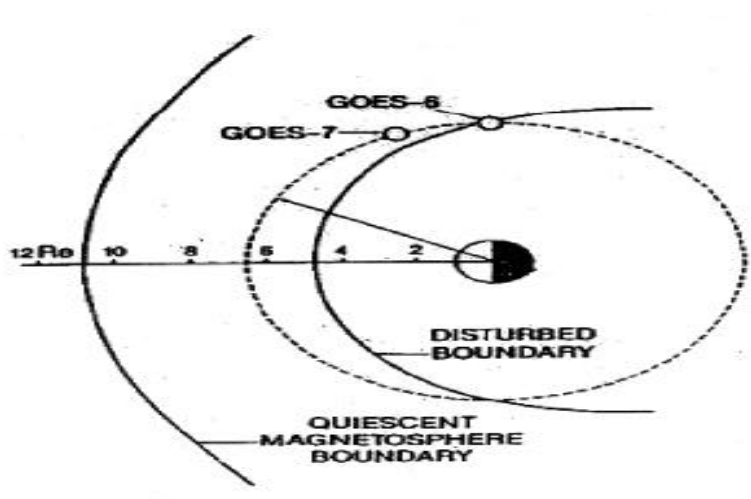


그림 2 GOES 6호와 자기권계면의 위치변화

(5) 1989년 3월 자기폭풍에 수반된 오로라 현상

자기활동의 하나로 오로라라고 불리는 북극광(aurora borealis) 및 남극광(aurora australis)이 있다. 현란하고 가끔씩 빠르게 움직이며 그 모양 또한 급변하는 오로라는 지구의 자기력선을 따라 하강하는 전자가 상층 대기분자와 충돌하여 발생하는 빛이다. 대부분은 원자상태의 산소와 분자상태의 산소 및 질소가 내는 빛이며 80~ 1,000km 사이의 고도에서 나타난다. 오로라는 주로 녹색(5577 Å)이고 드물게 적색인데 방출하는 기체의 종류와 하강전자의 에너지에 의해서 그 색깔이 결정된다. 오로라의 형태는 호(arcs), 광선(rays), 커튼 (curtains), 조각(patches) 및 베일(veils) 등으로 구분하며 각각 정적인 것과 매우 동적 것들이 있다.

전형적으로 오로라는 지자기위도 65°와 75°사이에 띠(band)의 형태로 나타나며 지자기극을 중심으로 타원체(aurora oval)를 형성하고 있다. 그

러나 자기폭풍 기간에는 극관(polar cap ; 지자기극을 포함한 오로라타원체 이북지방)이 팽창해서 오로라타원체는 훨씬 남쪽으로 이동하게 된다. 이러한 팽창으로 말미암아 미국대륙 전 지역에서 오로라를 관측할 수 있게 된다. 우리나라는 지자기극이 있는 반대쪽 반구에 위치하기 때문에 지라상의 위도 보다는 지자기의 위도가 낮아서 아무리 극심한 자기폭풍일 경우도 오로라를 관측하기는 쉽지 않다. 1989년 3월 일어난 자기폭풍의 경우, 멕시코의 Cancun에서도 오로라가 관측된 바 있다.

(6) VLF 및 항법시스템(3-30KHz)에 미친 영향

플레어 및 자기폭풍으로 인해 증가된 전리층 전자밀도는 LORAN-C 와 같은 장거리항법시스템(Long Range Navigation)의 기초가 되는 VLF(Very - Low - Frequency)전파신호에 영향을 미친다. 저주파를 반사하는 전리층과 지구표면을 하나의 도파관(duct)으로 해서 100KHz 주파수대로 운영되는 LORAN-C stations 는 전세계를 하나의 네트워크로 묶고 있다. 보통 전리권하부까지의 연직 거리가 일정하기 때문에 VLF(100km~10km) 전파는 수신자로 하여금 서로 다른 송신소에서 보낸 신호의 지연으로부터 자신의 위치를 결정할 수 있게 된다. 그러나 플레어, X-ray, 자기폭풍 및 극관흡수(polar cap absorption) 등의 현상은 전리층의 전자밀도를 증가시켜 전파 반사 도파관의 높이를 낮추게 하는 역할을 한다. 이로 인해서 수신기와 송신기사이의 전파의 전파시간을 변화시켜 거리측정을 부정확하게 만든다. 전리층하부까지의 높이에 7~10km의 오차를 야기한다. 3월 자기폭풍기간동안 LORAN 시스템은 많은 문제점을 일으켜 거리측정에 큰 지장을 받았다.

(7) 단파(High Frequency ; HF)에 대한 효과

전리층은 무선통신의 전파매체(Propagation medium)로 사용되고 있다. 주요 플레어 및 자기폭풍은 전리층의 전자 및 양이온의 밀도의 변화를 야기해 단파(3- 30MHz)무선통신의 질을 저하시킨다. X-ray에 의한 하부전

리층의 이온화로 인해 어떤 플레어 경우 발생 직후에 바로 영향이 나타나기도 한다. 주요 플레어 폭발에 수반된 자기폭풍이나 양성자현상에 의한 경우 그 영향이 수일 후에 나타나는 경우도 있다. 강력한 오로라전자들의 유입으로 극전리층의 이온화가 증가되면 통신 및 항법장치에도 영향을 미친다. 단파전파의 경우 전리층에 흡수되어 수신자에게로 반사되지 않기도 한다.

플레어발생 이후 수분 내에 태양의 X-ray는 주간 하부 전리층 전자밀도를 강화시켜 HF전파의 급작스런 감소 내지는 손실을 야기하는 Short-Wave Fade (SWF)를 일으킨다. 태양플레어의 강도에 따라 다르지만 SWF동안 HF수신이 수분에서 2시간정도 일부 또는 완전히 방해받게 된다. 활동영역 5295에 의해서 영향을 받은 SWF의 예를 살펴보면 다음과 같다.

3월 6일 1900 UT : M4 X-ray burst 기간 중 15MHz 대에서의 SWF

3월 9일 1900 UT : M4 X-ray burst 기간 중 22MHz 대에서의 완전 SWF

3월 6일 2000 UT : M4 X-ray burst 기간 중 25MHz 대에서의 완전 SWF

주요 SWF 기간 중 낮 영역을 통과하는 회선을 가진 사용항공, 국제방송 및 선박과 육지간의 교신을 포함한 모든 단파전파가 불가능하게 된다.

(8) 초단파통신(Very High Frequency ; VHF)에 대한 효과

VHF는 보통 시선방향으로 전파된다. 그러나 중간 및 상부 전리층의 강화된 이온화영역인 플라스마 불균일 지역에 의해 산란되기도 한다. 산란은 보통 매우 비효율적이어서 급격한 신호소실(signal fading)과 전파지역의 축소를 야기시킨다. 불균일(ionization irregularities)은 플레어폭발, 하강오로라입자에 의해 야기된다. 하강오로라입자의 경우 전파오로라(Radio aurora)를 일으키며 낮 영역에서도 효과를 나타낸다. 신호강도의 증가로 인해 예정보다 더 멀리 전파되기 때문에, 보통 멀리 떨어져 있어 서로 간섭이 일어나지 않을 것으로 예상되는 송신기들의 신호사이에 간섭을 야기하기도 했다. 3월에 일어난 몇몇 전형적인 예를 소개하면 다음과 같다.

- 1989년 3월 8일 : 호출기(삐삐) 및 무선전화기에 잡음과 통신장애를 야기하였으며 10 -20MHz 대의 미 해군 MARS 전파신호가 전 세계적으로 소멸되고 144- 148MHz 송수신기는 매우 먼 거리에서 이상한 신호를 수신했다.
- 1989년 3월 13~14일: 오로라는 전파된 50, 144, 220 및 432MHz 대의 전파가 미국북부에 수신되었으며 14일 잠시 동안에는 멕시코 만에서도 수신되었다. 이 경우 아마추어 무선가에게는 좋은 기회였으나, 재난방지 및 상업통신에는 문제점을 야기했다. 예를 들어 Minnesota의 HAM 가입자가 California 고속도로 순찰대의 무선을 청취하기도 했다.

(9) 위성통신에 미친 효과

전리층은 인공위성과 지상관제소 사이의 전파신호에 두 가지 측면에서 영향을 미친다.

- ① 신호의 편광현상
- ② 신호의 강도, 방향 및 거리

우주전파환경의 활동이 증가한 시점에서 이 효과들은 증가하고 경우에 따라서는 그 정도가 극심하게 된다. 게다가 정지궤도위성인 경우 춘추분 때는 태양과 위성이 일직선상에 놓이게 되므로 지상수신소에서는 신호와 태양전파잡음을 구별할 수가 없게 되어 데이터를 잃게 되는 경우도 있다. 3월 자기폭풍 기간 동안 공공, 정부 및 상용위성의 운용이 지장을 받았다는 보고가 SWPC에 쇄도했다. 태양은 매우 강력한 전파발사 체이프로 인공위성의 신호가 태양전파와 동시에 수신되는 경우 직접적인 간섭현상을 일으킨다. 인공위성의 경우 지상수신소에서 보았을 때 인공위성이 태양 근방에 위치하면 이런 현상이 발생된다. 정지 위성의 경우에는 춘, 추분 때 각각 일어난다. 정지위성은 적도상공에 위치하므로 태양과 위성은 거의 동일한 안테

나의 양각(elevation angle)을 가진다. 그래서 하루 중 짧은 시간동안이지만 둘은 하늘에서 매우 가까이 있는 것처럼 보인다. 태양은 인공위성에서 사용하는 주파수를 포함해서 거의 모든 영역의 전파를 방출한다.

태양전파잡음은 태양활동에 따라 증가하며 태양활동 극대기에 최대가 된다. 태양배경잡음은 극소기에는 60sfu 정도이지만 극대기에는 거의 7배인 400sfu로 증가한다. 플레어 발생 시 수분에서 수 시간 동안 태양전파복사는 100,000sfu까지 증가하는 것이 가능하다. 반면 인공위성으로부터의 의미 있는 신호를 분리해 내기란 지극히 힘든 일이다. 3월 6일 TV 뉴스 네트워크에서 왜 그들의 신호를 송신할 수 없는지에 대한 문의가 접수된 이후 2주간 동일한 문의가 쇄도했다.

전파가 전리매질을 투과하면 Faraday가 광학현상에서 발견한 것과 동일한 이유로 전파의 편광면이 회전하게 된다. 이것을 Faraday의 회전이라 부른다. 회전하는 정도는 이온화에 비례하고 전파의 진동수에 역비례한다. 태양활동이 증가할 경우 인공위성이 사용하는 주파수 영역의 편광에 큰 변화가 나타난다. 예를 들면 1GHz의 경우 90°회전이 가능하다. 이것을 보완하기 위해서 수신한 효과를 유발시키는 전리층의 전자밀도는 하루 중에도, 태양활동의 정도 및 지자기상태에 따라서도 달라진다.

이러한 변화는 지상수신소 운영자들에게 위성전파수신문제를 야기시켰다. Alaska에서는 인공위성시스템의 수신단절이 일어났고, TV 인공위성 지구국은 신호가 90°회전했었다는 사실을 나중에 확인하게 되었다.

강력한 자기폭풍기간에는 전파신호의 신틸레이션(scintillation)이 가능하다. 신틸레이션이란 별이 반짝이는 것과 같은 현상으로 인공위성이 보내는 전파신호의 진폭, 위상 혹은 편광이 급격히 요동하는 것을 말한다. 이러한 변화는 전파를 수신하는 phase-lock system에 이상을 일으켜 위성의 위치를 파악하는데 문제를 야기시키고 심각한 signal-fading 현상을 유발한다. 보통 신틸레이션은 중위도지방에서는 드문 현상이지만 큰 자기폭풍이 일어나 오로라타원체가 적도 쪽으로 이동하게 되면 중위도 지방에서도 관찰된다. 1575.42 및 1227.6MHz 주파수대로 운용되는 GPS 이용자들도 오류를 보고한 바 있다. 전자밀도의 급한 공간적인 구배가 신틸레이션의 원인이 된다고

보고 있다. 일본의 정지위성이 신틸레이션으로 인하여 약 한 시간 정도의 자료를 잃어버린 적이 있다. 레이더 시스템이나 전파망원경의 경우 수신감도의 영점조정을 위해서 플레어가 없는 정온 태양의 배경잡음을 측정해서 기준으로 삼는다.

(10) 인공위성 운용에 미치는 영향

(가) 인공위성 이상

태양 및 지구 물리적인 활동이 심한 경우 인공위성 운영자는 큰 어려움을 당한다. 위성이 운용되는 지역이 환경변화는 인공위성의 이상 작동을 유발하고 인공위성 지국의 관제능력을 방해한다. 태양플레어에 의해 수 MeV까지 가속된 하전입자들은 인공위성에 지대한 영향을 미친다. 이들 입자들은 인공위성의 차폐 막을 투과하며 반도체소자에 진입한 다음 이를 이온화시켜 전자 장비를 고장(upset)낸다. 이러한 고장을 single-event upset (SEU)라 부르며 내부메모리에 부정확한 데이터를 저장하거나 또는 인공위성의 제어전자장비에 거짓 명령을 부과하기도 한다.

자기폭풍은 인공위성의 운영에도 영향을 미친다. 정지위성궤도에서는 환전류(ring current), 플라스마권(plasmasphere) 및 자기권의 플라스마판(magnetospheric plasma sheet) 등이 자기폭풍의 여러 단계(phase)를 통하여 지구 쪽 및 자기권 꼬리 쪽으로 운동하기 때문에 플라스마환경이 심하게 변한다. 인공위성표면에 전하가 축적되면 정전위가 발생하고(DeForest, 1972) 마침내 순간적인 방전이 일어난다. 이로 인하여 위성표면의 단열 및 절연의 성능을 저하시키거나 전자기적인 펄스를 발생시켜 위성의 전자장비에 간섭을 일으킨다. 경우에 따라서는 내부유전물질에 전하가 축적되기도 한다. 자기폭풍 시 정지궤도상에서 위성내부에 전하축적을 일으키는 하전입자는 에너지가 10MeV를 상회하는 상대론적 전자들이다. 그러나 1989년 3월 자기폭풍은 강력한 전자현상(energetic electron event)은 일으키지 않았다.

활동영역 5395에 수반된 자기폭풍의 강도는 인공위성에 다양한 문제

를 야기하기에 충분했다. SWPC는 요청이 있을 경우 위성운영자에게 플라즈마와 하전입자에 관한 특정한 정보를 제공한다. 이러한 자료들은 위성운영자들에게 우주전과환경에 의한 효과와 위성의 기술적인 결함을 빨리 구별할 수 있게 해준다. 1989년 3월에 발생한 자기폭풍 활동에 관한 정보들이 폭풍이 진행되는 중에 인공위성 운영자들에게 배포되었기 때문에 인공위성의 기능장애를 파악할 수 있었다. 그 기간 중 인공위성 운용상의 문제에 대한 무수히 많은 보고가 접수된 바 있다.

(나) 공기저항 및 고도 조절문제

대규모의 자기폭풍은 수 시간 만에 인공위성의 궤도에 중요한 변화를 야기시킬 수 있다. 인공위성은 대기 속을 운행할 때 drag라는 공기저항을 받는다. 한편 저항을 야기하는 공기밀도는 크게 변하는데 최대의 변화가 일어나는 고도인 680km의 경우 공기의 밀도는 태양활동 극대기에는 극소기보다 40배나 증가한다. 이와 같은 변화는 극대기에는 태양으로 부터 다량의 극자외선(Extreme UltraViolet ; EUV)과 X-ray가 방출되기 때문이다. 이들은 상층대기에 흡수되어 기온을 상승시키고 그 결과 공기가 팽창하기 때문에 일어나는 현상이다. 태양주기 22가 극대기에 도달했던 1988년 12월부터 1989년 1월 사이에 EUV 배경복사 속은 매우 높은 수준을 유지했었다. 보통 공기저항은 매우 적지만 태양활동이 심할 때는 상당히 증가하여 위성의 수명을 수개월 내지는 수년 정도 단축시킨다. 뿐만 아니라 이 기간에는 인공위성의 고도와 위치를 적절하게 유지시키기가 어렵게 된다.

극지방 오로라지역에는 자기폭풍기간 중 다량의 하전입자가 유입되고 강력한 전류가 흐르게 된다. 이들 역시 극지방 상층대기의 기온을 상승시키는 요인이 된다. 그래서 국가적으로 급격한 밀도 변화를 초래시키고 또한 상층의 바람에 의해 그 효과가 지구 전역으로 확산된다. 대규모 자기폭풍이 진행될 경우 고도 800~1,000km 범위의 극지방 상층대기의 밀도는 5~10배 정도 증가한다. 밀도증가는 자기폭풍이 시작되고 약 4~5시간 내에 일어나며 약 5~10일 내에 저위도지방에도 그 효과가 나타난다. 3월 자기폭풍 기간

중 상층대기의 가열은 팔목할 만한 것이었다.

NOAA의 극궤도 기상위성과 같은 인공위성들은 사진촬영을 위해 한 지점을 향해야 하는데 이를 위해 자이로스코프와 같은 장치인 momentum wheel이란 것을 이용해서 고도를 유지한다. 3월 13일 NOAA 위성의 고도인 840km에서 두 개의 대기모델(Jachia 1971; Edin, 1983)을 통해 추정해 보니 밀도가 약 5.9배 정도로 증가했었다. 그런데 그 인공위성은 대칭형이 아니기 때문에 증가된 공기저항은 위성체의 회전으로 나타나게 된다. 증가된 우력으로 인해 위성이 회전하게 되면 위성체가 안정을 되찾을 때까지 지구 기상사진 촬영을 포기할 수밖에 없다. 이러한 때에는 각 위성의 momentum wheel이 자신의 스핀을 증가시키도록 프로그램 되어 인공위성을 자이로스코프 힘을 이용하여 고도조절을 유지할 수 있다. 위성을 회전시키는 힘이 클수록, momentum wheel은 더 빨리 회전한다. 3월13일 NOAA 위성의 momentum wheel은 허용된 최대 스핀률에 도달해서 back-up 시스템으로 전환시키게 되었다. 약 800km 상공을 선회하는 항법위성도 3월13일 고도제어 및 station-keeping 문제에 봉착했다. 궤도경사각 60°인 저고도위성이 제어되지 못했던 일이 발생했다. 우주센터들은 수천 개에 달하는 인공위성을 위시해서 우주과편 등의 위치에 관한 기록을 유지하고 있다. 그러나 주요 자기폭풍과 여기에 수반된 공기저항은 이들에게 새로운 많은 일거리를 안겨주게 된다. 그 이유는 대기밀도의 증가가 이들의 궤도를 변화시키므로 레이더로 측정 한 실제 값과 대조하는 작업을 하여야 하는 까닭이다.

2. 캐나다 통신위성의 실패

캐나다 통신위성 Anik E 1은 1994년 1월 20일 1735UT 경 momentum wheel 제어회로가 고장이 나서 백업시스템에 의해 운영된 바 있었다. 이와 같은 위성운용상의 이상 작동은 1443UT 경 Intelsat K 위성의 동일 기능 제어회로에서도 보고되었다. 수시간 뒤인 0210UT 경에는 Anik E2 위성의 primary momentum wheel control system에 기능장애가 일어났다. 그런데 이 위성의 경우 백업시스템이 작동하지 않아 인공위성의 기능이

정지되었다. 이 인공위성의 운영상의 기능장애를 조사하기 위하여 인공위성의 자료와 캐나다 우주국(Canadian Space Agency)이 운영하는 CANOPUS 관측망의 지상지자기관측과 우주잡음측정기(riometer)자료를 사용하였다. 인공위성자료는 정지궤도상을 운영하는 NOAA GOES 7 위성과 Los Alamos National Laboratory의 SOPA위성의 고 에너지 입자측정기로부터 것이다. 이 자료들을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

※ Riometer = Relative Ionospheric Opacity Meter : 우주에서 오는 전파 잡음이 전리층에서 흡수하는 정도를 측정하는 장비. 관측 주파수는 25MHz~50MHz이며 관측 높이는 60~110km. 원리는 고에너지 전자와 양성자가 전리층에 유입되면 이온화가 증가하여 평상시보다 잡음 레벨이 저하되는 것이 관측됨.

예상과는 달리 이번 사건은 전자기폭풍(electromagnetic storm)혹은 자기폭풍의 결과가 아니었다. CANOPUS자력계는 아무런 비정상적인 지자기활동을 기록한 적이 없었다. 뿐만 아니라 상기 위성의 이상 작동이 보고되기 수일 전에도 이상 징후가 없었다. (그림 3)은 이상 작동이 일어난 시점을 전후로 수 시간에 걸쳐 측정된 CANOPUS자력계의 X-성분으로써 Anik 위성이 위치한 자오선보다 한시간 동쪽으로 떨어진 시간대에 위치한 FortChurchill 자오선 상에 위치한 자력계에서 측정한 값들이다. 일상적으로 아침영역에서 관측되는, 비록 그 규모가 약간 크긴 하지만, 지자기맥동(magnetic pulsation)을 제외하고는 지자기활동은 별다른 특징을 나타내지 않았다. 물론 지자기폭풍의 증거도 찾아볼 수 없었다.

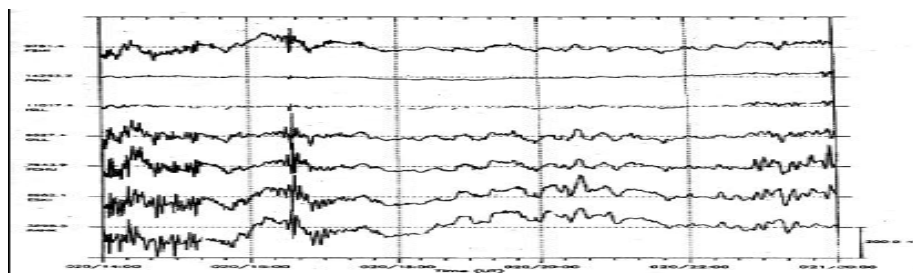


그림 3 Anik E2 위성 고장 시 COBOPUS 자력계의 X-성분 자료

Anik 및 Intelsat K위성의 고장이 일어난 시점에 에너지가 2MeV를 능가하는 고 에너지 전자의 유입량이 100배에서 1,000배나 증가했다는 관측 결과로부터 이들 위성의 고장의 원인에 대한 문제해결의 실마리가 제공되었다. 그리고 미국 Colorado주 Boulder시 소재 NOAA의 우주전파환경서비스 센터 (SWPC)의 연구결과에 의하면 고에너지입자의 유입량이 1994년 1월 12일 후반부에 급격히 증가해서 Anik의 고장이 보고된 다음날까지 그 상태가 유지되었다는 것이다. 따라서 Anik이 고장난 날의 유일한 특징은 에너지가 2MeV 이상인 전자들의 유입량이 상당히 높았다는 것이다. 이러한 전자들이 존재했는지는 Fort Churchill 자오선 상에 배치된 CANOPUS의 우주잡음측정기로부터 확인할 수 있다.

