

## 제 출 문

본 보고서를 「우주전파환경 변화에 의한 국내위성, 무선통신 영향 연구」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2001. 12.

연구책임자 : 민경욱(한국과학기술원)

연 구 원 : 이대영(한국과학기술원)

문용재(한국천문연구원)

연구보조원 : 이은상(한국과학기술원)

박선미(한국과학기술원)

강성원(한국과학기술원)

# 요 약 문

## 1. 과제명

우주전파환경 변화에 의한 국내위성, 무선통신 영향 연구


## 2. 연구기간 : 2001년 2월 10일부터 2001년 12월 31일까지

## 3. 연구책임자 : 민경욱

## 4. 계획 대 진도

### 가. 월별 추진내용

세부내용	연구자	월별 추진계획												비고
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
o 연구에 필요한 기초 조사 (관련 자료 탐독)	민경욱 이대영	-	→											계 획 --→
o 사례수집 (1 차) -관련 기관 방문 -위성체 손상 -위성 자세/궤도 교란 -통신 장애	이대영 박선미			- - -	→									실 행 →
o 사례분석 -우주환경변화 조사 -관련 지수 도출	이대영 박선미					- - - - -	→							
o 사례수집 (2 차: 보강) -과거 외국위성 사례 -비교 분석	이대영 박선미									-	→			

세부연구내용	연구자	월별 추진일정												비고
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
o 우주전파환경 기초 연구 -태양-자기폭풍 관계 -자기폭풍-자기준폭풍 -자기폭풍의 위성자세 교란 -태양전파 폭발	문용재 이은상			-	-	-	-	-	-	-	-	-	→	
														
o 인터넷 홈페이지 및 팸플 렛 작성/홍보	강성원											-	→	
												-	→	
o 연구 보고서 작성	민경욱 이대영											-	→	
												-	→	
분기별 수행진도		10 %		30 %			40 %			20 %			100 %	

## 나. 세부 과제별 추진사항

### 1) 연구에 필요한 기초조사

국내위성 및 무선통신 교란사례에 대한 정보 및 자료 수집과 위성, 통신 교란의 직접적 원인이 되는 것으로 예상되는 우주환경변화 요인에 대한 물리적 연구 수행을 위한 사전조사를 수행하였다.

### 2) 사례수집 (1차)

한국통신 등의 국내위성 및 무선통신 관련기관에 대한 1차 설문조사를 통해 위성체 내/외부 탑재 장비의 손상, 위성 자세 및 궤도 교란과 무선통신 장애 사례를 조사하였다.

### 3) 사례분석

- 1997년 1월~2001년 8월 사이의 자기 폭풍 발생 조사.
- 국내 위성 및 무선 통신 관련기관에서 얻은 자료를 토대로 자기 폭풍과 위성, 통신 교란사례와의 상관성을 조사.

#### 4) 사례수집 (2 차: 보강)

- 관련기관에 대한 2차 방문을 통해 보다 많은 위성, 통신 교란 사례 수집.
- 외국위성의 교란 사례 조사.
- NOAA가 제공하는 위성의 ANOMALY 분석.

#### 5) 우주전파환경 기초 연구

- 태양-행성간 자기장 변화에 따른 지자기권 교란에 대한 연구.
- 자기 폭풍과 자기 준폭풍 사이의 관계에 대한 연구.
- 자기 폭풍으로 인한 저궤도 위성의 자세 및 궤도 교란 연구.
- 태양전파폭발의 지구 전달 프로그램 개발.

#### 6) 인터넷 홈페이지 및 팸플렛 작성/홍보

- 외국의 우주환경예보 서비스 조사.
- 코로나 충격과의 상시적인 지구 도착 예보를 위한 프로그램 작성.
- 우주환경 예보 시스템 홍보를 위한 팸플렛 작성.

### 5. 연구 결과

가. 연구에 필요한 기초 조사: 관련 자료 탐독.

#### 나. 사례수집 (1차)

- 조사된 위성 및 무선통신 교란 사례를 전파연구소에 보고함.

#### 다. 사례분석

- 자기 폭풍의 발생 여부를 나타내는 Dst 지수 변화 조사결과

1997년 1월~2001년 8월 사이에 총 116개의 자기 폭풍 이벤트를 확인하였음.

- 위성, 통신 교란과 Dst 지수의 상관관계 조사 결과 강력한 자기폭풍 후 위성 및 무선통신 교란이 발생하였음을 확인.

#### 라. 사례수집 (2 차: 보강)

##### 1) 2차 교란 사례 수집

1997년~2001년 사이에 자기 폭풍이 발생한 시점에서의 교란 사례를 조사하였으며, 이를 전파연구소에 보고함.

##### 2) 외국의 위성 교란 사례 조사

1998. 5. 1 Equator-S 위성, 1998. 5. 6 Polar 위성, 및  
1998. 5. 19 Galaxy 4 위성에서의 교란 발생 원인 조사.

##### 3) NOAA가 제공하는 위성의 ANOMALY

- 이상현상의 종류별 통계 조사.
- 위성 서브시스템과 이상현상 조사.
- 궤도별 태양 주기와의 상관관계 조사.

#### 마. 우주전파환경 기초 연구

##### 1) 태양-행성간 자기장 변화에 따른 자기권 교란에 대한 연구

태양-행성간 자기장 (IMF)의 동서 방향 성분의 변화에 따른 교란의 통계적 연구를 통해 IMF가 동에서 서로, 또는 서에서 동으로 변화한 후 8-9분 뒤 자기 준폭풍이 발생됨을 확인하였다.

##### 2) 자기 폭풍과 자기 준폭풍 사이의 관계에 대한 연구

- 자기 폭풍 회복기에 대한 통계적 분석 수행

관측한 자기 폭풍 이벤트의 약 42%가 Dst의 전체 혹은 첫 번째 회복단계에서 빠른 회복시간을 갖는다.

- 자기 폭풍동안 발생하는 자기 준폭풍의 특징 연구  
자기 준폭풍의 특징이 자기 폭풍의 진화 단계에 따라 크게 다르다는 사실을 발견하였다.

3) 자기권 폭풍으로 인한 저궤도 위성의 자세 및 궤도 교란 연구  
위성의 자세 및 궤도 교란 발생 시점에 강력한 자기 폭풍이 있었음을 확인함.

4) 태양전파폭발의 지구 전달 프로그램 개발

- Type II 태양전파폭발 자료를 이용한 태양 코로나 충격파 속도 결정 및 지구 전달 과정 이해.
- 기존의 STOA (Shock Time Of Arrival) 모형 프로그램의 이해 및 개선 가능성 타진.
- STOA 프로그램을 전파연구소 관측 자료에 적용하여 충격파의 지구 도달 시간을 예측하고 관측 결과와 비교.

바. 인터넷 홈페이지 및 팸플렛 작성/홍보

- 외국의 Regional Warning Center (RWC) 및 상업적 우주환경예보 서비스 기관의 예보물을 바탕으로 전파연구소에서 수행할 종합적인 우주환경예보 서비스 제안.
- 코로나 충격파의 지구 도착 시간 예측 프로그램인 1차원 STOA 모델을 예보시스템에 활용하기 위해 JavaScript를 이용하여 새로 작성.
- 우주환경 예보 시스템에 대한 간략한 소개와 구성도, 우주환경예보 사용자 가이드 등을 수록한 팸플렛을 제작하였음.

## 6. 기대 효과

- 우주환경변화 관련 지수의 도출을 통해 향후 국내 위성, 무선 통신의 안정된 운용을 위한 정보로서 활용 가능할 것으로 예상된다.
- 본 연구를 통해 개발된 태양 전파 폭발에 의한 충격파의 지구 도달 예측 프로그램을 향후 개발 될 좀더 일반적인 우주환경예측 프로그램에 모듈로서 링크할 수 있을 것으로 예상된다.
- 본 연구에서 제안한 우주환경 예보 서비스를 활용하여 관련 기관 및 일반 사용자를 위한 종합적인 우주환경 예보시스템을 개발할 수 있을 것으로 기대된다.

## 7. 기자재 사용 내역

시설·장비명	규격	수량	용도	보유현황	확보방안	비고
워크스테이션 PC 스캐너	Ultra Sparc10	1	전산모사용	과기원	기 보유	
	펜티엄 III	4	그래픽 등	과기원	기 보유	
	HP scanjet	1	자료 스캔	과기원	기 보유	

# SUMMARY

## 1. Title

A Study of Effects on the Domestic Satellites and Communications caused by Space Environment Disturbances

## 2. Objectives

The objectives of the present study are to assess the effects of space environment disturbances on the operations of domestic satellites and communications by analyzing the existing operation logs of geostationary satellites, and to recommend possible items to implement in the space weather forecasting systems to enhance the present features and the user interface.

## 3. Results

### (1) Analysis of satellite anomalies

Magnetic storms from 1997 through 2001 are identified and satellite anomalies occurred during some of the storms are analyzed in depth. Anomalies listed by NOAA are also analyzed and statistics of anomaly types are studied.

### (2) Basic studies of space environment disturbance

Shock Time of Arrival (STOA) model is employed to estimate the travel time of the shock caused by solar flares.



The model can be implemented in the present solar radio telescope system of Radio Research Laboratory. Disturbances of the terrestrial magnetosphere such as magnetic storms and their effects are reviewed, especially regarding the energetic electron events, known to be primary suspects of anomalies of geostationary satellites.

### (3) Space weather information system

Activities of International Space Environment Service (ISES) and its regional warning centers are reviewed and compared with those of the Radio Research Laboratory. The importance of the support to the service in High Frequency communications is stressed. Also emphasized is the public relation of the forecast activities given by the Radio Research Laboratory. A preliminary version of a brochure is suggested in this regard.

## **4. Application**

Continuous study of anomalies of domestic satellites is recommended, especially for the geostationary communication satellites. The importance of participation of the Radio Research Laboratory in the activities of ISES should not be over-looked. The space weather service should emphasize more on the HF communications.

# 목 차

## 표목차

## 그림목차

제 1 장 서론 .....	1
제 2 장 국내위성/무선통신 교란사례 수집 및 우주환경변화 조사 .....	5
제 1 절 국내위성 및 무선통신 교란사례 수집 .....	5
제 2 절 1997년~2001년 사이의 자기 폭풍 발생 조사 .....	6
제 3 절 외국위성 교란사례 수집 .....	16
제 3 장 우주전파환경 변화에 대한 기초 연구 .....	35
제 1 절 태양-행성간 자기장 변화에 따른 지자기권 교란에 대한 연구 .....	35
제 2 절 자기 폭풍과 자기 준폭풍 사이의 관계에 대한 연구 .....	40
제 3 절 태양전파폭발 지구 도착 프로그램 개발 및 적용 .....	55
제 4 장 정보제공 시스템의 기초 확립 및 팜플렛 작성 .....	67
제 1 절 International Space Environment Service .....	67
제 2 절 Regional Warning Centers (RWCs) .....	73

제 3 절 상업적인 우주환경예보 서비스 기관 .....	101
제 4 절 전파연구소의 관측데이터 및 예보서비스 .....	120
제 5 절 우주환경 종합 서비스 제안 .....	138
제 6 절 코로나 충격파의 상시적인 지구 도착 예보를 위한 프로그램 작성 .....	153
제 7 절 전파연구소 우주환경 예보 시스템 홍보를 위한 팜플렛 작성 .....	155
제 5 장 결론 .....	159
참고문헌 .....	163
첨부 .....	167

## 표 목 차

표 2.1 1997년 1월~2001년 8월 사이에 발생한 자기 폭풍 .....	9
표 2.2 이상현상 분류 .....	17
표 2.3 이상현상에 대한 진단 .....	17
표 3.1. 자기 폭풍 회복기 유형별 통계 자료 .....	44
표 3.2 전파연구소에서 관측한 12개의 Type II 태양 전파 폭발 자료의 STOA 모형 입출력자료 및 SSC 자료의 비교 .....	65
표 4.1 Members of the ISES Directing Board .....	72
표 4.2 일본 통신 종합연구소의 관측시설 및 데이터 활용 .....	85
표 4.3 히라이소 우주환경예보센터의 예보·경보 서비스 .....	91
표 4.4 전파연구소의 관측시설 및 데이터 활용 .....	120
표 4.5 태양전파폭발 유형 분류 및 관련 현상 .....	121
표 4.6 태양전파분석을 위한 기호 요약 및 내용 (김신겸 등, 2001) .....	122
표 4.7 우주전파환경 변화에 의한 지자기 변동 현상 .....	124
표 4.8 지자기분석을 위한 기호의 의미 (김신겸 등, 2001) .....	124
표 4.9 전리층 현상 .....	126
표 4.10 태양복사 (X-선)활동도 분류 및 장애 예측 기준 .....	129

표 4.11	프로톤 현상 분류 및 장애 예측 기준 .....	131
표 4.12	지자기 활동도 예측기준 .....	133
표 4.13	우주전파환경에 의한 통신과 항법 시스템 예상 장애 내용 .....	135
표 4.14	우주전파환경에 의한 위성체 및 위성운용 예상 장애 내용 .....	137
표 4.15	우주전파환경에 의한 전력시스템 예상 장애 내용 .....	138

## 그 립 목 차

그림 2.1 태양활동 주기 23의 예측 태양 흑점수 .....	7
그림 2.2 2001년 3월 31일에 발생한 자기 폭풍 .....	8
그림 2.3 (a) 1998년 4월 1일 (DOY 91)~5월 31일 (DOY 151)에 SAMPEX의 heavy-ion large telescope (HILT)에서 측정한 입자 플럭스; (b) Polar위성의 high-sensitivity telescope (HIST)의 $E>2\text{MeV}$ 전자 데이터 (Baker, <i>et al.</i> , 1998) .....	21
그림 2.4 정지궤도인 Los Alamos National Laboratory (LANL)에서 1997년 1월~1998년 5월에 걸쳐 14일 간격으로 관측된 고에너지 전자 플럭스 .....	22
그림 2.5 정지궤도인 GOES 위성에서 1998년 4월 21일~5월 20일 사이에 1일 평균한 전자 플럭스 ( $E>2\text{MeV}$ ), 프로톤 플럭스 ( $>100\text{MeV}$ ) .....	25
그림 2.6 DOY 121~DOY 140사이에 Wind 위성에서 관측된 태양풍 속도 ( $V_{sw}$ ), 행성간 자기장 (IMF) $B_z$ 성분, 및 IMF 크기 ( $B_{IMF}$ ) .....	26
그림 2.7 이상현상과 이상현상의 진단과의 관계 .....	28
그림 2.8 GEO에서의 PC수와 태양의 주기와의 관계 .....	30
그림 2.9 GEO에서의 PF수와 태양의 주기와의 관계 .....	30
그림 2.10 GEO에서의 TE수와 태양의 주기와의 관계 .....	31
그림 2.11 GEO에서의 SE수와 태양의 주기와의 관계 .....	32
그림 2.12 원형 궤도에서의 SE와 태양의 주기와의 관계 ...	32

그림 2.13 극궤도에서의 SE와 태양의 주기와의 관계 .....	33
그림 2.14 극궤도에서의 PC와 태양의 주기와의 관계 .....	34
그림 2.15 타원궤도에서의 ESDM와 태양의 주기와의 관계 .....	34
그림 3.1 IMF 동서 방향 성분이 동에서 서로 변하는 8 경우 .....	38
그림 3.2 IMF 동서 방향 성분이 서에서 동으로 변하는 3 경우 .....	39
그림 3.3 Dst 회복기의 형태에 따른 자기 폭풍의 세 가지 유형 .....	42
그림 3.4 세 가지 Dst 유형 각각에 대해 102개 Dst에서 전체 회복시간, $\Delta t_r$ ,을 $Dst_{min}$ 의 함수로 나타낸 것 .....	43
그림 3.5 본 연구에서 자기장 자료를 얻은 자기 관측소의 위치 .....	47
그림 3.6 자기 쌍극자화 발생 빈도의 LT 분포 .....	50
그림 3.7 자기 쌍극자화 발생과 지상 자기장 bay 발생 사이의 시간차에 대한 LT 분포 .....	51
그림 3.8 고에너지 입자 발생 빈도의 LT 분포 .....	53
그림 3.9 고에너지 입자 발생과 지상 자기장 bay 발생 사이의 시간차에 대한 LT 분포 .....	54
그림 3.10 전파연구소에서 관측한 전형적인 Type II 태양전파폭발시 관측한 동적 스펙트럼 .....	56
그림 3.11 Smith <i>et al.</i> (2000)년이 사용한 STOA 모형과 관측된 시간 지연과 초기 충격과 속도 사이의	

관계 .....	59
그림 3.12 시간 지연차이와 관측된 시간지연 (위쪽) 및 STOA모형이 예측한 시간지연 (아래쪽) 사이의 관계 .....	61
그림 3.13 여러 가지 N에 대한 1차원 STOA 모형에서 예측 한 시간 지연과 관측 시간 지연의 차이 (N=0.2-0.7) .....	62
그림 3.14 $N=0.05+4\times 10^{-4}V_s$ 관계를 가지는 STOA 모형에 의해 예측된 시간 지연과 관측된 시간 지연의 차이 를 초기 충격과 속도 (위쪽) 및 예측된 시간 지연 (아래쪽)의 함수로 그린 그림 .....	63
그림 3.15 1999년 6월 23일 관측한 Type II 태양 전파 폭발 자료에 대한 STOA 프로그램 수행 결과 .....	64
그림 4.1 ISES RWC 가입국 및 각 기관의 위치 .....	69
그림 4.2 Ionogram 영상 .....	75
그림 4.3 Culgoora에서 관측한 태양 라디오 전파 분광자료 .....	76
그림 4.4 Learmonth H-Alpha 영상 .....	77
그림 4.5 태양 흑점수 그래프 (RWC Belgium) .....	81
그림 4.6 광구 (in W-L) .....	84
그림 4.7 NOAA/SEC에서 제공된 ACE 위성의 태양활동, 태 양풍 데이터와 GOES 위성의 양성자/전자 플럭스, 및 Kakioka 지자기관측소에서 얻은 K 지수 그래프 등의 태양활동도표 .....	87



그림 4.8 지자기 활동 K-지수 도표 .....	88
그림 4.9 Dst 예측지수 .....	89
그림 4.10 ACE에서 관측된 실시간 자기권 프로톤 분포 .....	89
그림 4.11 STD Aurora Monitor 프로그램에서 제공하는 SOHO 위성의 태양 이미지 .....	106
그림 4.12 STD Aurora Monitor 프로그램에서 제공하는 GOES 위성 구름 사진 .....	107
그림 4.13 STD Aurora Monitor 프로그램에서 제공하는 IMAGE 위성의 오로라 이미지 .....	107
그림 4.14 STD Aurora Monitor 프로그램에서 제공하는 오로라 oval .....	108
그림 4.15 이상현상의 원인 .....	119
그림 4.16 실시간 이천 지자기 관측데이터 .....	127
그림 4.17 Lowell Digisonde를 이용한 실시간 전리층 관측데이터 (이천) .....	128
그림 4.18 KAIST 아리랑위성 SPS 실시간 관측데이터 ...	128
그림 4.19 미국 GOES 위성에서 측정한 3일 동안의 태양 X-선 변화 .....	130
그림 4.20 미국 우주환경예보센터에서 제공하고 있는 실시간 프로톤 플럭스 .....	131
그림 4.21 미국 볼더 관측소외 전세계 8 개의 지자기 관측소 의 데이터들을 사용하여 미 공군 예보센터에서 결정 한 지자기 Kp 지수 .....	133
그림 4.22 ISES Solar Cycle Sunspot Number Progression .....	140

그림 4.23 지상관측과 위성관측을 input으로 하여 MSM을 사용하여 계산한 고에너지 전자 플럭스 .....	141
그림 4.24 Costello Predicted Geomagnetic Activity Index .....	142
그림 4.25 D-Region Absorption Prediction .....	142
그림 4.26 태양활동 (F10)과 위성의 lifetime .....	143
그림 4.27 위도, 경도에 따른 foF2 .....	143
그림 4.28 NOAA에서 제공하는 UV index .....	144
그림 4.29 NWRA의 WBMOD Ionospheric Scintillation Model을 이용하여 구한 scintillation 예보 .....	149
그림 4.30 PROPLAB-PRO를 이용하여 얻은 이온층을 지나는 신호 양상 .....	149
그림 4.31 ASAPS를 이용하여 구한 point-to-area field 강도 예보 (최적주파수 등고선) .....	150
그림 4.32 ASAPS를 이용하여 구한 point-to-point field 강도 예보 (최적주파수) .....	150
그림 4.33 GWPS를 이용하여 구한 주파수 vs 유효범위 .....	151
그림 4.34 GWPS를 이용하여 구한 시간 vs 주파수 .....	151
그림 4.35(a) 우주환경 예보 시스템의 홍보 팜플렛 (바깥 면) .....	157
그림 4.35(b) 우주환경 예보 시스템의 홍보 팜플렛 (안쪽 면) .....	158

## 제 1 장 서 론

우주환경변화가 위성의 운용이나 무선통신에 악영향을 미칠 수 있다는 사실은 익히 알려져 왔다. 외국의 경우 실제 그러한 사례들이 조사되고 분석된 반면 위성 및 통신의 운용/사용이 급증하고 있는 국내의 경우는 유사한 연구 조사가 아직까지 이루어지지 않았다. 향후 안정된 위성, 통신 운용을 돕기 위해서는 이와 같은 연구가 반드시 필요하여 본 연구과제를 통해 수행 하고자 한다.

그러나, 우주환경변화가 위성, 통신에 미치는 영향을 사례조사 차원에서만 수행하는 것으로는 근본적 문제 해결을 위해 충분치 못하므로 이를 기초 물리적 차원에서 규명하려는 노력이 병행되어야 한다. 본 과제에서는 위성, 통신 교란 사례와 가장 밀접하게 연관되는 것으로 믿어지는 몇 가지 우주환경변화 현상 자체에 대한 기초 연구를 병행하여 수행한다. 이를 통해 향후 우주전파환경 변화에 대한 예측 프로그램 개발에 유용하게 활용될 기초 토대를 마련하는데 본 연구의 목적을 둔다.

우주환경을 연구하는 것은 기본적으로 기초 학문의 영역에 해당되며, 우주환경에 항상 노출 되어있는 위성 및 통신 운용은 필수 불가결하게 우주환경과학으로부터의 지식을 필요로 하게 된다. 이와 같은 차원에서 본 연구가 필요한 것이며, 나아가 기초우주과학의 지식을 첨단 산업계에 접목시키는 가교 역할까지도 할 것이다.

본 연구의 내용 및 범위는 다음과 같다. 2장에서는 최근 수년사이에 국내 보유 위성과 교란 사례에 대한 정보 및 자료를 수집하고, 수집된 사례에서 나타난 위성/통신 교란과 우주전파환경 변화와의 상관관계를 분석한다. 태양 플레어의 발생, 코로나 질량 분출, 충격파 발생 및 전달 등의 태양활동과 자기권 폭풍, 준폭풍 발생은 지구 자기권에 영향을 주어 오로라의 발생, 통신두절, 및 운용 중인 위성의 손실 등의 현상을 일으킨다. 여기서는 우주환경변화 중 자기폭풍의 발생과 위성/통신 교란의 상관성을 조사한다. 이를 위해 1997년~2001년 사이의 Dst 지수 변화를 조사하고, 국내위성/무선통신 교란 발생 시점의 Dst 지수 변화를 분석한다. Dst 지수는 자기 폭풍의 발생 여부를 나타내는 지자기활동

지수이다. 또한 외국위성의 교란 사례와 우주환경변화의 상관성 분석결과를 조사한다.

또한, 태양-행성간 자기장 (Interplanetary Magnetic Field: IMF)은 태양으로부터의 에너지가 지구 자기권으로 흘러 들어오게 하는데 중요한 역할을 한다. 이 유입된 에너지는 궁극적으로 자기권 및 이온층 교란의 기초 원인이 된다. 그런데 IMF는 종종 그 방향과 크기가 급격히 변하곤 하며, 이에 따라 자기권 및 이온층이 그에 상응하는 교란을 일으키게 된다. 예로 태양 행성간 자기장의 남쪽성분의 방향 변화에 의해 자기 준폭풍 현상이 일어나는 것이 종종 관측되었다. 3장에서는 위성이나 통신 교란의 원인이 되는 우주환경변화에 대한 기초 연구의 일환으로 IMF의 동서 방향 성분이 급격히 변할 때의 자기권 교란에 대해 중점적으로 연구한다. 그리고 자기 폭풍과 자기 준폭풍 사이의 관계에 대한 연구를 위해 통계적인 분석을 수행한다.

태양전파는 3개의 특징적인 성분 - 태양전체에서 나오는 quite component, corona의 밀도가 높은 영역에서 나오는 slowly varying component, 및 전파 폭발 (radio burst) -으로 나누어지는데 그중 가장 중요한 것이 플레어 현상과 밀접한 관련이 있는 전파폭발이다. 태양전파폭발은 플레어 발생 직후 수 분내에 뒤따르며 메타파 (30 MHz~300 MHz)에서 데시메타파 (300 MHz~3000 MHz) 대역에 걸쳐 수초에서 수 시간동안 지속되는 다양한 스펙트럼 구조를 갖는다. 메타파와 데시메타파는 그 특성이 복잡하여 type I, II, III, IV, 및 V로 나누어지며 자기권 폭풍 등 우주환경의 변화와 밀접한 상관관계가 있다. 본 연구에서는 전파연구소의 태양전파망원경으로 관측 가능한 태양전파폭발 (radio type II burst)에 의한 충격파의 지구도착 프로그램을 개발한다. 전파폭발의 지구도착 시간의 예측은 운용 중인 위성이나 무선통신 사용자에게 매우 유용한 정보가 될 것이다.

4장에서는 향후 국내 위성과 무선 통신의 안정된 운용을 돕는 정보제공 시스템의 기초 확립을 위해 International Space Environment Service (ISES)의 Regional Warning Center (RWCs) 및 우주환경예보와 관련된 외국회사에서 제공하고 있는 우주환경예보 서비스에 대해 조사한다. 위의 조사와 현재 전파연구소에서 제공하고 있는 우주환경 서비스를 바탕으로 전파연구소에서 수행할 종합적인 우주환경예보 서비

스를 제안한다. 그리고 3장에서 개발한 충격파의 지구 도착 예측 프로그램 (Shock Time Of Arrival model: STOA model)을 상시적인 예보 서비스로서 활용하기 위해 이를 JavaScript로 다시 작성한다. 전파 연구소에서 수행하고 있는 우주환경 예보 시스템의 홍보를 위한 팜플렛을 제작한다.

마지막으로 5장에서는 본 연구의 결과에 대해 기술한다.

2 /

1

1.

가. 1

1

/

,

.

Dst

. Dst

World Data Center

Dst

,

.

. 2

2

,

. 1

Dst

,

1997

2001

( 2.1),

,

가

/

가

.

/

,

.

, 가

가

,

가

2000 7 15

ASCA 가

가

가

## 2 1997 2001

1997 1 2001 8

NASA Goddard Space Flight Center Omniweb

Kp

$Dst < -40 \text{ nT}$

116

2.1

, Dst , Kp (

2.1)가 1997 2000 가

가 1 16 33 가 2000 4 6

Dst 가 - 322 nT Kp

8.7 가

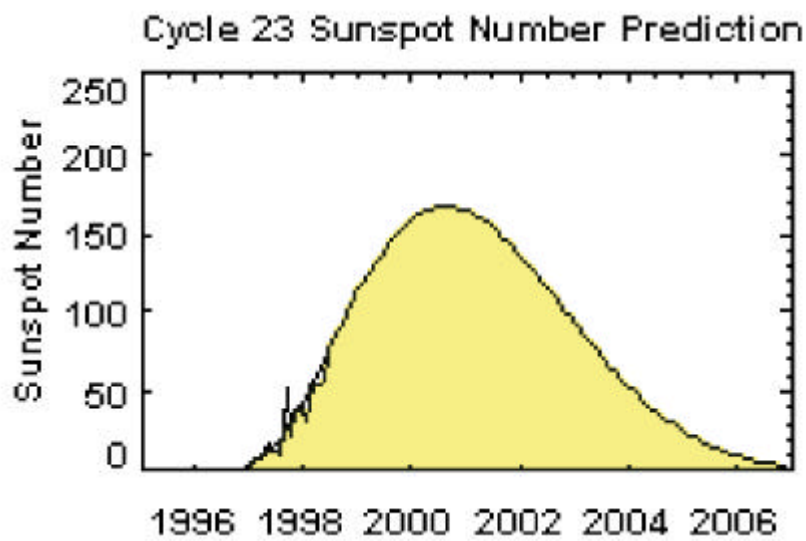
2001 8 2001

가 Dst 가 - 358 nT 2001 3

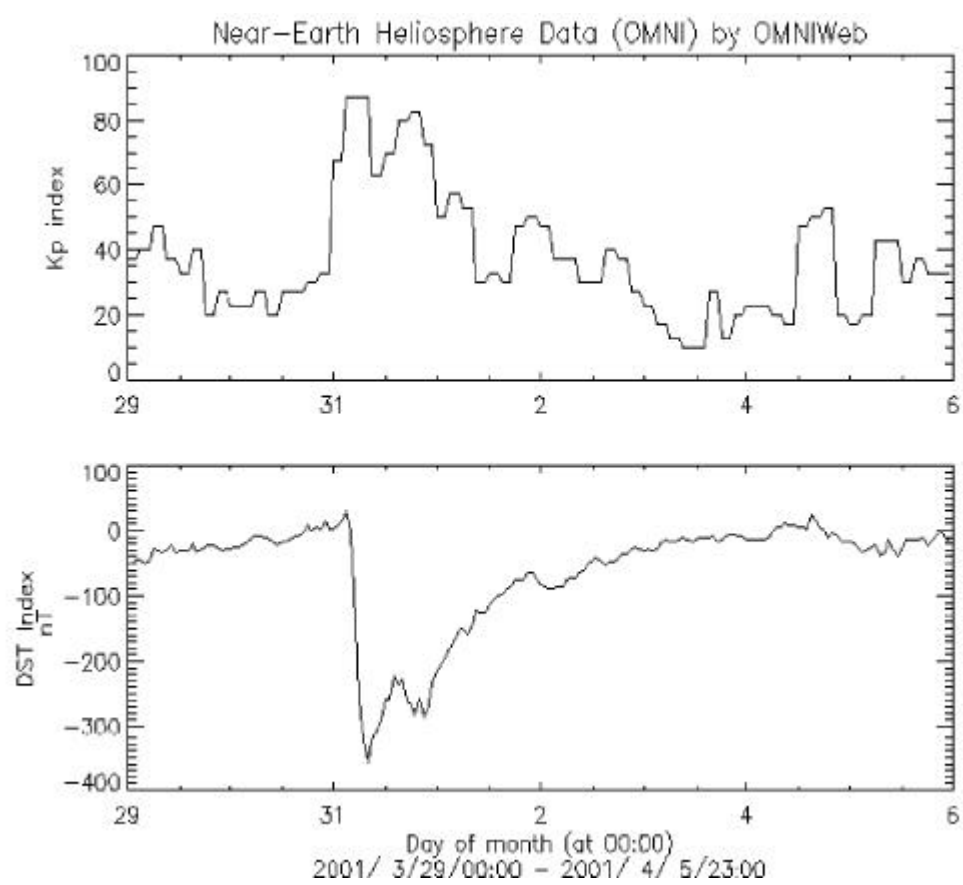
31 ( 2.2) . Kp 8.7 가 .

3 ( , 1998 1 6 , 98 9 30 )  
 10 ( , 1997 5 14 , 99 10 10 , 2000 2 11 ,  
 2000 5 23 ) , 4 6

Kp  
 가 , Kp 가 가  
 가 ( , 1999 8 16 Dst = -40 nT, Kp = 5.3).  
 Dst Kp 가







2.2 2001 3 31 .

2.1 1997 1 2001 8

	Storm			Dst min	Kp max
97.1.10	1997-01-10 6:00	1997-01-10 8:00	1997-01-16 4:00	- 80	6.0
97.4.10	1997-04-10 18:00	1997-04-11 5:00	1997-04-15 0:00	- 100	6.7
97.4.16	1997-04-16 12:00	1997-04-17 6:00	1997-04-21 0:00	- 85	5.3
97.4.21	1997-04-21 10:00	1997-04-22 0:00	1997-04-25 0:00	- 115	5.3
97.5.1	1997-05-01 14:00	1997-05-02 0:00	1997-05-07 20:00	- 75	6.3
97.5.14	1997-05-14 12:00	1997-05-15 12:00	1997-05-23 12:00	- 120	6.7
97.5.26	1997-05-26 8:00	1997-05-27 7:00	1997-05-30 10:00	- 77	6.0
97.6.7	1997-06-07 0:00	1997-06-09 5:00	1997-06-11 13:00	- 95	5.7
97.7.15	1997-07-15 8:00	1997-07-15 22:00	1997-07-17 12:00	- 45	3.7
97.8.3	1997-08-03 15:00	1997-08-03 21:00	1997-08-05 6:00	- 50	5.0
97.8.28	1997-08-28 0:00	1997-08-28 6:00	1997-08-31 16:00	- 60	4.3
97.9.3	1997-09-03 18:00	1997-09-03 22:00	1997-09-07 20:00	- 113	6.3
97.10.1	1997-10-01 2:00	1997-10-01 17:00	1997-10-06 8:00	- 110	7.0
97.11.21	1997-11-21 12:00	1997-11-23 7:00	1997-11-30 12:00	- 120	7.2
97.12.10	1997-12-10 6:00	1997-12-10 16:00	1997-12-14 16:00	- 75	4.0
97.12.30	1997-12-30 3:00	1997-12-30 18:00	1998-01-04 8:00	- 80	4.7

	Storm			Dst min	Kp max
98.1.6	1998-01-06 11:00	1998-01-07 4:00	1998-01-08 9:00	- 87	6.3
98.1.29	1998-01-29 20:00	1998-01-30 13:00	1998-02-02 10:00	- 55	4.3
98.2.17	1998-02-17 12:00	1998-02-18 1:00	1998-02-21 12:00	- 118	6.7
98.3.10	1998-03-10 0:00	1998-03-10 21:00	1998-03-20 0:00	- 130	7.3
98.5.2	1998-05-02 6:00	1998-05-04 6:00	1998-05-15 0:00	- 260	8.7
98.5.29	1998-05-29 14:00	1998-05-30 3:00	1998-06-01 19:00	- 55	6.7(4.3)
98.6.14	1998-06-14 4:00	1998-06-14 11:00	1998-06-17 22:00	- 57	4.3
98.6.25	1998-06-25 18:00	1998-06-26 5:00	1998-06-29 13:00	- 110	6.3
98.7.15	1998-07-15 23:00	1998-07-16 5:00	1998-07-18 12:00	- 70	6.0
98.7.22	1998-07-22 18:00	1998-07-23 7:00	1998-07-27 8:00	- 62	5.3
98.8.6	1998-08-06 0:00	1998-08-06 12:00	1998-08-12 18:00	- 165	7.3
98.8.19	1998-08-19 16:00	1998-08-20 20:00	1998-08-22 0:00	- 70	4.0
98.8.22	1998-08-22 0:00	1998-08-22 16:00	1998-08-25 12:00	- 63	4.3
98.8.26	1998-08-26 10:00	1998-08-27 9:00	1998-09-05 0:00	- 170	7.0
98.9.18	1998-09-18 8:00	1998-09-18 12:00	1998-09-22 12:00	- 50	5.3
98.9.22	1998-09-22 12:00	1998-09-24 8:00	1998-09-25 0:00	- 55	4.7
98.9.25	1998-09-25 0:00	1998-09-25 9:00	1998-09-30 12:00	- 210	8.3

	Storm			Dst min	Kp max
98.9.30	1998- 09- 30 12:00	1998- 10- 01 0:00	1998- 10- 02 12:00	- 58	5.3
98.10.2	1998- 10- 02 12:00	1998- 10- 02 21:00	1998- 10- 06 16:00	- 57	5.3
98.10.7	1998- 10- 07 0:00	1998- 10- 07 19:00	1998- 10- 14 16:00	- 70	5.7
98.10.19	1998- 10- 19 0:00	1998- 10- 19 5:00	1998- 10- 27 10:00	- 115	6.3
98.11.13	1998- 11- 13 2:00	1998- 11- 13 23:00	1998- 11- 19 8:00	- 130	6.0
98.12.10	1998- 12- 10 10:00	1998- 12- 11 9:00	1998- 12- 13 16:00	- 70	5.3
98.12.25	1998- 12- 25 7:00	1998- 12- 25 12:00	1998- 12- 28 0:00	- 65	4.0
99.1.13	1999- 01- 13 0:00	1999- 01- 13 12:00	1999- 01- 18 13:00	- 112	7.0
99.1.21	1999- 01- 21 12:00	1999- 01- 23 21:00	1999- 01- 29 12:00	- 50	5.0
99.2.18	1999- 02- 18 3:00	1999- 02- 18 9:00	1999- 02- 22 6:00	- 124	6.7
99.2.28	1999- 02- 28 12:00	1999- 03- 01 0:00	1999- 03- 17 0:00	- 90	6.3
99.3.29	1999- 03- 29 0:00	1999- 03- 29 15:00	1999- 04- 04 14:00	- 57	5.7
99.4.16	1999- 04- 16 4:00	1999- 04- 17 3:00	1999- 04- 22 18:00	- 90	6.3
99.4.26	1999- 04- 26 9:00	1999- 04- 28 21:00	1999- 05- 04 13:00	- 47	4.7
99.5.13	1999- 05- 13 0:00	1999- 05- 13 14:00	1999- 05- 15 12:00	- 50	5.0
99.7.20	1999- 07- 20 15:00	1999- 07- 22 17:00	1999- 07- 26 3:00	- 48	4.7
99.7.30	1999- 07- 30 20:00	1999- 07- 31 1:00	1999- 08- 03 21:00	- 53	7.7(5.3)

	Storm			Dst min	Kp max
99.8.8	1999-08-08 7:00	1999-08-09 12:00	1999-08-10 6:00	-47	3.7
99.8.16	1999-08-16 6:00	1999-08-18 4:00	1999-08-20 0:00	-40	5.3
99.8.20	1999-08-20 0:00	1999-08-20 17:00	1999-08-22 0:00	-56	5.7
99.8.22	1999-08-22 10:00	1999-08-23 0:00	1999-08-25 10:00	-66	5.7
99.8.26	1999-08-26 12:00	1999-08-26 23:00	1999-08-30 7:00	-38	4.0
99.8.31	1999-08-31 15:00	1999-09-01 10:00	1999-09-06 8:00	-48	5.0
99.9.12	1999-09-12 7:00	1999-09-13 4:00	1999-09-21 0:00	-75	6.0
99.9.22	1999-09-22 19:00	1999-09-23 0:00	1999-10-04 0:00	-175	8.0
99.10.10	1999-10-10 0:00	1999-10-10 18:00	1999-10-20 4:00	-68	5.7
99.10.22	1999-10-22 0:00	1999-10-22 6:00	1999-11-04 0:00	-238	8.0
99.11.7	1999-11-07 0:00	1999-11-13 21:00	1999-11-21 17:00	-105	6.3
99.11.23	1999-11-23 3:00	1999-11-24 9:00	1999-11-24 22:00	-50	5.0
99.12.12	1999-12-12 0:00	1999-12-13 9:00	1999-12-15 8:00	-85	5.7
99.12.30	1999-12-30 18:00	2000-01-01 0:00	2000-01-09 19:00	-50	5.7(5.3)
2000.1.11	2000-01-11 7:00	2000-01-11 21:00	2000-01-18 12:00	-83	5.3
2000.1.22	2000-01-22 6:00	2000-01-23 0:00	2000-01-27 7:00	-92	6.3
2000.1.27	2000-01-27 21:00	2000-01-28 13:00	2000-02-01 10:00	-47	5.0

	Storm			Dst min	Kp max
2000.2.5	2000- 02- 05 17:00	2000- 02- 07 17:00	2000- 02- 11 0:00	- 41	5.3
2000.2.11	2000- 02- 11 8:00	2000- 02- 12 12:00	2000- 02- 19 0:00	- 170	6.7
2000.3.1	2000- 03- 01 4:00	2000- 03- 01 14:00	2000- 03- 04 0:00	- 49	4.7
2000.3.6	2000- 03- 06 16:00	2000- 03- 08 21:00	2000- 03- 09 16:00	- 43	4.0
2000.3.10	2000- 03- 10 6:00	2000- 03- 11 6:00	2000- 03- 12 15:00	- 37	4.0
2000.3.31	2000- 03- 31 5:00	2000- 03- 31 11:00	2000- 04- 06 11:00	- 58	5.0
2000.4.6	2000- 04- 06 14:00	2000- 04- 07 0:00	2000- 04- 13 0:00	- 322	8.7
2000.4.15	2000- 04- 15 18:00	2000- 04- 16 11:00	2000- 04- 18 18:00	- 80	4.3
2000.4.24	2000- 04- 24 4:00	2000- 04- 24 14:00	2000- 04- 27 0:00	- 65	5.3
2000.5.17	2000- 05- 17 0:00	2000- 05- 17 5:00	2000- 05- 20 18:00	- 88	6.0
2000.5.23	2000- 05- 23 12:00	2000- 05- 23 16:00	2000- 06- 02 12:00	- 148	8.0
2000.6.8	2000- 06- 08 10:00	2000- 06- 08 19:00	2000- 06- 13 20:00	- 87	7.0
2000.6.26	2000- 06- 26 0:00	2000- 06- 26 17:00	2000- 07- 01 5:00	- 74	6.0
2000.7.14	2000- 07- 14 18:00	2000- 07- 16 0:00	2000- 07- 19 18:00	- 310	9.0
2000.7.19	2000- 07- 19 18:00	2000- 07- 20 7:00	2000- 07- 26 4:00	- 90	6.0
2000.7.26	2000- 07- 26 4:00	2000- 07- 29 11:00	2000- 08- 03 21:00	- 74	5.7
2000.8.5	2000- 08- 05 6:00	2000- 08- 06 5:00	2000- 08- 09 0:00	- 50	5.0

	Storm			Dst min	Kp max
2000.8.10	2000- 08- 10 6:00	2000- 08- 12 10:00	2000- 08- 18 6:00	- 238	7.7
2000.8.28	2000- 08- 28 4:00	2000- 08- 29 6:00	2000- 09- 03 0:00	- 57	5.7
2000.9.12	2000- 09- 12 2:00	2000- 09- 12 18:00	2000- 09- 15 12:00	- 70	4.3
2000.9.15	2000- 09- 15 20:00	2000- 09- 17 0:00	2000- 09- 17 19:00	- 57	6.3
2000.9.17	2000- 09- 17 19:00	2000- 09- 18 0:00	2000- 09- 23 23:00	- 172	8.3
2000.9.29	2000- 09- 29 10:00	2000- 09- 30 15:00	2000- 10- 02 6:00	- 80	6.3
2000.10.2	2000- 10- 02 6:00	2000- 10- 05 12:00	2000- 10- 09 15:00	- 192	7.7
2000.10.13	2000- 10- 13 0:00	2000- 10- 14 14:00	2000- 10- 17 8:00	- 110	6.7
2000.10.22	2000- 10- 22 8:00	2000- 10- 23 6:00	2000- 10- 27 18:00	- 48	4.7
2000.10.28	2000- 10- 28 20:00	2000- 10- 29 4:00	2000- 11- 03 0:00	- 113	6.0
2000.11.4	2000- 11- 04 4:00	2000- 11- 06 20:00	2000- 11- 09 4:00	- 160	7.0
2000.11.10	2000- 11- 10 6:00	2000- 11- 10 12:00	2000- 11- 15 6:00	- 104	6.3
2000.11.26	2000- 11- 26 18:00	2000- 11- 29 12:00	2000- 12- 06 0:00	- 130	6.7
2000.12.22	2000- 12- 22 20:00	2000- 12- 23 4:00	2000- 12- 25 0:00	- 58	5.7
2001.1.23	2001- 01- 23 12:00	2001- 01- 25 15:00	2001- 01- 28 5:00	- 55	4.7
2001.2.13	2001- 02- 13 5:00	2001- 02- 13 20:00	2001- 02- 18 18:00	- 50	4.7
2001.3.3	2001- 03- 03 15:00	2001- 03- 05 3:00	2001- 03- 09 3:00	- 73	5.0

	Storm			Dst min	Kp max
2001.3.19	2001- 03- 19 12:00	2001- 03- 20 13:00	2001- 03- 22 13:00	- 155	7.3
2001.3.22	2001- 03- 22 13:00	2001- 03- 23 16:00	2001- 03- 27 0:00	- 85	5.0
2001.3.27	2001- 03- 27 19:00	2001- 03- 28 12:00	2001- 03- 30 18:00	- 98	6.3
2001.3.31	2001- 03- 31 4:00	2001- 03- 31 8:00	2001- 04- 04 12:00	- 358	8.7
2001.4.8	2001- 04- 08 12:00	2001- 04- 09 8:00	2001- 04- 11 12:00	- 54	7.0
2001.4.11	2001- 04- 11 14:00	2001- 04- 11 23:00	2001- 04- 17 9:00	- 256	8.3
2001.4.18	2001- 04- 18 0:00	2001- 04- 18 6:00	2001- 04- 21 5:00	- 101	7.3
2001.4.22	2001- 04- 22 0:00	2001- 04- 22 15:00	2001- 04- 25 12:00	- 103	6.3
2001.5.7	2001- 05- 07 0:00	2001- 05- 10 6:00	2001- 05- 16 21:00	- 70	5.3
2001.6.18	2001- 06- 18 4:00	2001- 06- 18 9:00	2001- 06- 23 12:00	- 57	5.3
2001.7.8	2001- 07- 08 15:00	2001- 07- 11 0:00	2001- 07- 12 0:00	- 40	5.0(3.3)
2001.8.3	2001- 08- 03 6:00	2001- 08- 05 15:00	2001- 08- 08 12:00	- 50	5.0
2001.8.17	2001- 08- 17 12:00	2001- 08- 17 22:00	2001- 08- 21 0:00	- 105	7.0



### 3

#### 1.

(

)

Single Event Upset (SEU), Single Event Latchup (SEL), Single Event Burnout (SEB), ,

Total Ionization Dose Effects (TID), (Electrical Charging)

#### 2.

가.

2.2 .

(unknown)

2.3

2.2 2.3 NOAA

. NOAA

NOAA

NGDC FTP server

## 2.2

PC	Phantom Command :
PF	Part Failure :
TE	Telemetry Error :
SE	Soft Error : bit-flip
HE	Hard Error : chip Latch-up
SS	System Shutdown :
ESDM	Electro Static Discharge Measured :
ATT	Attitude Control Problem :
UNK	Unknown :

## 2.3

ECMP	Electron caused Electromagnetic Pulse :
ESD	Electro Static Discharge :
SEU	Single Event Upset : , ,
MCP	Mission Control Problem :
RFI	Radio Frequency Interference : RF
UNK	Unknown :

가

가

1982 11 26 GOES-4 VISSR  
 가 45 가 가 . 1982 2  
 가 Marces-B가  
 . 1989 3 13  
 가 GOES-7  
 Anik E-1 E-2  
 가 . 1994 1 20 21  
 . 1993 8 5 Intelsat  
 . 1998 2000  
 , 1998 5 1-19  
 . 1998 5 1 Equator-S  
 - - (loss) , 5 6 Polar  
 SEU on-board processor 가 6  
 .  
 1998 5 4-7 12  
 . 1998 5 19  
 Galaxy 4 ,  
 . 5 4  
 2 highly relativistic electrons (HRE) deep  
 (flux) 가 (Baker, *et al.*, 1998). 1998  
 12 TOMS (Total Ozone Mapping System)  
 가 가 SEU .  
 (safe-hold  
 mode) 가 reset 가 . 1999 7 30  
 , Anik E-2  
 . 2000 7 15 ASCA (Astro-D)  
 가 (safe mode) .

가 .

1998 5 Galaxy 4, Polar, Equator-S  
Baker, *et al.* (1998)

(1)

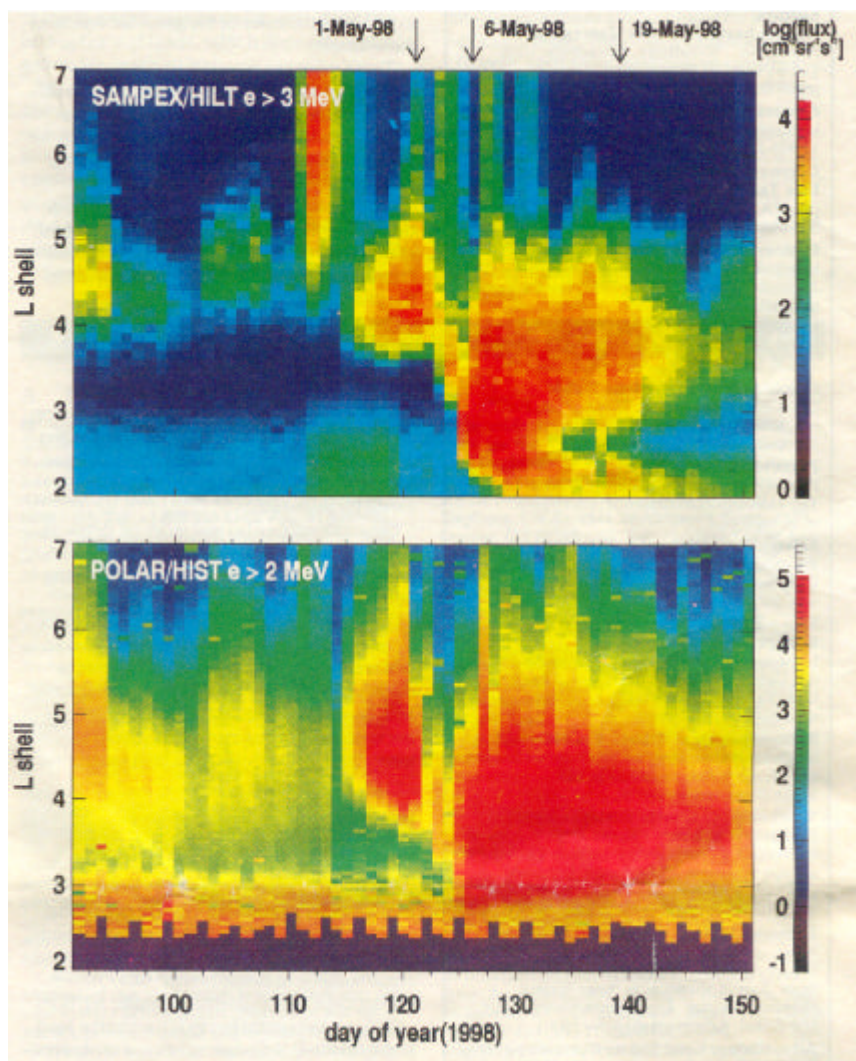
1998 4500  
(Galaxy 4)가 ,  
(highly relativistic electrons: HREs)  
가 . HRE Galaxy  
4 2 가 .  
HRE 가 가  
(Baker, *et al.* , 1994, 1996). Vampola (1987) Baker,  
*et al.* (1987) 가 subsystem  
(deep dielectric charging) .  
(thermal control blanket), , ,  
가 가  
(electrostatic discharge event)가 .  
subsystem  
1998 5 19  
UT 22 Galaxy 4

Backup ,  
 , 4 5  
 , ,  
 (corona mass ejection), (solar flares),  
 (outer terrestrial  
 radiation zone) 가 HRE  
 solar maximum

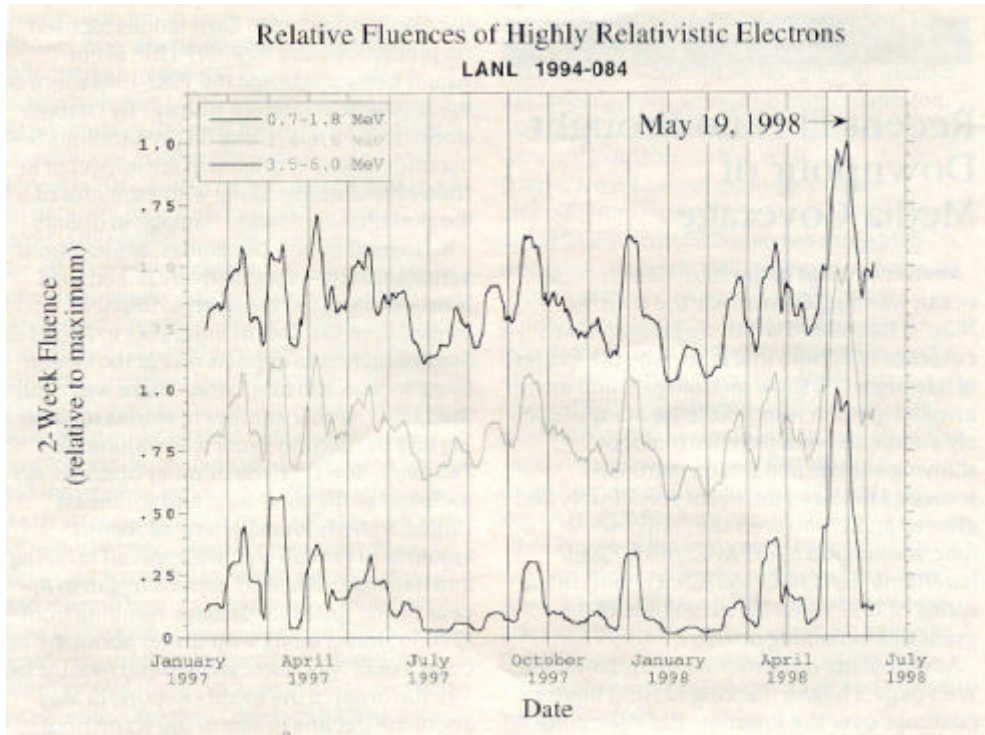
(2)

( 600km) SAMPEX  
 2.3(a) 1998 4 1 (DOY 91) 5 31 (DOY 151) SAMPEX  
 heavy-ion large telescope (HILT)  
 3MeV (energy threshold) 가  
 (5MeV (sensitivity) 가 ). DOY 110  
 가  
 (solar energetic particle event)  
 DOY 115 (4 25 ) L=4 outer zone HRE deep  
 가가  
 DOY 130 (5 10 )  
 가 DOY 124 (5  
 4 ) HRE deep 가 outer  
 zone relativistic electron 가 2  
 L=3 L=5  
 2.3(a) relativistic electron 가  
 ,  
 . Polar

( $E > 0.3 \text{ MeV}$ ) SAMPEX  
 2.3(b) Polar high-sensitivity telescope (HIST)  $E > 2 \text{ MeV}$



2.3 (a) 1998 4 1 (DOY 91) 5 31 (DOY 151)  
 SAMPEX heavy-ion large telescope (HILT)  
 ; (b) Polar high-sensitivity telescope (HIST)  
 $E > 2 \text{ MeV}$  (Baker, *et al.*, 1998).



2.4 Los Alamos National Laboratory  
(LANL) 1997 1 1998 5 14  
(Baker, *et al.*, 1998).

2.4 Los Alamos National Laboratory (LANL)  
1997 1 1998 5 14  
. 3 peak fluence  
(normalize) . 3 1998 5 19  
fluence가 . 5 75%  
, 3.5-6.0MeV fluence  
1998 5 50% . 1997 1 fluence Telstar  
401 (Reeves *et al.*, 1998). 1998 5  
3 가  
.

2.5a GOES 1998 4 21 5 20  
 1 E>2MeV . 4 21  
 (  $10^4 / \text{cm}^2\text{-sr-day}$  ) 1 가 4 29  
 . (5 1 4 )  
 가, 5 5 (intensity) 100 10  
 . 5 16 2-3 factor ,  
 $10^7$  . GEOS (>100MeV)  
 ( 2.5b). (4 21 ,  
 5 2 , 5 6 ) 가가 , L  
 SAMPEX .