(그림 4)는 1994년 1월 20일 1200~0000UT 사이의 CANOPUS riometer 측정자료이다. 우주잡음신호의 흡수가 상당히 높았던 시점은 1400~1500UT 경이지만 이때는 Intelsat K 위성의 momentum wheel 제어회로에 약간의 문제가 야기되었을 뿐이다. 그런데 Anik E1의 고장이 일어난 시점은 흡수가 최대치에 도달했다가 다시 회복되기 시작한 무렵이었다.

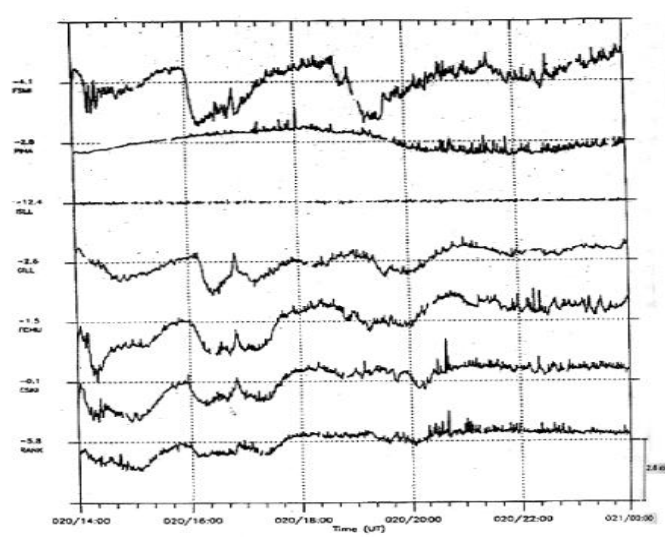


그림 4 CANOPUS riometer

1900~2000UT에 또 한차례 흡수현상이 나타났다. 자정으로부터 2~3시간대에 걸친 아침영역에서 상당한 정도의 흡수현상이 일어나는 것은 그렇게 드문 현상은 아니다. 그러나 정오 근방에서 관측되는 흡수현상은 상당한 규모의 자기권서브폭풍이 발생할 때에 한해서 일어난다. Fort Churchill 지방의 정오가 1800UT 근방이므로 1600-1800UT 시간대에서 관측된 흡수 현상은 기대하지 않았던 사건이다. 이것은 매우 고 에너지입자의 배경복사가 있었음을 강력히 제안하고 있다. 과도적인 성격의 이러한 흡수현상은 고 에너지 입자들의 pitch angle 분포의 과도적인 변화를 반영하는 것 같다. Anik E1 고장에 앞서 나타난 흡수현상의 경우 GILL 에서부터 극지에 가까운 ESKI 관측소에 이르기까지 상당한 흡수가 관측되었다. 이것은 고에너지 전자들($E > 2\text{MeV}$)이 정지궤도에서부터 자기권계면에 이르는 넓은 플라즈마권 계면(plasmopause) 바깥의 대부분의 자기권이 이러한 고에너지입자들로 가득 차 있었다는 것을 의미한다.

(그림 5)는 NOAA GOES 7 위성이 관측한 이러한 입자의 복사속을 나타낸다. 여기에서 이들은 1994년 1월 12일 후반에 급격히 증가한 후 수일 동안 높은 상태를 유지하고 있음을 보여준다. 정지궤도보다 훨씬 지구에 가까이 위치하는 Van Allen 방사능대보다 바깥에 이와 같이 강력한 고 에너지 전자복사 속을 관측하기란 매우 드문 일이다.

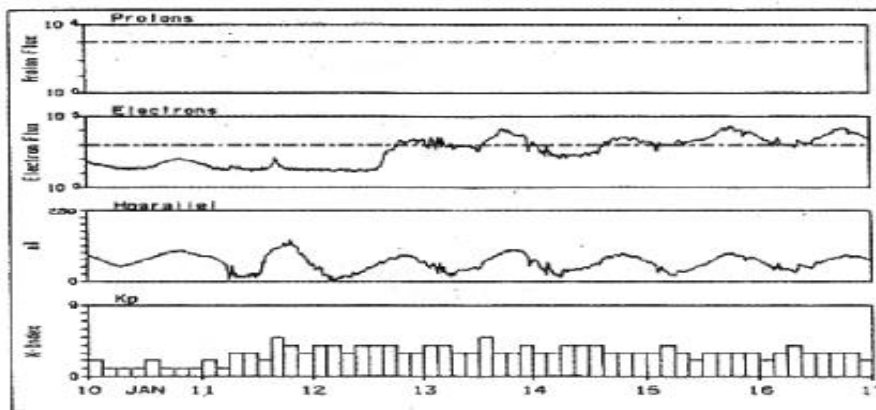


그림 5 GOES 7 위성의 입자 복사속

이와 같은 고에너지 전자들이 수일간에 걸쳐 정지궤도 상에 존재했다는 사실로부터 Anik위성이 경험한 문제점들을 deep dielectric charging (Baker et al. 1987)이라는 현상으로 설명할 수 있을 가능성을 제공했다. 전자들은 kapton과 같은 유전물질이나 전기회로의 절연체 부분에 들어가는 것으로 알려졌고, 이것은 곧 방전으로 이어질 전하의 축적을 야기시킨다. 대전 현상은 절연체면이 고에너지전자 속에 노출될 때 발생하며 일부는 대전 중에도 새어나가는 것으로 알려졌다. 그리고 대전되는 전하량이 전열체 스스로 전하를 제거하는 율을 능가할 때는 어느 정도 시간이 경과하면 전하의 축적이 일어나기 마련이다. 때문에 인공위성의 회로, 절연체의 성질 및 배열 등으로 결정되는 어떤 한계점을 지나면 방전이 일어나서 인공위성에 손상을 입히게 된다. 이와 같은 경우는 인공위성 고장의 순간이 주변 우주전과 환경의 과도적인 현상이라기보다는 누적된 대전현상으로 나타나는 방전의 결과로 이해해야한다. GOES 7 인공위성에 의한 감지된 고 에너지 전자의 경우 그 특징은 증가된 전자속이 매우 오래 지속되었다는 점이다.

마지막으로 이러한 현상을 일으킨 고 에너지 전자의 근원에 관한 문제에 봉착하며 나아가 이들의 출현을 사전에 예보할 수 있었느냐 하는 문제에 이르게 된다. 그러나 고 에너지 하전 입자를 측정하는 전문가들의 견해는 그 기원에 대해서 아직까지 수궁할만한 이론이 없다는 점이다.

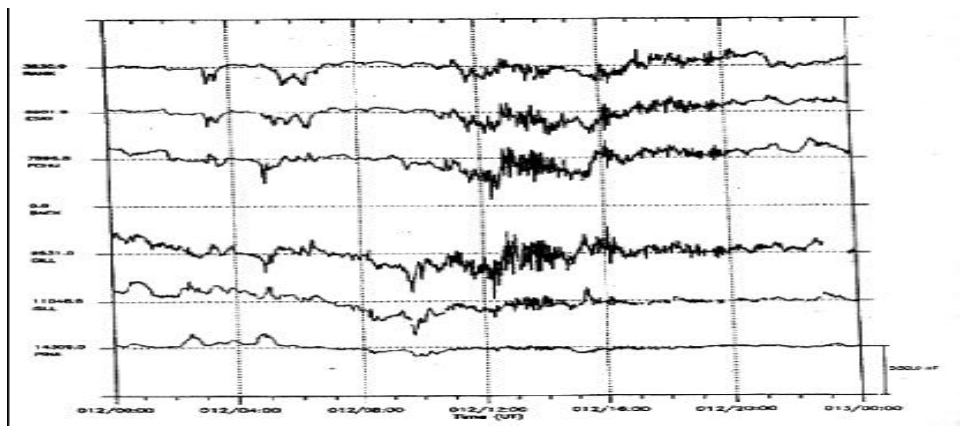


그림 6 CANOPUS 자력계 X-성분 변화(1994년 1월 12일)

Baker et al. (1987)의 논문에서 하전입자의 가속기구에 대한 가능성들을 제시하고 있으나 어느 것도 하나 Anik위성이 고장날만한 상황을 설명해 주지는 못했다. 아마도 1994년 1월 12일 후반부 GOES 7 정지위성궤도에 고 에너지 전자 속이 증가할 무렵 CANPOUS 자료를 살펴볼 가치가 있다. (그림 6)은 그날 Fort Churchill 자오선 상에 위치한 자력계의 X-성분의 변화를 나타낸 것이다. 정지궤도상에 준 상대성적인 전자들이 나타난 기간 중 지자기 기록에 나타난 유일한 특징은 진폭이 매우 큰 지자기 맥동이 나타났다는 것이다. 그러한 맥동은 태양풍속도의 증가를 의미한다. 따라서 자료가 존재한다면 IMP-8 위성이 측정한 자료를 조사하여 고 에너지 전자가 유입될 시점에 태양풍에 무언가 비정상적인 상태가 있었는지 살펴보아야 할 것이다.

MeV급의 고 에너지 전자의 기원에 관한 한 위에서 살펴본 기간 중 계속해서 높은 전자 속이 유지했었다는 점도 설명이 되어야 할 것이다. 현재로서 3가지 가능성이 제시될 수 있다.

첫째는 방사능대가 보통은 지구 가까이 위치하지만 이 경우 팽창하여 자기권의 상당 부분을 점유했을 가능성이 있다. 이 제안의 문제점은 지자기활동으로 그 성질이 결정되는 자기권에서 아직 방사능대를 팽창시킬 수 있는 어떠한 물리적기구도 제안된 바가 없었다.

두 번째는 태양이나 태양풍의 충격파내의 어떤 영역에서 $E > 2\text{MeV}$ 인 전자들이 생성될 가능성이다. 자기권 꼬리에서 자기권 대류로 인해 고 에너지 태양풍전자의 유입이 가능할 것이다. 그러나 이들이 지구 근방에 오게 되면 구배 및 곡률표류 (gradient and curvature drift)로 인해 더 이상 정지궤도까지 접근하는 것은 불가능할 것이다.

세 번째 가능성은 고 에너지 전자속이 관측된 기간 동안 유도전기장에 의해 계속적으로 가속되었을 것이다. 그러나 이것도 고 에너지 전자가 출현할 때를 제외하고는 가속기구가 작용하지 않기 때문에 어려울 것이다. 가능성에 있어서 매우 희박하기는 하지만 순전히 Baker et al. (1987)의 관측에 의해 태양기원으로 돌릴 수 있다. 관측에 의하면 준 상대성적인 고 에너지 전자 속의 갑작스런 증가가 일어날 확률은 태양흑점주기의 쇠퇴시기(decline phase)에

최대인 것으로 밝혀졌다. 이것은 적어도 태양의 플레어 혹은 코로나 구멍과 같은 활동지역에서 MeV 전자를 발생시키는 어떠한 물리적 기구가 존재할 것이다. 그런데 이러한 활동지역은 흑점주기에 따라 그 위치가 변하므로 흑점주기의 어떠한 시점에 생산한 전자들이 지구에 영향을 미칠 수도 있다. 명백히 이러한 문제점을 거론하지 않는다면 뒤이어 나타날 경제적인 손실이 너무나 자명하기 때문에 이 의문점을 해결하기 위해 더 많은 연구가 요구된다.

붙임 5. SWPC 상세 수행 업무

1. 주요업무

가. 우주환경 예보실 운영

- 오전 9시부터 저녁 6시까지는 2명이 근무, 오후 6시 이후는 1인이 근무
- 태양 활동이 활발할 때는 인원을 2배로 늘리고, 예보관은 각자가 맡은 일만 전문적으로 담당

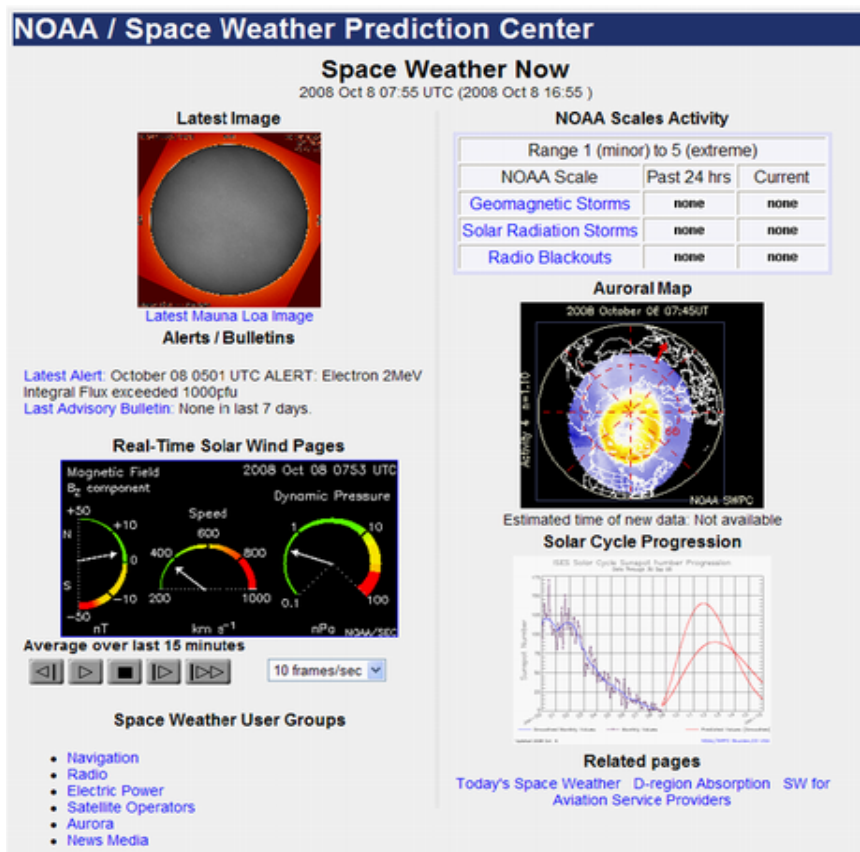


그림 1 SWPC에서 제공하는 준실시간 우주환경 정보

나. 우주환경 업무

- 우주환경 예·경보 업무
- Kp, AE 지수, 태양 플레어 활동, 태양폭발 등 감시
- ACE, GOES, SOHO 위성 등의 자료 분석을 통한 실시간 우주환경
경보 발령 및 웹, E-Mail 등을 통하여 관련정보 제공
- 태양 및 우주환경 관측시설 개발 및 운영
- 지상·위성관측 자료 분석 및 우주환경 정보 요약서 발간
- 우주환경 주의보, 경보 및 예보 서비스 실시
- 우주환경 교란 요인 분석 연구
- 우주환경 사용자 교육 및 우주기상 민간기업 지원육성



그림 2 NOAA에 있는 GOES 위성 신호 수신안테나



그림 3 GOES 수신자료 처리장비

다. 데이터 베이스 시스템 운영

(1) 우주환경예보 서비스를 총괄하기 위한 국제 업무 기구인 국제우주환경서비스 (ISES : International Space Environment Service)와의 협력을 통한 데이터 공유 및 정보 제공

(2) 지구물리자료센터(NGDC) 운영

- NGDC 자료 : 태양 및 상층대기, 전리층, 지구자기장, 태양 X-ray, 태양입자, 극지방 유입 입자 등의 자료를 포함

라. 우주환경 관측 및 예측

- 태양 활동의 물리적 이론 연구 및 모델 구축
- 지자기권 변화, 고에너지 입자 등에 대한 지속적 관찰

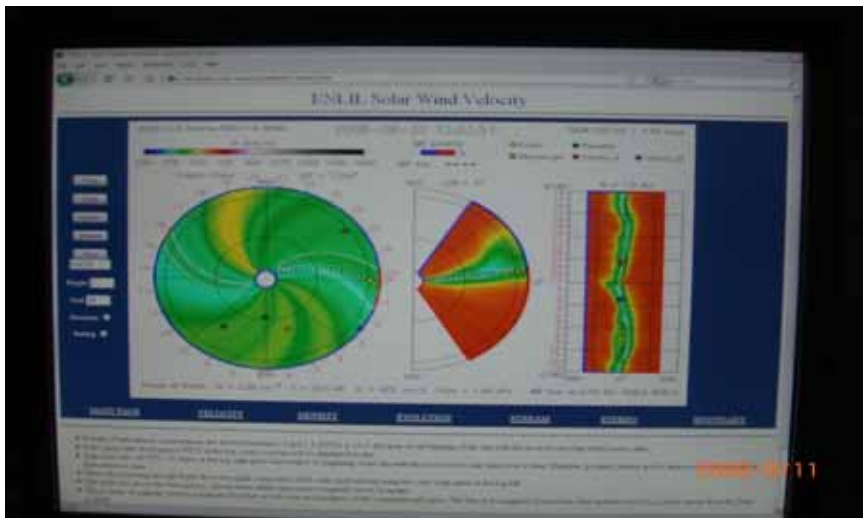


그림 4 태양풍 예측 모델 실행 화면

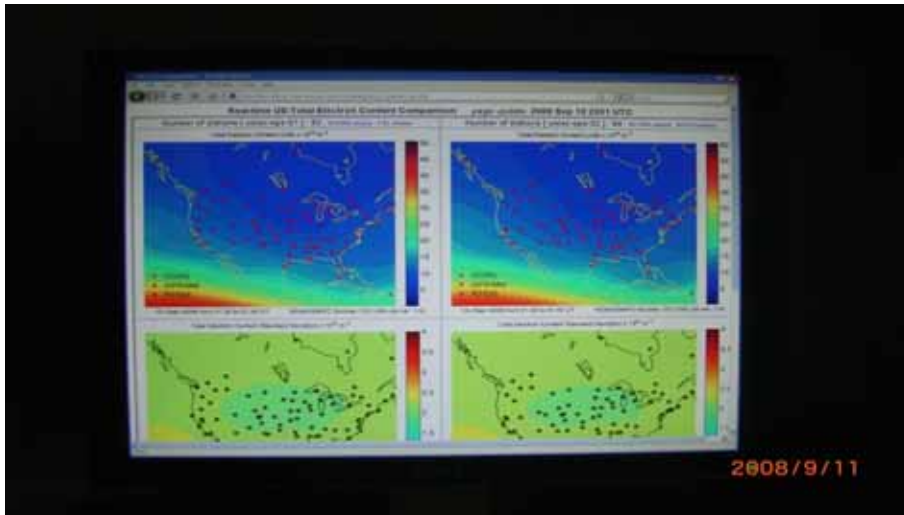


그림 5 전리층 전자밀도 실시간 관측

마. 국제 활동

- NASA, NICT 등과 협의체 구성 및 공동 연구 수행
- ISES 회원으로의 지속적인 활동

바. 우주환경 영향 및 경보발령

(가) 우주환경 영향

- 지자기 폭풍(geomagnetic storms) : 태양풍에 의한 지구자기장 교란
- 태양 복사풍(solar radiation storms) : 태양 고에너지 입자에 의한 지구 주변의 방사능 피폭
- 전파통신장애(radio blackouts): 태양 X-ray에 의한 전리층 교란

(나) 우주환경 경보발령 체계 및 기준

표 1 SWPC의 우주환경 경보발령 기준

분류	기호	분류 기준	영향 대상	예상되는 장애	발생빈도
E X T R E M E	R5	X20 이상	통신, 항법	<ul style="list-style-type: none"> 수시간동안 일조지역에서의 HF 통신 완전 두절 수시간동안 해상, 비행용 LF 항법 신호 두절 위성 항법 위치 에러 증가 	1회/11년
	S5	10 ⁵ MeV 이상	통신, 항법	<ul style="list-style-type: none"> 항법 위치 에러로 항법 운용에 큰 장애 극지역에서의 HF 통신 불가 	3회/11년
			위성	<ul style="list-style-type: none"> 일부 위성 분실, 위성체 내 메모리 고장 위성 영상에 심각한 노이즈 발생 태양 전지판의 영구적인 손상 	
	G5	Kp=9	통신, 항법	<ul style="list-style-type: none"> 1~2일간 다수 지역에서의 HF 전파전파불가 수일간 위성 항법상태 저하 수 시간 LF 항법 통신 두절 	4회/11년
			위성	<ul style="list-style-type: none"> 광범위한 위성체 표면 대전 위성 회전, 상하향 링크 장애, 위성 통제 장애 	
S E V E R E	R4	X10이상	통신, 항법	<ul style="list-style-type: none"> 대부분의 일조지역에서 1~2시간 HF 통신 두절 1~2시간 LF 항법 신호 오차 발생 위성 항법에 약간의 이상발생 	8회/11년
	S4	10 ⁴ MeV 이상	통신, 항법	<ul style="list-style-type: none"> 수 일간 항법 오차 발생 증가 극 지역 통과 HF 통신 불가 	3회/11년
			위성	<ul style="list-style-type: none"> 기억소자 문제 발생 위성 촬영 이미지 노이즈 유입 태양 전지 패널 운용 효율 감소 	
	G4	Kp=8~9	통신, 항법	<ul style="list-style-type: none"> 수 시간 동안 HF의 산발적인 장애 위성 항법 이상 LF 전파 항법 두절 	100회/11 년
			위성	<ul style="list-style-type: none"> 위성체 표면 대전 및 위성 위치 추적 장애 발생 	
S T R O N G	R3	X1이상	통신, 항법	<ul style="list-style-type: none"> 일부 지역에서 HF 통신 두절 1시간정도 LF 항법 신호 감쇄 	175회/11 년
	S3	10 ³ MeV 이상	통신, 항법	<ul style="list-style-type: none"> 수일간 간헐적인 항법에러 발생 극지역을 통과하는 HF 통신 감쇄 	10회/11 년
			위성	<ul style="list-style-type: none"> single event upset, 위성영상 노이즈 발생 태양 전지 효율 감소 	
	G3	Kp=7	통신, 항법	<ul style="list-style-type: none"> 간헐적인 위성 항법 이상발생 간헐적인 LF 항법신호 및 HF 통신 이상 	200회/11 년
			위성	<ul style="list-style-type: none"> 위성체 표면 대전 가능성 대두 위성 공기저항(drag)으로 저궤도위성 고도 조절 필요 	
M O D E R A	R2	M5이상	통신, 항법	<ul style="list-style-type: none"> 일부지역 HF 통신 두절 수 십분 정도 LF 항법 신호 감쇄 	350회/11 년
	S2	10 ² MeV 이상	통신, 항법	<ul style="list-style-type: none"> 극지역 통과 HF 통신과 항해에 약간의 영향 가능성 	25회/11년
			위성	<ul style="list-style-type: none"> 드물게 single event upset 발생 가능성 	
	G2	Kp=6	통신,	<ul style="list-style-type: none"> 고위도 지역에서 HF 전파 신호 감쇄 기능성 	660회/11 년

T E			항법		
			위성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 위성 궤도 보정 필요 가능성 ○ 대기 저항 증대로 위성 궤도 예측 곤란 가능성 	
M I N O R	R1	M1 이상	통신, 항법	<ul style="list-style-type: none"> ○ 순간적 LF 항법신호감쇄 발생 ○ 일시적인 HF 통신 감도 저하 	2000회/11년
	S1	10MeV 이상	통신, 항법	○ 극지방 HF 통신에 미세한 영향	50회/11년
			위성	○ 영향없음	
	G1	Kp=5	통신, 항법	○ 영향 없음	1700회/11년
			위성	○ 위성 운용에 사소한 문제 발생 가능성	

※ 출처: 미국 해양대기청 산하 우주기상예보센터 (Space Weather Prediction Center : SWPC)

2. 현재 SWPC의 예보모델 현황

가. 우주기상예보센터 자체적으로 모델 개발을 하지 않고 우주환경 관련 학계 및 연구기관에서 개발된 예보모델을 채택

나. 우주기상예보센터 예보모델 채택 과정

- 예보서비스 수요자가 분야별 예보서비스 결정
- 학계와 연구소에서 모델개발 및 개선연구 수행
- 우주기상예보센터가 Test-bed에서 모델운용 시험한 후 예보모델로 채택
- 즉, 우주기상예보센터는 대학이나 연구소의 연구결과 중 현업에 적용 가능한 모델을 중심으로 현업화하는 것이 주요 업무이고, 이에 필요한 전산 시스템도 다른 연구소의 장비를 이용 중임

다. 우주기상예보센터가 현재 직접 모델개발·개선을 위한 예산을 확보하지 않으나 향후 모델개발 및 개선연구를 수행할 계획

3. 위기관리 체계

현재 법률적인 구속이 없으나, 항공분야에서 가까운 시기에 우주환경이 법률적인 구속력을 가질 수도 있음

- 우주환경의 변화로 인해 통신이 두절될 경우 항공법을 위반하는 결과를 초래하므로 항공사들과 우주환경 경보 제공 등의 활동을 활발하게 진행 중
- Cross Polar Working Group을 중심으로 극궤도 운항 항공사들과 우주환경 전문가들이 모여 현실적인 대처법 논의 중 (대한항공은 아직 참여하지 않음)

4. SWPC의 경고(Alert) 발생 분류

가. 지구물리 경고발생

NOAA 스케일은 경고발생시 크게 다섯 단계로 나뉜다.