(3)

가 5 19 Galaxy  
 4 . 2.3, 2.4, 2.5 .  
 Galaxy HRE 가

.  
 5 6 Polar (anomaly) 5 1 Equator-S  
 . Polar on-board processor  
 6 .

single-event upset

(W. J. Guit, Polar Spacecraft Problem, NASA Goddard Space  
 Flight Center memo, 1998). 5 6 ACE

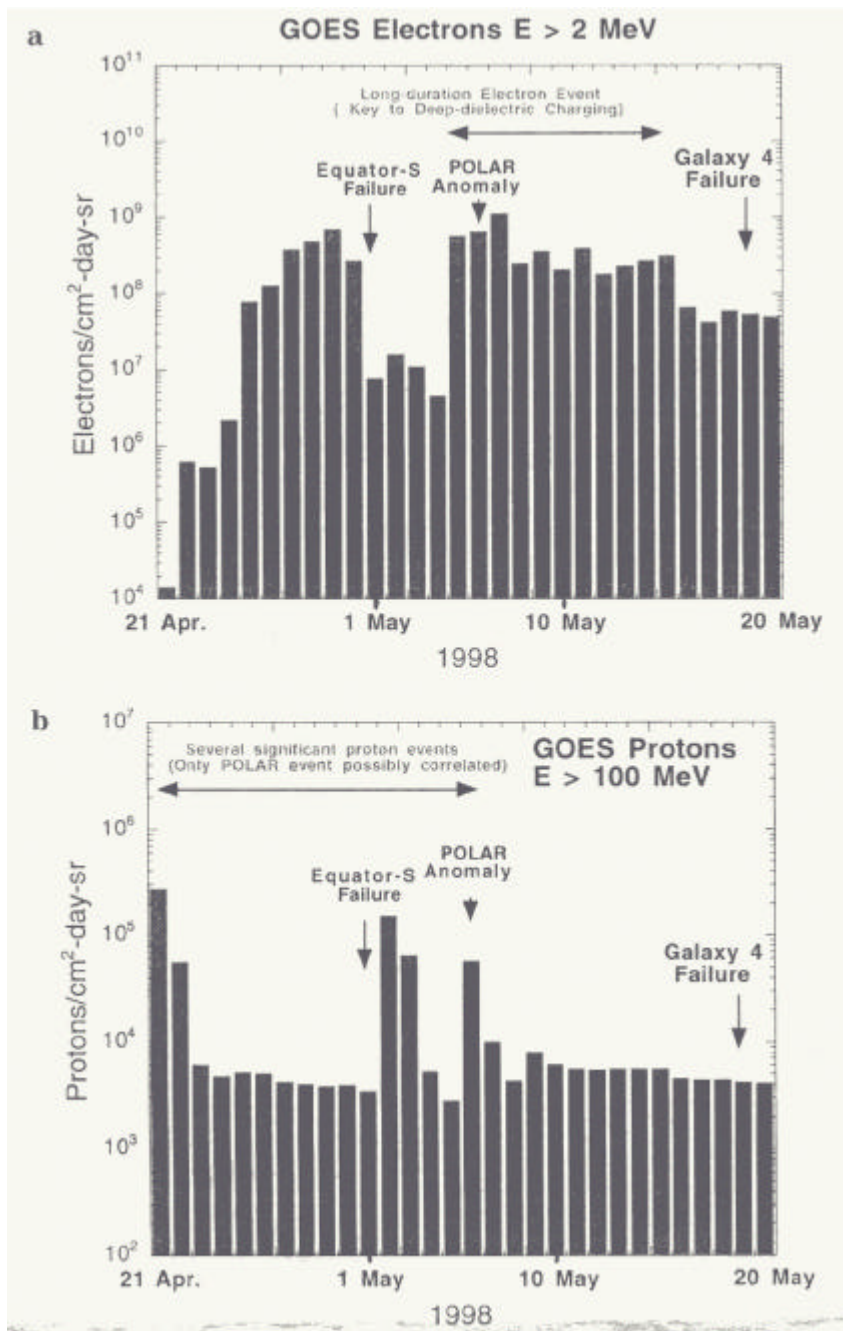
E>100MeV iron nuclei  
 . Polar 가  
 . 5 1 Equator-S  
 . 1997 12 Equator-S 가  
 1998 5 1 가  
 . Equator-S , outer radiation  
 belt relativistic electron 가 1 (  
 ) .



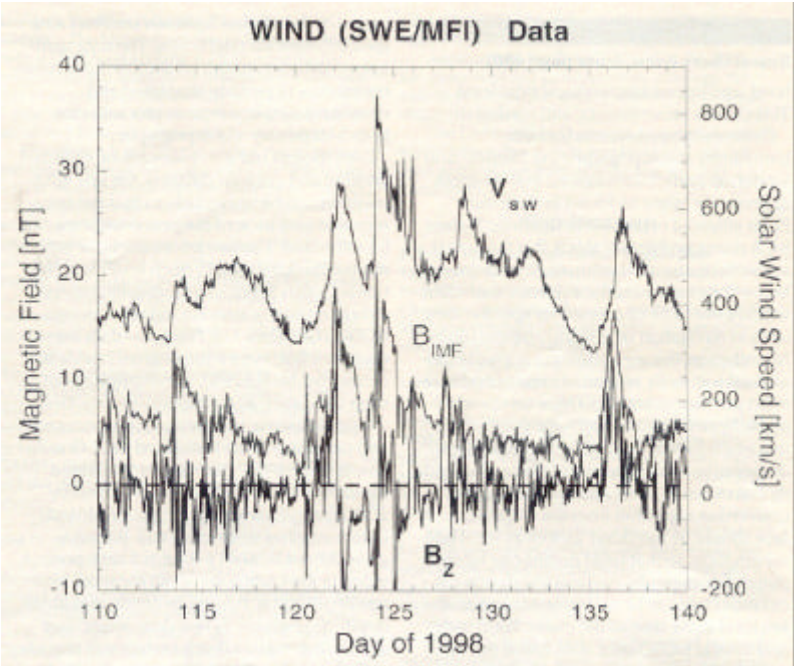
12

(4)

1998 5 2 SOHO solar flare가 . GOES  
 SAMPEX 가  
 solar flare .  
 . 2.6 DOY 121 DOY 140 Wind  
 ( $V_{sw}$ ), (IMF) north-south  
 ( $B_z$ ), IMF ( $B_{IMF}$ ) .  $V_{sw}$  peak  
 가 600km/s 4 .  
 HRE (Baker *et al.*, 1994,  
 1996). DOY 124 850km/s  
 1AU  
 가 .  
 $B_{IMF}$   $B_z$   
 가 가 (Blake  
*et al.*, 1997). DOY 124 Kp 9 .  
 Dst - 218nT , electrojet  
 2500nT . 5 4  
 . L=2.2 radiation belt  
 .



2.5 GOES 1998 4 21 5  
 20 1 (E>2MeV),  
 (>100MeV).



2.6 DOY 121 DOY 140 Wind  
(  $V_{sw}$  ), (IMF)  $B_z$  , IMF  
(  $B_{IMF}$  ).

3.

가.

NOAA 1963 1994  
, 가 SE  
(soft error) 37.42% . 25.32% UNK  
(unknown) , .  
16.32% PC (phantom command)  
. TE 8.35%, ESDM 7.49%, PF 3.08%, NO VALUE

0.97%, SS 0.83%, 0.22% . UNK  
가 bit-flip (SE)

. ,

TID , SEE

.

가 ( , 2001a, 2001b).

.

. SAM (satellite anomaly management)

NOAA

가

2.7

ESD

PC

ECEMP

TE

. ESD ECEMP

가

ESD

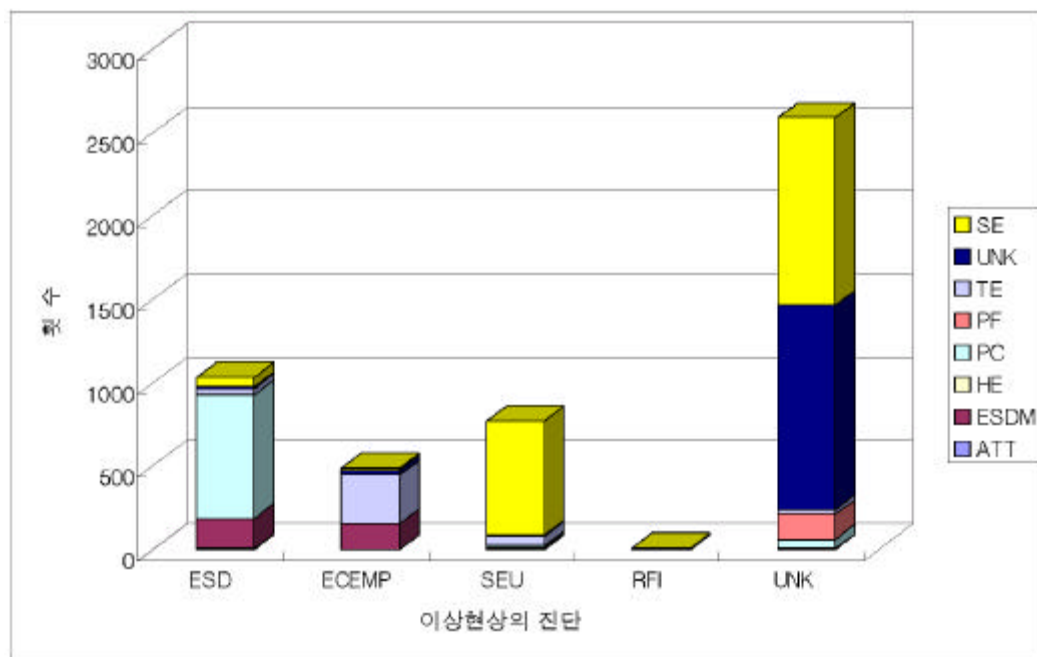
가

가

, ECEMP

가

. PC



2.7

가  
가  
가  
가 . SEU  
가 , SEB (single event burnout)

NOAA

가 (C & DH Subsystem) (TC & R Subsystem) 54.37% .

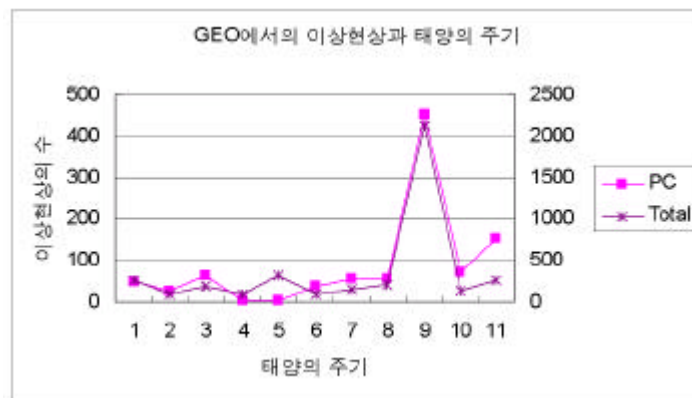
가 , , ROM, RAM . NOAA 5000 9% 가 . (AOCS) (25.40%) ,

C & DH TC & R . , EPS 10.02%, payload 5.65%, Thruster Prob. 4.17%, DDC 0.40% .

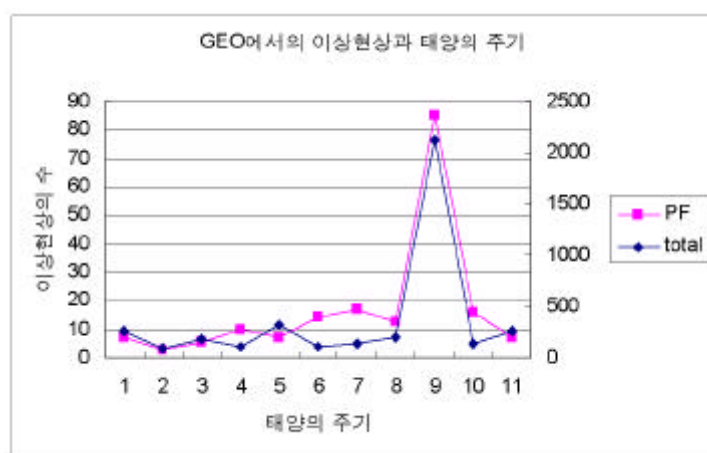
(1) (Geosynchronous orbit: GEO)

2.8 2.11 NOAA

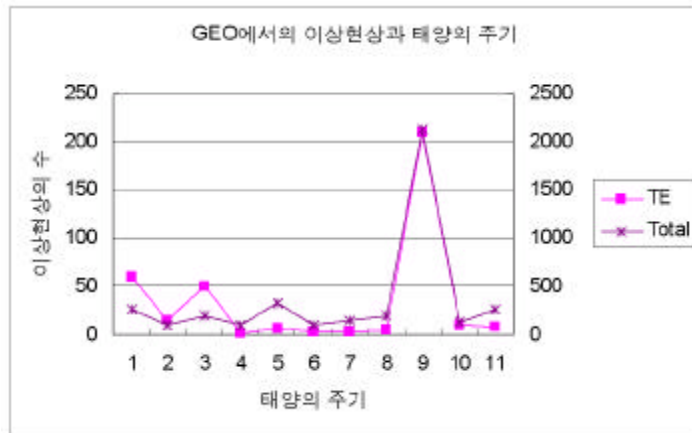
CME



2.8 GEO PC



2.9 GEO PF



## 2.10 GEO TE

(2) (Circular Orbit)

가

250Km 600Km ,  
15000Km 32000Km .

2.12

가

,

가

(killer electron)

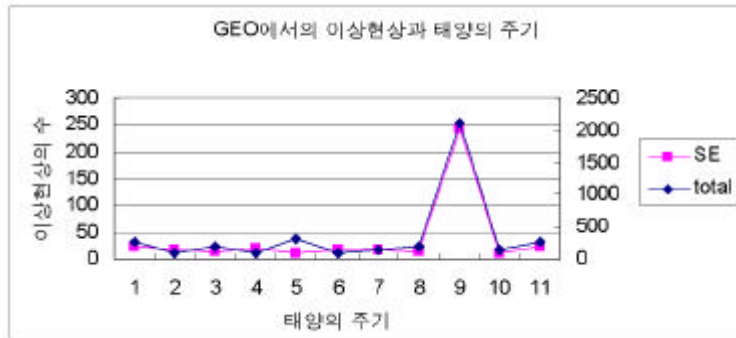
가

가

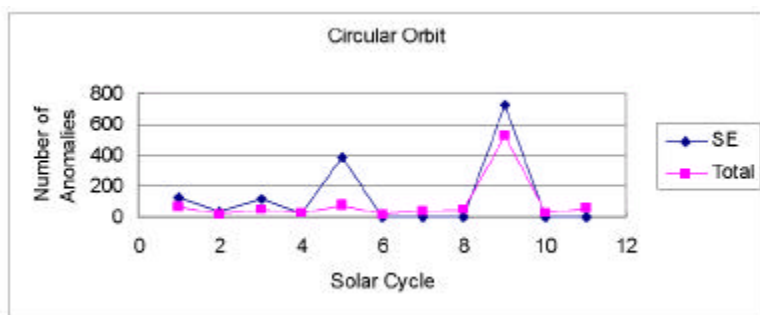
가

upset





2.11 GEO SE



2.12 SE

(3) (Polar Orbit)

2.13 2.14 가 5000Km

가

가

SEE

가

(ray)

(4) (Elliptic Orbit)

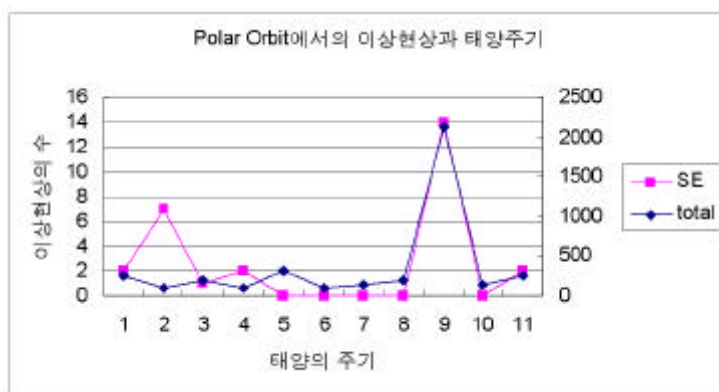
ESDM

가 SEU

ESDM

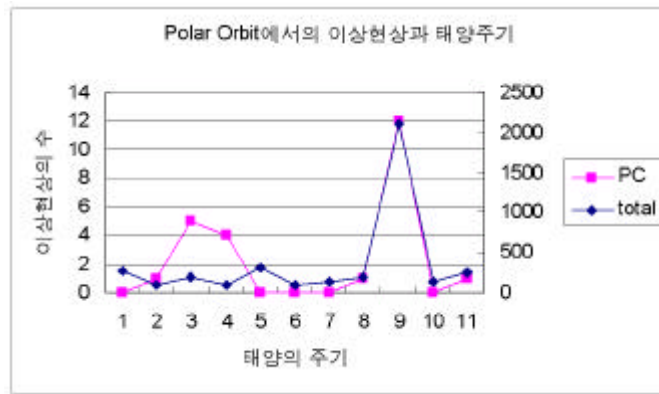
ESDM

bit flip

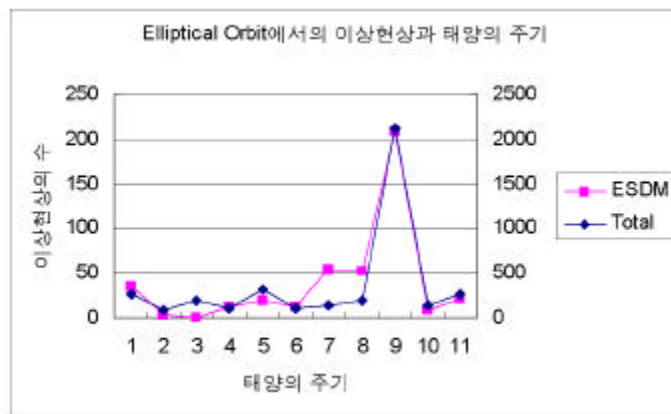


2.13

SE



2.14 PC



2.15 ESDM

## 제 3 장 우주전파환경 변화에 대한 기초 연구

### 제 1 절 태양-행성간 자기장 변화에 따른 지자기권 교란에 대한 연구

#### 1. 태양-행성간 자기장의 동서 방향 성분의 변화에 따른 교란 연구

##### 가. 개론

태양-행성간 자기장 (Interplanetary Magnetic Field: IMF)은 태양으로부터의 에너지가 지구 자기권으로 흘러 들어오게 하는데 중요한 역할을 한다. 이 유입된 에너지는 궁극적으로 자기권 및 이온층 교란의 기초 원인이 된다. 그런데 IMF는 종종 그 방향과 크기가 급격히 변하곤 하며, 이에 따라 자기권 및 이온층이 그에 반응하는 교란을 일으키게 된다. 대표적인 예로 IMF가 남쪽 방향에서 북쪽 방향으로 갑자기 회전하면 자기 준폭풍 현상이 일어나는 것으로 종종 관측되었다. 본 과제에서는 상반기 수행 기간 동안 IMF의 동서 방향 성분이 급격히 변할 때의 자기권 교란에 대해 중점적으로 연구하였다.

##### 나. 연구 방법

IMF의 동서 방향 변화를 보이는 경우들을 분류하기 위해 WIND, IMP 8, 그리고 Geotail 위성 자료를 이용하였다. 특히 1996년 7월부터 1997년 6월중에 일어난 사건들에 국한하였다. 먼저 WIND 자료를 토대로 IMF 동서 방향이 급격히 변하는 경우를 찾아내고, IMP 8과 Geotail의 자료를 더불어 조사하였다. 이들 세 위성 중 최소한 하나는 지구-태양간 축으로부터  $20 R_E$  이내에 위치한 경우로 제한하였다.

IMF의 동서 방향의 성분이 미치는 영향에 관심이 있으므로 같은 시

간에 남북 방향 성분은 거의 변하지 않는 경우만 선택하였다. 구체적으로, 동서방향 성분의 변화가 시작되기 전에 IMF가 최소 30 분에서 2시간 사이에 남쪽 방향을 향하는 조건을 설정하였다. 또한, 동서 방향 성분의 변화 후에 최소 한 30분 이상 IMF 남북방향 성분이 남쪽을 유지하는 조건을 요구하였다. 이러한 조건은 동서방향 성분의 변화로 인한 효과와 남북 방향 성분의 변화로 인한 효과를 확실히 구분하기 위한 것이다. 남쪽 방향 성분  $B_z$ 의 값은 평균  $-2 \text{ nT}$  이하인 경우로 제한했다. 무엇보다도,  $B_z$ 의 작은 섭동이 존재 할 때면  $B_z < 2 \text{ nT}$ 를 조건으로 설정하거나 또는  $B_z > 2 \text{ nT}$ 인 경우에는  $|\frac{\partial B_z}{\partial t}| < 1.5 \text{ nT/min}$ 를 만족하도록 제한하였다.

한편 동서 방향 성분의 변화에 대해서는 상대적으로 덜 엄격한 제한 조건을 설정하였다. 실질적으로 동서 방향 변화를 제대로 나타내기 어려운 경우들을 제거하는 방식으로 샘플을 모았다. 또한, 동서 방향 성분의 변화는 동에서 서쪽으로 그리고 그 반대로 변하는 두 경우 모두를 포함하도록 하였다.

각 위성에서 관측된 사건은 태양풍의 속도로 자기권계면까지 전달되는데 시간이 걸리므로 이에 대한 계산을 Parker식 IMF를 가정하여 계산 보정하였다. 물론 이 계산은 몇 가지 복잡한 실질적 요소들을 무시한 간단한 방법이다.

이렇게 IMF의 동서방향 성분이 변하는 사건을 선택한 후 지구 자기권 및 이온층에서 어떤 반응이 얼마나 빨리 나타나는지를 조사하였다. 이를 위해 고위도 지역 지상 자기장의 변화를 주로 조사하였다. 더불어 데이터를 얻을 수 있는 모든 경우에 대해 POLAR 위성의 오로라 관측 자료, LANL 위성의 고에너지 입자 자료, 그리고 NOAA의 GOES 자기장 자료를 같이 확인하였다. 이들 중 시간상 가장 먼저 나타나는 현상을 자기 준폭풍 발생 시점을 정의하는 현상으로 정하였다.

#### 다. 분석결과

위의 연구 방법에 따라 총 11개의 적절한 사건들을 얻을 수 있었다.

그림 3.1과 그림 3.2에 이들 자료를 정리하였다. 그림 3.1은 동서 방향 성분이 동에서 서로 변하는 8 경우이고 그림 3.2는 그 외의 3 경우들에 해당한다. 위 두 그림 모두에서 IMF 측정치가 자기권계면으로 전달된 시간을 고려하여 적절히 데이터를 시간 이동시켰다.

위 11개 사건들에 대해 자기권 및 이온층 자료를 분석한 결과를 간략히 정리하면 다음과 같다. 먼저, 평균적으로 동서 방향 성분의 회전율은

$$\langle |\frac{\partial B_y}{\partial t}| \rangle \approx 0.92 \text{ nT/min}$$

이며, 회전이 진행되는 시간 동안의 평균 변화량은  $\langle |\Delta B_y| \rangle \approx 4.46 \text{ nT}$  정도가 된다. 전체적으로 동서 방향의 변화 시점과 자기 준폭풍 발생 시점 사이에 명확한 시간적 상관 관계가 있는 것으로 나타났다. 대략 8-9 분 정도의 시간차를 두고 자기 준폭풍이 나타났다. 또한, 동서 방향 성분이 동에서 서든 서에서 동이든 어느 쪽으로의 변화에도 자기 준폭풍이 발생됨을 알 수 있었다.

한편, Ridley (2000)는 IMF 변화의 위성 관측치에 대해 자기권계면 도착 시간을 계산하는데 나타나는 오차를 계산하였다. 본 연구에서 사용한 방법, 즉 Parker식 IMF를 가정하는 방법에도 오차가 발생하는데, Ridley의 실험식을 이용해 이에 대한 계산을 한 결과 11개 사건에 대해 대략  $\pm 6$ 분 정도의 오차가 있음을 알 수 있었다. 이는 Collier *et al.* (1998)의 오차식인

$$\Delta \tau \sim \tau_{con} d_{\perp} / d_{\parallel}$$

을 사용하여도 비슷한 결과를 얻을 수 있었다.

#### 라. 타 연구 결과와의 비교

과거의 Troshichev *et al.* (1986)은 본 연구와 유사한 연구를 하였다. Troshichev *et al.*의 경우에는 자기권 및 이온층 교란을 나타내는 자료로서 AL 지수만을 사용하여 본 연구와 다소 다른 결론을 내렸었다. 그러나 AL 지수만을 사용하는 것은 본 연구에서 같이 여러 가지 실제 자기권 및 이온층 데이터를 사용하는 것 보다 그 신뢰성이 적다고 하겠다.

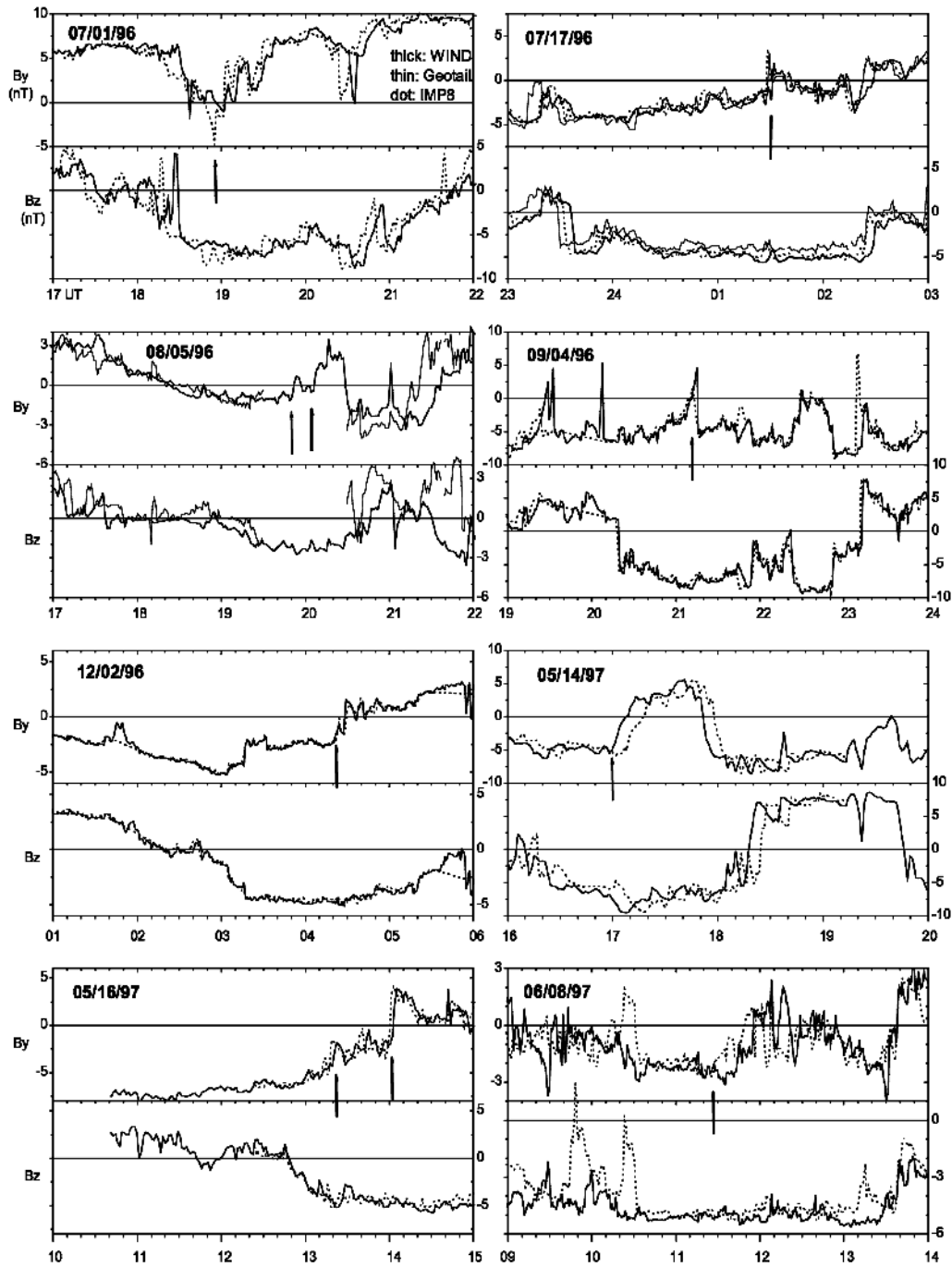


그림 3.1 IMF 동서 방향 성분이 동에서 서로 변하는 8 경우.

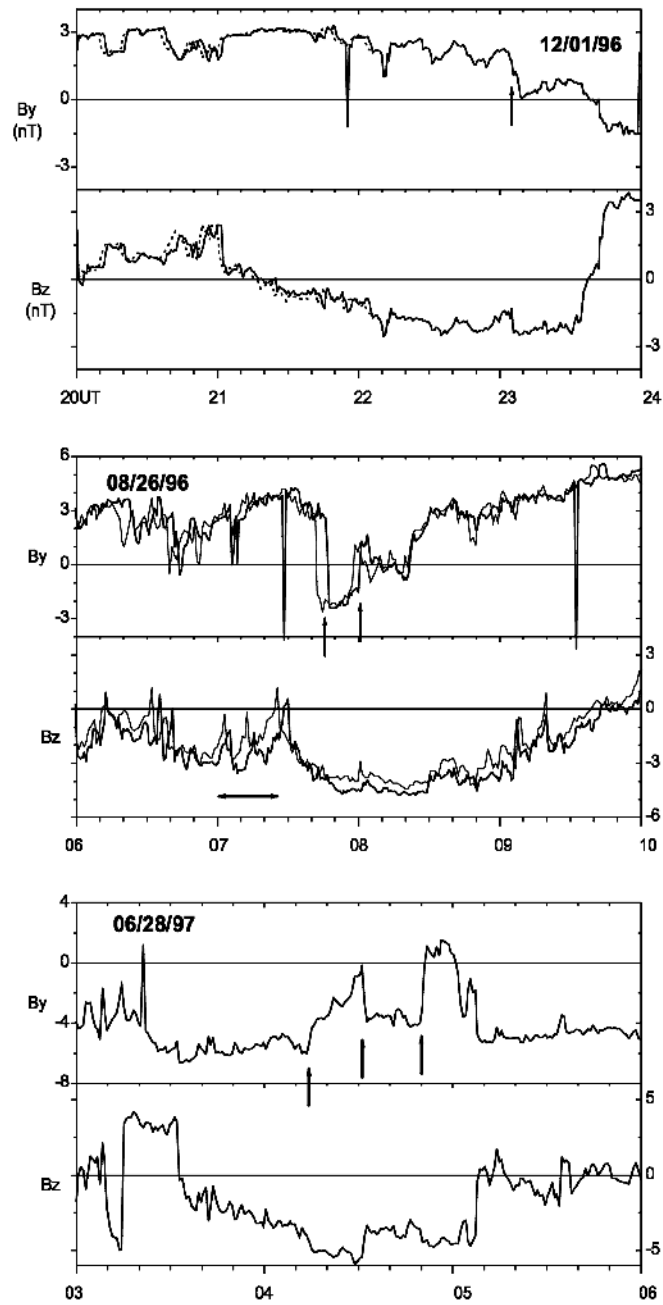


그림 3.2 IMF 동서 방향 성분이 서에서  
동으로 변하는 3 경우.



Lyons *et al.* (1997)은 IMF의 남북 방향의 변화 후 약 9 분 뒤 자기 준폭풍이 발생함을 보고하였다. 이것은 본 연구에서 얻은 8-9 분 정도의 반응 시간과 유사하다. 한편, Troshichev *et al.*의 경우는 거의 0 반응 시간이 나타남을 보고하였었는데, 그 신빙성이 매우 적다고 본다. 또한, Hurricane *et al.* (1999)은 자기권계면과 정지궤도 위치사이의 fast Alfven파에 의한 정보 전달 시간이 1-3 분 정도 될 것이라는 이론적 추산을 하기도 하였다. 반면 Fong *et al.* (1999)은 이 fast Alfven파가 플라즈마 판 (plasma sheet)으로 전파 된 뒤 약 13-20 분 후에 폭발적인 불안정성을 겪을 것으로 예측하였다. 재미있게도, 본 연구에서 얻은 8-9분의 반응 시간은 위 두 경우의 중간에 해당한다.

Lyons *et al.* (1997)과 Blanchard *et al.* (2000)는 IMF 동서 방향 성분의 크기가 감소 할 때 자기 준폭풍이 발생 할 수 있다고 주장하였다. 이는 자기권계면에서의 자기재결합 (magnetic reconnection) 속도에 변화를 주게 되고 이에 따라 자기권 꼬리에서의 전기장 세기가 급감하여 자기 준폭풍을 발생시킨다는 시나리오에 기초한다. 이는 IMF의 남북 방향성분이 북향으로 급전회 할 때도 해당된다. 그러나, 본 연구에서 조사한 11개 사건에서는 IMF 동서방향의 변화가 크기만이 감소하는 경우만 있는 것이 아니고 단순히 방향을 바꾸거나 심지어 크기가 증가하는 경우에도 자기 준폭풍이 발생하여 Lyons *et al.*의 주장과 상충됨을 알 수 있다. 따라서 IMF 변화가 자기 준폭풍을 일으키는 근본적 물리는 여기서 결론을 내릴 수 없어 향후 추가적인 연구가 필요하다.

## 제 2 절 자기 폭풍과 자기 준폭풍 사이의 관계에 대한 연구

### 1. 자기 폭풍 회복기에 대한 분석

#### 가. 개론

자기 폭풍 현상은 지구 표면 자기장 수평 성분의 감소로 나타난다.

이는 보통 Dst라는 지수로 표현된다. Dst 지수의 감소 기간을 주 전개기 (main phase)라고 하는데 보통 수 시간을 넘게 걸쳐 일어난다. 주 전개기는 지구 주변의 환전류의 증가로 인해 일어나는 것으로 생각된다. 그런 뒤 환전류의 감소 기간이 나타나는데, Dst 지수의 증가로 알 수 있으며 이를 회복기 (recovery phase)라고 부른다. 환전류 감소의 원인으로 많이 거론되는 물리적 메커니즘으로는 전하교환 (charge exchange), 쿨롱 산란, 입자-파동간 상호 작용 등이 있다.

환전류의 증가에 대한 가장 고전적인 생각은 강한 자기 준폭풍이 여러 개 모여 하나의 자기 폭풍을 이룬다는 것이었다. 그러나 최근 들어 여러 관측 사실들이 이에 상충되는 결론을 제시 해오고 있다. 가장 대표적인 시나리오로서 자기 폭풍동안에는 태양 행성간 자기장이 강하게 남쪽을 향하게 되고 이로 인해 자기권 (특히 꼬리)에서의 플라즈마 수송률이 상승하여 지구 근접 환전류의 증가를 야기 시킨다는 것이다. 또 다른 생각으로는 환전류를 구성하는 이온들은 대부분 지구 이온층으로부터 자기장을 따라 유출 된 것이라는 것이다.

본 연구의 상반기 동안에는 자기 폭풍의 회복기에 대한 유형을 통계적으로 조사하여 자기 준폭풍과의 연관성 정도를 유추하는데 주력하였다.

#### 나. 통계적 조사 결과

Dst 지수의 통계 조사를 위해 1977년부터 1998년 사이의 자료를 미국 NASA/GSFC의 OMNIWeb 사이트를 통해 얻어 분석하였다. 그러나 상반기 동안에는 주로 1996-1998년의 3년치 자료에 대해서만 심도 깊은 분석을 하는데 사용하였고, 나머지 자료는 상반기 결과를 토대로 하반기에 정리하여 분석 할 예정이다. 본 조사에서는  $Dst < -30$  nT인 경우들만 자기 폭풍으로 간주하였다. 이렇게 하여 모두 102개의 자기 폭풍 사건들을 얻었다.

이 102 개의 자기 폭풍을 Dst 회복기의 형태에 따라 세 가지 유형으로 분류하였다 (그림 3.3). 유형 I은 Dst가 시간에 따라 단조롭게 회복되는 경우이다. 유형 II는 처음에 빠른 회복기를 갖고 다음에 느린 회

복률은 나타내는 Dst의 경우로 분류된다. 한편 유형 III은 다단계식 회복기를 갖는 경우에 해당한다.

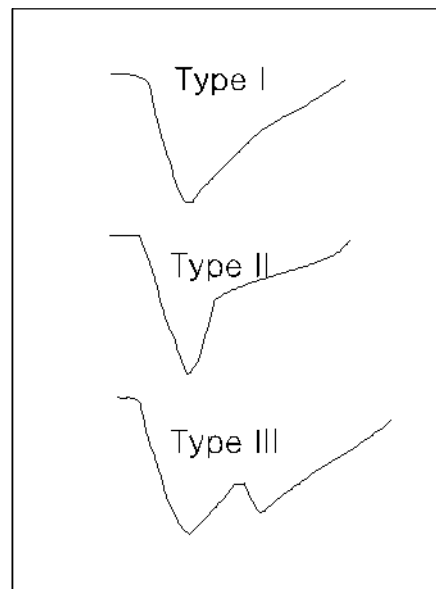


그림 3.3 Dst 회복기의 형태에 따른 자기 폭풍의 세 가지 유형.

그림 3.4는 위 세 가지 Dst 유형 각각에 대해 102개의 Dst에서 전체 회복시간,  $\Delta t_r$ 을  $Dst_{\min}$ 의 함수로 나타낸 것이다. 사용된  $Dst_{\min}$ 의 범위는 -207에서 -30 사이이다. 비록  $Dst_{\min}$ 이 -60 보다 큰 범주에서는 다소 불분명 하지만, 세 가지 유형 모두에서  $Dst_{\min}$ 의 크기 증가에 따라  $\Delta t_r$  역시 증가하는 경향을 보임을 알 수 있다.

표 3.1은 세 유형에 대한 통계 결과를 정리한 것이다. 먼저 전체 102개의 자기 폭풍 샘플의 반 이상을 차지하고 있음을 알 수 있다. 반면 유형 II의 경우는 그다지 빈도수가 높지 않은 것으로 나타나 있지만, 실제로 통계 처리에 더 많은 자기 폭풍 사건을 조사하여 포함시키면 유형 II가 차지하는 비중은 훨씬 더 커질 것으로 보인다. 회복시간  $\Delta t_r$ 은 유형 II에서 가장 길게 나타나는데 이는 느린 회복 단계가 보통 수일 이

상 걸리는 경우도 많기 때문이다. 한편, 102개의 자기 폭풍에 대해 평균했을 때 회복시간은 약 31.2 시간으로서 이는 Yokoyama & Kamide (1997)의 결과와 대략 일치하는 것이다.

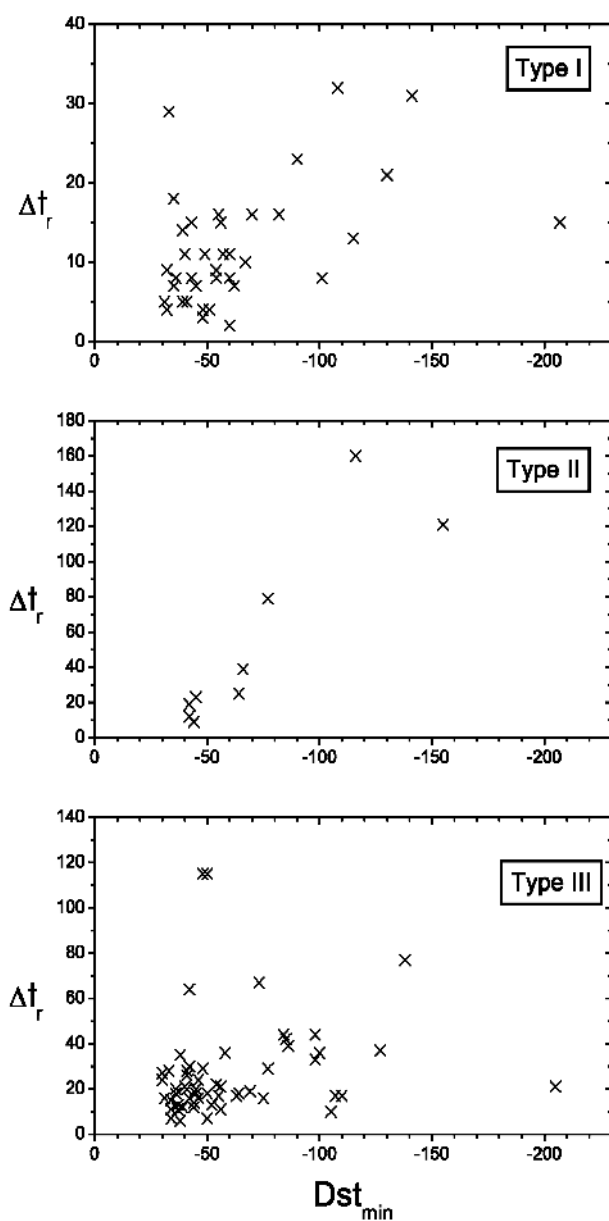


그림 3.4 세 가지 Dst 유형 각각에 대해 102개 Dst에서 전체 회복시간,  $\Delta t_r$ ,을  $Dst_{min}$ 의 함수로 나타낸 것.

유형 II인 9개의 모든 자기 폭풍에 대해 첫 번째의 빠른 회복 단계는 대략 8 시간 이내의 회복 시간을 가진다. 이와 비슷하게 유형 III의 다 단계식 회복기를 갖는 18개 자기 폭풍에서도 8 시간 이내의 빠른 회복 시간을 갖는다. 마찬가지로 16 개의 유형 I 자기 폭풍도 비슷한 회복 시간 안에 완전 회복된다. 즉, 모두 43개의 자기 폭풍에서 8 시간 이내의 빠른 회복 단계를 갖는 것으로 나타난다.

표 3.1. 자기 폭풍 회복기 유형별 통계 자료.

	유형 I	유형 II	유형 III	계
경우의 수	37(36%)	9(9%)	56(55%)	102(100%)
$\Delta t_{\lambda}$ (시간)	11.9	54.1	27.5	31.2
빠른 단계를 갖는 경우의 수	16	9	18	43(42%)

#### 다. 통계 결과의 의미

위 통계 결과에서 가장 주목 할 부분은 전체 102개의 자기 폭풍 중 약 42%가 Dst의 전체 혹은 첫 번째 회복단계에서 빠른 회복시간을 갖는다는 것이다. 통계에 사용된 샘플의 수를 더 증가시키고, Chapman-Ferraro 전류의 영향을 제거한 Dst\*를 사용하여 좀더 정밀하게 분류하면 이러한 경우의 수는 훨씬 더 증가 할 것으로 예상된다. 이 빠른 회복 단계는 곧 빠른 속도의 환전류 감쇠를 의미한다고 하겠다. 이에 대한 가능한 설명은 O<sup>+</sup> 이온의 전하교환에 의한 것이다. O<sup>+</sup>는 H<sup>+</sup> 보다 전하교환에 의한 분실이 매우 빠른 것으로 알려져 있다. 따라서 Dst의 느린 회복 단계는 아마 H<sup>+</sup>의 전하교환에 기인한 것으로 추정할 수 있겠다. O<sup>+</sup>는 이온층으로부터 유출된 것이고, 일정양의 H<sup>+</sup>도 역시 이온층에서 온 것으로 볼 때, 본 연구에서 얻은 Dst 회복기의 통계는 자기 폭풍 환전류를 이루는 이온들이 이온층에서 기인 한 것이라는 Hamilton *et al.*의 주장을 뒷받침한다고 하겠다. 물론 이는 O<sup>+</sup> 전하교환이 환전류 입자의 빠른 분실의 주원인이라는 주장에 의존한다. 한편,

그전의 다른 연구 결과와 달리 빠른 회복기를 보이는 자기 폭풍은 강도가 강한 자기 폭풍에만 국한되지 않고 다소 약한 자기 폭풍에서도 나타나는 것을 관측했다. 구체적으로, 빠른 회복기는  $-50 < Dst_{\min} < -30$ 에 대해 21개의 자기 폭풍에서 나타났으며,  $-100 < Dst_{\min} < -51$ 에서는 18개의 자기 폭풍에서, 그리고  $Dst_{\min} < -101$ 에서는 4 개의 자기 폭풍에서 각각 나타났다.

자기 폭풍의 환전류 이온들이 이온층에서 기인했다면, 이는 자기 폭풍에서 자기 준폭풍의 역할과도 긴밀한 관계가 있다고 본다. Hultqvist (1996)에 따르면 자기장을 따라 흘러나오는 이온층 이온들은 자기 준폭풍에 기인한 저주파 교란 전기장에 의해 가속되어 분출되는 것으로 여겨진다. 따라서 자기 준폭풍은 자기권 꼬리에서 고 에너지 입자들을 환전류 영역으로 입사시킬 뿐만 아니라 이온층 이온들도 공급 할 수 있을 것으로 보이며, 바로 이 이온층 이온들이 Dst의 빠른 회복 단계를 설명할 수 있을 것으로 유추할 수 있다.

Dst의 빠른 회복기에 대한 설명으로 위의 결과 분석에서 의존한 전하교환 작용 외에도 다른 가능성이 제시 되어왔다. 환전류 이온 입자들과 플라즈마 파동사이의 상호 작용이나 이온 입자들의 자기권계면을 통한 분실 등이 그 가능한 시나리오인데 앞으로 이에 대한 좀더 깊은 연구가 요구된다.

## 2. 자기 폭풍동안 발생하는 자기 준폭풍의 특징

### 가. 개론

자기 폭풍은 보통 수 차례의 자기 준폭풍을 동반하는 것으로 알려져 있다. 실제로 이때 동반되는 자기 준폭풍과 자기 폭풍이 서로 어떤 인과 관계가 있는지에 대한 의문이 중요한 이슈라고 하겠다. 자기 폭풍 때 나타나는 자기 준폭풍과 자기 폭풍과 무관한 평상시의 자기 준폭풍이 어떻게 다른지도 또 다른 주요한 이슈라고 하겠다. 자기 폭풍과 자기 준폭풍 사이의 관계를 이해하는 것은 우주환경의 주교란 요인으로 작용하는 자기 폭풍의 발생원인을 이해하는데 매우 중요하고 나아가 우

주 환경 예보의 발전을 위해 필요하다고 하겠다. 본 연구에서는 위에서 기술한 바와 같이 자기 폭풍의 진화를 세 단계로 나누어 각 단계별로 발생하는 자기 준폭풍이 어떻게 다른지를 비교 분석하였다. 자기 폭풍은 주요기, 빠른 회복기, 느린 회복기로 나누었다.

#### 나. Dst 데이터

자기 폭풍을 정의하는 Dst 지수는 미국 NASA Goddard Space Flight Center의 Omniweb 사이트에서 얻었다. 1996-1998년의 3 동안의 자료를 중심으로 자기 폭풍의 세 단계가 명확히 구분되는 경우들만 선택하였다. 이 결과 총 42개의 자기 폭풍 샘플을 확보하였다.

#### 다. 자기 준폭풍의 관측

본 연구에서는 자기 준폭풍의 주 특징 중에서 자기 꼬리 자기장의 자기 쌍극자화 현상과 고에너지 입자 출현 및 지상 자기장의 bay 현상을 검사하였다. 자기 쌍극자 현상은 자기장이 길게 늘어진 후 급작스럽게 쌍극자 형태의 모양으로 되돌아가는 것을 의미한다. 이는 꼬리 전류의 붕괴로 이해되고 있다. 이 현상은 미국 NOAA의 GOES 7과 8 정지궤도 위성의 자기장 관측 자료를 분석하여 연구하였다. 고에너지 입자의 출현은 주로 수십에서 수백 keV 에너지 영역에서 전자 (electron)나 양성자 (proton)의 양이 급격하게 증가하는 현상이다. 이 현상은 미국 Los Alamos 국립 연구소의 정지궤도 위성의 관측 데이터를 분석하여 연구하였다. 한편 자기 준폭풍은 지상 자기장의 bay 현상을 통해 이해될 수 있다. 특히 고위도 지역에서는 서쪽 방향으로 흐르는 오로라 제트 전류의 증가를 나타내는 negative bay를 통해, 저위도 지방에서는 서브스톰 전류 켜기에 의한 positive bay를 통해 알 수 있다. 본 연구에서는 가능한 최대한 많은 자기 관측소로부터 자기장 데이터를 1분 분해능으로 얻어 연구하였다. 자기 폭풍의 관측은 local time상 18시부터 06시까지의 지구 밤 쪽 영역을 넓게 커버하도록 데이터를 확인하였다. 그림 3.5는 본 연구에서 사용된 자기 관측소의 위치를 나타낸 것이다.

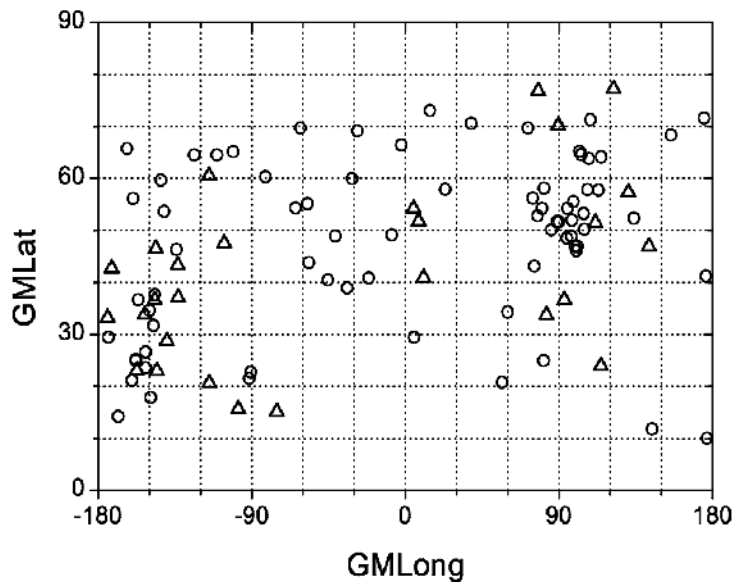


그림 3.5 본 연구에서 자기장 자료를 얻은 자기 관측소의 위치.

#### 라. 자기 쌍극자 현상의 선택 기준

자기 쌍극자 현상을 선택하는 데는 특별히 정량적인 기준을 요구하지는 않고, 시각적으로 자기 쌍극자 현상으로 명확히 식별되는 모든 경우를 포함하여 분석하였다. 이는 경험상 특별한 문제를 제기하지 않거니와, 통계적 숫자를 늘리는데도 도움을 준다. 다만, 특정 자기 쌍극자화와 또 다른 자기 쌍극자화 발생 사이의 시간 간격을 최소한 30 분 이상이 되도록 요구하여 연속적으로 일어날 수 있는 자기쌍극자화 현상들이 잘 구별되도록 고려하였다. 이는 자기 폭풍동안에 일어나는 자기 준폭풍이 다소 복잡한 패턴을 가질 수 있는 경우에 대한 우려를 다소 피해가기 위한 방안이다. 한편 자기 준폭풍 자기 쌍극자는 다른 유사한 경우와 다소 혼동될 수 있는데, 꼬리 전류의 증가와 붕괴 과정을 제대로 나타내는 경우를 면밀히 관찰하여 사용하여야 한다. 즉, 자기장이 처음에는 길게 늘어지는 모습을 보이다가 갑자기 수분 내에, 경우에 따라서는 1-2 분 내에 둥근 자기장 모양으로 변하는 모습을 보여야한다. 이 경우  $B_x$ 의 크기는 점점 증가하다가 감소하고,  $B_z$ 는 감소하다가 증가



하는 식으로 보통 나타난다.

#### 마. 고에너지 입자 출현의 선택에 대한 기준

자기 준폭풍 고에너지 출현의 가장 큰 특징은 소위 말하는 dispersionless injection이라고 하겠다. 이는 각 에너지 채널마다 입자속의 증가가 거의 같은 시각에 발생하는 것을 의미한다. 만약 위성이 injection이 발생하는 국부적 지역에 위치해 있다면 이러한 dispersionless 현상을 관측하게 될 것이고 그렇지 않고 옆으로 비켜있으면 dispersed한 양상을 보게 될 것이다. 이는 입자들의 injection이  $E \times B$  운동에 의해 이루어지기 때문이고, 그 후로는 개개의 에너지에 비례하여 동서 방향으로 표류운동을 하기 때문에 에너지가 높은 입자가 더 빨리 위성에 도착하기 때문으로 알려져 있다. 본 연구에서는 바로 이런 dispersionless injection에 국한하여 자료를 분석하였다. 구체적으로 근접한 두 에너지 채널에서 1분 이상의 에너지 분산을 보이는 경우는 모두 제외하였다. 또한, 입자속의 증가가 최소한 15분 이내에 최고값에 올라야 하고, 최소 15분 이상 지속되어야 한다고 요구하였다. 또한, 입자속의 증가는 최소한 두 에너지 채널에서 일어나야 하고, 서로 다른 근접한 사건들 사이는 자기 쌍극자화 현상 때와 마찬가지로 최소 30분 이상 떨어져있어야 한다고 요구하였다. 한편 이러한 조건을 전자와 양성자 모두에 각각 적용하여 통계 처리하였다. 자기 준폭풍 동안에 고에너지 입자는 전자와 양성자 모두에서 나타나는 것이 일반적이거나, 때로는 어느 한쪽에서만 나타나기도 한다. 또한, 두 입자속의 증가가 동시에 나타나지 않고 약간의 시간차를 두고 나타나기도 한다. 여기서는 전자와 양성자가 모두 입자속 증가를 보이는 경우에 20분 이하의 시간차를 나타내는 경우에만 동일한 사건으로 보았다. Birn et al.은 1997년의 논문에서 이러한 점에 대해 심도 깊게 다른 연구 결과를 보고하고 있다.

#### 바. 자기 쌍극자화 현상에 대한 통계 분석 결과

본 연구에서 사용된 42개의 자기 폭풍 이벤트로부터 자기 폭풍의 주요기 동안에 일어나는 자기 쌍극자화 현상으로 모두 154 개를 모을 수

있었다. 또한, 빠른 회복기 동안에 일어나는 것으로 100 개의 이벤트를, 그리고 느린 회복기에 일어나는 경우로는, 느린 회복기의 중간쯤에 나타나는 것으로만 제한하여, 103개의 이벤트를 얻었다. 이들을 관측한 위성의 관측 시간을 조사하여 그림 3.6에서 보여주듯이 자기 쌍극자화 발생 빈도수의 Local Time (LT) 분포를 계산하였다. 먼저, 빈도 수는 자기 폭풍의 주요기에 가장 크며, 회복기로 넘어가면서 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한, 회복기로 갈수록 빈도수가 LT의 자정부근에 몰려 나타나는 경향을 보이는 반면, 주요기에는 다른 LT 영역에서도 여전히 큰 빈도 수를 유지하는 특징을 보이고 있다.

한편, 자기 쌍극자화 현상은 그 발생 후 공간적으로 전파하는 것으로 알려져 왔다. 특히, 경도상 혹은 방사선상으로 전파하는 것으로 이해되고 있다. 이러한 사실을 점검하기 위해 각각의 자기 쌍극자화 사건마다 지상 자기장의 bay 발생 시점을 일일이 조사하였다. 그런데, 일부 이벤트의 경우에는 bay 현상의 결정이 불분명하기도 하여, 실제로 자기 폭풍의 주요기에서는 154개의 자기 쌍극자화중 128개만, 빠른 회복기에서는 100개중 81개, 그리고 느린 회복기에서는 103개중 94개에 대해서만 통계처리를 할 수 있었다. 그림 3.7은 이들 데이터를 이용하여 자기 쌍극자화 발생 시간과 해당 bay 사이의 시간차를 LT의 분포로 그려본 것인데, 자기 폭풍의 각 단계별로 나누어 비교해 보았다. 여기서, 각각의 원은 자기 쌍극자화 이벤트 하나 하나를 나타내고, 원의 크기로서 자기 쌍극자화의 강도를 표시하였다. 여기서 우리는 다음과 같은 두 가지를 알 수 있다. 첫째, 자기 쌍극자화의 강도는 자기 폭풍의 주요기에서 가장 강하고, 빠른 회복기에는 주로 자정 부근 LT에서만 강하게 남아있으나 느린 회복기로 들어서면 모든 LT에서 매우 약하다는 것이다. 둘째로 빠른 회복기와 느린 회복기에서는 자기 쌍극자화가 대략 자정 부근 LT에서 시작하여 경도상 다른 LT로 전파되가는 모습이 통계상 확연히 드러나 보이는 반면, 자기 폭풍의 주요기에서는 이러한 모습대신 자정에서 다소 떨어진 LT 영역에서도 자기 쌍극자화가 시작 될 수 있는 가능성을 보여주고 있다. 이러한 발견은 지금까지 보통의 자기 준폭풍에 대해 알려 왔던 것과 크게 다른 새로운 사실이다.