표 2 NOAA 스케일

NOAA 우주환경 스케일			
지자기 폭풍	태양 복사풍	전파 소실	분류
G5	S5	R5	Extreme
G4	S4	R4	Severe
G3	S3	R3	Strong
G2	S2	R2	Noderate
G1	S1	R1	Minor

나. 지자기 폭풍 및 태양 복사풍 레벨

지자기 폭풍 레벨은 지상의 자력계로 측정한 3시간 행성의 K 지

수에 의해 결정되고, 태양 복사풍 레벨은 GOES 위성의 양성자 플럭스 측정으로 결정한다.

표 3 지자기 폭풍과 태양 복사풍 레벨

지자기 폭풍 레벨		태양 복사풍 레벨	
3시간 행성 K 지수	지자기 폭풍 레벨	플럭스 레벨 >10 MeV 입자	태양 복사풍 레벨
K = 5	G1	10	S1
K = 6	G2	10^2	S2
K = 7	G3	10^3	S3
K = 8	G4	10^4	S4
K = 9	G5	10^5	S5

다. 전파 소실

GOES 위성에서 측정된 X-ray 레벨에 의해 결정된다.

표 4 전파 소실

전파 소실	
X-ray 레벨과 플럭스 최고치	전파 소실 레벨
M1 and (10^{-6})	R1
M5 and (5×10^{-5})	R2
X1 and (10^{-4})	R3
X10 and (10^{-3})	R4
X20 and (2×10^{-3})	R5

라. SWPC의 우주환경 메시지 코드

SWPC의 경고 메시지에는 각각의 이벤트 내용에 대해 우주환경 메시지 코드를 포함하게 된다.

표 5 SWPC의 우주환경 메시지 코드

코드	WMO ID	주의, 경고, 경고발생, 메시지 요약 명	NOAA 스케일	경고확대 경고발생 계속
X-ray 플럭스 경고 및 이벤트 요약				
ALTXMF	WOXX01	ALERT: X-ray 플럭스 M5 초과	R2	
SUMXM5	WOXX01	요약 : X-ray 이벤트 M5 초과	R2	
SUMX01	WOXX02	요약 : X-ray 이벤트 X1 초과	R3	
SUMX10	WOXX02	요약 : X-ray 이벤트 X10 초과	R4	
SUMX20	WOXX02	요약 : X-ray 이벤트 X20 초과	R5	
Radio Burst Summaries				
ALTTP2	WOXX04	경고발생 : Type II 전파 방출		
ALTTP4	WOXX04	경고발생 : Type IV 전파 방출		
SUM10R	WOXX03	요약 : 10cm 전파 폭발		
지자기 경고, 경고발생, 및 주의				
WARSUD	WOXX10	경고 : 지자기 급격 충격 예기		
SUMSUD	WOXX10	요약 : 지자기 급격 충격		
WARK04	WOXX13	경고 : 지자기 K 지수 4 예기	G1	경고 확대
WARK05	WOXX11	경고 : 지자기 K 지수 5 예기	G2	경고 확대
WARK06	WOXX12	경고 : 지자기 K 지수 6 예기	G3 or	경고 확대
WARK07	WOXX14	경고 : 지자기 K 지수 7, 8, 9 예기	greater	경고 확대
ALTK04	WOXX13	경고발생 : 지자기 K 지수 4	G1	
ALTK05	WOXX11	경고발생 : 지자기 K 지수 5	G2	
ALTK06	WOXX12	경고발생 : 지자기 K 지수 6	G3	
ALTK07	WOXX14	경고발생 : 지자기 K 지수 7	G4	
ALTK08	WOXX15	경고발생 : 지자기 K 지수 8	G5	
ALTK09	WOXX16	경고발생 : 지자기 K 지수 9		
WATA20	WOXX20	주의 : 지자기 A 지수 20 또는 그 이상 예측		
WATA30	WOXX21	주의 : 지자기 A 지수 30 또는 그 이상 예측		
WATA50	WOXX22	주의 : 지자기 A 지수 50 또는 그 이상 예측		
WATA99	WOXX23	주의 : 지자기 A 지수 100 또는 그 이상 예측		

전자 플럭스 경고발생				
ALTEF3	WOXX30	경고발생 : 전자 2MeV 집적 플럭스 1000pfu 초과		
양성자 플럭스 경고, 이벤트 경고발생, 이벤트 요약				
WARPX1	WOXX32	경고 : 양성자 10MeV 집적 플럭스 10pfu 초과 예기	S1 to S5	경고 확대
ALTPX1	WOXX32	경고발생 : 양성자 이벤트 10MeV 집적 플럭스 10pfu 초과	S1	경고발생 유지
ALTPX2	WOXX32	경고발생 : 양성자 이벤트 10MeV 집적 플럭스 100pfu 초과	S2	경고발생 유지
ALTPX3	WOXX32	경고발생 : 양성자 이벤트 10MeV 집적 플럭스 1000pfu 초과	S3	경고발생 유지
ALTPX4	WOXX32	경고발생 : 양성자 이벤트 10MeV 집적 플럭스 10000pfu 초과	S4	경고발생 유지
ALTPX5	WOXX32	경고발생 : 양성자 이벤트 10MeV 집적 플럭스 100000pfu 초과	S5	경고발생 유지
SUMPX1	WOXX32	요약 : 양성자 이벤트 10MeV 집적 플럭스 10pfu 초 요약 : 양성자 이벤트 10MeV 집적 플럭스 100pfu 초과	S1	
SUMPX2	WOXX32		S2	
SUMPX3	WOXX32	요약 : 양성자 이벤트 10MeV 집적 플럭스 1000pfu 초과	S3	
SUMPX4	WOXX32	요약 : 양성자 이벤트 10MeV 집적 플럭스 10000pfu 초과	S4	
SUMPX5	WOXX32	요약 : 양성자 이벤트 10MeV 집적 플럭스 100000pfu 초과	S5	
WARPC0	WOXX31	경고 : 양성자 100MeV 집적 플럭스 1pfu 초과 예기		경고 확대
ALTPC0	WOXX31	경고발생 : 양성자 이벤트 100MeV 집적 플럭스 1pfu 초과		경고발생 유지
SUMPC0	WOXX31	요약 : 양성자 이벤트 100MeV 집적 플럭스 1pfu 초과		

마. 지자기 K 지수

지자기 K 지수는 한시간에 15분씩 4번에 걸쳐 업데이트를 하고 있다. 지자기 데이터는 중위도에 위치한 볼더, 콜로라도와 Fredericksburg, 버지니아, 그리고 고위도에 위치한 알래스카에서의 관측 데이터를 결합하여 K 지수를 결정하고 있다.

- K 지수 Warnings : 볼더 K 지수가 4, 5, 6, 그리고 7 또는 그 이상의 값이 기대될 때 Warning 보고됨.
- K 지수 Alerts : 볼더 K 지수가 3시간의 주기로 4, 5, 6, 7, 8, 또는 9의 값에 이르렀을 때 Alert 보고됨.

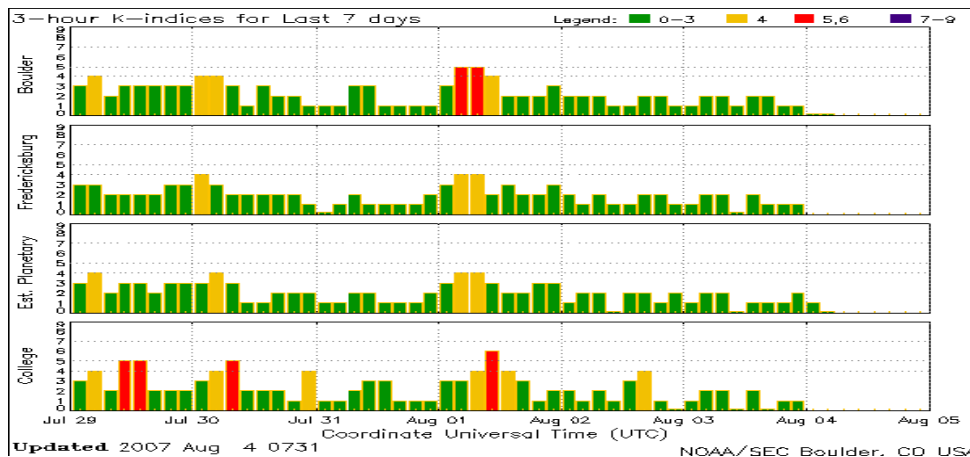


그림 6 7일간의 3시간 평균 K 지수

바. 지자기 A 지수

지자기 A 지수는 한시간에 15분씩 4번에 걸쳐 업데이트를 하고 있다. 지자기 데이터는 중위도에 위치한 볼더, 콜로라도와 Fredericksburg, 버지니아, 그리고 고위도에 위치한 알래스카에서의 관측 데이터를 결합하여 A 지수를 결정하고 있다.

- A 지수 Watches : Fredericksburg, 버지니아(중위도)에서 관측된 A 지수값이 20, 30, 50, 또는 100이 예상될 때 보고됨.

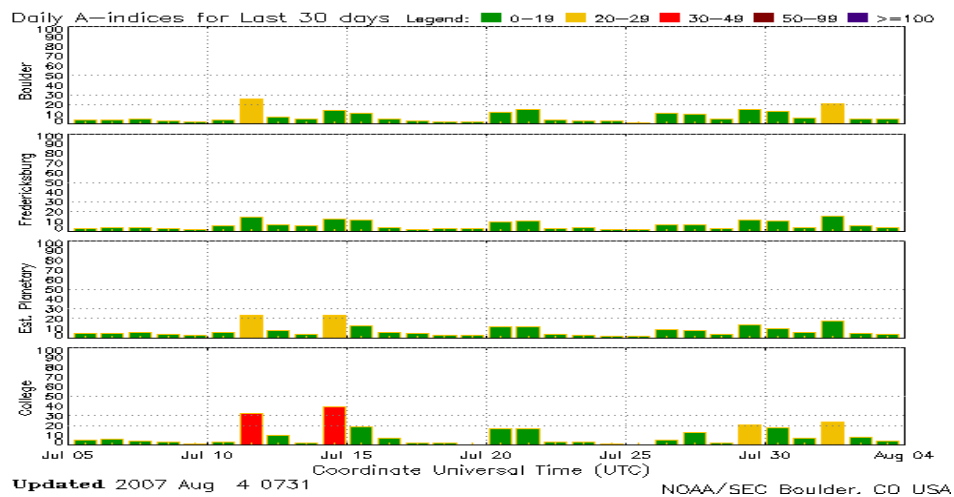


그림 7 지자기 A 지수

사. D층 흡수 예보

○ 이온층의 D 층(50-90 km 고도)

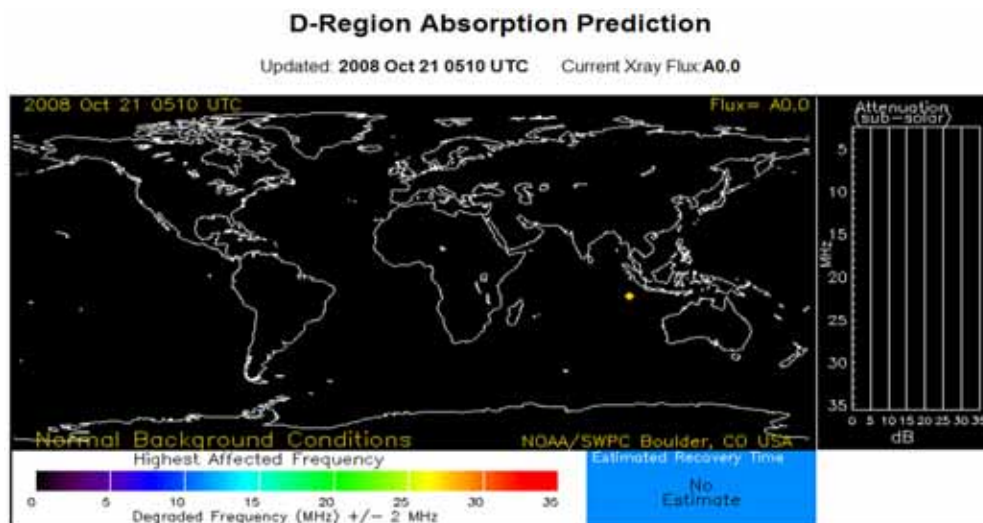


그림 8 D층 흡수 예보

아. GOES 자력계 : 매분마다 자동으로 업데이트 된다.

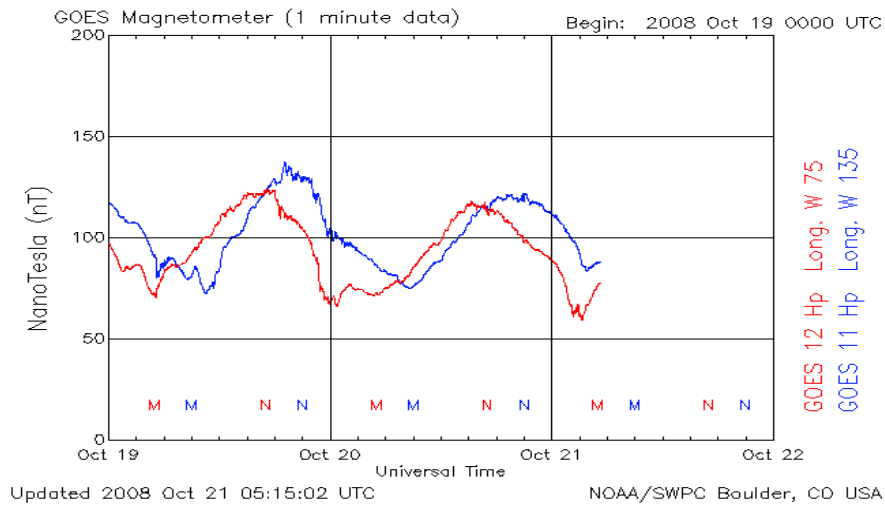


그림 9 GOES 위성 자력계 자료

○ GOES 전자 > 2 MeV 집적 플럭스

GOES 11과 GOES 12 위성의 전자 집적플럭스 값이 0.6MeV와 2MeV와 같거나 큰 경우 5분마다 자동 업데이트 된다.

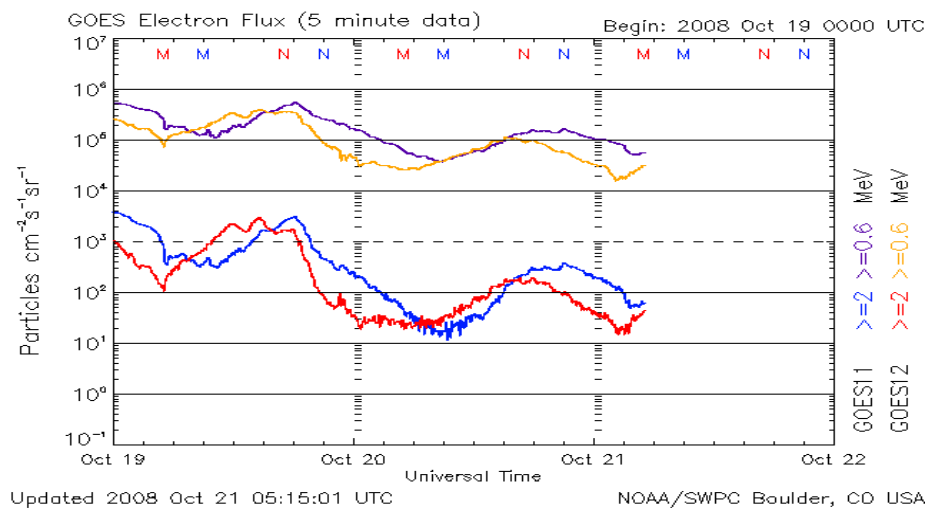


그림 10 GOES 위성 전자 플럭스

○ GOES 양성자 >10 MeV, 100 MeV 집적 플럭스

양성자 플럭스는 GOES-11 위성에서 10, 50, 그리고 100MeV 이상의 에너지 경계값을 5분마다 평균 집적 양성자 플럭스를 포함하고 있다. 큰 입자 플럭스는 위성의 SEUs(single event upsets)와 연관이 있다.

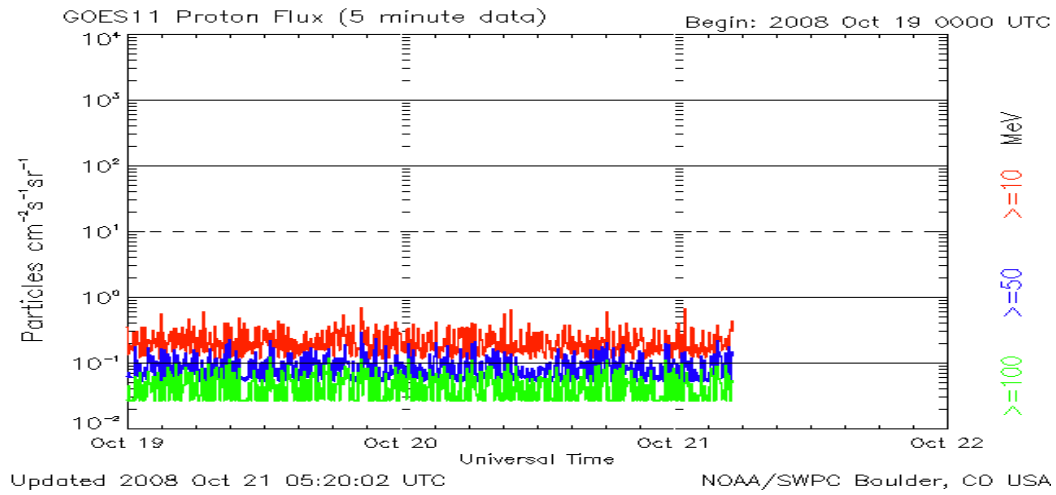


그림 11 GOES 위성 양성자 플럭스

붙임 6. IRF 상세 수행업무

1. 스웨덴 IRF(Institut for RymdFysik)

IRF (Institut for rymdfysik; 스웨덴 우주물리 연구소, Swedish Institute of Space Physics)는 스웨덴 왕립 과학아카데미 산하 소속 정부 출연연구소로서 직원들은 모두 공무원 신분이다.



그림 1 IRF 홈페이지 메인화면



그림 2 스웨덴 우주물리 연구소의 구성

가. 주요업무

(1) 우주환경감시를 위한 지상관측

(가) Ionozone, riometer, magnetometer, all-sky camera, MST radar 등의 장비를 이용하여 이온층 및 지구자기장 관측, 오로라 광학 관측 및 전파관측 등을 정기적으로 수행하고 있음.

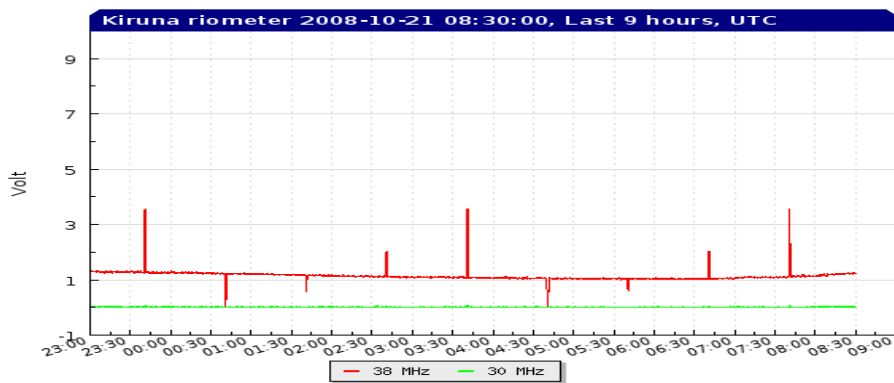


그림 3 키루나 riometer 자료

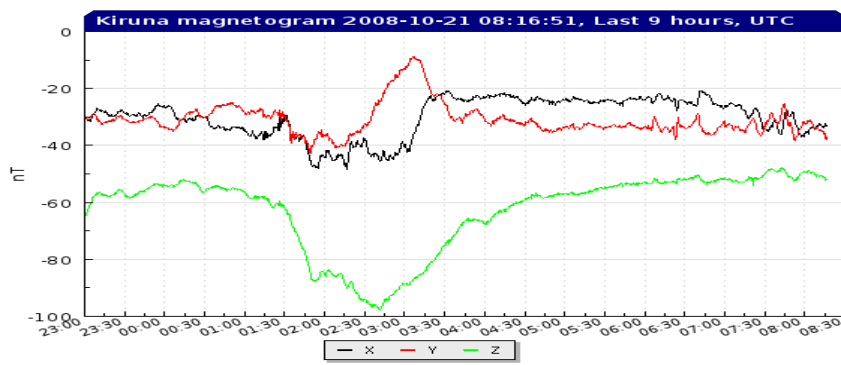


그림 4 키루나 자력계 자료

(나) 특히 MST radar 관측은 인도와 공동으로 수행하고 있는 것으로서 키루나, 남극, 인도 등 3군데에서 관측함.