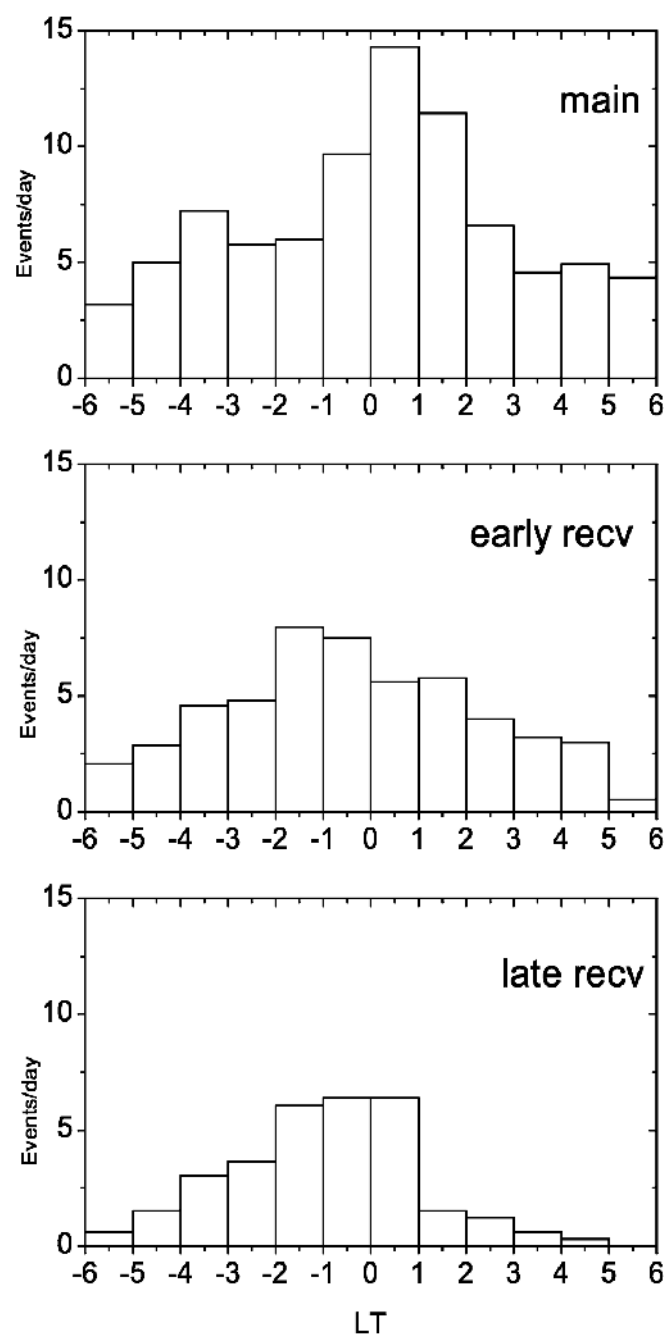


그림 3.6 자기 쌍극자화 발생 빈도의 LT 분포.

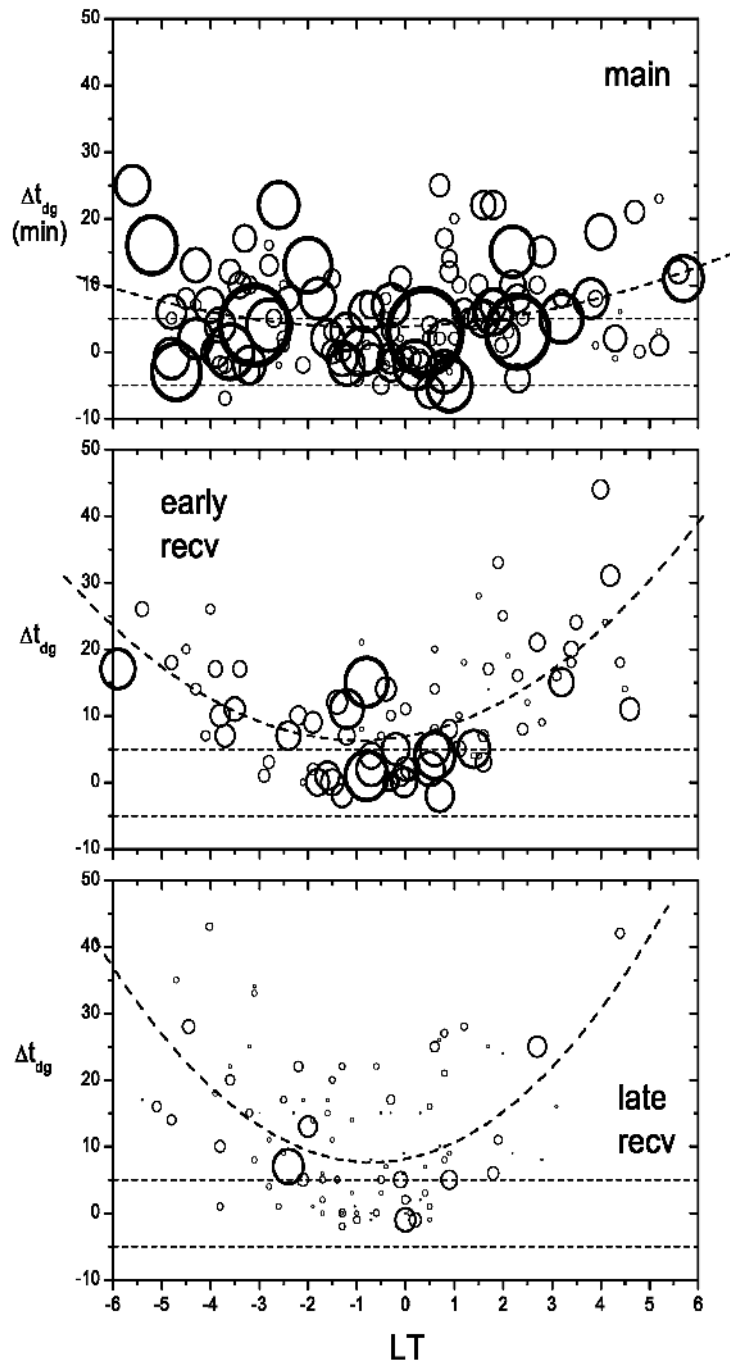


그림 3.7 자기 쌍극자화 발생과 지상 자기장 bay 발생 사이의 시간차에 대한 LT 분포.

#### 사. 고에너지 입자속 증가 현상에 대한 통계 분석 결과

고에너지 입자속 증가 현상에 대해서도 앞서 자기 쌍극자화에서와 같은 방법의 연구를 수행하였다. 먼저, 자기 폭풍의 주요기에서는 70개의 고에너지 입자속 증가 현상을, 자기 폭풍의 빠른 회복기에서는 40개, 느린 회복기에서는 53개의 고에너지 입자속 증가 현상을 얻어 사용하였다. 이들에 대한 발생 빈도수의 LT 분포를 그림 3.8에서 보였다. 그 결과가 자기 쌍극자화의 경우와 유사하게 나타남을 볼 수 있다. 다만, 빈도수의 절대값이 자기 쌍극자화의 경우보다 5-8배정도 더 크다는 것이 다른 점인데, 이는 자기 쌍극자화의 선택기준에 비해 고에너지 입자속 증가 현상의 선택기준이 훨씬 더 까다롭게 요구되었기 때문이다.

역시 마찬가지로, 고에너지 입자속 증가 현상과 지상 자기장 bay의 관련성을 조사하였는데, 그 결과가 앞서와 유사한 방법으로 그림 3.9에서 보였다. 여기서는 실제로 bay 이벤트의 결정이 애매한 경우들을 제외하여, 주요기에서는 57개, 빠른 회복기에서는 31개, 그리고 느린 회복기에서는 52 개의 고에너지 입자속 증가 현상을 이용해 통계 처리하였다. 그 결과는 앞서 자기 쌍극자화의 경우와 매우 유사함을 알 수 있다. 이는 자기 폭풍시 발생하는 대부분의 고에너지 입자 출현은 자기 준폭풍 자기 쌍극자화와 관련이 있다는 것을 시사하는 중요한 점이다.

#### 아. 결론

본 연구에서는 자기 준폭풍의 특징이 자기 폭풍의 진화 단계에 따라 크게 다르다는 사실을 처음으로 발견하였다. 즉, 자기 폭풍의 주요단계에서는 강한 자기 준폭풍이 발생하는데 특히 자정 부근의 LT에 국한되지 않고 다른 LT 지역에서도 자기 준폭풍이 시작될 수 있다는 것을 알 수 있었다. 반면, 자기 폭풍의 빠른 회복기 동안에는 자기 준폭풍의 강도가 센 것들이 주로 자정 부근 LT에 여전히 남아 있으나, 느린 회복기의 경우에는 모든 밤 지역 LT영역에서 자기 준폭풍의 강도가 현저히 약해지는 것을 관찰 할 수 있다. 또한, 회복기 동안의 자기 준폭풍은 그 발생 시점이 자정 지역 LT 영역에 국한되는 전형적인 특징이 확인되었다. 앞으로 이러한 연구 결과를 바탕으로 자기 폭풍과 자기 준폭풍 사

이의 인과관계를 밝히는 연구가 더욱 수행되어야 할 것이다.

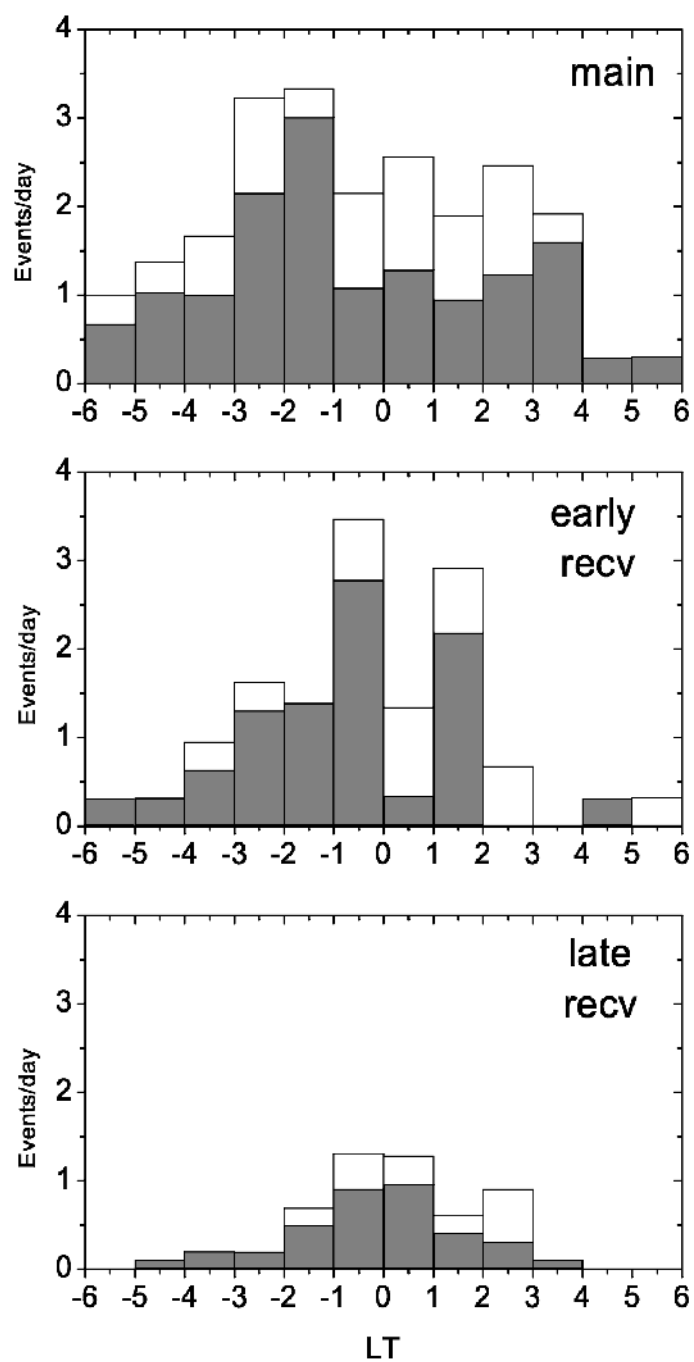


그림 3.8 고에너지 입자 발생 빈도의 LT 분포.

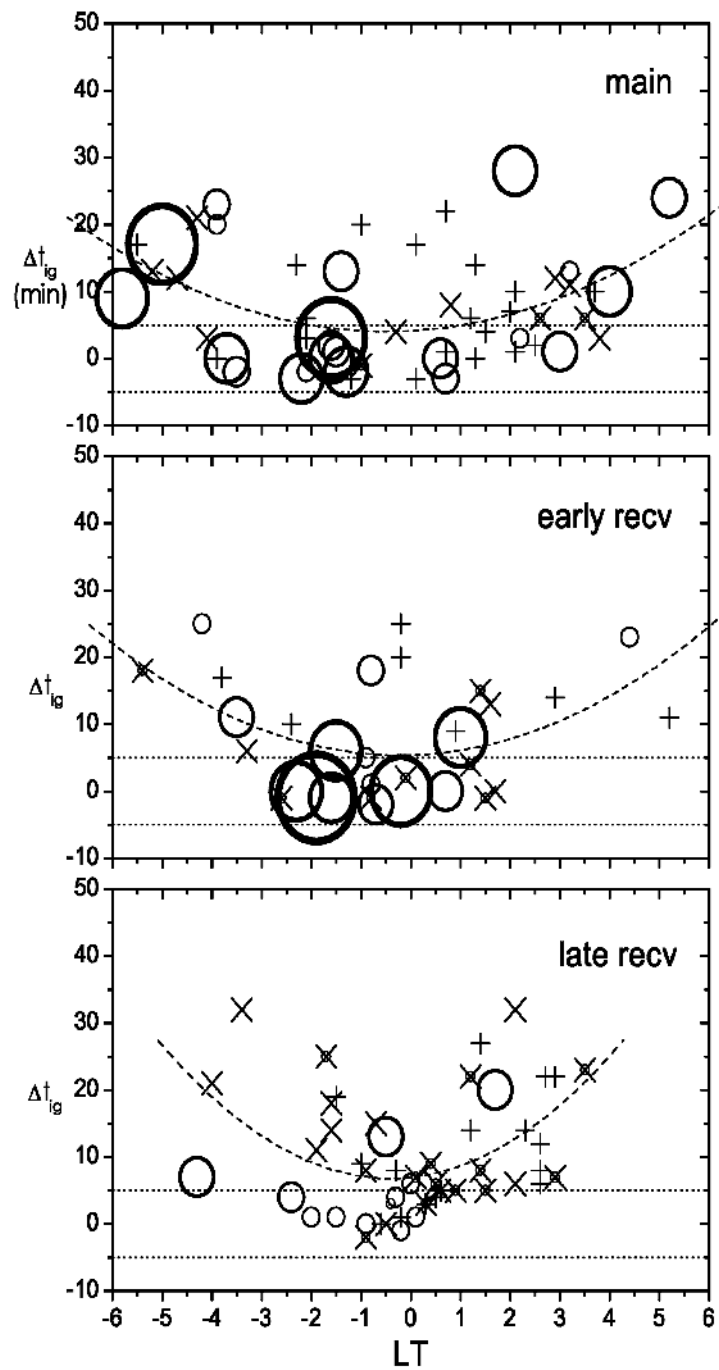


그림 3.9 고에너지 입자 발생과 지상 자기장 bay 발생 사이의 시간차에 대한 LT 분포.

### 제 3 절 태양전파 폭발 지구 도착 프로그램 개발 및 적용

#### 1. 전파연구소의 태양전파 관측 및 분석

태양전파폭발은 플레어 발생 직후 수 분내에 뒤따르며 메타파 (30 MHz~300 MHz)에서 데시메타파 (300 MHz~3000 MHz) 대역에 걸쳐 수초에서 수 시간동안 지속되는 다양한 스펙트럼 구조를 갖는다. 이러한 이유 때문에 태양전파폭발에 관한 관측은 비교적 넓은 대역의 전파를 수신할 수 있는 안테나들을 필요로 하는데 시간에 따른 상대적 전파 강도의 변화를 표현하는 동적 스펙트럼 (dynamic spectrum: 횡축은 시간, 종축은 주파수)으로 표현되며 전파방출 구조, 방출 주파수 변화 및 지속시간에 따라 크게 5개 유형으로 분류된다 (Wild *et al.*, 1963).

전파폭발의 유형을 결정하기 위해서는 스펙트럼에서 뚜렷한 태양전파 폭발 구조를 볼 수 있어야 한다. 이를 위해 원시 관측자료로부터 인공 신호 (예: FM, TV, Pager)와 태양 배경전파를 제거할 수 있는 신호처리 기법을 개발하였다. 먼저 인공 신호의 최대폭을 주파수 대역별로 각각 (a) 30-100MHz 에서는 잡음의 최대폭을 약 1MHz (10 pixel,  $w=5$ ), (b) 100-500 MHz에서는 약 4MHz (6 pixel,  $w=3$ ), (c) 500-2500MHz에서는 약 10MHz (4pixel,  $w=2$ )로 결정하였으며, 인공 신호의 중첩에 의한 효과를 제거하기 위하여 위에서 결정한 폭의 2배 정도의 윈도우 크기를 가지고 최소값 평탄화 (minimum smoothing)를 수행하였다. 여기서 최소값 평탄화는 윈도우 크기 안에 있는 값 중 가장 작은 값을 자신의 화소값 대신 사용하는 것이다. 그 결과 우리는 종전 보다 훨씬 뚜렷한 전파폭발 자료의 모습을 얻을 수 있었다. 그림 3.10은 전파연구소에서 관측한 전형적인 Type II 태양전파폭발 관측 자료로서, 원시 관측 자료 (위쪽)와 잡음을 제거한 관측 자료 (아래쪽)를 보여주고 있다.

우리는 잡음을 제거한 동적 스펙트럼으로부터 1차 방출전파 (Primary Emission)와 2차 방출전파 (Secondary Emission)에서 방출되는 주파수 변화 (drift rate)와 태양 코로나 갯수 밀도 모델을 적용함으로써 태양 코로나에서 진행되는 충격파의 속도를 결정하였다 (조경석 등, 1999).



이때 사용된 태양 코로나의 갯수 밀도 모델은 4배 Newkirk 모형으로서  $N(R)=4\times 4.2\times 10^{10}\times 10^{4.32/R} [m^{-3}]$ 와 같이 표현된다.

이러한 코로나 충격파의 속도는 지자기 폭풍을 일으키는 태양-지구 간 충격파의 초기속도로 사용되기 때문에 태양활동에 의한 우주환경변화를 예측하는데 매우 중요하다 (Dryer and Smart, 1984).

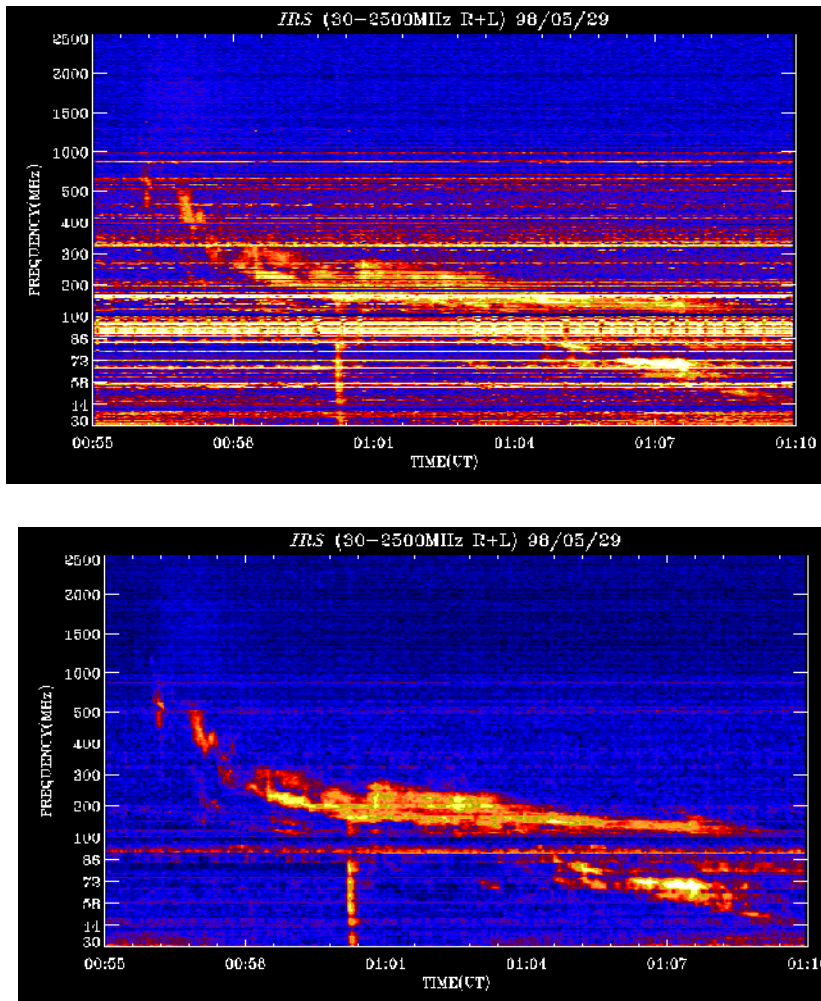


그림 3.10 전파연구소에서 관측한 전형적인 Type II 태양전파 폭발시 관측한 동적 스펙트럼. 위쪽 그림은 원시 관측 자료이고 아래쪽 그림은 잡음을 제거한 자료이다.

## 2. STOA (Shock Time of Arrival) 모형

일반적으로 태양 코로나에서 관측되는 Type II 태양전파폭발에 의해서 확인된 코로나 충격파의 지구 전달은 지자기 폭풍 (Geomagnetic Storm)의 시작을 통해 확인된다. 따라서 충격파의 지구 도착 시간을 2-3일전에 미리 예보하는 작업은 우주환경 예보에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있다.

이러한 충격파 전달 과정을 예측하기 위하여 여러 개의 지구 충격파 전달 모형이 제시되었다 (<http://www.expi.net/space/tools.html>). 여기서는 미국 해양대기국 (NOAA)의 Dryer 박사 등에 의해 개발된 STOA 모형에 대해 소개하고자 한다 (Dryer and Smart, 1984; Smart and Shea 1985; Smith *et al.*, 2000).

STOA 모형은 크게 두가지 단계로 구분된다. 첫 번째 단계는 Piston driven 단계로서, 충격파가 X-ray 플레어에 의해 발생하는 동안 등속도 운동을 한다. 두 번째 단계는 blast wave 단계로서, 충격파의 속도가 아래와 같이 주어진다.

$$V_s \sim R^{-N}, \quad N=0.5 \quad (3.1)$$

충격파의 모양은 초기에 태양 경도에 코사인 모양을 가지며, 곧 준구형 (quasi-spherical)의 모양을 가지게 된다. 이때 태양풍의 속도가 충격파의 배경 속도로 사용되며, 충격파의 가장 빠른 부분은 플레어 위치 벡터와 일치하는 것으로 가정한다. 그리고 blast wave 단계에서 태양 경도에 대한 코사인 모양이 유지되는 것으로 가정한다 (Smith *et al.*, 2000). 이모형의 대표적인 입력 인자와 출력인자를 소개하면 다음과 같다.

- 입력인자 :

- \* 초기 충격파 속도 (Type II 태양 폭발 자료):  $ESS$  (표 3.2)
- \* Piston phase 지속 시간 (Soft X-ray 플레어의 지속시간):  $\tau$
- \* shock 발생 장소 (광학 플레어 확인, H-alpha 플레어)
- \* 태양풍 속도 ( L1 satellite data):  $V_{sw}$

- 출력인자 :

- \* 충격파가 지구에 도착할 것인가의 유무 및 시간
- \* 충격파가 지구에 도착했을 때의 충격파 세기

### 3. STOA 모형의 개선 가능성

Volkmer and Neubauer (1985)는 178개의 빠른 자기동력학 충격파에 대한 관측으로부터 충격파의 속도에 대한 평균적인 관계 ( $V_s \sim R^{-0.54}$ )를 얻었다. 이러한 관측적 사실의 기반 위에 Smart and Shea (1985)는 태양 코로나 충격파의 지구 전달 시간을 계산하기 위하여 blast wave solution ( $V_s \sim R^{-0.5}$ )을 사용하였다. 한편 Vlasov (1988)은 태양 지구간 공간의 전파원에 대한 scintillation 지수로부터 행성간 공간의 충격파 속도를 검사함으로써 충격파의 속도 경사가 초기 충격파 속도의 제곱에 비례하며, 식(3.1)에서  $N$ 이 상수가 아니라 0.25에서 1사이의 값을 가진다는 것을 보였다.

먼저 우리는 Smith *et al.* (2000)등이 사용한 20개의 Type II 태양 전파 폭발 자료를 사용하여 STOA 모형의 개선 가능성을 알아보았다. 그들은 관측된 자료들에 STOA 모형을 적용하여 태양에서 시작된 충격파의 지구 도착 시간 및 세기를 예측하였으며, SSC (Sudden Storm Commencement)를 충격파의 지구 도착시간으로 간주하여 관측된 시간과 STOA 모형에 의해 예측된 시간을 비교하였다. 그 결과 관측된 시간과 예상 도착 시간의 차이의 RMS 오차가 15시간 정도임을 보였다.

그림 3.11은 그들이 구한 시간 차이를 초기 충격파의 속도의 함수로 그린 것이다. 그림 3.11에서 보는 바와 같이 시간 차이는 충격파의 속도가 증가함에 따라 다소 감소하는 경향을 보여준다. 그림 3.12는 이들 시간 차이를 각각 관측 지연 시간 ( $TT_D$ )과 STOA 모형에 의해 예측된 지연 시간 ( $TT_S$ )에 대해 그린 것이다. 우리는 두 그림에서 약간의 체계적인 의존성을 확인하였다. 그림 3.11과 3.12에서 보여준 체계적인 오차에 대한 가능성으로 우리는 두가지를 생각하였다. 한가지는 Type II

태양 전파 폭발 자료로부터 충격파의 속도를 측정하는 오차이다. 특히 높은 속도를 가지는 충격파들이 체계적으로 높이 산출되었을 가능성이 있다. Thompson *et al.* (1996)은 사용된 분광 밴드에 따라 산출된 충격파의 속도가 3배까지 차이가 날 수 있음을 보였다. 또한 충격파의 속도는 사용된 코로나 밀도 모형에 따라 수백 km까지 차이를 보여 준다. 그러나 이러한 오차 원인이 그림 3.11과 3.12에 나타난 체계적인 의존성에 어떻게 영향을 주는지를 확인하기는 쉽지 않다.

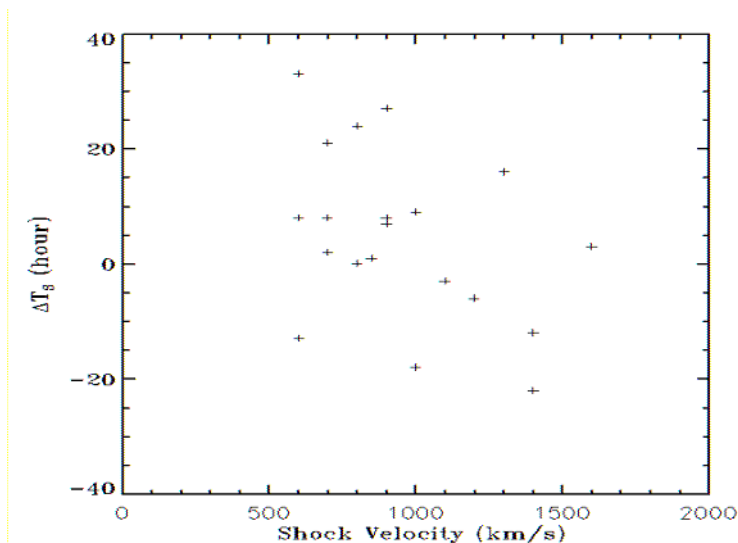


그림 3.11 Smith *et al.* (2000)년이 사용한 STOA 모형과 관측된 시간 지연과 초기 충격파 속도 사이의 관계.

다른 하나의 가능성은 태양 지구 공간에서 전파되는 충격파 속도의 거리 의존성이다. 우리는 다음의 두가지 관측적 사실에 주목하였다. 첫째는 Volkmar and Neubauer (1985)가 발견한 관계식 ( $V_s \sim R^{-0.54}$ )이 178개의 충격파에 대한 평균적인 관계식이고, 그 상관관계 값이 0.55에 불과하다는 것이다. 둘째는 Vlasov (1988)의 관측 결과에 따르면 초기 속도가 빠를수록 식 (3.1)에서 사용한 지수 (N)가 크다는 사실이다. 이러한 사실을 STOA 모형에 적용하기 위하여 간단한 1차원 STOA 프로

그램을 개발하였다. 여기서 식(3.1)의 지수값  $N$ 을 변수로 두었으며, 프로그램의 검증을 위해서  $N=0.5$ 에 대해 Dryer 박사의 2차원 STOA 프로그램과 비교하였다. Smith *et al.* (2000)이 사용했던 20개의 관측 자료에 대해 Dryer 박사의 STOA 모형과 우리 모형과의 차이는 크지 않으며, RMS 오차는 2.7시간 정도이다. 또한 우리 모형에서 예측한 시간과 관측된 시간 지연 사이의 RMS 오차는 14.8시간으로 Dryer 박사의 STOA 모형의 RMS 오차 15시간과 비슷하다.

첫 번째 단계로  $N$ 을 0.2에서 0.7까지 변화시켜 가면서 그림 3.11이 어떻게 변하는지를 그림 3.13에 나타내었다. 그림 3.13에서 보는 바와 같이 주어진 초기 충격파 속도에 대하여 가장 잘 맞는  $N$ 은 속도가 증가함에 따라 커짐을 알 수 있다. 이러한 사실을 이용하여  $N$ 이 속도에 의존하는 선형 모형 ( $N=0.05+4\times 10^{-4}V_s$ )에 대해 충격파의 지구 도착 예정 시간을 계산하였다. 그림 3.14는 우리 모형과 관측된 시간 지연 차이 ( $\Delta T_p$ )를 초기 충격파 속도 및 모형이 예측하는 시간 지연의 함수로 보여준다. 이 그림에서는 그림 3.11과 3.13에서 보였던 체계적인 의존성이 보이지 않을 뿐만 아니라, 시간 지연 차이의 RMS 오차는 13.4시간으로 감소하였다.

그림 3.14의 위쪽 그림에서 보여주는 큰 특징 중에 하나는 시간 지연 차이가 크게 세 값 ( $\Delta T_p = -20, 0, 20$ ) 근처에 불연속적으로 나타나고 다음과 같은 비율을 가진다:  $\Delta T = -20$  (15 %),  $\Delta T = 0$  (55 %),  $\Delta T = 20$  (30 %). 아마도 이러한 현상은 태양 지구간 공간의 물리적 상태 (코로나 밀도의 비균질성, 코로나 구멍, CME 관련, 행성간 자기장 분포, 자기 구름 등)와 관련이 있을 수 있다. 한편, Aubier *et al.* (1986)은 1979년부터 1985년까지 관측된 Type II 태양 전파 폭발 자료를 이용하여 1.2에서 2.6 태양 반경 사이에서 3가지 유형의 속도 유형이 있음을 보였다. 즉 등속도 (67 %), 가속 (23 %), 감속 (10 %)이다. 흥미롭게도, 이러한 비율은 그림 3.14에서 보여준 세 그룹의 비율과 매우 비슷하다. 따라서 우리가 코로나 충격파가 생겼을 때, drift rate 변화를 좀 더 자세히 살핀다면 STOA 모형에 의한 지구 도달 예측 시간을 좀

더 잘 예측할 수 있을 가능성을 보여준다. 따라서 전파연구소에서 관측한 좀더 많은 자료를 이용하여 이 부분에 대한 후속연구가 필요하리라고 생각된다.

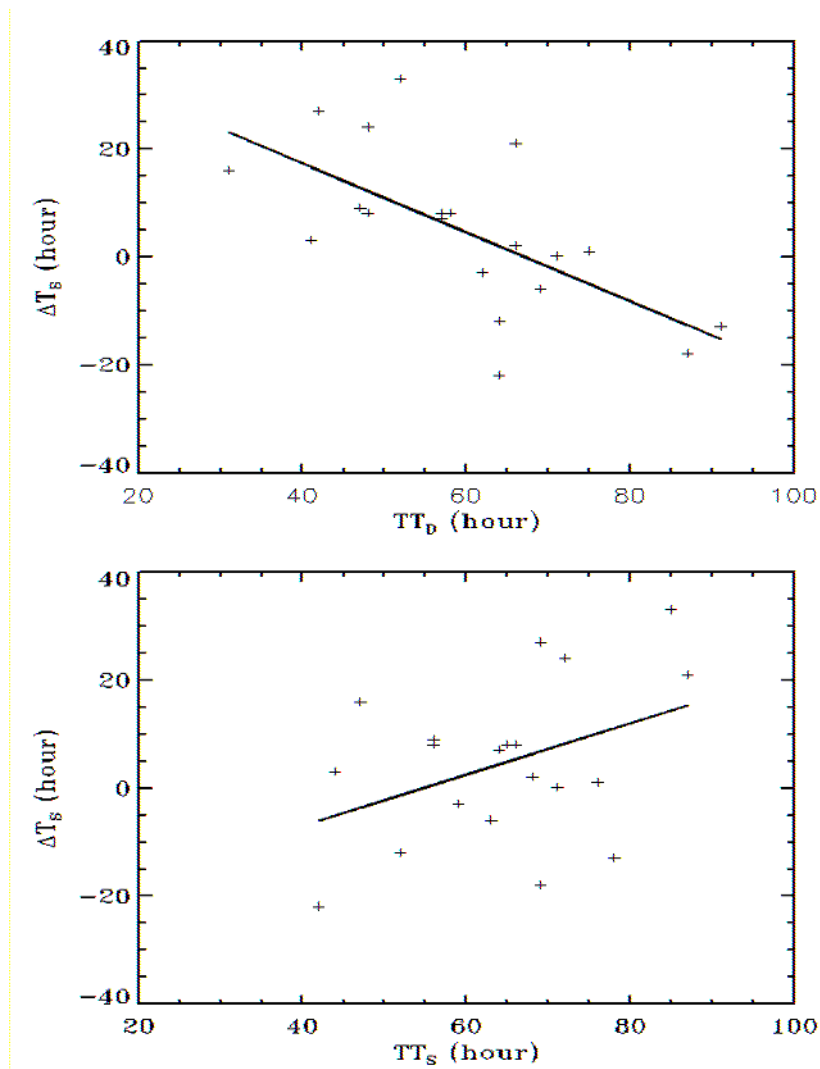


그림 3.12 시간 지연차이와 관측된 시간지연 (위쪽) 및 STOA 모형이 예측한 시간지연 (아래쪽) 사이의 관계. 그림에서 실선은 선형회귀분석 값이다.

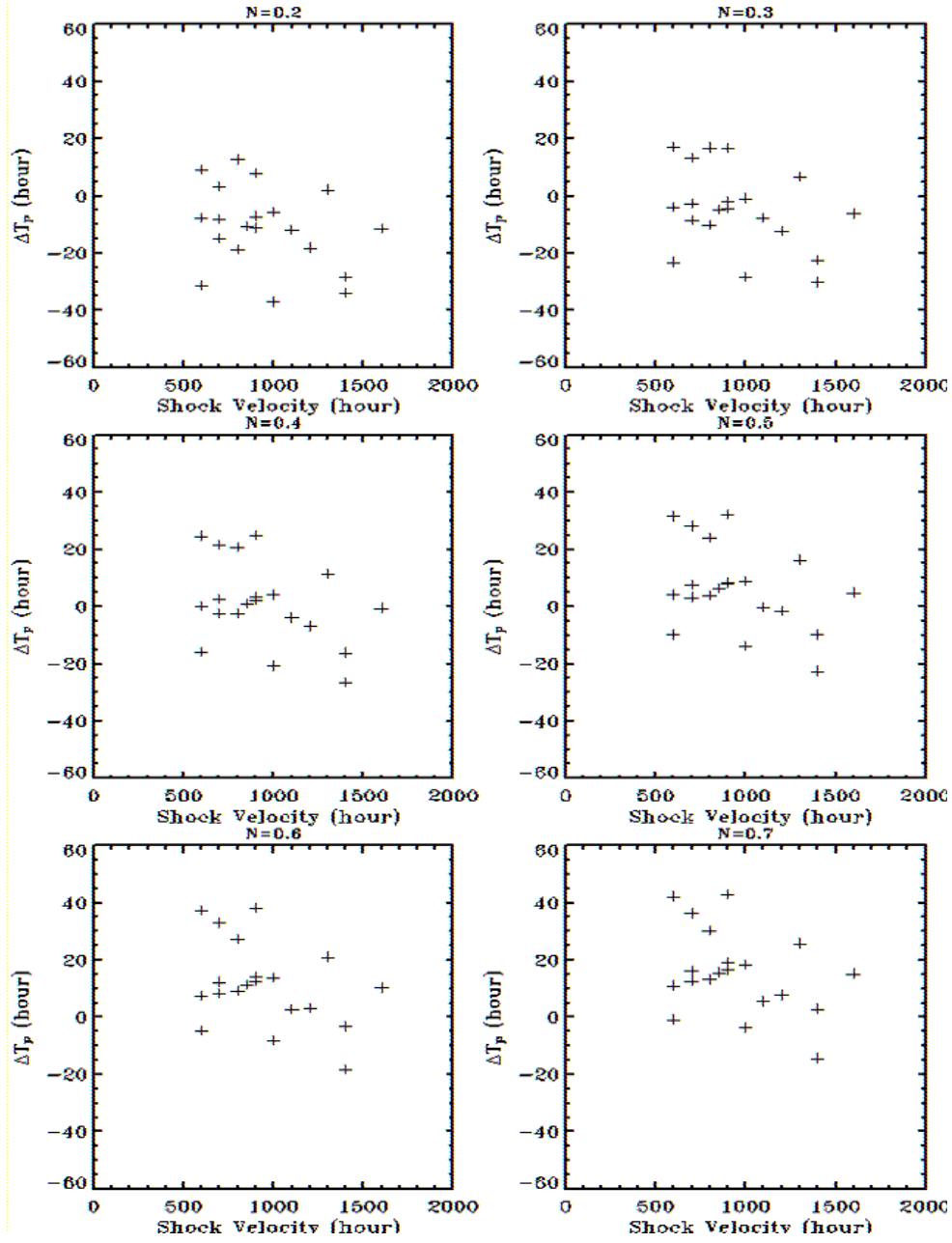


그림 3.13 여러 가지 N에 대한 1차원 STOA 모형에서 예측한 시간 지연과 관측 시간 지연의 차이 ( $N=0.2-0.7$ ).

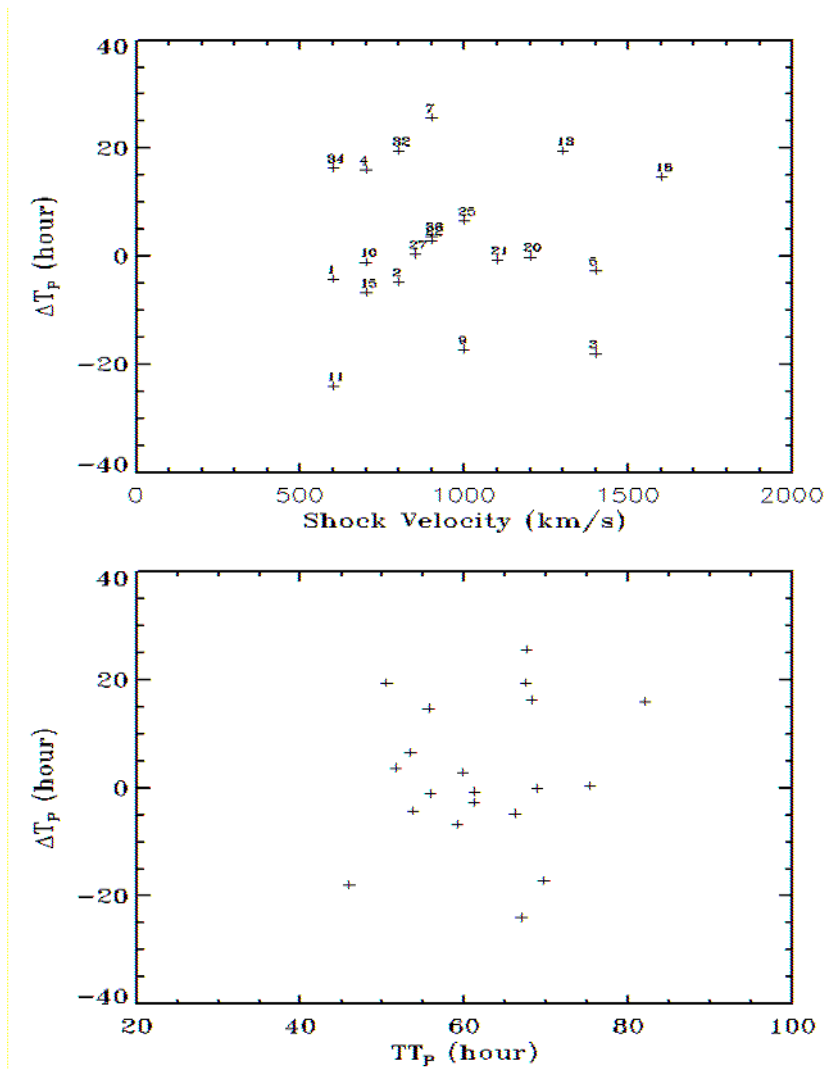


그림 3.14  $N=0.05+4\times 10^{-4}V_s$  관계를 가지는 STOA 모형에 의해 예측된 시간 지연과 관측된 시간 지연의 차이를 초기 충격파 속도 (위쪽) 및 예측된 시간 지연 (아래쪽)의 함수로 그린 그림. 위 그림에서 숫자는 Smith *et al.* (2000)이 사용한 자료의 확인 숫자이다.



#### 4. 전파 연구소 관측 자료의 적용

우리는 전파 연구소에서 관측한 12개의 관측 자료를 STOA 모형에 적용하였다. 그림 3.15는 1999년 6월 23일 관측한 Type II 태양 전파폭발 자료에 대한 STOA 프로그램을 수행한 결과를 그림으로 보여준다. 표 3.1은 각각의 자료에 대한 STOA 모형 입력 자료와 출력 자료를 표로 정리한 것이다. 그리고 코로나 충격파의 지구 도착 시간은 SSC의 시작 혹은 Dst 지수를 이용한 지자기 폭풍의 시작 시점으로 확인하였다. 비교 가능한 7개의 관측 자료에 대하여 STOA 모형에 의해 예측한 지구 도착 지연 시간 ( $TT_S$ )과 관측된 지구 도착 지연시간 ( $TT_D$ )은 대체로 잘 일치한다. 특히 12시간 이내에 성공적으로 예보한 비율은 86%로 Smith *et al.* (2000)의 자료에서 보여준 53%에 비해 훨씬 높은 값을 갖는다. 다만 더욱 확실한 결론을 내리기 위해서는 많은 자료에 대한 통계적인 연구가 선행되어야 한다고 생각한다.

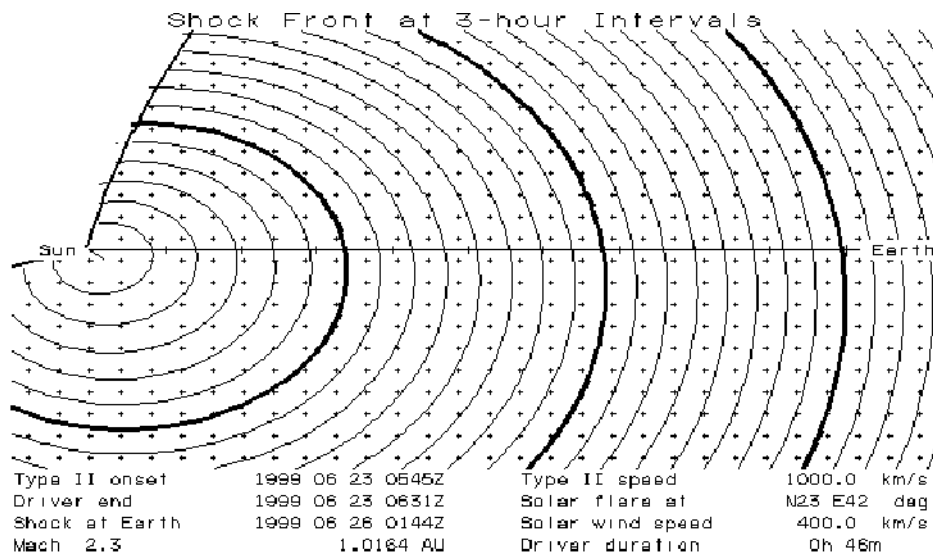


그림 3.15 1999년 6월 23일 관측한 Type II 태양전파 폭발 자료에 대한 STOA 프로그램 수행 결과.

표 3.2 전파연구소에서 관측한 12개의 Type II 태양전파폭발 자료의  
STOA 모형 입출력자료 및 SSC 자료의 비교.

No	Date	Solar Source						SSC	STOA	
		Time (UT)	Location	X-ray Flare	$\tau$ (min)	$V_{SW}$ km/s	ESS km/s	$TT_D$ (h)	$TT_S$ (h)	$\Delta T_S$ (h)
1	980731	0533-0544	N28E31	C29	50	440	600	-	74.8	fa
2	990526	0235-0242	N22E41	SF	10	450	650	-	mhd	-
3	990623	0545-0549	N23E42	M17	46	400	1000	70.3	68	-2.3
4	991027	0432-0435	N08E34	C53	66	390	1100	-	59.1	fa
5	000212	0412-0416	N26W23	M17	80	550	750	51.3	54.7	3.4
6	000302	0827-0831	S16W66	X11	11	400	1100	-	75.7	fa
7	000325	2235-2246	S14W02	C74	21	400	700	92.8	77.4	-15.4
8	000327	0647-0705	S17E42	C23	37	400	700	79	77.5	-1.5
9	000406	0228-0232	S15E53	M18	20	400	800	81.5	78.9	-2.6
10	000409	2338-2344	S14W01	M31	29	400	600	71.6	79.9	8.3
11	000412	0632-0637	S19W28	C21	11	400	600	83.5	mhd	-
12	000520	0556-0602	S15W08	C76	19	400	650	90.0	80.8	-9.2

- Definitions and explanations :  $\tau$  = input pulse duration,  $V_{SW}$  =solar wind velocity, ESS = Estimated Shock Speed,  $TT_D$  = observed transit times,  $TT_S$ = transit times predicted by the STOA,  $\Delta T_S$  = $TT_S - TT_D$  (predicted - observed) transit times. fa : false alarms, mhd = shock is predicted to decay to MHD waves.

## 제 4 장 정보제공 시스템의 기초 확립 및 팜플렛 작성

우주환경 관측을 수행하는 많은 나라들은 우주환경정보망을 구성하여 관측자료 및 예보자료 등을 공유하고 있다. 제 4 장에서는 이 우주환경정보망을 소개하고, 여기에 가입한 나라들의 관측 활동 내용과 우주환경 정보 수요자들을 위해 제공하는 서비스를 기술하였고, 또한 상업적 우주환경예보 서비스 기관의 서비스에 대해 조사하였다. 이러한 조사와 현재 전파연구소에서 제공하고 있는 서비스를 바탕으로 종합적인 우주환경 서비스를 제안하였으며, 우주환경 예보 시스템의 홍보를 위한 팜플렛을 작성하였다. 그 외 제 3 장에서 개발한 태양전파 폭발 지구 도착 시간 예측 프로그램을 활용하여 실시간 예보를 위한 프로그램을 작성하였다.

### 제 1 절 International Space Environment Service

#### 1. International Space Environment Service (ISES)

International Space Environment Service (ISES)는 International Astronomical Union (IAU), International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG)와 공동으로 International Union of Radio Science (URSI)가 후원하는 Federations of Astronomical and Geophysical Data Analysis Services (FAGS)의 서비스이다. ISES는 1996년까지 IUWDS (International URSIgram and World Days Service)라고 하였으며, IUWDS는 IGY에서 1959년에 시작한 International World Days Service와 1928년 신속한 국제자료교환서비스를 시작한 URSIgrams의 URSI Central

Committee의 결함으로 1962년 조직되었다.

ISES의 임무는 우주환경정보의 신속한 교환, 우주환경 관측과 자료 처리를 위한 방법의 표준화, 관측과 통계자료의 규칙적인 발표와 우주의 상태가 인간 활동에 미치는 영향을 줄일 수 있도록 돕기 위한 서비스 등을 통해 우주환경의 근사 실시간 (near-real-time) 국제 관찰과 예보를 촉진하고 장려하는 것이다.

ISES의 기본적인 3가지 활동은 다음과 같다. 첫째, International URSIgram Service는 표준화된 우주환경 (space weather) 정보의 빠른 교환을 제공하고 Regional Warning Centers (RWC)를 통해 예보를 한다. 둘째, ISES는 매년 International Geophysical Calendar (IGC)를 만든다. 이 캘린더는 과학자들이 실험을 하도록 원조를 받는 동안 ‘World Days’의 목록을 제공한다. 셋째, 월간 우주정보 (monthly Spacewarn Bulletins)는 지구 궤도와 행성간 공간에서 운행중인 위성의 상태를 요약해 준다. 그 외에 ISES는 회의를 후원하며, 우주환경서비스를 개선하고, 또한 사용자, 연구자, 미디어 및 일반 사람들의 우주환경과 그 효과에 대한 이해를 돕기 위해 Working Groups를 조직한다.

현재 11개의 Regional Warning Centers가 존재하고, 센터들은 China (Beijing), USA (Boulder), Russia (Moscow), India (New Delhi), Canada (Ottawa), Czech Republic (Prague), Japan (Tokyo), Australia (Sydney), Sweden (Lund), Belgium (Brussels)과 Poland (Warsaw)에 위치하고 있다. 데이터 교환 일정은 다른 센터들에 데이터를 제공하고 중계하는 각각의 센터와 조정한다. Boulder에 있는 센터는 데이터 교환과 예보를 위한 중심이 되는 “World Warning Agency”로서 특별한 역할을 한다.

교환된 데이터는 단순한 예보 또는 coded 정보로부터 이미지 같은 보다 복잡한 정도까지 그 종류와 형태 (format)가 매우 다양하다. ISES를 통한 데이터의 교환은 국제적으로 과학계와 사용자들이 데이터를 널리 이용할 수 있게 한다. 즉, RWCs 존재의 중요한 이유는 그 지역내의 과학계와 사용자 그룹에게 서비스를 제공하는

것이다. 이러한 서비스는 보통 태양-지구 환경 (solar terrestrial environment)의 예보와 경보로 이루어지며, 세계 곳곳에 존재하는 RWCs는 예보 사용자를 매우 폭넓고 다양하게 한다. ISES 시스템의 중요한 특징은 RWCs가 고객의 특수한 필요에 따라 서비스를 구성하고 관리할 수 있다는 것이다. RWCs 서비스의 사용자는 고주파라디오 발신자, 지구물리기술을 사용하는 광물 탐사자, 전력선과 송유관 관리기관, 위성 운용자와 상업용 및 과학을 위한 사용자들이다. 현대기술의 정교함과 감도의 증가는 태양-지구 환경 지식이 중요하게 사용되는 영역의 범위를 꾸준히 확장시키는 결과를 가져왔다.

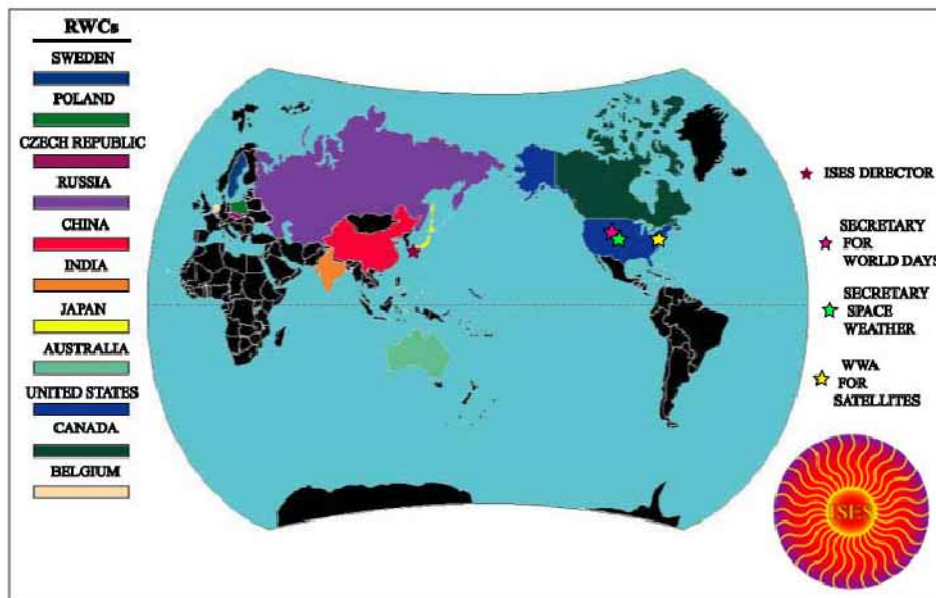


그림 4.1 ISES RWC 가입국 및 각 기관의 위치.

태양-지구 데이터의 예보에 있어서 ISES의 개입은 데이터의 분석과 이해의 접착을 자연스럽게 유도한다. 태양-지구 서비스의 정

확성과 유용성을 향상시키기 위해, 태양-지구 환경을 보다 잘 이해하는 것은 필수적인 것이다. 이러한 필요성에 따라 ISES는 과학자, 예보자와 예보사용자가 함께 하는 “Solar Terrestrial Prediction Workshops”을 계획한다. 지금까지 Boulder (1979, 2001), Meudon (1984), Sydney (1989), Ottawa (1992), and Japan (1996)에서 6번의 회의가 있었다.

ISES는 적합한 연구와 개발을 장려하고 연구결과의 시행으로의 전환을 도와주고, 그 임무를 수행하기 위해 지역 및 국제 서비스 제공기관과 협동하고 상호 작용한다. ISES는 다른 ICSU 조직들과 긴밀하게 연계하여 일하고, 그들의 우주환경 필요에 대응하려고 한다. ISES는 STP World Data Centers (WDC)와 밀접하게 협력하고 있다. 근사 실시간으로 ISES에서 다루는 예비된 데이터는 종종 WDCs에서 완결되고 보관된다.

ISES는 ISES 임원, 각 ISES 센터의 대표와 IAU, IUGG 및 URSI 같이 관심이 있는 International Council of Scientific Unions (ICSU)의 연락기구 대표로 구성된 Directing Board (표 4.1)에 의해 관리된다. Directing Board는 선출된 Director에 의해 주도되고, 1년에 한번 회견을 가진다.

## 2. Regional Warning Centers의 역할과 책임

- \* 지리적인 지역내의 우주환경자료를 수집한다.
- \* 다른 RWCs와 데이터, 정보 및 기술의 신속하고 자유로운 교환을 제공한다.
- \* 지역 사용자들을 위해 하루의 GEOALERT를 포함한 우주환경 예보 및 경보서비스를 제공한다.
- \* 우주환경에 대한 일반사람들의 이해를 돕는다.
- \* 활동과 관련된 우주환경에 대해 사용자들을 돕는다.

### 3. Warning center에 대한 ISES의 규범

Warning centers는 반드시:

- \* 정부의 승인을 받아야한다.
- \* 지리적인 지역 내의 데이터의 체계적인 수집을 순서대로 배열해야한다.
- \* 다른 RWCs와 데이터 및 결과의 신속하고 자유로운 교환을 허용해야 한다.
- \* 지역 사용자들을 위한 근사 실시간 우주환경예보와 경보서비스를 제공해야한다.
- \* 다른 센터들과 예보를 교환해야한다.