그림 5 MST Radar, (상) 키루나, (중) 남극, (하) 인도

(2) 우주환경감시를 위한 우주관측

- (가) 1968년 ESRO-1에 처음으로 스웨덴 우주관측장비를 탑재한 이후로 1986년 바이킹, 1992년에 프레야, 1995년, 1998년에 ASTRID-1 & 2 위성 그리고 2000년에 무닌위성까지 자체적으로 개발한 장치를 위성에 탑재하여 우주환경 관측을 수행하여 왔음.



그림 6 (좌) ESRO-1, (우) Viking

- (나) 대부분 우주관측은 스웨덴 우주공사(Swedish Space Corporation)와 공동으로 수행하는데, 위성 외에도 사운드링 로켓(Sounding Rocket), 기구 관측(Balloon observation)도 굉장히 빈번하게 수행하고 있음.
- (다) 위성 프로그램은 많은 경우 ESA와 NASA의 프로그램에 참여하는 형식으로 진행하며, 많은 국가가 참여하는 국제적 프로그램에도 활발히 참여함.
- 그동안 참여한 ESA/NASA 프로그램은 카시니(1997), 클러스터(2000), Mars Express(2003), 로제타(2004) 등이 있음
 - 국제 프로그램으로는 스웨덴 IRF, 일본 JAXA외에 13개 국가가 참여한 ASPERA project가 있음

- 향후에는 인도의 찬드라얀(2008), 러시아의 포보스(2009), 중국의 Ying-Hua(2009), 그리고 일본/ESA의 BepiColombo(2013)에 참여 예정임.

(3) 스웨덴의 우주환경 예보서비스 현황

- 스웨덴은 ISES의 지역경보센터(RWC Regional Warning Center) 중의 하나로서, 예보프로그램 개발 및 예보서비스는 IRF-Lund에서 수행.



그림 7 스웨덴 IRF의 예보 시스템

- 미국의 스탠포드대학과 협력하여 SOHO project를 통해 입력되는 각종 이미지와 지수 등을 포함한 현재의 태양활동을 소개하고, 타 기관과 비교하여 태양활동을 예보.
- 오로라 현상, 위성 anomaly, 지자기 활동(Dst, Kp 지수)과 GIC(Geomagnetic Induced Currents) 등 지자기 관련 사항을 직접 예보·발표함.
- 현재 우주환경 예보는 약 30분 정도 이전에 하고 있으나 전력회사 등에서는 약 2~3일 이전에 경보를 주길 원하며, Two-Phase Approach를 취할 수 있는데 첫 번째 단계에 Early Warning을 준 후 두 번째 단계에 예보.

- ESA의 ISAC 프로젝트에 참여하여 태양활동주기가 지구의 기후에 미치는 영향을 연구함.
- 주로 전력회사(Power Companies)가 주요고객이 되어왔으며, 향후에는 군(military)도 주요 고객이 되고 있음.

(4) 예보 프로그램의 개발

- 스웨덴은 대부분의 프로그램을 처음부터 자체개발 해 옴.
- 기존에 개발된 상업용 프로그램을 사용하는 것은 향후 업그레이드와 유지 보수가 매우 힘들어질 것임. 또한 각 나라마다 입력 데이터가 다르게 되면 사용이 불가능할 수도 있음. 그러므로 scratch 모델(처음부터 직접 개발하는 모델)부터 개발하는 것이 바람직함.

(5) 위기관리 체계

- 스웨덴은 법률적 구속이 없고, 수요기관의 자발적인 조치에 의해 관리되고 있음.
- EU 등에서 규제 작업을 시작하고 있긴하나, 정부 규제는 아직 구체적인 법제화가 없었고 일부에서 Cosmic Ray에 대한 DOSE를 바탕으로 비행규제는 시작하고 있음.
- 대부분의 규정들은 EU에서 관리하므로 개별 국가들은 자체 위기관리체계를 운영하지 않아 보임.

붙임 7. 유럽 주요 연구소 상세 수행업무

1. 유럽 ESA

1975년에 설립되어 프랑스 파리에 본부를 두고 있는 유럽 우주청(ESA)은 EU통합과 함께 우주환경 분야에서도 국가 단위보다는 EU 전체로 활동을 하고 있다. 특히 우주환경 자료 및 정보들이 미국 주도하에 움직이는 것에 반하여 독자적인 우주환경예보 능력 소유와 독자적인 우주전파 환경정보 시스템을 구축·운영하려는 방향으로 진행을 하고 있으며, 유럽의 우주산업을 발전시키고, 지속적인 투자가 유럽 각국에 이익을 가져다 줄 수 있도록 보장하기 위한 목적으로 연구를 수행하고 있다. 유럽은 미국에 비해 후발주자이지만, EU 가입 국가들간의 조직적인 역할 및 비용 분담을 통하여, 우주환경 관측 위성 제작, 센터 수립, 연구 분야 등에 많은 투자를 하고 있다.

가. 주요 working group 및 활동

(1) Space Environments And Effects Section

(가) 목적 : 우주환경(고에너지 입자복사, 플라즈마, 대기 등)에 대한 해석과 연구 및 우주환경이 위성 등에 미치는 영향 분석

(나) 연구 내용

- 우주 복사 환경(태양복사, 반 알렌 벨트, 우주선)과 위성 및 우주인에 미치는 영향
- 우주 플라즈마 환경에 의한 영향(우주선 표면과의 상호 작용, 정전기 발생, 태양전지판 등)
- 우주공간상 미세 입자에 의한 영향

- 지구 및 행성 대기 모델 개발

(다) 소속 : ESTEC 기술센터(네덜란드 Noordwijk 소재)

(라) 매년 European Space Weather Week 회의 개최

(2) ESA Space Weather Working Team(SWWT)

SWWT는 우주환경에 관련된 분야 전문가들의 포럼으로 ESA의 우주환경관련 전략을 세우는데 중요한 역할 수행

(가) 구성 : 우주 개발 및 연구 관련 전문가 100여명

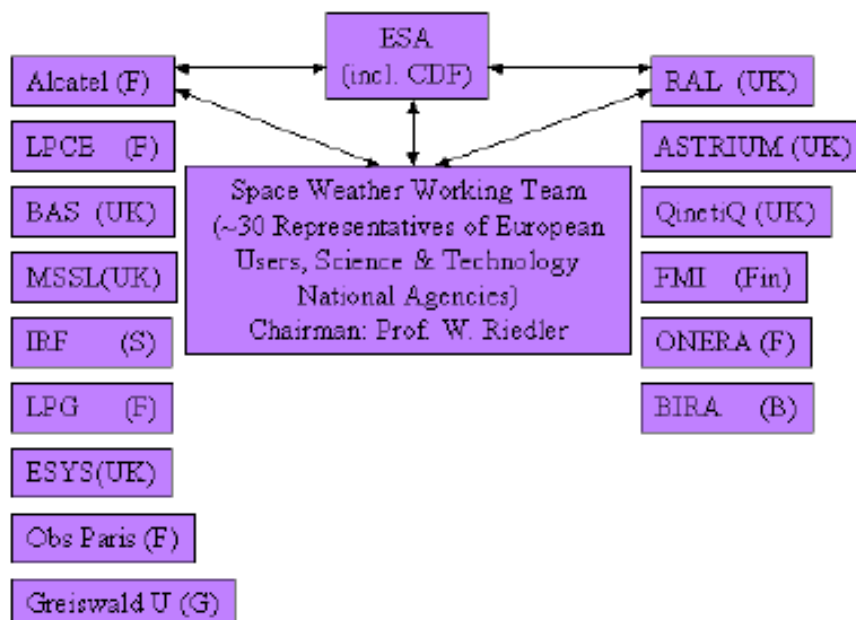


그림 1 ESA 조직 구성

(나) 역할

- 국가 및 기업 차원에서 유럽 우주환경 업무 증진 및 조정

- EU, ESA 등 다른 기구 및 조직 간의 협력 추진
- 과학계 및 사용자 단체 의견 전달 및 ESA 자문
- 6개월 마다 회의 개최

(다) 구성 : 6개 분과

- 태양-지구간 환경에 대한 기초 연구
- 우주환경 변화에 의해 발생된 유도전류 등이 지상에 미치는 효과
- 우주 개발 시스템에서 대기가 미치는 영향
- 전리층 변화 연구
- 우주환경 변화가 우주선 및 항공기에 미치는 영향
- 우주환경 관련 교육 및 홍보

(3) SWENET(Space Weather European Network)

- ESA 우주환경 데이터 제공 네트워크로 모든 관련 데이터 보관
- ESA의 우주환경 응용 개발 프로젝트의 일환으로 추진됨
- 48시간 후의 지자기 변화 예측 및 유럽지역 전리층 전자밀도 실시간 지도, 유럽 지역 경보 센터 실시간 정보 등 제공
- ESA 우주환경 웹 서버 운영

(4) Space Weather Applications Pilot Project

(가) 목적 : 유럽 우주환경서비스 이용자에게 관련 정보 제공

- 우주환경 관련 이용자들을 위한 서비스 개발 활동
- 서비스 개발 활동을 위한 네트워크 및 관련 기반 제공
- 우주환경 연구 및 서비스에 대한 자산 가치적 평가

(나) 활동 내역

- SWENET 구축 및 운영
- 전리층에 관한 정보를 HF 및 GPS 사용자에게 제공
- 지자기 변화 자료를 전력회사, 군, 송유관 회사에 공급
- 우주선 및 발사체 개발자, 운용자에게 관련 자료 제시
- 우주환경 관측 자료의 학술적 이용 토대 마련

(5) European Space Weather Programme

(가) 목적

- 우주환경변화 관측 필요성, 이득, 실천 계획에 대한 조사

(나) 연구 공동 수행자

- Rutherford Appleton Laboratory(RAL), 영국
- Qinetiq(Defence Evaluation and Research Agency), 영국
- EADS(European Aeronautic Defence and Space Company)
Astrium, 프랑스
- Finnish Meteorological Institute, 핀란드
- ONERA(The French Aeronautics and Space Research Center, 프
랑스
- Belgian Institute for Space Aeronomy, 벨기에

(다) 추진 계획

- ESA Space Weather Outreach Center 구축

- 목적 : 우주환경 및 우주환경이 기술과 인류 사회에 미치는 영향에 대한 사람들의 인식 개선

- 기능

- 우주환경에 대한 정보와 온라인 데이터 제공
- 유럽인의 우주환경에 대한 중요성 인식 제고
- 우주환경에 대한 인식 확산을 위한 다양한 지원

○ 우주환경 지상 관측망 구성

- 현황 : 지상 관측 장비 개수 = 99개

(유럽의 우주환경 관측 장비 총수 = 222개)

- 구성 : 태양 관측용(23%), 전리층(34%), 지상 효과(37%)

- 목적 : 우주환경 관측 데이터 공동이용 및 장비 공동 개발

- 기능

- 유럽 우주환경 지상관측장비에 대한 개발 및 유지
- 관련 지식 및 아이디어 교환
- 지상 관측 장비의 공공, 학술, 상용 목적 활용 방안 연구

○ 우주환경연구그룹

- 목적 : 우주환경의 과학적 연구 발전

- 우주환경 기본 연구 주제

- 태양으로부터 대량의 물질 방출을 일으키는 조건
- 태양으로부터 지구까지 물질 전달 과정
- 지구 및 복사대(Radiation Belt)에서 에너지 입자 가속
- 지구 자기권 재결합(reconnection) 현상
- 자기폭풍과 같은 지구자기권 운동
- 우주환경 변화가 중성 대기에 미치는 영향

- 기능

- 지식향상을 위한 우주환경 분야의 주기적인 학술 리뷰 space weather와 학술적 연구와의 결합
- 연구 결과에 대한 보고서 발간

○ 우주환경개발그룹

- 목적 : 유럽 내 우주환경연구 활동 지원
- 기능
 - 우주환경 서비스 개발 지원
 - 우주환경 데이터 취급 표준안 마련
 - ESA 미션 수행 중 수집된 데이터 제공
 - 우주환경 서비스 프로그램 개발

(6) CESWI(The Central-European Space Weather Initiative)

(가) 개요

- 배경 : 중부 유럽 이니셔티브 참여 17개국 중 11개국(2 EU, 9 비 EU)이 상호 우주환경관련 공동 관측 및 데이터 공유 등을 추진
- 목적 : 태양-지구간 우주환경 관측 기술 개발
우주환경 모델 개발
지구에 미치는 영향 예보 추진

(나) 프로젝트 구성

- The Central-European Solar-Terrestrial Network(CESTNET)
- The Central-European Solar-Terrestrial Surveillance(CESTS)
- The Central-European Solar-Terrestrial Archive(CESTA)

(다) 관심 분야

- 과학 : 태양, 우주환경, 지구 물리
- 응용 : Space Agency, Telecommunication Companies
- 기술 : Software, Hardware, Telecommunication Companies
- 교육 : 학교, 대학, 공공교육 복지

(라) 파급효과

- 과학 : 태양, 우주환경, 지구 물리 분야에 대한 활발한 연구
- 응용 : 태양 및 우주환경 연구 기법의 다양화, 우주환경변화 예측 기법 마련, 실시간 데이터 처리를 통한 정보기술 발전, 관측 정보 제공 및 데이터 관리 기법 향상
- 기술 : 실시간 관측기술 개발, 데이터 처리 기술 향상, 원격지간 정보 교환 기술 개발, 실시간 데이터 제공 기술, 네트워크 보안기술 향상
- 교육 : 미래의 과학 인적 자원 개발, 과학 교육 개발

(마) 현황 : 11개국 19개 연구기관 참여

- Austria, Italy, Czech, Hungary, Croatia, Poland, Romania, Slovakia, Slovenia, Ukraine, Yugoslavia

다. 우주전파환경 연구

(1) 태양 및 행성간 공간

SOHO에서 받은 이미지(5분 간격 태양 X-ray 플럭스, 고에너지 양성자 플럭스, 흑점의 개수, 최근 태양 이벤트 등)를 확인할 수 있다.

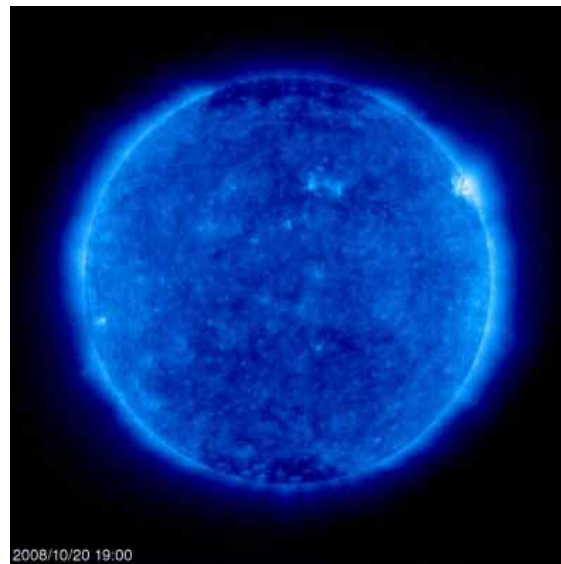


그림 2 SOHO 위성의 EIT 171 Å 이미지

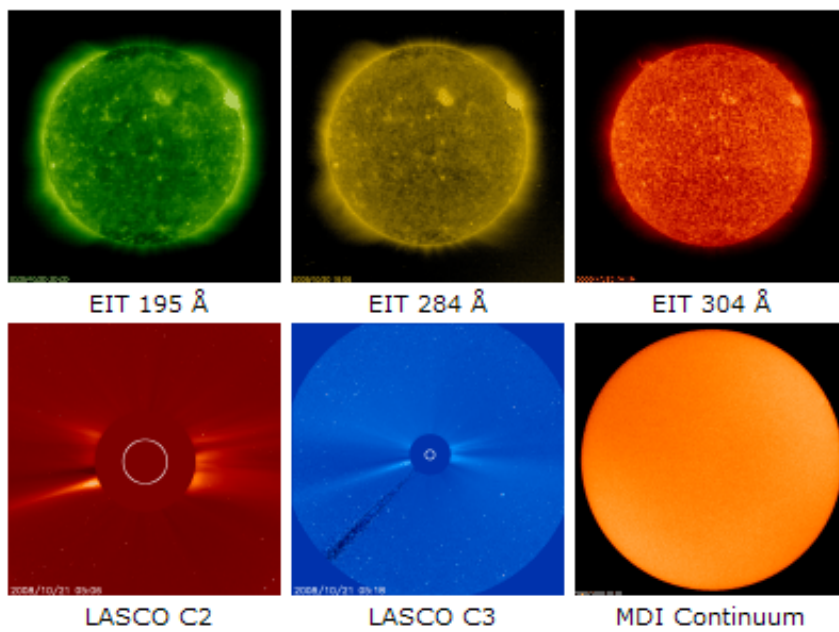


그림 3 SOHO/MIT의 다른 파장 이미지

(2) 자기권

- GOES 위성에서 받은 데이터를 바탕으로 고에너지 입자 (2Mev 이상의 전자, 1, 10Mev 이상의 양성자) 플럭스를 제공한다.
- Ap 지자기 지수, Kp 지수의 변화를 볼 수 있다.
- 실시간 자기권계면, bow-shock 모델을 확인할 수 있다.

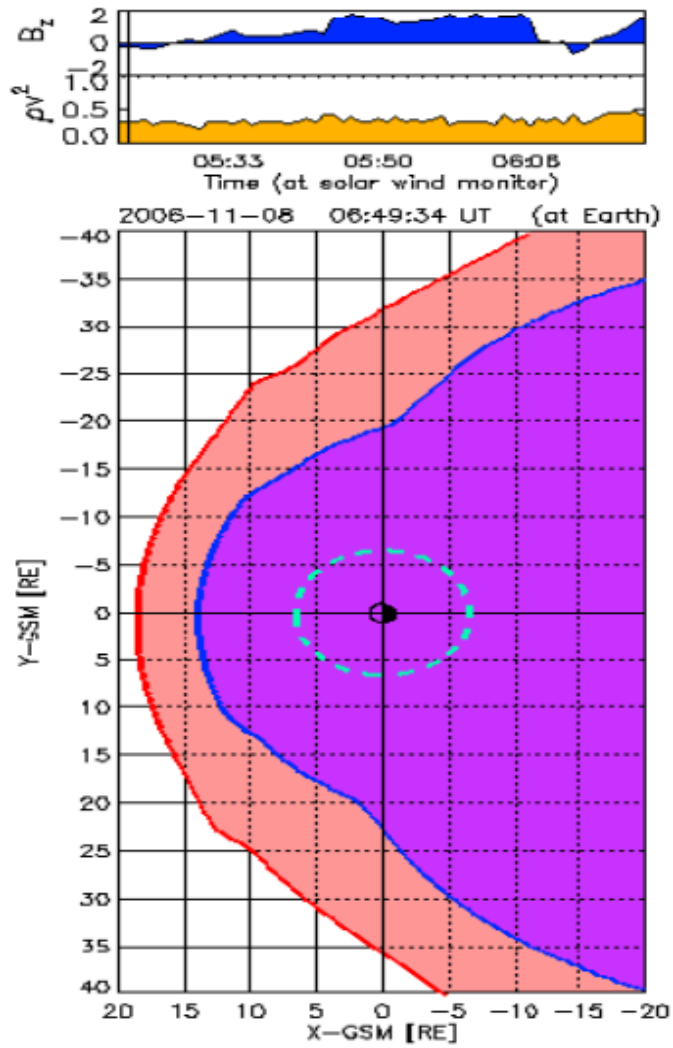


그림 4 지구의 북극 위에서 바라본 bow-shock 모델

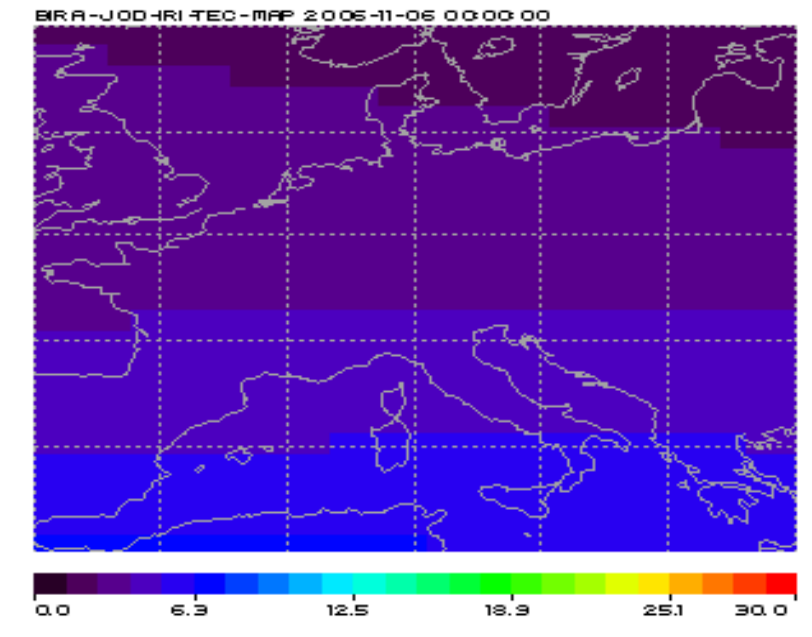


그림 5 ESA 제공 TEC

(3) 기타 정보 서비스

(가) 우주전파환경 관련 변수

- NOAA/SWPC : 양성자와 전자 플럭스, GOES Hp, Kp 지수
- GOES X-ray 플럭스
- SOHO/CELIAS/SEM : X-ray 플럭스
- NOAA/POES : 오로라 현상
- ACE : 실시간 Dst 지수, 실시간 태양풍
- SOHO/ERNE : 고 에너지 양성자 플럭스
- SOHO/CELIAS/MTOF : 양성자 모니터링

(나) 우주전파환경 예·경보 사이트

- Space weather center : 태양의 주기, 활동, 태양풍 및 자기 폭풍

예보, 매일의 우주환경예보 등을 실시하고 있다.

- Aurorawatch : 영국의 York 대학에서 운영하고 있으며 오로라 정보와 지자기 폭풍 등의 활동을 관측하여 실시간으로 보여준다.
- Solar weather conditions : SOHO의 태양 이미지와 양성자, 전자, 흑점 수 등을 실시간 모니터링하고 있다.