#### ⌘ 4.1 Members of the ISES Directing Board.

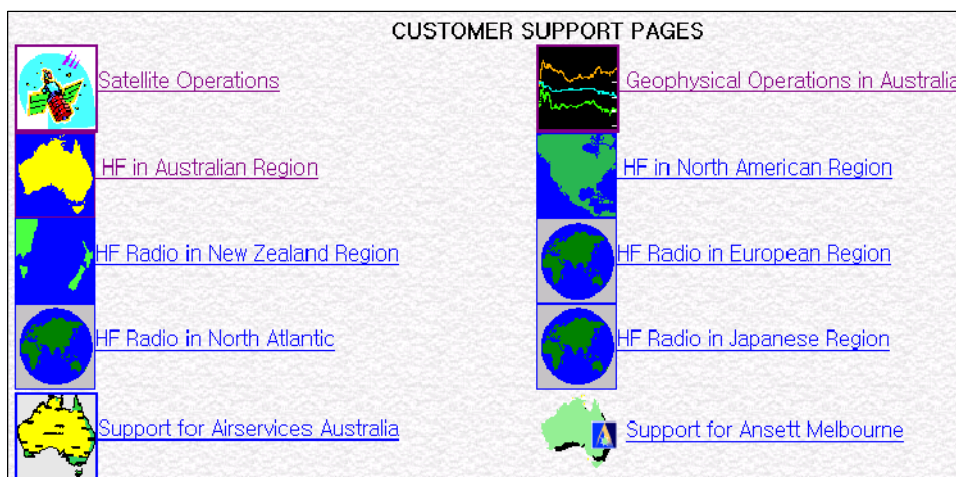
<b>Title</b>	<b>Host institution</b>	<b>Location</b>	<b>Delegate</b>
ISES Director	Communications Research Laboratory	Tokyo	K. Marubashi
Deputy Director			Vacant
Secretary for World Days	National Geophysical Data Center	Boulder	H. Coffey
WWA for Satellites	Goddard Space Flight Center	Goddard	J. King
Secretary Space Weather	Space Environment Center	Boulder	J. Kunches
RWC Australia	IPS Radio and Space Services	Sydney	R. Thompson
RWC Belgium	Royal Observatory of Belgium	Brussels	P. Cugnon
RWC Canada	Geological Survey of Canada	Ottawa	H. Lam
RWC China	Beijing Astronomical Observatory	Beijing	H. Wang
RWC Czech Republic	Institute of Atmospheric Physics	Prague	D. Buresova
RWC India	National Physical Laboratory	New Delhi	D. Lakshmi
RWC Japan	Communications Research Laboratory	Hiraiso	T. Maruyama
RWC Poland	Space Research Centre	Warsaw	Z. Klos
RWC Russia	Hydrometeorological Service	Moscow	P. Svidsky
RWC USA	Space Environment Center	Boulder	J. Kunches
RWC Sweden	Lund Space Weather Center	Lund	H. Lundstedt
FAGS representative			E.A.Tandberg -Hanssen
IAU representative	National Geophysical Data Center	Boulder	H. Coffey
IUGG representative	National Geophysical Data Center	Boulder	H. Coffey
USRI representative	Communications Research Laboratory	Tokyo	K. Marubashi
USRI representative	IPS Radio and Space Services	Sydney	P. Wilkinson
USRI representative	Hydrometeorological Service	Moscow	S. Pulinets



## 제 2 절 Regional Warning Centers (RWCs)

### 1. RWC Australia (IPS Radio and Space Services, Sydney) : <http://www.ips.gov.au/>

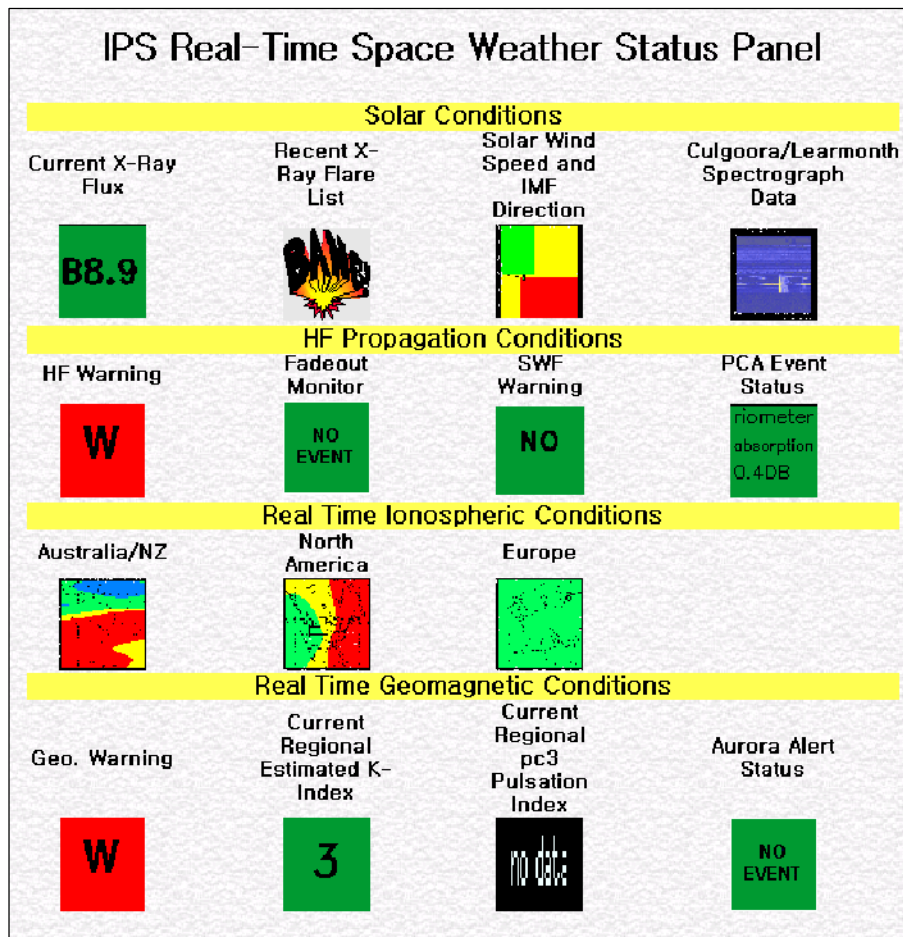
주관기관인 IPS는 호주 정부기관인 Department of Industry Science and Resources의 한 기구이고, 호주 라디오전파와 우주환경서비스를 제공한다. 현재의 우주환경상태를 보여주는 IPS 실시간 우주환경상태판 (IPS Real-Time Space Weather Status Panel)을 제공하고 있으며, 현재의 이온층, 지자기, 및 태양 상태에 관한 각종 우주환경 보고서와 경보, 주의, 예보 등을 제공하고 있다. 또한 IPS Ionosonde 네트워크를 통해 세계 여러 지역에서 얻은 Ionogram 이미지와 호주 Learmonth 관측소에서 관측한 태양 H-alpha 이미지, Culgoor 관측소의 태양전파 (Solar Radio Spectrograph) 관측 이미지 등을 제공하고 있다. 그 외에 SOHO 태양풍 데이터와 ACE의 IMF와 플라즈마 데이터들도 제공하고 있다. 그리고 아래와 같이 사용자에게 따른 우주환경 정보 제공 페이지를 운영하고 있다.



가. HF Radio와 우주환경보고서

(1) 실시간 우주환경 상태 서비스 (IPS Real-Time Space Weather Status Panel)

(가) 상태 표시



현재 X-선 플럭스, X-선 플레어 리스트, 태양풍 속도, IMF 방향, Culgoora/Learmonth spectrograph 데이터 등의 태양 상태, HF 정보, fadeout 모니터, short wave fadeout (SWF) 정보, 현재 프로ton 이벤트 상태 (현재 프로ton 이벤트 /polar cap absorption) 등의 HF 전파 상태, 호주/뉴질랜드, 북미,

유럽 T 지수 등의 실시간 이온층 상태, IPS 지자기 경보, 현재 호주지역 예측-K 지수, IPS 오로라 예보, 지자기 pc3 pulsation 지수 등의 현재 자자기 상태를 제공한다.

#### (나) 현 이온층 조건

현재 이온층 상태 서비스로서 T 지수 그림/요약/예보, MUF 보고서, foF2, 예측된 TEC 지도 및 Culgoor TEC 등을 제공한다. 또한, GPS와 IRI의 예측된 TEC 비교와 fadeout 감시, ionograms 등을 제공한다.

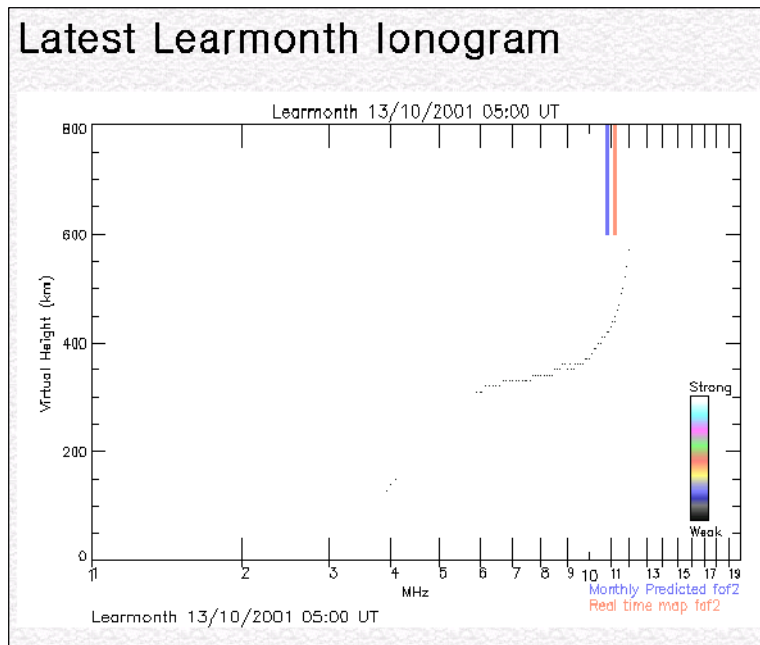


그림 4.2 Ionogram 영상.

#### (다) 현 지자기 조건

현재 지자기 상태의 정보로 지수의 그림/요약/예보, Learmonth 자력계 관측 결과 및 호주지역 실시간 지자기 파동을 제공하며, K 지수, 실시간 자기장 기록 등을 제공한다.

#### (라) 현 태양 조건

현재 태양상태를 나타내는 정보로서 태양활동 (solar activity) 그림/요약/예보, 관측 및 예측 태양흑점수, 플레어 플럭스, fadeout 감시 (단파 fadeout 영역 예측, 태양 X-선 플럭스)와 태양 영역 데이터 등을 제공한다. 특히 Learmonth에서 관측한 태양 영상, 실시간 태양전파 분광 자료, plage 영역 관측 기록, 전파 기록, 27일 H-alpha와 백색광 자전 기록, 및 태양 일일 플레어 예보 등을 제공한다. 이외에도 전자 fluence의 27일 예보, 현재 지구의 낮과 밤의 위치, 최근 48시간의 고에너지 플레어 등을 서비스하며, SOHO 태양풍 데이터 (X-선 플레어)와 ACE 데이터 (행성간 자기장과 플라즈마), Costello 예측 지자기활동 지수 등도 제공된다. 그 외에 Learmonth에서 관측한 quiet 태양 전파 플럭스 및 Culgoora 분광 관측 (실시간 영상, 시간 단위의 자료, 일일 영상) 등도 제공된다. Learmonth 관측소에서는 광학/전파 관측과 ionogram을 제공하고, Culgoor 관측소에서는 전파 분광 자료, 최근의 H-alpha 영상, 현재의 플레어 등을 제공하고 있다.

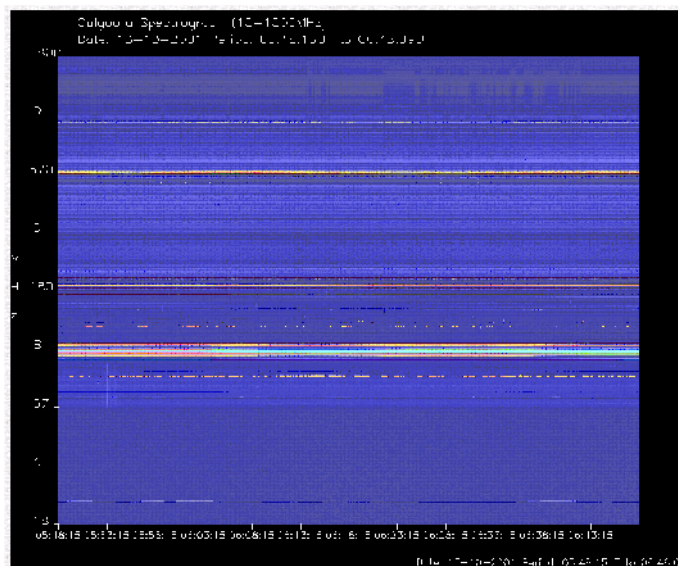


그림 4.3 Culgoora에서 관측한 태양 라디오 전파 분광자료.

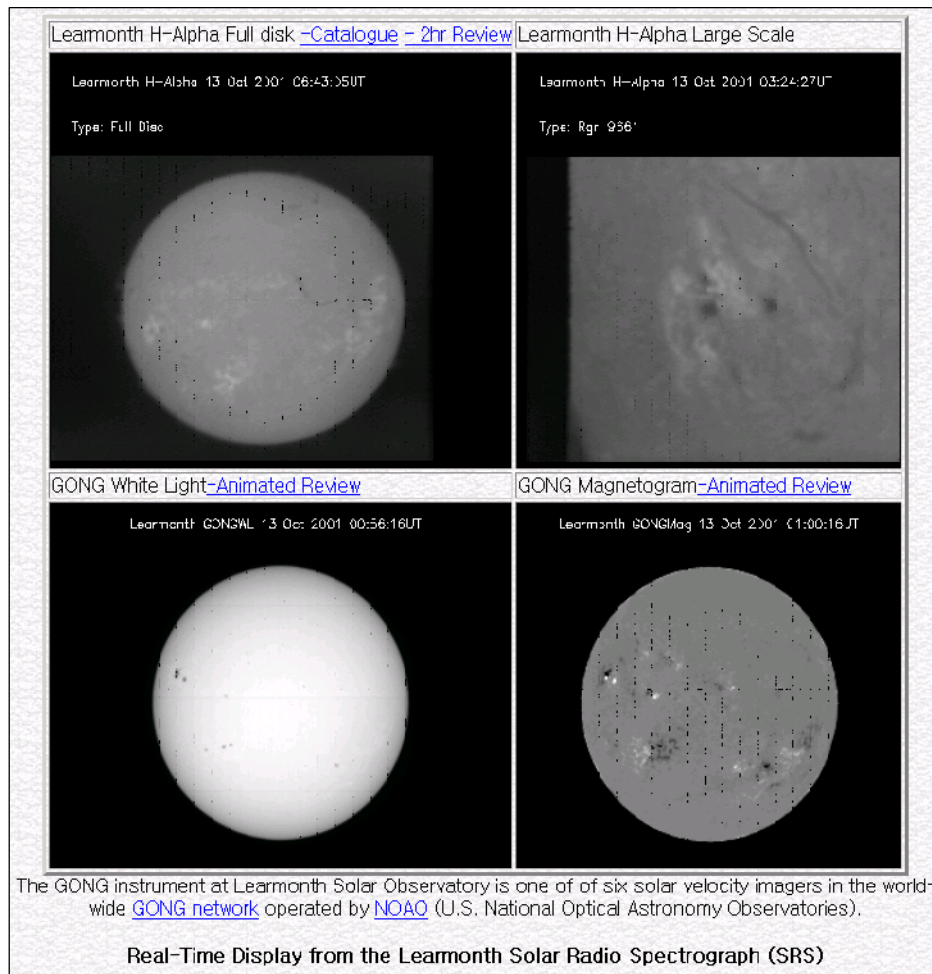


그림 4.4 Learmonth H-Alpha 영상.

## (2) 우주환경 예보 서비스

- 현재 HF 라디오 전파와 우주환경 상태
- IPS 보고, Warning, Alerts 및 예보: 일일, 주간 및 월간 태양
  - 지구 물리 보고, 주간 HF 전파 보고
- SMS 이동전화 경보: 이동전화를 이용하여 Special Message Service (SMS) 텍스트로 IPS 경보를 제공한다. 호주 내에서만 가능하며 GSM 전화를 사용해야한다. SMS

정보로는 Short-wave fadeout (SWF) 정보, 오로라 정보, 지자기 정보 등이 있다.

#### 나. 고객지원

사용자를 위성과 GPS 운용, 호주 내 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.

##### (1) 위성 및 GPS 이용자를 위한 서비스

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

##### (2) 지구물리 사용자를 위한 지원

- 실시간 정보: 추정된 K 지수 및 그림, pc3 파동 지수 및 그림, 지자기 관측 결과
- 보고 및 예보: 지자기 및 지구물리 조건의 주간 및 월간 보고, IPS 지자기 정보
- 기록 정보: 자기장 기록, 지자기 파동 지수, K 지수

##### (3) HF 전파 사용자

- 등고선 지도: 실시간 예보 지도 (Hourly Area Predictions (HAP), Local Area Mobile Prediction (LAMP)), 이온층 지도, T 지수 등

- 실시간 예보: 경로별 단파 예보
- 이온층 전파 조건: 국지적 및 전 세계적 이온층 조건, HF 통신 정보, 전리층 관측기록 및 foF2
- 단파 fadeout: 실시간 도표, 플레어 도표
- 유선 예보 서비스: 점대점 HF 예측, 항공로 예측

#### (4) 항공 사용자

- 등고선 지도: 실시간 HAP 예보 지도, T 지수 등
- 이온층 전파 조건: 국지적 및 전 세계적 이온층 조건, HF 통신 정보, 오로라 예보
- 단파 fadeout: 실시간 도표, 플레어 도표

다. 그 외 IPS에서 제공하는 서비스

#### (1) 호주 국내와 국외의 HF 사용자를 위한 조언

#### (2) 실시간 유선 서비스

#### (3) 전문 프로그램

IPS는 전문적인 두개의 프로그램을 제공한다. HF 주파수 예보를 위한 ASAPS와 지면파 전파를 위한 GWPS 이다.

##### (가) Advanced Stand Alone Prediction System (ASAPS)

ASAPS는 HF 라디오 스펙트럼의 통신상태를 예측하며, IPS radio와 Science & Tourism의 Space Service에 의해 개발된 이온층 모델과 CCIR 모델을 바탕으로 한다. HF 통신을 위한 예보, 3-D 안테나 이득 패턴과 태양 흑점수, 10.7cm 플럭스, IPS 이온층 T-지수 등의 태양/이온층 지수를 제공한다. HF 통신을 위한 예보는 최적주파수, 신호/잡음, 잡음, 확률 (probability), 및 Take-off 각도의 등고선 지도 (contour maps) 등을 보여주는 점



대지역 (point-to-area) field 강도 예보와 GRAFEX 표, GRAFEX 그래프, 주파수계획, 최적주파수 그래프, field 강도 산출표 등을 보여주는 점대점 (point-to-point) HF 전파와 field 강도 예보로 나뉜다. 구매가격은 AUD 375이다.

(나) 지면파 전파 (Ground Wave Prediction System: GWPS)

GWPS는 특정 장소와 운영조건 하에서 지면파 (ground wave)의 유효범위 (range)를 추정한다. 송신기의 주파수, 파워, 및 시간에 대한 유효범위와 유효범위에 대한 전기장세기를 추정할 수 있다. 또한 주어진 유효범위에 대해 주파수/시간의 관계를 추정할 수 있다. 구매가격은 AUD 54이다.

**2. RWC Belgium (Royal Observatory of Belgium, Brussels) : <http://sidc.oma.be/index.php3>**

최근의 Fe XV 284 Å EIT 이미지, EIT 동영상, LASCO 동영상을 보여주며 하루에 몇 번씩 업데이트 된다. 태양흑점 데이터는 매달 초 업데이트 되고, 태양흑점 지수 그래프, 최근 예보, 및 Ursigram 코드 등을 서비스하고 있다. 그리고 매주 태양과 지자기 조건을 알려주는 주간지를 발행하고 있다.

**3. RWC Canada(Geological Survey of Canada, Ottawa)  
: [http://www.geomag.nrcan.gc.ca/geomag/e\\_ottrwc.html](http://www.geomag.nrcan.gc.ca/geomag/e_ottrwc.html)**

RWC 캐나다에서는 지자기활동에 대한 자료 및 예보를 제공하고 있다.

**가. 지자기 활동예보**

지자기 활동 예보는 5분 간격의 48시간 예보와 과거 24시간 기



록을 예보하는 short-term 예보와 12시간 간격의 27일 간의 예보  
 및 과거 기록을 예보long-term 예보가 있다. 매일 발하여지는 72  
 시간의 예보는 전화를 이용하여 받아볼 수 있다. 또한 FTP 사이  
 트 ([www.geolab.NRCan.gc.ca](http://www.geolab.NRCan.gc.ca))를 통해 예보를 제공하고 있다. 그  
 외에 Canada의 Geological Survey of Canada에서는 지자기 변화  
 에 관한 27일 간의 예보를 매 3주마다 발하며 이와 함께 지난 27  
 일간의 지자기활동 기록을 우편으로 보내는 예보를 함께 하고있  
 다. 모든 예보는 3개의 지자기 구역, 즉 sub-auroral (SU), aurora  
 (AU), 및 polar cap (PC) 영역으로 나누어 행해진다.

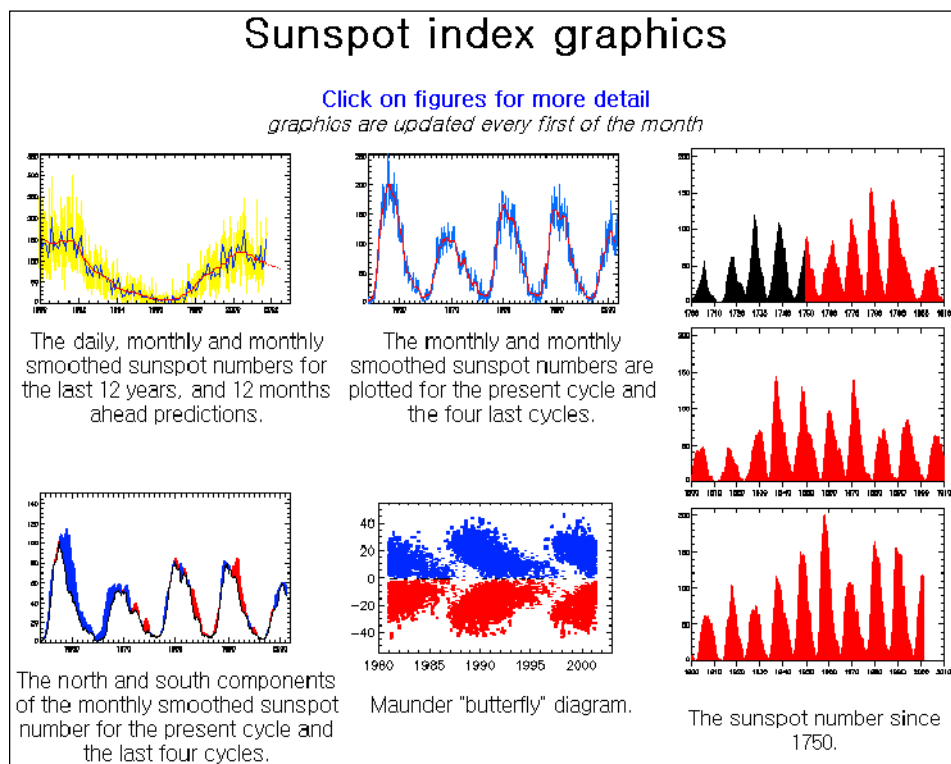


그림 4.5 태양 흑점수 그래프 (RWC Belgium).

#### 나. 캐나다 지자기 관측소

National Geomagnetism Program of the Geological Survey는 14곳 (Alert, Baker Lake, Cambridge Bay, Fort Churchill, Glenlea, Iqaluit, Meanook, Mould Bay, Ottawa, Poste-de-la-Baleine, Resolute Bay, St. John's, Victoria, 및 Yellowknife 등 14곳의 캐나다 지자기 관측소의 네트워크를 운영하고 있으며, 각 관측소의 지자기변화를 그래프로 제공한다. INTERMAGNET에 참여하는 캐나다 지자기관측소의 디지털 자료는 Ottawa GIN automatic data 또는 FTP를 통해 얻을 수 있다.

#### 다. 캐나다 지자기활동 지수

캐나다 K 지수는 Ottawa, Meanook와 Victoria 세 곳에서 관측된 자료로만 계산된다. 잠정적인 매시간 범위, 매시간 평균, 최대 변화율은 모든 CANMOS (CANadian Magnetic Observatory System) 관측소에서 측정되고 제공된다. CANMOS는 Geological Survey of Canada (GSC)에 의해 조정되는 캐나다 지자기관측소의 자동화 부분으로써 modular PC-based 데이터 수집 시스템이다.

#### 라. INTERMAGNET

INTERMAGNET은 근사 실시간 지자기관측네트워크이고, 캐나다에서도 INTERMAGNET에 지자기 자료를 제공하고 있다.

### 4. RWC China (Beijing Astronomical Observatory, Beijing) : <http://www.bao.ac.cn/bao/org/sec/>

RWC China는 1992년 창립되었고, 주 업무는 부 센터인 Space Environment Center (SEC)에서 수행된다. SEC에서는 다음과 같은 세 종류의 태양활동예보를 하고 있다.

- 태양 soft X-ray 폭발과 태양 프로톤 이벤트의 단기 예보
- Short Wave Fade-out (SWF), 태양 프로톤 이벤트 및 흑점수의 중기 (1달) 예보
- 1년 및 태양 주기 (solar cycle)의 시간동안 태양 흑점수를 예보하는 장기 예보이다.

예보된 SWF의 강도와 SID의 상관관계는 Solar-Terrestrial Data Part I의 분류와 같은 0, 1, 2와 3의 4가지로 분류한다. 태양 프로톤 이벤트는 0 (최대 프로톤 플럭스  $< 10\text{pfu}$ ), 1 ( $10\text{ pfu} \leq$  최대 프로톤 플럭스  $< 100\text{ pfu}$ ), 2 (최대 프로톤 플럭스  $\geq 100\text{ pfu}$ )로 분류되는데, 최대 플럭스는 에너지가 10MeV 이상인 입자만으로 추정된다. 태양 X-ray 폭발의 강도는 3가지 (C, M, X)로 구분한다.

단기예보와 중기예보는 각각 주 당 5 일과 월 2회 씩 규칙적으로 예보하는 서비스이다. 반면에 장기예보는 다음 태양주기동안 불규칙적으로 행해진다.

웹사이트를 통한 예보는 흑점수의 예보만을 제공하고 있다.

## 5. RWC Czech Republic (Institute of Atmospheric Physics, Prague)

: <http://sunkl.asu.cas.cz/english/depart/solar/SolarActivity.html>

RWC Czech에서는 태양활동을 관측하고 1주일의 태양활동을 예보하고 있다. 또한, 광구 (in W-L), 채층 (in H-alpha), 및 활동영상 등의 큰 스케일의 태양영상을 제공하며, 매주 화요일 주간예보를 발행한다. 그 외에 SIDC를 위한 메시지 (월간 관측결과), ISES를 위한 지난 7일 동안의 Ursigram 메시지, 및 지난 7일 동안의 Geoalert를 제공한다.

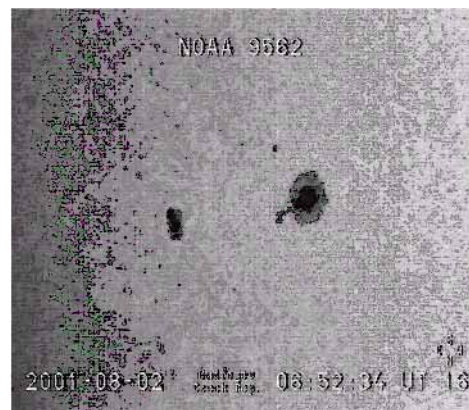


그림 4.6 광구 (in W-L).

6. RWC Japan (Communications Research Laboratory, Hiraiso) : <http://hirweb.crl.go.jp/index.html>

일본 통신총합연구소 히라이소는 플레어 현상과 같은 다양한 태양활동을 관측할 수 있는 태양광학 관측시스템, 태양전파관측시스템, 그리고 지구 자기장 변화를 관측할 수 있는 지자기 관측기를 운영하고 있다. 그 외 통신 총합연구소에서 보유하고 있는 전리층 관측기, 미국과 공동관측 프로그램에 의해 얻어지는 태양풍 관측 자료, 네트워크를 통해 다양한 외국의 지상 및 위성 관측 자료를 실시간으로 취득하고 있다. 표 4.2는 데이터 활용을 위해 운영하고 있는 관측시스템과 데이터 활용내용을 정리한 것이다.