라. 우주전파환경 서비스 및 예·경보 현황

- 고위도 극지방, 오로라 지방의 전리층 예보
- 저위도 적도지방의 전리층 예보
- 중위도 전리층 예보
- 우주와 지구의 통신 관련 교란 경고
- 지자기 활동 경고
- 코로나 질량 방출(CME) 관측 정보
- X-ray 플레어 관측 정보
- GPS 정확도 정보
- 모든 조용한 정보의 시작과 끝점

마. 기타 유럽 소재 각국의 연구 기관

(1) 그리스

- National Observatory of Athens (NOA), National and Kapodistrian University of Athens (NKUA) 등 7개의 관련 연구소와 대학이 활동
- 태양 활동과 영향, 전리층 연구

(2) 영국 RAL (Rutherford Appleton Laboratory)

- Space Weather 모니터링 및 전리층 관련 연구

(3) 러시아 우주연구소(IKI)

- 고에너지 천체물리연구 (High Energy Astrophysics)
- 행성탐사 연구 (Planetary Exploration)
- 우주플라즈마 물리연구소 (Space Plasma Physics)
- 위성궤도 역학연구 (Satellite Situation Center)
 - 위성궤도 계산을 기초로 위성궤도 환경분석 연구
 - 위성궤도 및 위치상태 예측연구
- 우주전파환경 감시 (Environment Monitoring)
- 우주전파환경정보 시스템 (Information System) 운용

(4) 핀란드 Oulu 대학 우주물리 연구팀

- 전리층/ 자기권 물리연구, CASSINI 위성을 통한 태양풍 및 타 행성 관측

(5) 벨기에 기상 및 항공 관측소(OME) 우주항공연구소 (BIRA-LASB)

- 우주물리 및 환경영역의 balloon, rocket 및 위성 borne 실험, 측정

(6) 프랑스 RWC 센터

- 우주전파환경 관련자료 제공, 예보

표 1 유럽 주요국가의 우주전파 연구기관 현황

국가	기관명	설립 연도	주요 기능	연구 인력
영 국	Rutherford Appleton Laboratory	1921	우주개발, 우주전파환경예보, 관측업무 수행	1200명
스웨 덴	Swedish Institute of Space Physics	1957	우주물리, 관측업무 수행	80명
그리 스	National Observatory of Athens	1960	우주전파 환경예보, 관측업무 수행	30명

※ 영국의 경우 100여명의 조직이 우주전파환경 연구업무를 수행

붙임 8. IPS의 상세 우주환경 예·경보 및 서비스

1. 호주 IPS(Ionospheric Prediction Service)

호주의 우주기상 서비스는 호주 정부의 산업 관광자원부 소속인 IPS 전파 우주국에 의해 제공된다. IPS는 호주 우주기상 예보센터를 관리·운영하며, 우주 환경 변화로부터 영향을 받는 다양한 분야의 많은 사람들에게 광범위한 서비스를 제공하고 있다. 이 서비스를 제공하기 위해 IPS는 호주 전 지역에 태양, 지자기 및 이온층의 상태를 감시하는 관측소망을 갖고 있고, 여기에 호주 동부의 쿨구라에 위치한 태양관측소와 호주 서부의 리어만스 태양관측소(미 공군과 공동으로 관리)가 포함되어 있다. IPS는 우주기상상태를 지속적으로 감시하는데, 필수적이고 광범위한 국제 자료에 접근할 수 있다. IPS 우주기상 서비스는 팩스나 전자메일로도 제공되지만, 대부분이 인터넷 국제전산망인 월드 와이드 웹을 통해 고객에게 제공된다.

가. IPS의 주요업무

IPS 전파 우주국은 적시에 신뢰할만한 전파 통신상태 및 우주날씨 안내를 호주 사회에 제공하는 것을 목표로 하고 있다. 그 목표를 달성하기 위해 IPS는 방위, 통신, 항공, 지구탐사, 우주활동 국내외 과학계에 있는 공적, 사적 분야의 고객들을 위한 포괄적인 서비스를 하고 있다.

1949년에 설립되었을 당시에 대부분 단파통신 지원업무만 수행했었고, 현재에도 단파 사용자들이 IPS의 중요한 고객이 되고 있다. 최근 들어서는 방위군과 긴급서비스 고객들이 특히 증가하고 있고, 사회 전반에 걸쳐 많은 단체들이 IPS 서비스의 중요한 사용자가 되고 있다.

(1) 우주환경 관련업무

- 우주환경 예·경보 업무
- 태양 플레어 활동, 태양폭발 등의 감시
- ACE, GOES, SOHO 위성 등의 자료분석을 통해 실시간 우주기상 경보 발령 및 웹, E-mail 등을 통하여 관련 정보 제공
- 태양 및 우주환경 관측시설 개발 및 운영
- 지상·위성관측 자료분석 및 우주기상 보고서 발간
- 우주기상 주의보, 경보 및 예보 서비스 실시
- 우주기상 교란 요인분석 및 연구
- 우주기상 사용자에게 대한 교육
- WDC에서 데이터 분석 틀을 개발하여 태양 활동의 물리적 이론 연구 및 모델 개발
- 지자기권 변화, 고에너지 입자 등에 대한 지속적인 관측

(2) 데이터베이스 시스템 운영

- 우주환경 예보서비스 총괄을 위한 국제 우주환경 서비스(ICES)와 협력을 하며 데이터 공유 및 정보 제공
- ICES의 호주 지역정보센터(RWC) 운영
- 호주 ASFC(Australian Space Forecast Center)에 태양관측자료, 전리층 자료 및 지자기 자료 등의 데이터베이스를 구축하여 운용

(3) 우주환경 영향 및 경보 발령

- 태양풍에 의한 지구자기장 교란에 따른 지자기 폭풍의 영향 분석 및 경보 발령
- 태양 고에너지 입자에 의한 지구 주변의 방사능 피폭에 따른 태양 복사풍(Solar Radiation Storms) 영향 분석 및 경보 발령
- 태양 X-ray에 의한 전리층 교란에 따른 전파통신 장애(Radio Blackouts) 영향 분석 및 경보 발령

(4) 주요 고객

- 방위부, 호주 항공부, 호주 교통부, 호주 세관, 호주 해상 안전국, 호주 라디오 방송, 국가 경찰 비상국, 콰타스·안셋 및 여타 항공사
- 뉴질랜드, PNG(파푸아 뉴기니아) 방위군
- Optus 통신, Telstra(호주 텔레콤 Telecom Australia)
- 지구탐사 관련 기업

나. IPS가 제공하는 우주기상 관련 서비스



그림 1 IPS 홈페이지에서 제공하는 서비스화면

(1) IPS 제공 서비스 종류

- 현재의 태양 현황

- 지구 물리학적인 현황
- HF 전파 현황
- 이온층의 현황
- 전체 전자량 현황

(2) IPS의 관측 네트워크 : IPSNET

- 호주와 주변 지역, 그리고 남극대륙을 연결한 Ionosonde 18곳
- IPS + 호주 지질조사 자력계 11곳
- Learmonth 태양 관측소(미공군과 공동연구)
- 쿨구라 태양 관측소

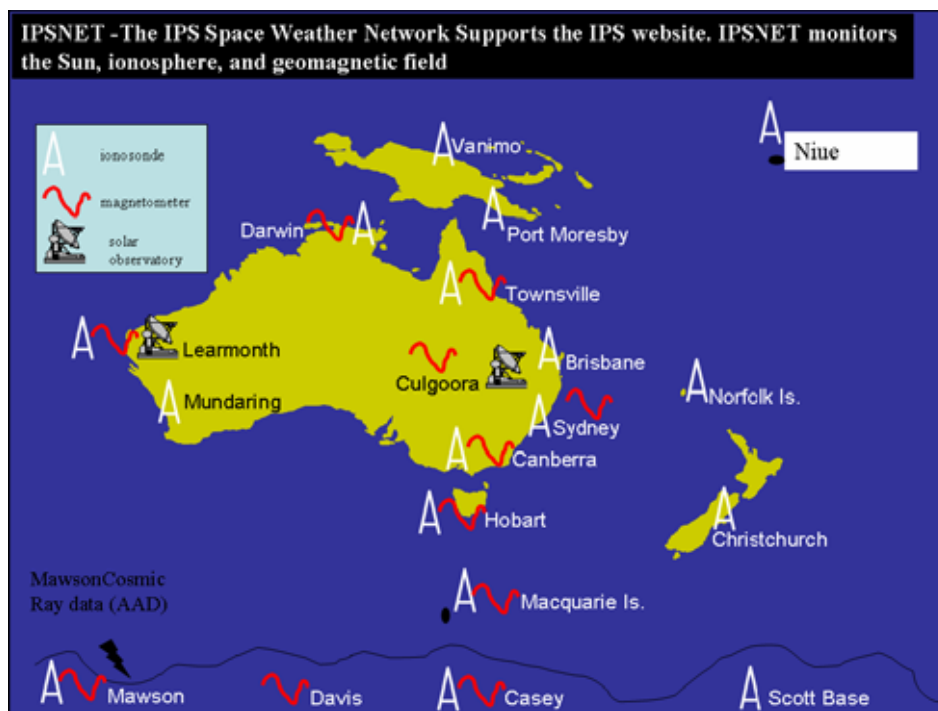


그림 2 IPSNET

(3) URSI 활동그룹 업무

IPS는 INAG(Ionosonde Network Advisory Group)를 운영하는 데 이는 URSI (Union Radio-Scientifique Internationale) 위원회 G의 활동그룹 1이고 다음과 같은 책무를 가진다.

- ionogram 분석 방법 상의 정보 수집
- ionogram 분석을 위한 협의회 유지
- 의제들의 토론을 위한 포럼 준비
- 전세계 이온층 기후학의 보존 상태

태양지구과학에 대한 전세계 데이터 센터(WDC-STs)는 호주의 시드니에 위치하고 있고, IPS가 운영하고 있다. WDC는 태양과 이온층 데이터를 모두 보관하는 곳이며, NOAA-SWPC SPIDR 시스템에서 한 중심점으로서 운영된다. IPS가 1949년에 설립되었을 때, 그 서비스의 주 대상은 HF 시스템 이었는데, HF 항공 전파는 이온층의 전자 밀도 분포에 의존하기 때문에 IPS는 근실시간(Near Real Time)으로 이온층을 측정하기 위해서 음향기 네트워크를 개발하였다. 이를 토대로 IPS는 실시간 이온층 지도를 제공하는데, 호주와 주변지역 뿐 아니라 북대서양, 미국, 유럽 등에서도 이용할 수 있다.

IPS는 태양 활동에 따른 이온층 반응을 기반으로 한 태양 지수로서 T 지수를 사용하고 있으며, T 지수의 실시간 지도는 IPS 웹 사이트에서 이용 가능하다.

시간당 영역 예보(HAP) 차트는 특정 위치에 대해서 만들어지는 지도의 종류인데, 이 차트는 주어진 시간에 특정한 영역에서 HF 밴드 통신을 문제없이 이용할 수 있는 적절한 주파수를 알려준다. 이온층 데이터는 적절한 HF 시스템 매개체를 끌어내기 위해서 HF 통신 성능 모델에 적용된다. 실제 주어진 주파수에서의 성능은 적절한 작동 주파수에서도 매우 낮을 수 있는데, 이것은 성능이 떨어지는 안테나의 설치나 또는 낮은 송신기 파워와 노이즈 레벨의 상승 등의 요인에 의해 야기되는 낮은 SNR때문에 발생할 가능성도 있다. IPS가 이용하는 일반적인

모델은 ASAPS 모델이고, IPS가 제공하는 HAP 차트는 전세계의 특정한 곳에 대해 확인할 수 있으며 모든 곳에서 이용 가능하다.

국부 모바일 예보(LAMP) 차트들도 IPS 웹 사이트로부터 이용 가능하다. 이 형식은 선택된 기본 위치에서의 약 1000km 내에서 모든 사용자에게 대해 적절한 HF 주파수를 제공한다.

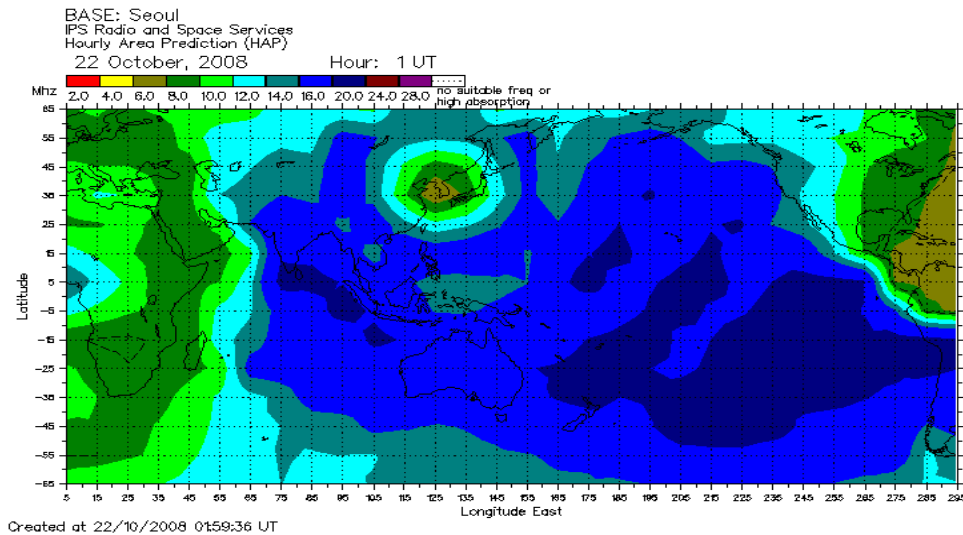


그림 3 IPS 제공 HAP 차트 - 서울

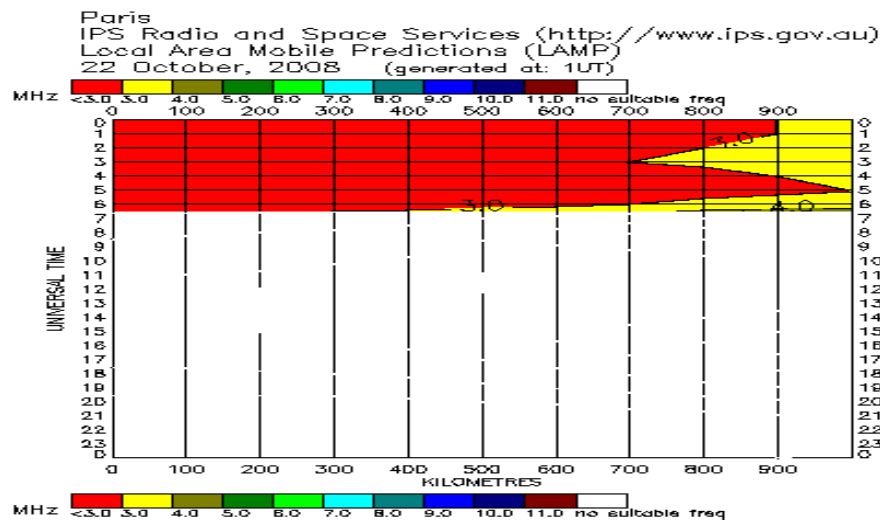


그림 4 IPS 제공 LAMP 차트 - 파리

(4) IPS 제공 이온층 실시간 맵핑

(가) Median Maps

IPS는 매달 foF2 메디언 전세계 지도를 갖는다. foF2의 세계지도는 각각 UT 시간(24)과 월(12) 그리고 유효한 흑점수(the IPS T index) T=0 과 T=100인 이온층의 두 레벨에 대해서 24X12X2=576 맵들이 존재한다. 이러한 맵들은 이온층 데이터로서 30년 이상동안 이루어져 왔다. 내삽법과 외삽법을 이용해서 이러한 맵들은 세계의 어떤 위치에 대해서도 foF2와 T 지수 사이의 관계로 주어진다.

(나) 실시간 맵핑 지역 :

표 1 호주에서 Ionosonde를 이용한 맵핑 위치

지 명	위 도	경 도
Vanimo	-2.7	141.3
Port Moresby	-9.4	147.1
Darwin	-12.5	131.0
Townsville	-19.6	146.8
Brisbane	-27.5	152.9
Norfolk Island	-29.0	168.0
Canberra	-35.3	149.0
Camden	-34.1	150.7
Hobart	-42.9	147.3
Christchurch	-43.6	172.8
Mundaring	-32.0	116.2
Mundaring	-21.0	115.0
Macquarie Island	-54.5	159.0
Casey	-66.3	110.5

각각의 위치(station)는 5분 간격의 실시간으로 자동 foF2 값을 제공한다. 각 위치에서 foF2의 중간값이 관측된 T 지수를 계산하는데 사용된다. 만약 어떤 지역의 이온층이 메디언 맵과 정확히 일치하는 T 지수들을 가진다면 그 위치는 동일할 것이다.

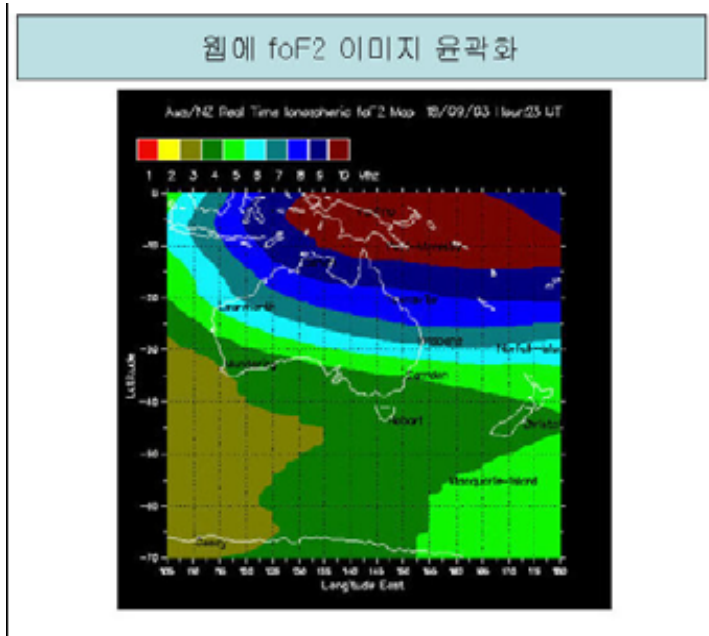


그림 5 Ionosonde를 이용한 실시간 맵핑

(5) IPS 제공 우주환경 정보 목록

(가) 현재의 태양 상태

- 태양풍 속도
- X-ray 플럭스
- X-ray 태양 폭발
- 분광 : 켈구라 관측소
- H-alpha : 켈구라 관측소

(나) 지구물리학적 상태

- 지자기 경고
- K 지수
- Pc3 지수
- GEOSTAT 경고발생
- 지자기 경고발생
- 오로라 경고발생

(다) HF 전파 현황

- HF 통신 경고
- HF 페이드아웃 사태 및 경고
- 극관 흡수 작용

(라) 이온층 현황

- 호주 주변 지역
- 북아메리카
- 유럽

(마) TEC 현황

- 호주 주변 지역
- 북아메리카
- 유럽
- 일본

다. 우주환경 서비스

(1) IPS의 SWPC 데이터 응용

SWPC 데이터	=>	IPS 응용
• GOES 10,11,12 X-ray 플럭스		• 플레어 경고발생, SWF 경고발생, ALF 예보, 플레어 이벤트 추출
• GOES 양성자 플럭스		• PCA 경고발생(riometer 복사흡수)
• POES 파워 지수		• 오로라 Oval 모델과 HF 예보
• ACE 태양풍		• 충격파 검출, 자기권 모델
• 아이노존테 데이터(*iono.txt)		• 세계 이온층 foF2 지도, IONEX format TEC 파일들
• 이벤트 파일		• 태양 X-ray 플레어 및 발생위치

※ 데이터는 SWPC로부터 자동 파일전송 (<ftp.sec.noaa.gov>)

(2) 웹 서비스

(가) 현재의 태양 상태 (Solar Conditions)

IPS 전파 및 우주서비스 센터에서는 현재 태양에 대한 여러 정보를 제공하고 있다. 그 내용은 태양풍 속도, X-ray 플럭스, X-ray 태양 폭발, 켈구라 관측소의 전파폭발을 관측하는 전파분광과 H-alpha 광학 이미지 등을 제공하고 있다. 먼저, 태양 표면의 활동을 관측함으로써 근 실시간 태양 전면의 활동영역을 매 10분마다 업데이트하고 24시간을 전후로 한 폭발적인 태양활동을 예보하고 있다. 태양의 활동에 따른 태양풍 속도와 행성간 자기장(IMF : Interplanetary Magnetic Field)은 ACE (Advanced Composition Explorer) 위성으로 관측한 데이터를 이용하고 있다.

ACE 위성은 태양과 지구 사이의 L1에 위치(지구에서 약 1.5×10^6 km 거리)에 있으며, 태양풍 속도, 밀도 및 자기장의 세기를 약 1시간 간격으로 데이터를 업데이트하고 있다. 또한 Culgoora 관측소와 Learmenth 관측소를 연결하여 태양의 전면상과 극부 활동영역 그리고 전파 플럭스 등을 실시간으로 관측하고 있다. 관측된 자료는 업데이트를 통해 일반인들과 메일링 리스트에게 제공하고 있다. 태양풍 속도에

대한 정보는 다음과 같이 10분 간격으로 업데이트하고 있다.

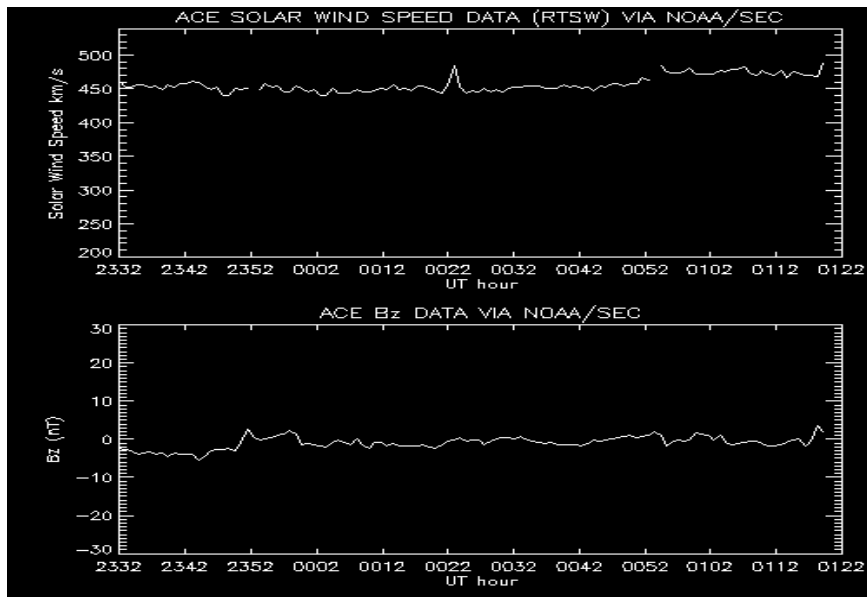


그림 6 ACE 위성에 관측된 태양풍 현황

Solar Wind Speed

Updates: every 10 minutes

Last updated 26 Jul 2007 02:33 UT

Solar Wind Parameters Used:

Date: 26 07 2007 0230 UT

Velocity: 304 km/sec

Bz: 1.0 nT

Density = 5.0 p/cc

Calculated Information from Solar wind parameters:

Magnetopause Stand Off Distance = 13.2Re

Solar Wind Dynamic Pressure Dp = 0.39nPa

(나) 지구물리학적 상태 (Geophysical Conditions)

IPS 전파 및 우주과학센터는 웹을 통해서 지자기 경고, K-Index, pc3 Index, GEOSTAT 경고발생, 지자기 경고발생, 오로라 경고 발생 등을 예보하고 있다.

○ 지자기 경고 (Geomagnetic Warning) :

우주환경은 태양으로부터 지구와 행성 간 공간을 지나가는 하전 입자들의 연속적 흐름인 태양풍의 속도 또는 밀도의 변화를 야기한다. 이러한 흐름은 지구의 자기장의 왜곡하는 원인이 된다. 태양풍의 동요는 지상 근처에서 측정되는 자기장의 세기와 방향의 변화의 주원인이 된다. 이러한 동적인 매개체의 갑작스럽고 큰 변화를 지자기 폭풍이라고 한다. IPS 전파 및 우주과학센터에서는 이러한 지자기 활동이 증가함에 따라 지자기 경고를 하고 있다.

No
Warning

↔

Warning

Last updated 08 Aug 2007 12:00 UT

08 08 07 1200UT: NO IPS GEOMAGNETIC WARNING IS CURRENT

○ K-Index

Index의 각 등급은 호주 전역에 대한 자력계로 관측된 자기장의 수평성분과 관련되고, 하루 3시간 주기로 최대 동요값(maximum luctuations, nT: nanoTesla)을 변환하여 매 20분마다 업데이트하고 있다.

○ Pc3 Index :

자기 진동은 그 구조와 주파수에 의해 등급을 나눈 지구의 자기장의 변화이다. Pc3 진동은 10~45초(22~100MHz)의 주기로 지구 자기장의 변화이다. Pc3 진동 지수들은 Pc3 진동 파장대에서 걸러지고, 이

러한 데이터는 20분 간격으로 발생한다.

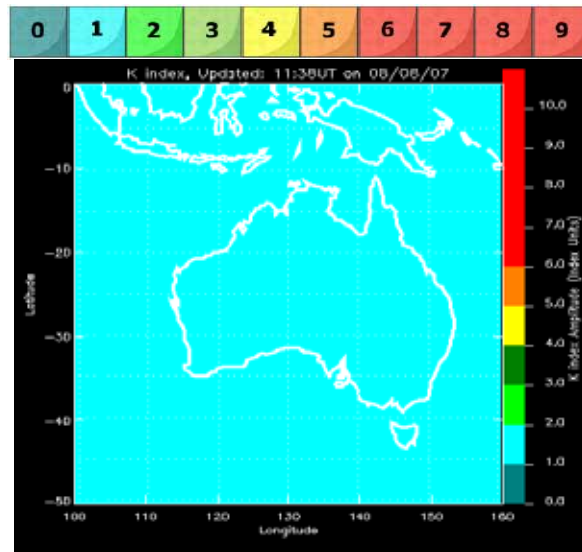


그림 7 K 지수 맵

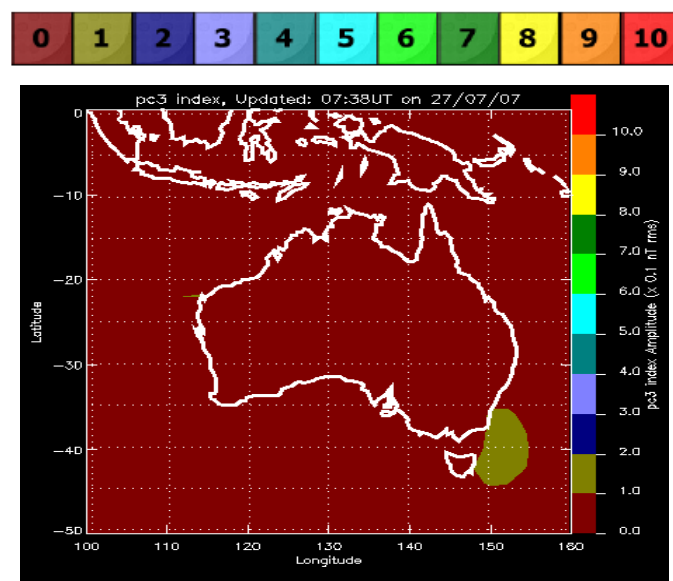
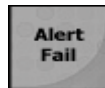


그림 8 호주 주변지역(Australasia)의 Pc3 지수 맵

○ GEOSTAT Alert

GEOSTAT(GEOmagnetic System Alert Tracking) 시스템은 태양으로부터(레벨 5) 지구의 자기장에 충돌과 지자기 폭풍 직후(레벨 0)까지 지자기 폭풍의 과정을 모니터링하기 위해 개발 되었다.



Last updated 08 Aug 2007 04:02 UT

NO ALERT CURRENT AT 0402 UT on 08 Aug 2007

○ 지자기 경고



Last updated 08 Aug 2007 12:25 UT

NO ALERT CURRENT AT 1225 UT on 08 Aug 2007

○ 오로라 경고



Last updated 08 Aug 2007 12:20 UT

NO ALERT CURRENT AT 1220 UT on 08 Aug 2007

(다) HF 전파 현황 제공

1902년 Oliver Heaviside와 Arthur Kennelly는 고층대기에 전자기 전도층이 존재하여 복사된 전자기파 반사를 일으키고 이 반사된 전자기파가 시선너머에 도달하여 통신이 될 것이라 가설을 세웠다. 1925년에 ionosonde가 개발됨에 따라 현재 전리층(ionosphere)이라고 알려져 있는 전도층을 직접 전파로 관측함으로써 전리층의 특성과 전리층에 미치는 영향에 대해서 더욱 실질적인 연구가 이루어질 수 있었다. 전리층이란 대기를 구성하고 있는 질소, 산소 및 기타 대기의 분자들이 태양에서 방출되는 EUV(Extreme Ultra-violet), UV(Ultra-violet) 및 X-rays 등의 고에너지 입자에 의해 전리(ionization)되어 상층 대기에 형성된 자유전자와 양이온이 풍부한 영역을 말한다. 전리층은 보통 고도 50km에서 1000km내의 대기영역을 말하며 주간에는 D, E, F1 및 F2층 4개의 층으로, 야간에는 D층과 E층이 없어지고 F1층 및 F2층이 결합하여 하나의 F층을 이룬다.

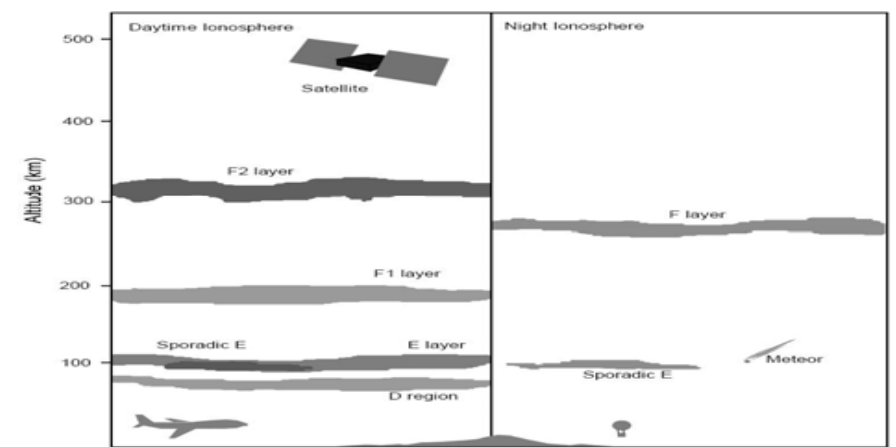


그림 9 주간과 야간의 전리층 구조

Ionosonde는 전파를 전리층에 수직 입사시켜 전리층에 있는 여러 전자층에서 반사되어오는 전파를 측정함으로써 전리층내의 전자들의 분포를 높이에 따른 함수로 나타내는 장치를 말하며, 이러한 결과를 주

파수와 높이의 2차원 평면에 나타낸 그림을 ionogram이라고 한다. 이러한 전리층 관측기술을 바탕으로 전세계에서 획득한 자료들은 전 지구적인 전리층 모델에 바탕이 되는 자료로 사용되고 있으며, 이렇게 만들어진 전리층 모델중에서 가장 많이 사용되고 있는 것은 IRI(International Reference Ionosphere) 모델이다. IRI는 COSPAR(Committee on Space Research)와 URSI (International Union of Radio Science)의 후원을 받아서 진행되는 국제적인 연구과제이며, 이 모델은 주어진 장소, 시간과 데이터에 의해서 고도 50km에서 2000km까지의 전자밀도, 전자온도 및 이온온도 등을 계산한다. 전파가 전리층에 입사되면 전리층에 다량으로 존재하는 전자 및 이온들과 충돌을 한다. 이러한 충돌은 전파의 에너지를 빼앗아 전파세기를 감쇄시킨다. 그리고 전자들이 전리층 내에 불균일하게 분포하기 때문에 전파가 굴절되거나 반사된다.

○ HF 시스템

- Ionogram : 이온층 관측

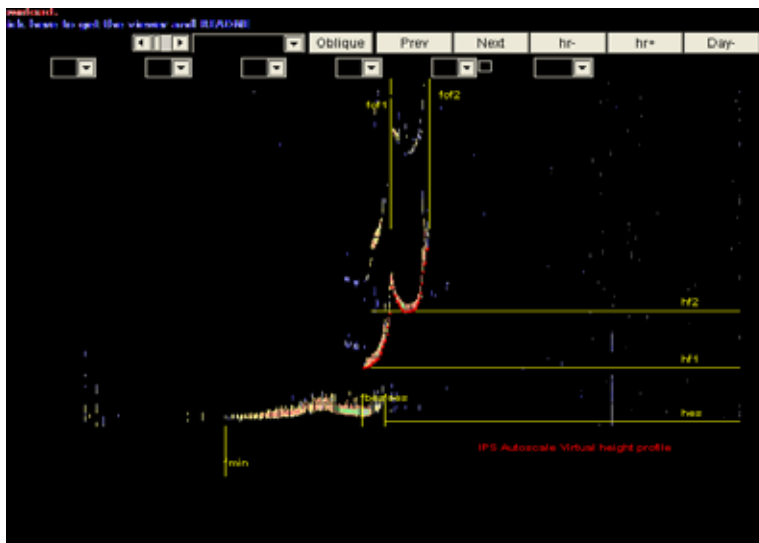


그림 10 이온층 관측

- 이온층 수직 주파수

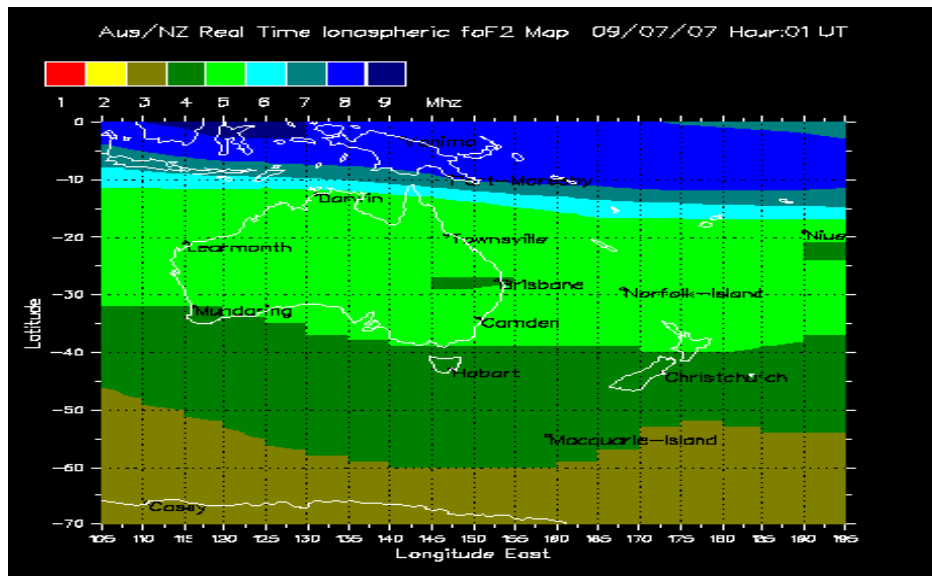


그림 11 이온층 수직 주파수

- HAP(Hourly Area Prediction)

HF 통신기에 대한 권장 주파수 영역의 기초

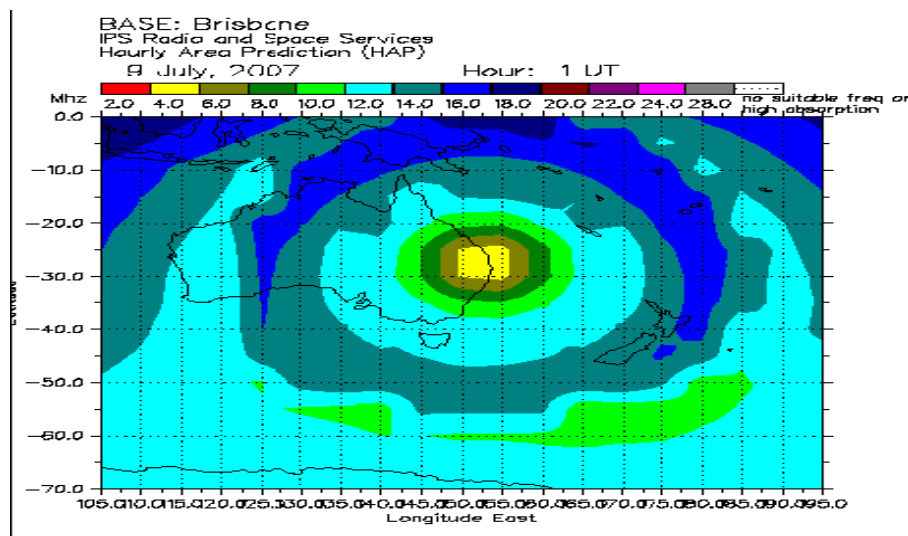


그림 12 HAP

○ IPS의 HF 전파 현황 내용

- HF 통신 경고



Last updated 08 Aug 2007 12:00 UT

08 08 07 1200UT: NO IPS HF WARNING IS CURRENT

- 현재 HF 페이드아웃 사건
- HF 페이드아웃 경고
- 극광 흡수

(라) 이온층 현황 제공

○ 호주 주변 지역의 T 지수 맵

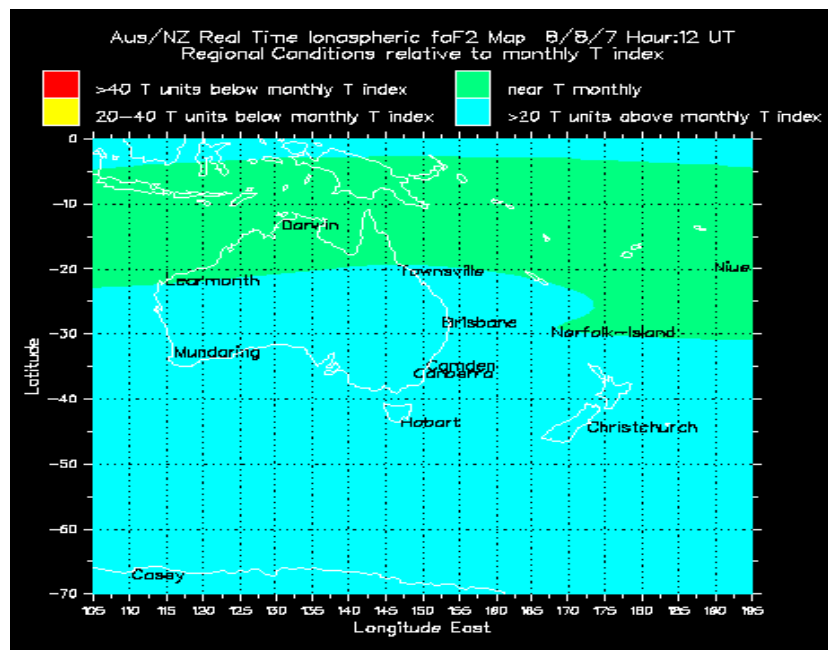


그림 13 호주 주변 T 지수 맵

○ 북아메리카 T 지수 맵

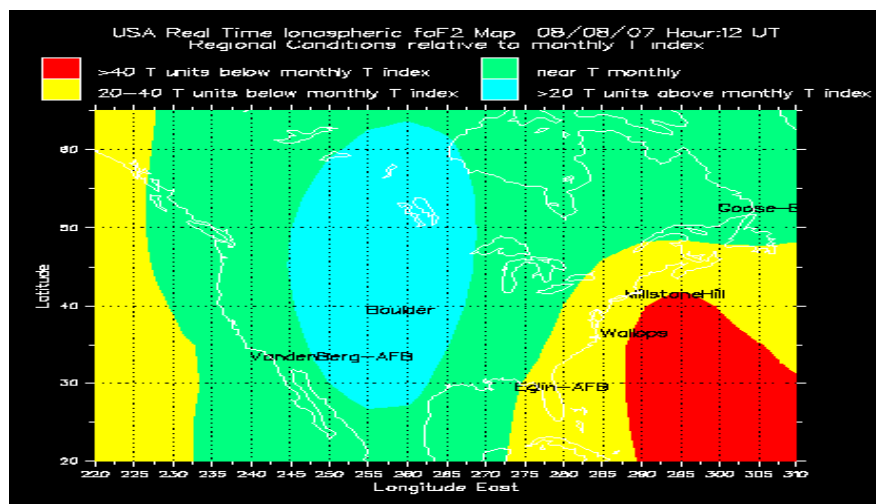


그림 14 북아메리카 T 지수 맵

○ 유럽 T 지수 맵

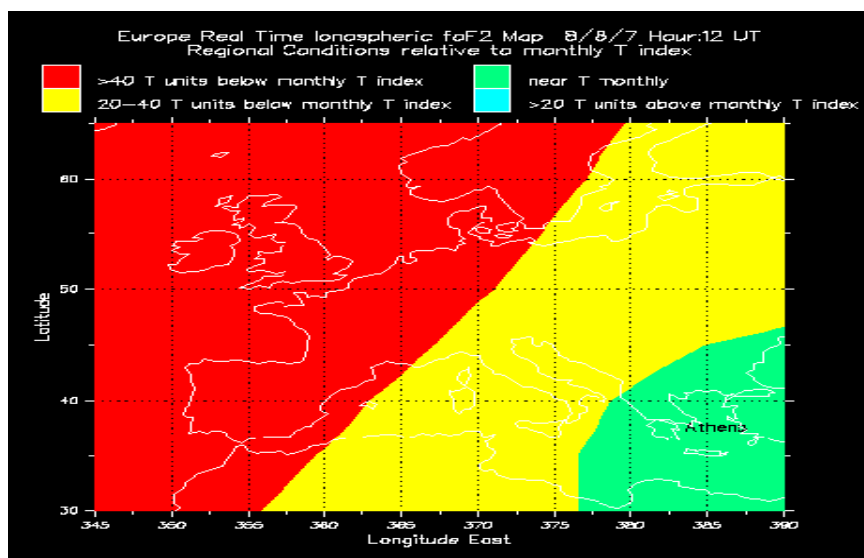


그림 15 유럽 T 지수 맵

(마) TEC(Total Electron Content) 현황 제공

○ 호주 주변 지역

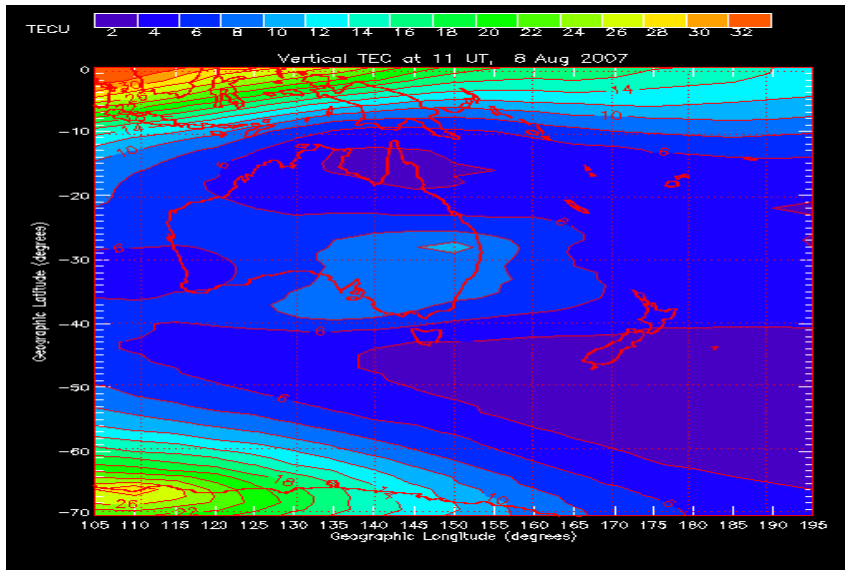


그림 16 호주 주변 TEC

○ 북아메리카

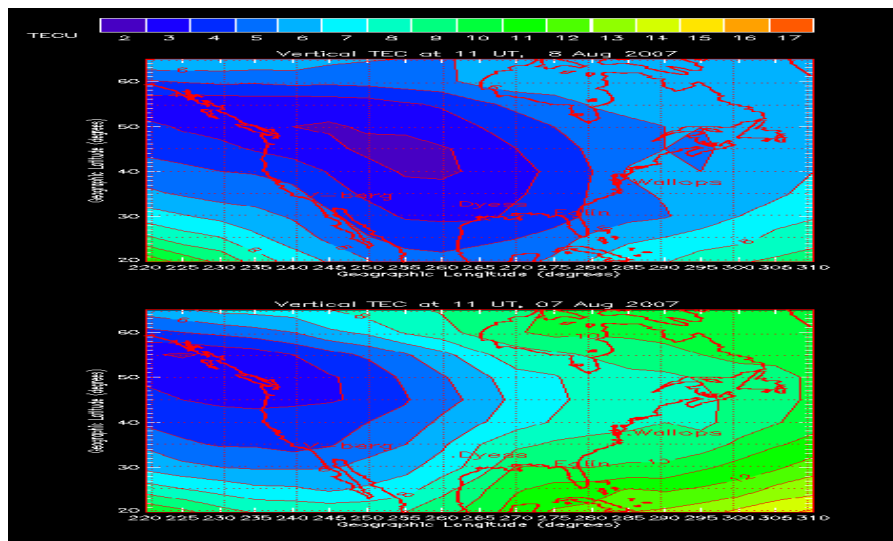


그림 17 북아메리카 TEC

○ 유럽

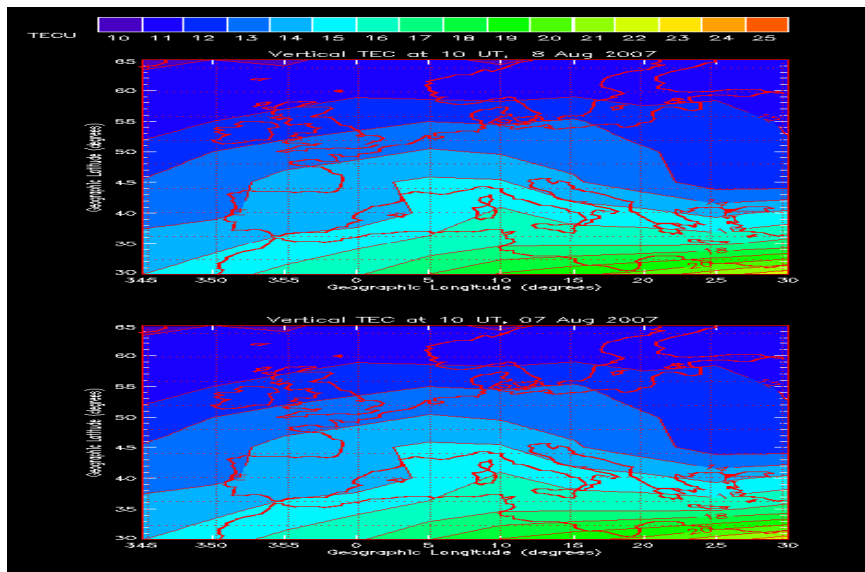


그림 18 유럽 TEC

○ 전세계

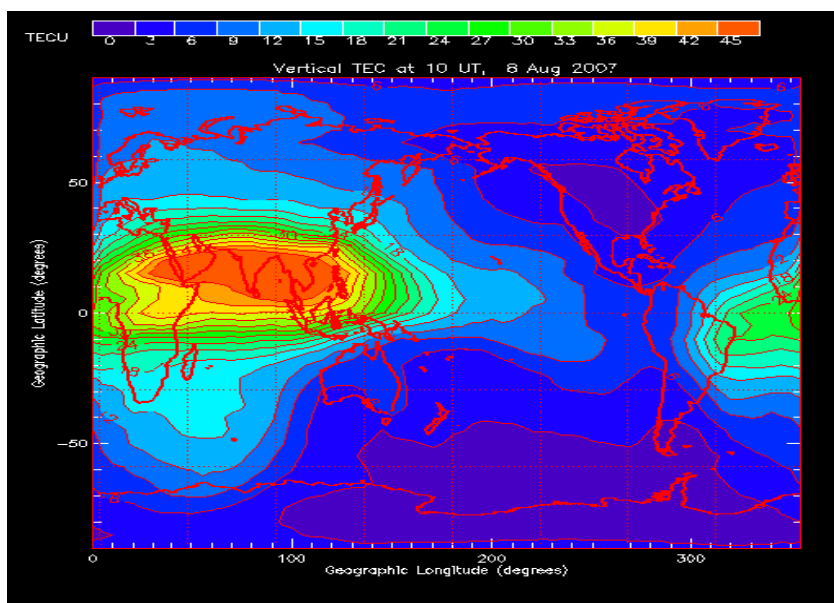


그림 19 전세계 TEC

라. IPS 우주전파서비스센터 서비스

IPS는 우주환경에 의해 영향이 미치는 시스템과 폭넓은 과학기술들을 지원하고 있다.

- 통신과 감시 시스템과 같은 HF 전파 시스템
- 지구물리 탐사, 파워 시스템 보호 및 원거리 수송관의 부식
- 위성 및 발사체 기능

IPS 제공 상품과 서비스에 의해 일반고객들은 우주환경으로부터의 영향들을 최대한 관리할 수 있다. 예를 들어, HF 시스템 통신사들은 수요에 대한 가장 적절한 주파수를 결정할 수 있다. 이러한 상품과 서비스들을 결정하기 위해 IPS는 다음과 같은 고객 가이드를 참고한다.

표 2 IPS 상품 및 서비스

고객 운영		적절한 IPS 상품 및 서비스
HF 전파 시스템	운영	소프트웨어, 훈련 IPS에 신청 메일링 목록 IPS에 신청 SMS 서비스
	공학 기술 및 디자인	소프트웨어, 훈련, 상담
지구물리	항공자기 조사	IPS에 신청 메일링 목록 SMS 서비스
	음극 보호	IPS에 신청 메일링 목록 SMS 서비스
	전원 보호	IPS에 신청 메일링 목록 SMS 서비스
위성 운영		IPS에 신청 메일링 목록

(1) IPS 전파 및 우주서비스 센터의 메일링 목록

표 3 IPS 메일링 리스트

분류	IPS email 서비스	비고
경고 (Alerts)	극광 사건 가능성	SMS 서비스
	자기 경고 (Magnetic Alert)	SMS 서비스
	지자기 급변 충격 탐지 (Geomagnetic Sudden Impulse Detection)	
	플레어 경고 (Flare Alert)	
	SWF 경고 (SWF Alert)	SMS 서비스
	양성자 경고 (Proton Alert)	
	전파 격류 사건 감지 (Radio Sweep events detected at Culgoora)	
	GEOST 경고발생 추적 시스템 (GEOmagnetic STorm Alert Tracking System)	SMS 서비스
	태양풍 충격 경고 (Solar Wind Shock Alert)	
	태양풍 지자기 활동 전조 경고 (Solar Wind geomagnetic activity precursor Alert)	
	Forbush 감소 경고 (Forbush Decrease Alert)	
주의 (Warning)	지상 수준 경고 (Ground Level Alert)	
	지구물리 경고 (Geophysical Warning)	
	HF 주의 (HF Warning)	
일상 보고 (Daily Reports)	일일 HF 전파 보고 (Daily HF Propagation Report)	
	일일 태양 및 지구물리학적 보고 (Daily Solar and Geophysical Report)	
	일일 유럽 HF 전파 자동 보고 (Automated Daily European HF Propagation Report)	

	일일 태양 전파 플럭스 (Daily Quiet Sun Radio Fluxes from Learmonth)	
주간 보고 (Weekly Reports)	주간 지구 물리 보고(Weekly Geophysical Report)	
	주간 HF 전파 보고 (Weekly HF Propagation Report)	
	주간 태양 및 지구물리 보고 (Weekly Solar and Geophysical Report)	
월간 보고 (Monthly Repots)	관측 및 예측 태양 지수 (Observed and Predicted Solar Indices)	
	IPS 관측 및 예측 T 지수 (IPS Observed and Predicted T Indices)	
	월간 태양 및 지구물리 보고 (Monthly Solar and Geophysical Report)	E-mail으로 업데이트된 PDF 파일 통보
	월간 태양 및 지구물리 보고 (Monthly Solar and Geophysical Report)	PDF 파일
	전달 태양 및 지구물리 보고서 (Previous Monthly Solar and Geophysical Report)	(PDFs)
기타	Ionosonde 네트워크 자문 그룹 (Ionosonde Network Advisory Group)	
	오스트레일리아 전파 Australian radio science general mail list	
	URSI 위원회 G 메일링 리스트 (URSI Commission G Mailing List)	
	전리층 연구 메일링 리스트 (Ionospheric Research Mailing List)	

※ SWF : 단파소실 (Short Wave Fadeout)

※ 포부시 감소(Forbush decrease effect, 태양 활동이 활발해진 후에 우주선(線)

강도가 갑자기 감소하는 현상 [미국의 물리학자 Scott E. Forbush(1904-1984)의 이름]

(2) IPS의 SMS 서비스

IPS에서 이동전화를 통한 SMS(Special Message Service)를 제공하기 때문에 호주내에서 발생하는 여러 가지 IPS 경고들에 대해 고객들은 선택적으로 이동전화 문자로 받아 볼 수 있다. 호주 내에서만 가능하며 GSM 전화를 사용한다. SMS 정보에는 단파 fadeout (SWF) 정보, 오로라 정보, 지자기 정보가 있다. 고객들은 어떤 경고발생 항목에 대해 1년에 한번 \$32.40(AUD)의 비용으로 신청할 수 있고, 고객은 모든 IPS 서비스들에 대해 1년에 전체 \$40(AUD)의 최소 서비스 비용으로 받아볼 수 있으며 다음과 같은 SMS 경고발생을 이용할 수 있다.

Short-Wave fadeout (SWF) Alerts

Example :

AUSTRALIAN REGION HF FADEOUT ALERT: Minor fadeout 09-11-2000
start 0309 max 0314 end 0329 UT
IPS Radio & Space Services
Details www.ips.gov.au ph 02-92138010

Auroral Alerts

Example:

AURORA ALERT: 1318 UT on 10 Nov 2000
Aurora may be observed at high latitudes.
IPS Radio & Space Services
Details www.ips.gov.au ph 02 92138010

Geomagnetic Alerts

Example :

GEOMAGNETIC ALERT: 1516 UT on 10 Nov 2000
Minor geomagnetic storm in progress
IPS Radio & Space Services
Details www.ips.gov.au ph 02 92138010

GEOSTAT System

Example:

IPS GEOSTAT ALERT 2: STATUS 5
MAJOR GEOMAGNETIC STORM POSSIBLE WITHIN 3-4 DAYS.
IPS RADIO AND SPACE SERVICES
DETAILS www.ips.gov.au 02 92138010

(3) 고객 지원

사용자를 위성과 GPS 운용, 호주내 지구물리 운용, 지역별(호주, 북미, 뉴질랜드, 유럽, 북대서양 및 일본 지역) 단파 라디오 사용자 및 항공 사용자 등으로 나누어 그에 필요한 실시간 우주환경 정보 및 예보를 제공하고 있다.

(가) 위성 및 GPS 이용자를 위한 서비스

- 실시간 정보 : GOES 위성의 양성자 및 전자 Flux, X-ray flux 및 최근의 X-ray Flare 기록 태양풍속도와 행성간 자기장 자기권계면 모델 등
- TEC 유추 지도 : 호주와 뉴질랜드 유럽 일본 지역 등
- 간섭 예측 : 지구 정지궤도 위성의 이온층 간섭 효과, 태양과 위성의 간섭 예상 시각 위성 궤도 변화 등

(나) 지구물리 사용자를 위한 지원

- 실시간 정보 : K 지수 및 그림 pc3 파동지수 및 그림, 지자기 관측 결과
- 보고 및 예보 : 지자기 및 지구물리 조건의 주간 및 월간보고,

IPS 지자기 경보

- 기록 정보: 자기장 기록 지자기 파동지수 K 지수

(다) 단파 사용자

- 등고선 지도 : 실시간 예보 지도 이온층 지도 T 지수 등
- 실시간 예보 : 경로별 단파 예보
- 이온층 전파 조건 : 국지적 및 전세계적 이온층 조건, 단파통신
경보 전리층 관측 기록 및 foF2
- 단파 fadeout : 실시간 도표 플레어 도표

(라) 항공 사용자

- 등고선 지도 : 실시간 예보 지도 T 지수 등
- 이온층 전파조건 : 국지적 및 전 세계적 이온층 조건, 단파통신
경보 오로라 예보
- 단파 fadeout : 실시간 도표 플레어 도표

마. IPS 이용자 수

아래의 도표는 IPS의 다양한 서비스에 대해 2007년 6월 한달 동안 웹 사이트 방문자와 E-mail 서비스를 받은 사람의 수를 나타내고 있다.

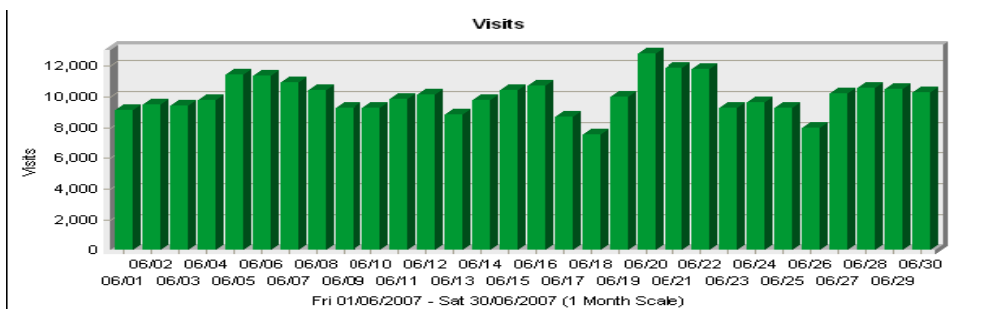


그림 20 IPS 방문자 수

붙임 9. 미국 SWPC에서 개발 및 진행계획 중인 예보모델의 종류

표 1. Solar and Solar Wind Research Models

ID	Model Name/Acronym	Contact information	Type and Purpose	Status	Funding Source(s)
S1	SOLAR2000	W.Kent Tobiska kent.tobiska@jpl.nasa.gov	Solar irradiance from x-ray to visible wavelengths.	UD	NASA, NSF, NOAA
S2	Evolving PFSS Coronal Model	Janet Luhmann jgluhman@ssl.berkeley.edu	Coronal magnetic field structure derived from observed photospheric field.	UD	NSF, NASA, DOD
S3	3D MHD Model of the Corona and Solar Wind	Jon Linker and Zoran Mikic linker@iris023.saic.com	3D MHD simulation of the corona and solar wind using observed photospheric magnetic fields as boundary condition.	UD	
S4	Solar Active Region Evolution and Stability	Stephen Keil skeil@sunspot.noao.edu	3-D MHD simulation of solar active region evolution.	D	
S5	Magnetic Breakout of the Sun's Atmosphere (MagBrst)	Spiro Antiochos spiro@zeus.nrl.navy.mil	Ejection of solar flux.	UD	DOD
S6	Wang and Sheeley Expansion Factor Model (WS Model)	Yi-Ming Wang ywang@yucca.nrl.navy.mil	Predicting solar wind speed at Earth from magnetic field observations of the photosphere.	M	

S7	3D Interplanetary Propagation Model (3D IPP)	Victor Pizzo vpizzo@sec.noaa.gov	MHD simulation of global, time-dependent solar wind flow.	UD	NOAA
S8	Shock Time of Arrival/Shock Propagation Model (STOA/ISPM)	Murray Dryer murraydryer@msn.com	Empirical and 2-D MHD interplanetary shock wave.	UD	NOAA
S9	3D MHD/Kinematic Time-Dependent Shock Propagation-Solar Wind Hybrid Model (HSEM)	Murray Dryer murraydryer@msn.com	Kinematic and 3D MHD code which extrapolates solar magnetic field and wind speed from source surface.	D	NOAA
S10	Global Binodal Corona & Solar Wind Model (GBMCSW)	Shi Tsan Wu wus@cspar.uah.edu	Quasi-steady state 2D MHD model of helmet-streamers and coronal hole.	UD	NSF, NASA
S11	Streamer and Flux-Rope Interaction Model (SFRI)	Shi Tsan Wu wus@cspar.uah.edu	2D MHD model of helmet streamers and flux ropes.	UD	NSF, NASA
S12	Interplanetary Global Model for Simulating the Evolution of Dynamic and Magnetic Disturbances in the Solar Wind	Marek Vandas vandas@ig.cas.cz	2.5D and 3D MHD simulation of solar wind structures from the Sun to 1 A.U.	D	
S13	3D MHD model for Interplanetary Shock, Stream/Stream and CME propagation	Tom Detman tdetman@sec.noaa.gov tdet@noaa.sel.bldrdoc.gov	3D, time-dependent MHD simulation of solar wind beyond 18 solar radii.	MD	NOAA

	through the Solar Wind (Han-Detman 3D Code) also known as the Interplanetary Global Model Vectorized (IGMV)				
S14	Bats R Us	Tamas Gambosi tamas@umich.edu	3D MHD Simulation.	UD	NASA NSF
S15	Filament and Coronal Chirality Model	Sara Martin sara@heliosearch.org	Statistical Event Predictor based on pattern recognition.	UD	NOAA
S16	Halo Coronal Mass Ejection Model	David Webb webb@phl.af.mil Chris ST. Cyr cst@sccl.nascom.nasa.gov	Statistical Event Predictor based on pattern recognition.	UD	NASA USAF
S17	Coronal Emissions Patterns (Sigmoids) Model	Richard Canfield canfield@helicity.physics.mon tana.edu	Statistical Event Predictor based on pattern recognition.	UD	NASA
S18	Solar Wind	Syun-Ichi Akasofu sakasofu@dino.gi.alaska.edu	Simulation of solar wind based on solar conditions.		
S19	Solar Wind	Arcadi Usmanov usmanov@snoopy.niif.spb.su	Simulation of solar wind based on solar conditions.		
S20	Solar Wind	Y. Q. Hu	Simulation of solar wind based on solar conditions.		

S21	Magnetic Flux Rope Model	Peter Cargill p.cargill@ic.ac.uk	MHD simulation of solar wind.	
-----	--------------------------	-------------------------------------	-------------------------------	--

표 2. Magnetospheric Research Models

ID	Model Name/Acronym	Contact information	Type and Purpose	Status	Funding Source(s)
M1	Shue, et al. Model of Magnetopause size and shape	J.-H. Shue & J. K. Chao	Empirical model of magnetopause size and shape.	M	
M2	Petrinec and Russell [1995] Magnetopause size and shape	S. Petrinec	Empirical model of magnetopause size and shape.	M	NASA
M3	Roelof and Sibeck model of Magnetopause size and shape	E. Roelof Ed.Roelof@jhuapl.edu D. Sibeck David.Sibeck@jhuapl.edu	Empirical model of magnetopause size and shape.	M	NASA
M4	Magnetopause location	J. K. Chao T272362@twncu865.ncu.edu.tw	Prediction of location of magnetopause given IMF and solar wind dynamic pressure.	D	
M5	Tsyganenko Magnetic field model [T96_01]	N. Tsyganenko kolya@ndadsb-f.gsfc.nasa.gov	Empirical magnetic field model based on IMF, solar wind dynamic pressure, Dst index, and dipole tilt angle.	MD	NASA, NSF
M6	Ogino/Walker Global MHD	R. Walker	Global MHD simulation with additional	MD	NASA

	and large-scale kinetic model of solar wind particle entry into the magnetosphere	rwalker@igpp.ucla.edu	kinetic calculation of particle entry at the magnetopause.		
M7	Equilibrium Tail Model	J. Birn	Self-consistent model of magnetic field and isotropic pressure for the tail (beyond 10 Re). Available in 2-D and 3-D versions.	UD	DOE
M8	Time Dependent MHD code	J. Birn	Time-Dependent resistive MHD code.	UD	DOE
M9	3-D Electromagnetic Particle Model (EMPM)	K. -I. Nishikawa kenichi@rouge.phys.lsu.edu	Global electromagnetic particle simulation of magnetosphere.	D	NSF
M10	Rice Field Model (RFM) also known as the Toffoletto-Hill [1993] model (TH93)	F. Toffoletto toffo@alfven.rice.edu T. Hill hill@alfven.rice.edu	Theory based model of magnetospheric magnetic and electric fields.	UD	NSF, NASA
M11	Rice Convection Model (RCM)	R. Wolf wolf@alfven.rice.edu	Inner-magnetosphere model.	UD	NSF, NASA
M12	Magnetospheric Specification Model	R. Wolf wolf@alfven.rice.edu	An operational version of RCM.	M	DOD
M13	Fully-adiabatic model for response relativistic electrons	A. Chan aac@landau.rice.edu	Physics-based radiation belt flux mapping model.	UD	NSF, DOD

M14	Substorm electron injection model	A. Chan aac@landau.rice.edu	Hybrid test particle calculation of energetic electrons using the Birn and Hesse MHD model.	UD	NSF, DOE
M15	Hydromagnetic wave-particle interaction model	A. Chan aac@landau.rice.edu	Gyrocenter test particle calculation of wave-particle interactions in inner magnetosphere	UD	NSF
M16	Linear Prediction Filter (LPF) model of relativistic electron flux at geostationary orbit	Dan Baker baker@lynx.colorado.edu	Prediction of "killer electrons" at geostationary orbit given solar wind at 1 AU.	M	NASA, DOE
M17	UCLA Global Geospace Circulation Model (UCLA-GGCM)	J. Raeder jraeder@pallas.igpp.ucla.edu	Global MHD simulation of magnetosphere using solar wind speed and density, IMF and F10.7 flux data as inputs.	UD	NSF, NASA
M18	Ogino S-M Coupling model	T. Ogino ogino@stnet1.stelab.nagoya-u.ac.jp	Global MHD simulation of magnetosphere	UD	
M19	Dartmouth-NRL-UMD MHD model	J. Lyon & L. Fedder	Global MHD simulation of magnetosphere using solar wind speed and density, IMF as inputs.	UD	NSF, DOD
M20	BATS-R-US magnetospheric simulation model	T. Gombosi	Global MHD simulation of magnetosphere using solar wind speed and density, IMF as inputs.	UD	NSF, NASA

M21	Integrated Space Weather Prediction Model (ISM)	Bill White bwhite@mrcnh.com	Integrated 2-fluid MHD model of magnetosphere with coupling to physics based ionosphere/thermosphere model	UD	DOD
-----	---	--------------------------------	--	----	-----

표 3. Ionospheric Research Models

ID	Model Name/Acronym	Contact information	Type and Purpose	Status	Funding Source(s)
I1	Polar Cap Potential Drop Model [1981]	P. H. Reiff	Empirical model of potential drop across the polar cap based on solar wind velocity and IMF.	M	
I2	Hepppner-Maynard-Rich convection model	F. Rich rich@plh.af.mil	Empirical model of ionospheric convection based on IMF.	M	
I3	Izmiran Electrodynamic Model (IZMEM)	V. Papitashvili papita@pitts.sprl.umich.edu	Empirical model of ionospheric convection based on IMF and solar wind speed and density.	MD	
I4	IZMEM/DMSP	V. Papitashvili papita@pitts.sprl.umich.edu F. Rich rich@plh.af.mil	Empirical model of ionospheric convection based on IMF and solar wind speed and density.	D	DOD, NSF
I5	Weimer Electric Potential	D. Weimer	Empirical model of ionospheric	MD	NSF

	Model (W96)	dweimer@mrcnh.com	convection based on IMF.		
I6	Space Weather Ionospheric Forecast Technologies (SWIFT)	N. Maynard nmaynard@mrcnh.com	Empirical prediction of ionospheric potential patterns, currents and Joule heating driven by L1 solar wind data.	D	NSF, NOAA
I7	APL ionospheric convection model	J. M. Ruohoniemi Mike.Ruohoniemi@jhuapl.edu	Empirical model of ionospheric convection based on IMF.	UD	NSF
I8	Kamide-Richmond-Matsushita (KRM) model	Y. Kamide kamide@stnet1.stelab.nagoya-u.ac.jp	Derivations of ionospheric convection and currents from magnetometer data and conductivity model.	M	
I9	Assimilative Mapping of Ionospheric Electrodynamics (AMIE)	A. Richmond	Derivation of ionospheric convection and currents based on a conductivity model and inputs from magnetic and electric field measurements.	MD	NOAA, NSF
I10	APL Spherical Harmonic Expansion of Polar Cap Potential	J. M. Ruohoniemi Mike.Ruohoniemi@jhuapl.edu K. Baker Kile.Baker@jhuapl.edu	Global Polar Cap potential and ionospheric conductivity derived from radar electric field measurements.	UD	NSF, NASA
I11	Weimer field-aligned current model	D. Weimer dweimer@mrcnh.com	Empirical model of field-aligned currents.	D	NSF

I12	Millstone Hill Electric Field Model	J. Foster jcf@haystack.mit.edu	Empirical electric field model derived from incoherent scatter radar measurements.	MD	NSF
I13	Fejer-Scherliess storm-time zonal electric field model	B. Fejer bfejer@cc.usus.edu	Empirical low-latitude electric field model.	UD	NSF
I14	Scherliess-Fejer quiet-time equatorial vertical drift model	B. Fejer bfejer@cc.usus.edu	Empirical equatorial model of vertical plasma drifts.	UD	NSF, NASA
I15	International Reference Ionosphere [1995](IRI95)	D. Bilitza bilitza@nssdc.gsfc.nasa.gov	Empirical model of ionospheric electron density, electron temperature, ion temperature, ion composition.	M	
I16	Mass spectrometer Incoherent Scatter Raar Model of Thermosphere (MSIS)		Empirical model of thermospheric temperature, composition and mass density as function of time, F10.7 flux and magnetic activity.	M	
I17	T I M E - G C M Thermosphere-ionosphere-mesosphere electrodynamic general circulation model	R. Roble	Physics-based simulation of the thermosphere, ionosphere and mesosphere	UD	NSF, DOC
I18	Three-Dimensional Ionospheric Model (TDIM)	Bob Schunk and J. Sojka	Physics-based simulation of the ionosphere using MHD magnetosphere model as input	UD	NSF
I19	Thermosphere-Ionosphere	T. Killeen	Physics-based but semi-empirical model	UD	

	Nested Grid Model (TING)		of coupled thermosphere ionosphere at high latitudes.		
I20	Coupled Thermosphere Ionosphere (CTIM), Coupled Thermosphere, Ionosphere, Plasmasphere (CTIP) and Coupled Thermosphere, Ionosphere, Plasmasphere with self-consistent Electrodynamics (CTIPE)	T. Fuller-Rowell tjfr@sec.noaa.gov	A hierarchy of global, physics based models of the thermosphere, ionosphere and plasmasphere.	MD	NSF, NASA, DOD
I21	Shelffield University Plasmasphere-Ionosphere Model (SUPIM)	G. Bailey	Physics-based.	M	
I22	Field Line Interhemispheric Plasma Model (FLIP)	P. Richards	Physics-based, 1-D, time-dependent model of ionospheric and plasma sphere.	M	
I23	Ionospheric Irregularity Model	J. Sojka	Physics-based model of ionospheric plasma density irregularities. Driven by the TDIIM ionospheric model.	D	NSF, DOD
I24	Coupled Ionospheric Scintillation Model (CISM)	S. Basu	Physics-based model of equatorial scintillation.	D	DOD
I25	Wideband Scintillation Model	A. J. Coster and S. Basu	Climatological model of ionospheric	UD	DOD

	(WBMOD)		scintillation.		
I26	Hardy, et al. model of ionospheric conductivity	D. A. Hardy	Statistical model of auroral particle precipitation and conductivity.	M	DOD
I27	Wallis and Budzinski model of height integrated conductivities	D. D. Wallis	Empirical model of height integrated conductivities in the ionosphere.	M	
I28	Spiro, Reiff and Maher model of auroral conductances	R. W. Spiro	Empirical model of precipitating electron energy flux and auroral conductances.	M	
I29	Fuller-Rowell and Evans model of height-integrated Pederson and Hall conductivity patterns	T. Fuller-Rowell or D. S. Evans devans@sec.noaa.gov	Empirical model of ionospheric conductances derived from TIROS-NOAA particle precipitation data.	M	NOAA
I30	Precipitation Electron Model of ionospheric conductances (PEM)	H. Kroehl	Statistical model of particle precipitation and ionospheric conductances.	U	NOAA
I31	Ahn, et al. model of ionospheric conductances	B.-H. Ahn	Empirical model of ionospheric conductances based on ground magnetic disturbance data.	UD	NOAA

M - Mature model, D - In Development, UD - Useable but under development, MD - Mature, but undergoing improvements

붙임 10. 일본의 IPS(InterPlanetary Scintillation) 시스템

1. 일본 나고야대학 STEL의 4 IPSs system

(STEL : Solar-Terrestrial Environment Laboratory)

가. STEL 4-IPS 관측소

일본에는 나고야대학 STEL에서 설치하여 운영하는 4개의 IPS 관측소가 있으며, 이들 관측소는 1973년부터 IPS 자료를 획득해 오고 있다. 최근에는 Toyokawa 관측소의 구형 IPS 안테나보다 공간 분해능이 뛰어난 신형 IPS 안테나를 설치하여 운영하고 있다.

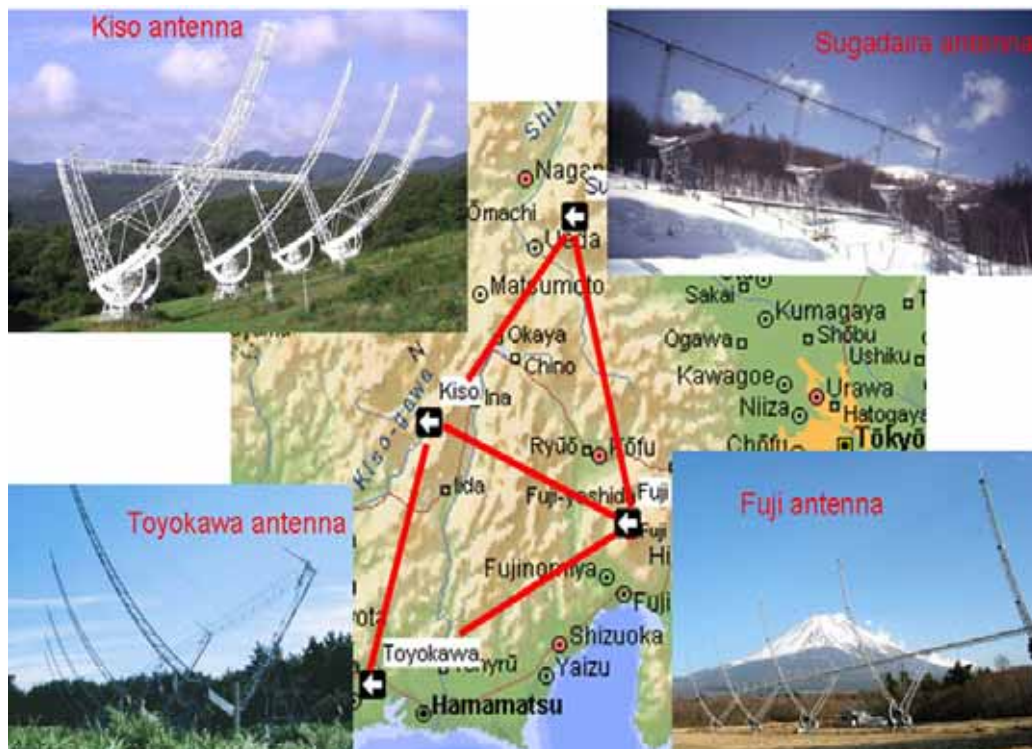


그림 1 STEL에서 IPS를 설치하여 운영하고 있는 관측소와 안테나

표 1 일본의 IPS 관측소 위치정보

	Longitude	Latitude	Altitude
Fuji Station	138 ⁰ 36' 42" E	35 ⁰ 25' 36" N	1020 m
Sugadaira Station	138 ⁰ 19' 16" E	36 ⁰ 31' 12" N	1280 m
Toyokawa Station	137 ⁰ 22' 09" E	34 ⁰ 50' 05" N	16 m
Kiso Station	137 ⁰ 37' 49" E	35 ⁰ 47' 34" N	1110 m

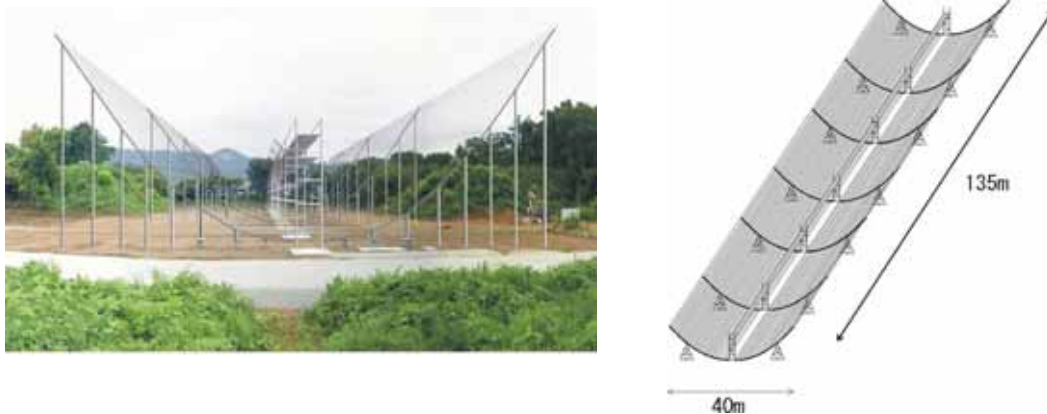


그림 2 Toyokawa 관측소에 설치한 신형 태양풍 관측기(IPS) - 수신주파수 327MHz

○ 구형 안테나와 신형 안테나의 공간분해능 비교

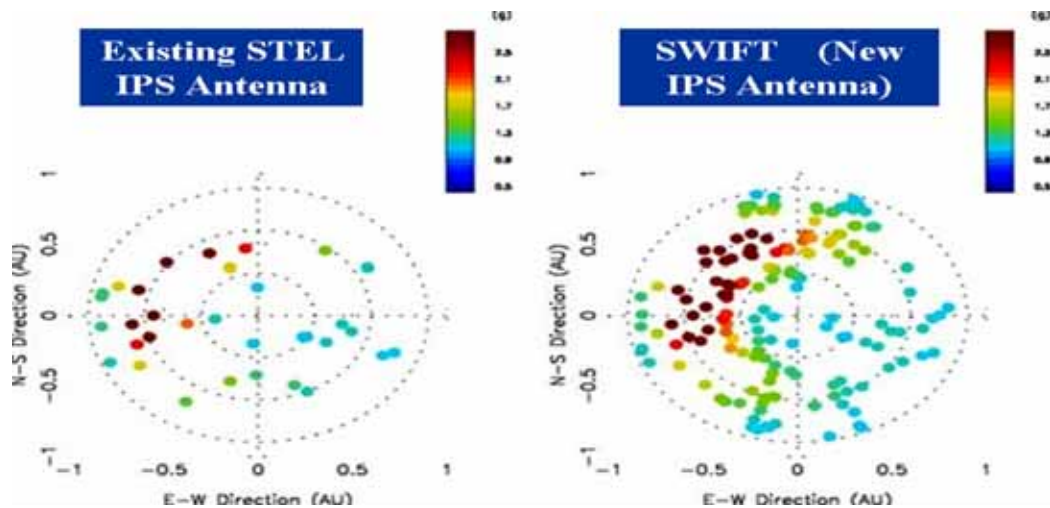


그림 3 STEL의 구형 IPS 안테나와 신형 IPS 안테나의 공간분해능 비교

나. 안테나

- Type : Cylindrical Parabolic Reflector Antenna
- Frequency : 327MHz (20~200 태양반경 범위의 태양풍 관측)
- Physical Aperture
 - 100m E-W, 20m N-S (Fuji, Sugadaira, Toyokawa:교체)
 - 74m E-W, 27m N-S (Kiso)
- Effective Aperture :

표 2 안테나 유효범위

Station	A_eff
Fuji Station	1500 m ²
Sugadaira Station	1100 m ²
Toyokawa Station	1013 m ²
Kiso Station	1405 m ²

- Polarization : Linear (Horizontal)
- Sky coverage
 - 30⁰ from meridian transit, 25⁰S to 40⁰N in declination

다. IPS 관측

- IPS raw data plot

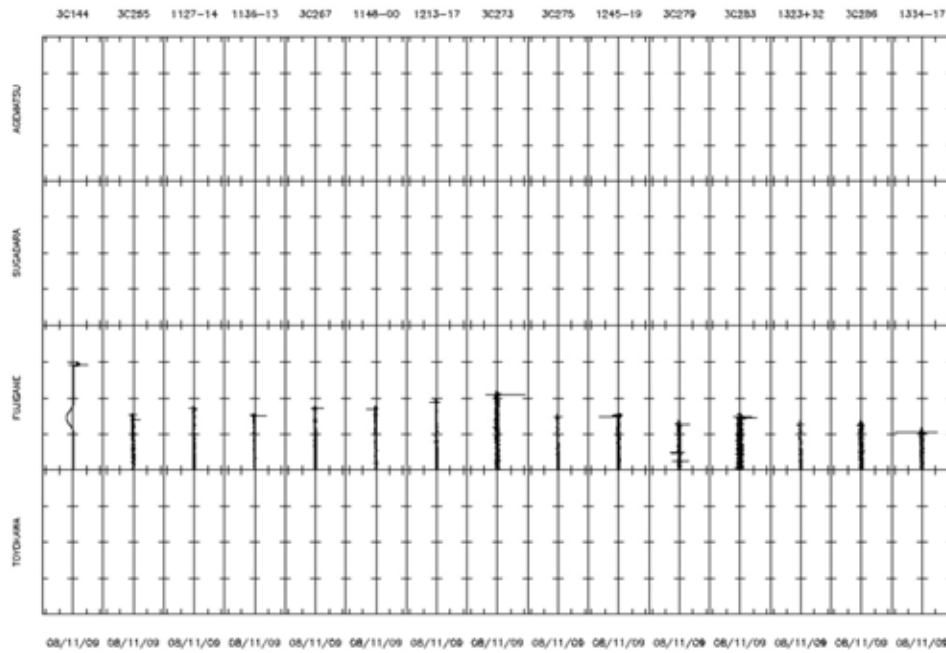


그림 4 4개 관측소에서의 전파 소스별 IPS 관측자료

- IPS 관측 자료로부터 계산한 태양풍 속도 지도

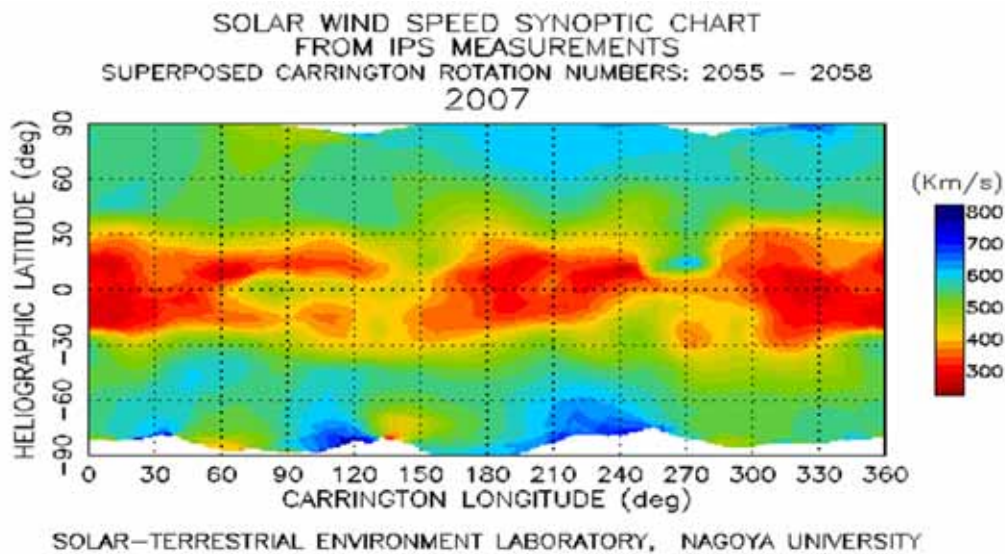


그림 5 IPS 관측으로부터 얻은 태양풍 속도 지도

○ 우주탐사선과 견줄 수 있는 관측정밀도

우주탐사선 울리시즈의 관측치와 IPS 관측자료를 CT(Computer Tomograph) 방법으로 구한 속도를 비교한 그림. CT해석으로 구한 속도의 정확성과 그 관측영역의 넓이를 한눈에 알 수 있다.

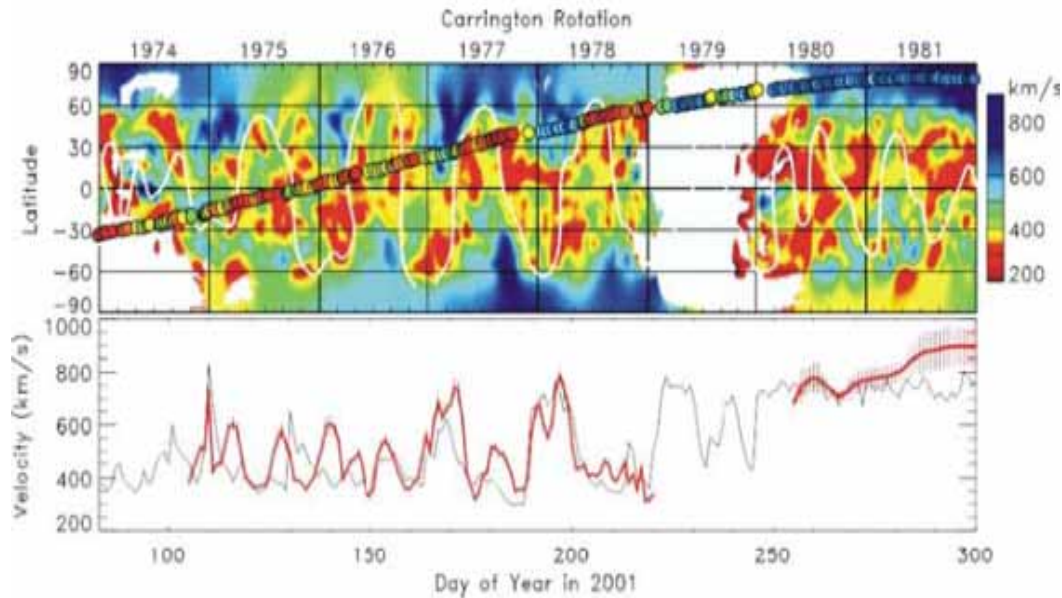


그림 6 우주탐사선 울리시즈와 IPS 관측 자료의 비교

라. IPS 관측의 활용

(1) 우주환경 서비스

나고야 대학의 STEL 연구소는 우주환경 연구와 관련하여 GEDAS (Geospace Environment Data Analysis System)에 포함되어 있다. 특히 IPS 장비를 이용해서 태양풍 데이터를 실시간으로 제공하고 있다.

○ IPS 자료를 이용한 태양풍 속도와 g-value 예보

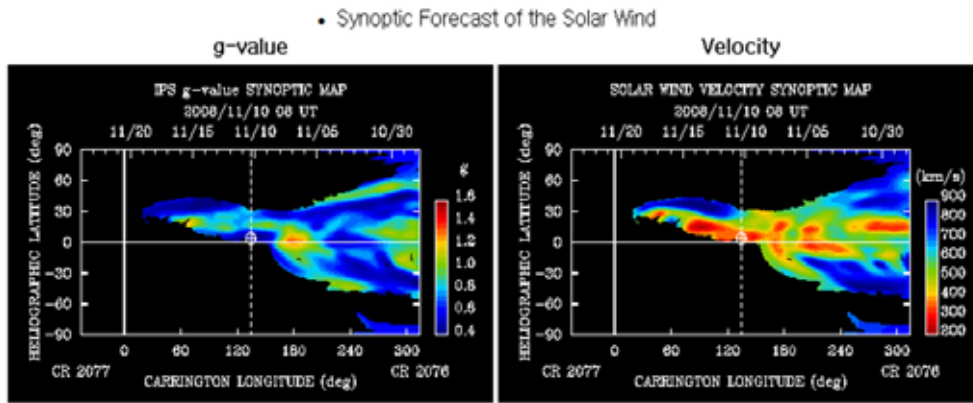


그림 7 IPS 관측으로 계산한 g-value 와 태양풍 속도 맵

$$g-value = \frac{\text{관측된 소스의 } scintillation\ amplitude \text{의 변화량}}{\text{오랫동안 관측한 소스의 평균 } scintillation\ amplitude \text{의 변화량}}$$

○ IPS 자료를 이용한 지구 근방에서의 태양풍 속도와 밀도 예측

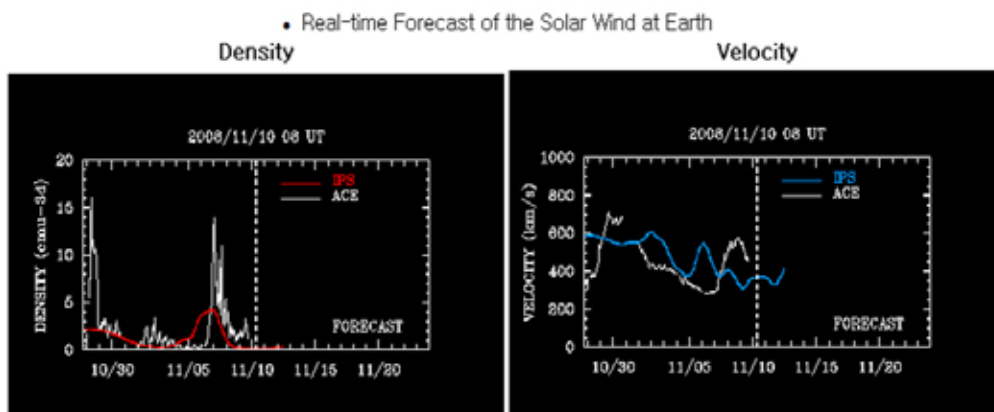


그림 8 IPS 자료를 이용한 지구 근처에서의 태양풍 밀도와 속도 예측

마. IPS 국제 공동관측

IPS로 관측가능한 행성간 공간영역은 관측주파수에 따라 달라진다. 일본 STEL의 태양풍 그룹은 327MHz의 주파수로 IPS관측을 수행하고 있으나, 이 주파수로는 태양에서 20~200 태양반경거리 범위 내의

태양풍이 관측 가능하다. 이제까지 태양에 가장 가깝게 접근한 탐사선은 태양에서 60 태양반경까지로서 STEL의 IPS 관측기들은 탐사선이 아직 관측해보지 못한 영역을 관측할 수 있다. 20 태양반경보다 더 가까이에서 관측하기 위해서는 보다 높은 주파수로 IPS를 관측해야 하기 때문에, 이를 위해 STEL은 영국과 인도 등지의 천파천문관측소와 공동으로 태양 부근에서 지구까지의 드넓은 영역을 연구하고 있다. 또한 미국 캘리포니아 대학의 연구그룹과 협력하여 관측 자료를 준 실시간으로 전송하고 지구주변 태양풍의 상태를 예보하는 우주천기예보 연구를 진행하고 있다.