표 4.2 일본 통신 총합연구소의 관측시설 및 데이터 활용.

관측시설	관측데이터	데이터 활용
H $\alpha$ 태양망원경	단색상 이미지 도플러 이미지	태양 플레어 추적 태양 플레어 예보
태양흑점 망원경	태양흑점 구조	태양활동 예보
태양전파분광관측기	25MHz~2.5GHz 전파 스펙트럼	태양 코로나 활동
2.8GHz 전파관측기	2.8GHz 태양전파강도	태양활동
ACE 위성 수신 시스템	태양풍 플라즈마와 자기장, 고에너지 입자	태양풍 구조 고에너지입자
지자기 네트워크	지자기 변화	지자기 격변
전리층 네트워크	Ionogram	전리층 상태

우주환경예보에 활용되고 있는 히라이소 우주환경관측시스템의 정보제공 내용은 다음과 같다.

#### 가. 태양-지구

(1) 일본, 미국, 벨기에, 중국, 호주 등의 GEOALERT과 Fredericksburg A 지수, Ottawa 10cm 태양전파 플럭스, HF 통신 지수 등의 예보

(2) RWC에서 도쿄에 보내진 미국의 태양/지자기활동, 우주환경예보, 태양코로나활동과 호주의 IPS 오전관측 요약, IPS 오후관측 요약 등의 1일 보고서와 벨기에의 태양/지자기 활동의 1주일 보고서

(3) NOAA/SEC에서 제공된 ACE와 GOES 위성의 태양흑점그룹, X-ray 플레어, 태양풍 데이터와 Kakioka 지자기관측소에서 얻은 K 지수 그래프 등의 태양활동도표 (Solar Activity Chart)

(4) Kakioka 지자기관측소에서 얻은 지자기활동 지수인 K-지수도표

#### 나. 태양

(1) Solar Image Data Base

히라이소 태양광학관측 시스템에서 관측된 최신 태양면 영상, 최신 태양활동영역 영상, 플레어 및 활동영역 데이터베이스

(2) Hiraiso Radio Spectrograph (HiRAS)

최근 태양전파스펙트럼, 실시간 태양전파스펙트럼, 태양전파에서 관측된 이벤트, 태양전파 DB, 1일 관측요약

#### 다. 행성간 공간

- ACE에서 관측된 실시간 행성간 물질량 및 입자분포 (1일)
- 1998 ~ 2001년에 ACE에서 관측된 행성간 물질량 및 입자분포
- 행성간 자기장의 sector 구조, 태양풍 속도분포

- Dst 예측지수
- 실시간 자기권 프로톤 분포

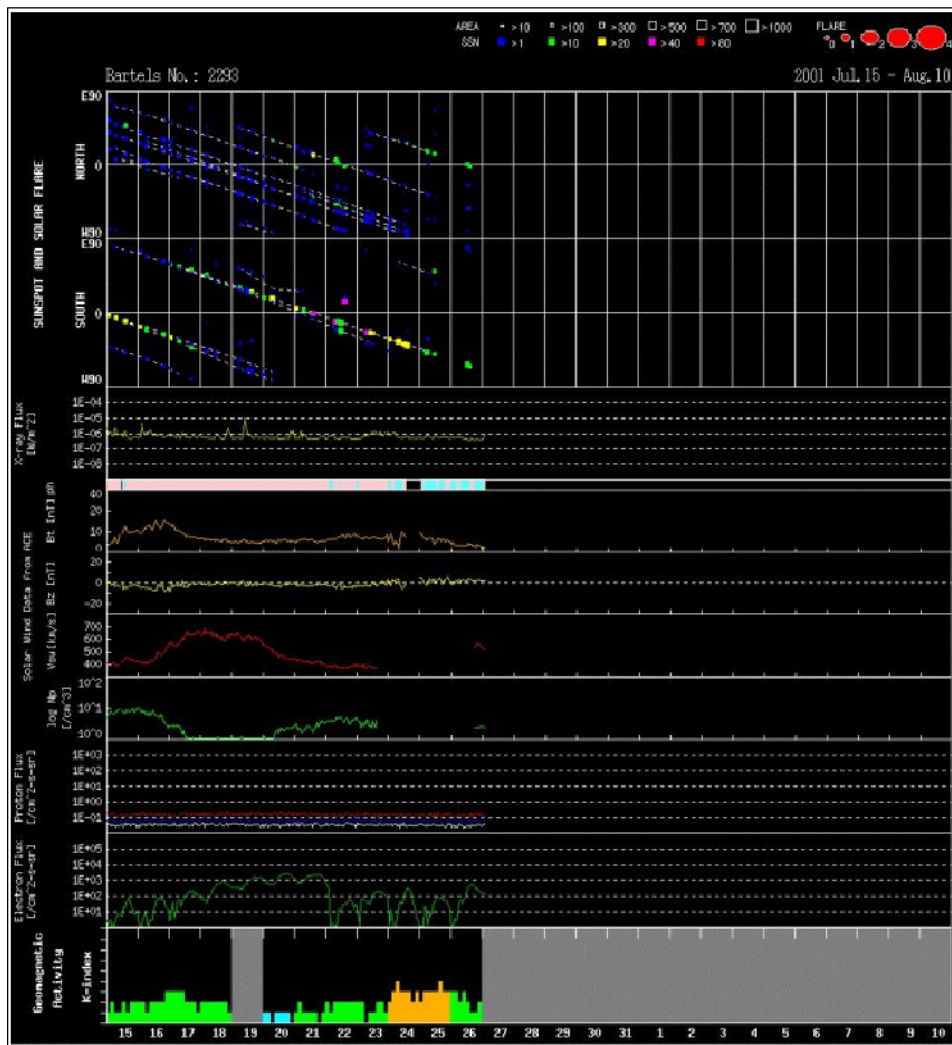


그림 4.7 NOAA/SEC에서 제공된 ACE 위성의 태양활동, 태양풍 데이터와 GOES 위성의 양성자/전자 플럭스, 및 Kakioka 지자기 관측소에서 얻은 K 지수 그래프 등의 태양활동도표.

라. 자기권

(1) GMS-4위성에 탑재된 Space Environment Monitor (SEM)에서 관측한 1일 고에너지 입자 분포 (프로톤, 알파입자, 전자)

(2) 전 세계 지자기 변화 분포

(3) INTERMAGNET Hiraiso GIN

히라이소는 지자기관측뿐 아니라 전세계 지자기 자료를 모으고 제공하는 INTERMAGNET의 지자기 정보 센터 (Geomagnetic Information Node : GIN)로서의 역할을 수행하고 있다. GIN에서는 히라이소 STRC에서 관리하는 지자기데이터를 원하는 사용자에게 전자메일을 통해 보내주는 자동메일링시스템을 운영하고 있다.

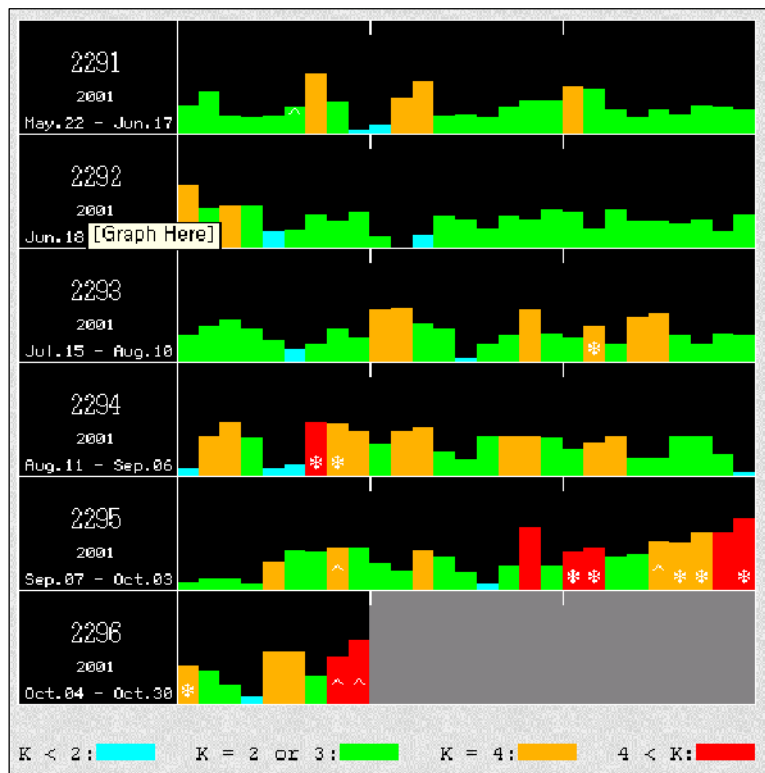


그림 4.8 지자기 활동 K-지수 도표.



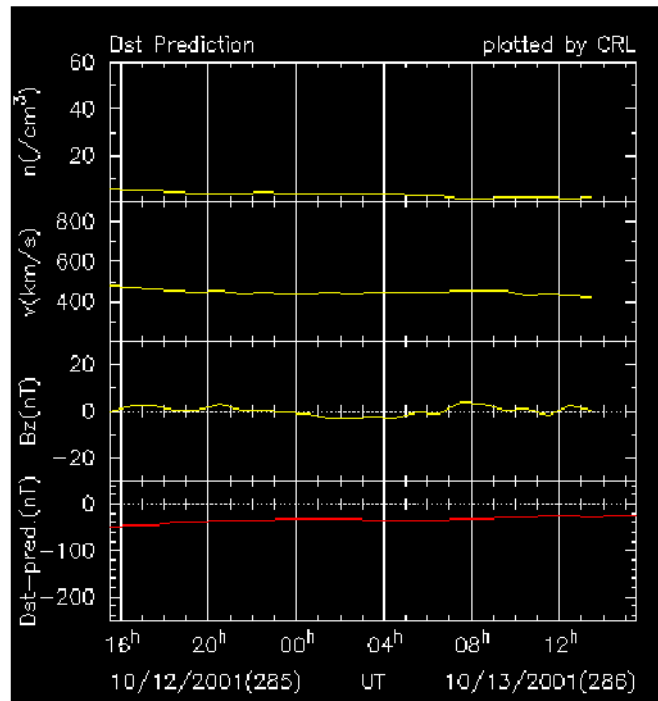


그림 4.9 Dst 예측지수.

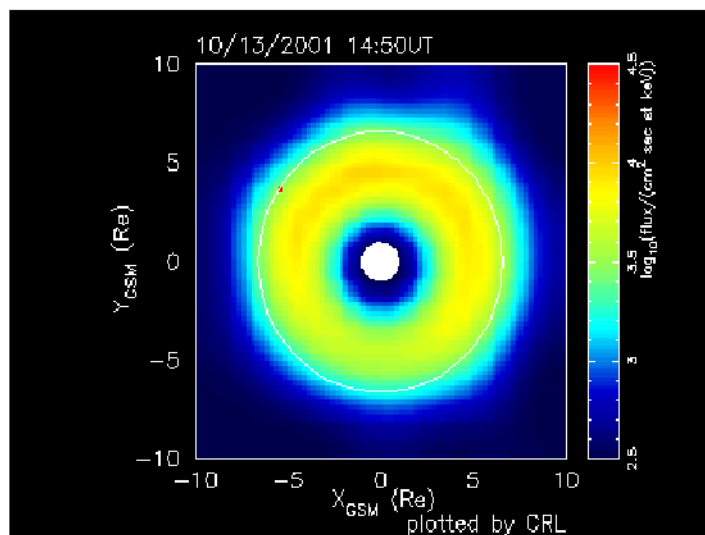


그림 4.10 ACE에서 관측된 실시간 자기권 프로톤 분포.

마. 이온층

(1) 이온층을 위한 WDC-C2

일본에서 관측된 이온층 탐사 자료, 실시간 ionogram, ionogram 데이터베이스, International Geophysical Calendar

(2) CRL 이온층 관측

Ionosonde 관측소는 Yamagawa, Okinwa, Syowa, Antarctica, Wakkanai, 및 Kokubunji가 있다. Yamagawa에서는 위성의 라디오파를 사용한 이온층과 대류권 관찰, 중파 레이더를 이용한 middle atmosphere winds와 D-region 전자 밀도 관측, 256-beam Imaging Riometer 실험을 하고 있다. Okinwa에서는 HR 레이더를 이용한 해양 연구, 하부 대기권의 wind 프로파일 연구, 아열대지방에서 마이크로파의 진행 등을 연구한다. Syowa와 Antarctica에서는 이온층 수직 관측을 한다. VLF 파 감시소인 Inubo에서는 VLF 라디오파, HF 도플러, 지진에 의해 발생하는 라디오파 등을 관측한다.

우주환경서비스 항목으로는 매주 발행된 우주환경 리포트, 실시간 데이터 서비스, 전파통신 사용자들을 위한 주간 전파예보 등이 있다. 표 4.3은 우주환경 서비스 항목 및 내용을 정리한 것이다. 우주환경 리포트는 매주 금요일 지난 일주일 동안의 우주환경에 대한 요약과 다음 1주일동안의 예보 결과들이 인터넷과 E-mail, Fax를 통해 사용자들에게 제공된다. 또한 대규모의 이벤트가 예상되거나 발생하였을 경우에는 곧 바로 관련 정보들이 제공된다. 1일 우주환경 예보 서비스는 WWW과 자동 응답전화를 통해 우주환경정보가 제공된다, 이 정보에는 태양활동, 지자기활동, 프로톤 현상에 대한 예보 및 요약자료와 태양활동 지수들과 같은 자세한 정보를 포함하고 있다.

실시간 데이터 서비스에는 Hiraiso 전파분광 (HiRAS) 데이터나 SERDIN/WWW (Space Environment Real-time Data

Intercommunication Network), SERDIN/SEDOSS (Space Environment Database Online Service System) 등이 있으며, 최근의 현상, 변화 그리고 현재 상태에 관한 정보가 매우 유용하다. 특히 SERDIN/WWW의 태양 활동 도표는 태양활동, 태양풍, GOES 위성의 프로톤, 전자 속 (flux) 그리고 지상 자력계에 의한 지자기 지수가 포함되어 있다. 이 차트는 태양자전시간동안의 전반적인 우주환경변화 및 순간적인 이상현상들을 한눈에 볼 수 있고 우주환경의 각각 다른 관측 파라미터의 관련성을 확인할 유용한 도구이다. 전파통신 사용자들을 위한 주간 전파예보는 태양플레어나 지자기 변동에 의한 전파의 전파 감쇠에 대한 예보를 매주 목요일과 금요일에 제공한다.

표 4.3 히라이소 우주환경예보센터의 예보·경보 서비스.

서비스항목	예보·경보내용	발령일시	전달방법
ISES (Ursigram)	우주환경 정보 및 예보	매일 6시(UT)	ISES 코드처리시스템/네트워크·온라인서비스
ARS 전화서비스	우주환경현황, 예보 및 지수	매일 6시(UT)	전화·온라인 서비스
주간 전파교란예보	주간 단파통신상태 예보	매주 금요일	FAX
우주환경예보	주간 우주환경 정보 및 예보	매주 금요일 (이상: 수시로)	FAX/E-mail
단기전파교란예보	단파의 전파상태	수시로	표준전파 (JJY) 인식부호 뒤에 송신

## 7. RWC Poland (Space Research Centre, Warsaw)

:<http://www.cbk.waw.pl/rwc/rwc.html>

RWC Poland에서는 태양-지구 보고서로서 Last ionograms, 이온층 파라미터, 전자밀도 높이 프로파일 등을 만들고 있으며, 다음과 같은 정보를 제공하고 있다.

- 태양활동: ISES RWC의 메시지를 기초로 하며 3일 간의 태양활동, 태양 보고서, 태양 활동 예보
- 지자기 활동: 지자기 지수, 지자기활동 예보, 지난 3일 동안의 지자기 보고서

URSIGRAM WARSAW로서 이온층과 자기층 데이터를 월-금요일 7-15 UT에 새로 고치며, 태양, 자기권, 및 이온층 활동에 대한 매일의 메시지 (review/forecast)를 제공한다. 그외 신호/잡음 비율의 지도, HF 전파 예측, 및 전파 path (S/N) 등의 HF 라디오 전파 예측과 예보를 서비스한다.

## 8. RWC USA (Space Environment Center, Boulder)

:<http://www.sec.noaa.gov/index.html>

Space Environment Center (SEC)에서는 태양 및 지구물리 현상의 실시간 관측, 예보, 연구를 수행하며, 태양 및 지구물리의 교란 예보 기술을 개발하고 있다. SEC의 Space Weather Operation Center는 NOAA와 미국 Air Force에 의해 공동으로 운영되며, 우주환경에서 작업하는 사람과 장비에 영향을 줄 수 있는 교란에 대한 국내 및 국제적인 예보센터이다. SEC의 우주환경 예보 서비스로는 현재의 우주환경, 유선자료제공, 고객지원 등이 있다.

### 가. 현재의 우주환경 (Space Weather Now)

현재 우주환경 서비스에서는 실시간으로 관측된 태양면 영상, 태양활동영역 영상, NOAA scale, ACE 위성이 관측한 실시간 태양풍 데이터, NOAA 위성이 관측한 오로라 영역 등의 관측 데이터와 이로부터 유추한 우주환경 상태, 태양 D-영역 흡수, 우주환경 예보 및 경보 등을 제공한다.

#### (1) 태양 관측 데이터

태양 관측은 지상 관측과 위성 관측으로 분류된다. 지상 관측은 태양 망원경을 이용해  $H\alpha$ , 백색광, 자기장 기록, 헬륨 1083A 등의 파장에서 수행되고, 태양면 영상, 태양활동영역 영상 등의 실시간 데이터를 제공한다. 위성 관측은 GOES 위성의 Solar X-ray Imager (SXI)를 이용하여 태양면의 X-ray 영상을 제공한다. 이런 관측 데이터로부터 흑점수, 태양 D-영역 흡수 등의 예보를 수행한다. D-영역 흡수는 태양 표면의 국부적인 전자 밀도 변화에 의해 일어나며 HF 전파 통신에 영향을 준다.

#### (2) 태양풍 관측

태양풍 관측은 ACE 위성을 이용해 이루어지며, 태양풍 플라즈마의 전파 속도와 밀도, 압력, 행성간 자기장의 세기, 저 에너지 전자와 양성자 플럭스, 고에너지 양성자 플럭스 등의 관측 데이터를 실시간으로 제공한다. 또한, 태양풍 관측 데이터를 이용해 Costello 예측 지자기 활동 지수를 계산하여 제공한다.

#### (3) 오로라 영역 관측

오로라 영역의 관측은 NOAA의 POES (Polar-orbiting Operational Environmental Satellite) 위성을 이용해 이루어지며, 고에너지 양성자와 전자 플럭스를 제공한다. 또, 이 플럭스 데이터를 이용해 오로라 활동 지수를 계산하고, 이를 극지방 지도 위에 표시한 이미지를 제공한다.

#### (4) NOAA scale

NOAA Space Weather Scales는 현재와 미래의 우주환경 상태

와 그것이 사람과 시스템에 미칠 수 있는 영향을 일반 사람들에게 전달하기 위한 방법으로서 도입되었으며, 다음과 같이 세 가지 현상으로부터 일어날 수 있는 우주환경 교란 정도를 나타낸다.

- 지자기 폭풍 (Geomagnetic Storms): 지구에 충격을 주는 태양풍의 갑작스런 분출에 의해 생기는 지자기 교란
- 태양복사폭풍 (Solar Radiation Storms): 고에너지 입자 수의 증가 때 일어나는 방사능 수치의 증가
- Radio Blackout: 태양에서 오는 X-선에 의해 일어나는 이온층 교란

#### (5) Today's Space Weather

이 서비스는 관측 데이터와 이로부터 계산한 여러 지수를 이용해 현재의 우주환경 상태와 예보를 요약, 정리하여 제공한다.

- 태양면 영상, 3 일간의 태양-지구 예보, 태양 X-선 플럭스
- 위성환경 도표: 예측 Kp 지수, GOES Hp, 전자/양성자 플럭스
- 우주환경 자료: X-선 플럭스 분포, 태양 영역 요약보고, 태양 이벤트, 최근의 태양-지구 자료 보고/요약

#### (6) Space Weather Bulletins

이 서비스는 사람들에게 흥미로운 사건이 일어났을 때 이 현상의 진행 상태 및 경과에 대한 내용을 제공한다.

#### (7) D-영역 흡수 예측

D-영역 흡수는 주로 국지적인 전자 밀도의 변화에 의해 일어나며, 태양 X-선 플레어에 의해 전자밀도에 현저한 변화가 생기게 된다. D-영역 흡수 예측은 GOES 위성의 X-선 플럭스 데이터를 이용하여 이루어지며, HF 라디오파의 HAF (Highest Affected

Frequency)의 전 지구적 주파수 지도, 감쇠 그래프, 상태 메시지, 및 예측되는 회복시간 등을 제공한다.

#### 나. 유선 자료 제공

SEC는 폭넓고 다양한 근 실시간 및 최근 우주환경 데이터를 웹과 FTP 사이트를 통해 제공한다. 이 데이터에는 관측 데이터 뿐 아니라 우주환경 예보 및 경보, 여러 우주환경 지수, 우주환경 요약 보고서, 사용자 그룹을 위한 데이터 등의 자료도 포함된다.

#### (1) 주의 및 예보 (Alerts and Forecasts)

우주환경 주의 및 예보는 다음과 같은 항목을 포함한다.

- 필요에 따라 예보 및 권고 발령
- 매일 1회 이상: 3 시간 마다 WWV 지구물리 메시지 발표, 태양 및 지구물리 활동 보고 및 3 일 예보, 3 일 우주환경 예보, 27 일 태양 전파 예보, 45 일 Ap 및 10.7cm 예보
- 주간: 주간 특이 사항 및 27 일 예보, 27 일 10cm, Ap, 및 최대 Kp 조망, 우주환경 조망
- 월간: 태양활동 예보 (흑점수 및 10 cm 전파 플럭스)

#### (2) 모델

우주환경의 활동 지수나 이에 따른 여러 현상을 예측하기 위한 모델들로 다음과 같은 모델들이 주어진다.

- Costello 지자기 활동 지수: 예측된 Kp 값
- D-지역 흡수 예측
- 자기권 모델 (Magnetospheric Specification Model: MSM)
- 태양풍 모델 (Wang Sheeley Model)

### (3) 보고 및 요약

우주환경의 상태에 대한 요약 정보들이 다음과 같이 여러 시간 간격으로 주어진다.

- 1일 1회 이상: 태양 및 지구물리 활동 보고와 3일 예보, 태양 활동 영역 요약, 태양면 및 가장자리 요약, GEOALERT
- 주간: 특이 사항 및 27일 예보, 태양 지구물리의 예비보고 및 예보
- 월간: 태양활동 주기
- 장기 보고 및 요약: 태양 프로톤 이벤트, 태양활동 주기, SEC 예보의 평가

### (4) 지수

우주환경을 나타내는 여러 지수들로 다음과 같이 각 분류별로 제공된다.

- 일일 우주환경 지수: 10 cm 태양 전파 플럭스, 흑점수, Stanford solar mean field, GOES X-선 배경 플럭스, X-선 및 광학 플레어 수, GOES 양성자 및 전자 플럭스, 중성자 감시, 예측 Planetary A 및 K 지수
- A 지수 및 K 지수
- 월 평균 태양 지수: 흑점수, 10cm 태양 전파 플럭스, Ap 지수
- 태양활동 주기의 진행

### (5) 관측 자료

SEC에서 제공되는 관측 데이터는 다음과 같이 요약된다.

#### (가) 실시간 영상 및 도표

- "Today's Space Weather"



- GOES X-선 플럭스 1-분/5-분 자료
- 위성환경 도표: GOES 자기장, GOES 양성자/전자 플럭스
- 예측 Kp
- D-층 흡수 모델
- 자기권 자기장 및 입자
- NOAA POES에서 관측된 오로라 활동 및 고에너지 입자
- USAF 오로라 (aural oval) 영상

(나) ASCII 텍스트 자료

- GOES X-선 플럭스 1-분/5-분 자료
- ACE 자료: 1-분/5-분 자료, 1 시간 평균 자료
- 이온층 자료: foF2, hmF2, M (D), D, h'F, yF2, fMUF, h, 'fxI, foF1, foE, hmE, foEs, fbEs, ITEC
- GOES 고에너지 양성자/전자 플럭스, 자기장
- USAF 1시간/1일 자기장 분석 보고
- 태양 전파 플럭스, 태양 이벤트 보고
- 우주환경 보고
- NOAA/POES 반구 일률 지수
- NOAA/POES 고에너지 벨트 지수
- ACE 태양풍 자료: 자기장, 전자/양성자 플럭스, 태양풍 플라즈마의 밀도/속도, 고에너지 태양 양성자 플럭스

(다) 태양 영상

- 태양 일일 영상, 태양 활동 영역 영상

## 다. 고객 지원

이 서비스는 사용자에게 필요한 여러 가지 정보를 제공하기 위한 것으로, 각 사용자를 항법시스템, 무선통신, 전력시스템, 위성운용자, 오로라, 뉴스미디어 등의 사용자 그룹으로 나누어 각 그룹에 필요한 정보를 제공한다. 각 사용자 그룹별로 제공되는 정보 내용은 다음과 같다.

### (1) 항법 시스템

- GPS: Planetary K-지수 도표, NOAA POES 위성의 프로톤 플럭스 도표에서 추정된 오로라 활동 도표, 태양-지구 물리 활동 도표
- Loran-C: Today's Space Weather, 양성자 플럭스 도표, Planetary K 지수

기타 우주환경 정보 및 예보, 주간 또는 27일 예보, 태양 활동 주기의 진행, 흑점수 변화

### (2) 무선통신

- Today's Space Weather: 최신 우주환경보고, 태양/지구물리 활동 보고/요약, 지구물리 정보 메세지
- 현 우주환경 계보 및 경보
- NOAA/TIROS 위성에서 유추된 오로라 활동
- D-층 흡수 예보
- 세계 각국의 이온층 자료: Rice 자기권 모델, 일본 Hiraiso Solar-Terrestrial Research Center, USAF 오로라 oval 영상, SEC의 1일/1달 자료 리스트, 호주 IPS Radio Space Services
- 이온층 전파 전달 예보

- 27일 10.7 cm, Ap, 최대 Kp 조망

### (3) 전력시스템

- 예보 및 경보
  - \* 우주환경 권고: 경보/감시, Bulletins, 1일 요약/예보, 주간 조망
  - \* Today's Space Weather
  - \* Costello 지자기 활동 예보: 예측 Kp
- SEC의 지자기 자료: 실시간 지자기 관측 자료, A 및 K 지수, GOES 자기장, ACE 태양풍 자기장 관측 자료, NOAA POES 위성에서 유추한 오로라 활동, 오로라 oval 도표, 태양 이미지

### (4) 위성 운용자

- 위성 이상현상의 종류
- 실시간 및 45일 GOES 양성자/전자 관측 자료, 자기장 관측 자료, Today's Space Weather, NOAA POES의 고에너지 입자 관측 자료, 태양 전파 폭발 보고, 태양 및 지구물리 활동 요약, K 지수

### (5) 오로라

- 지자기 활동: Kp 지수 및 지도, NOAA POES에서 관측한 오로라 활동 준위

### (6) 뉴스미디어

- 현재의 우주환경
- NOAA의 우주환경 지수, 영상 등

## 9. RWC Sweden (Lund Space Weather Center, Lund)

: <http://hirweb.crl.go.jp/index.html>

RWC Sweden에서는 태양 이미지, 태양흑점수, Kp/Ap 지수 등의 데이터를 보여주며, 태양 (CME, 태양 프로톤 이벤트, 태양플레어, 태양풍교란, 및 IMF 등)과 자기권 활동 (전자플렉스, 오로라, Kp/AE 지수, ionospheric scintillation, 및 지자기변화 등)에 대한 예보를 제공하고 있다. 또한, 위성의 이상현상과 drag, 통신 상태, 전력계에 미치는 영향, 및 인간의 건강에 주는 위험도 등에 대한 예보도 제공하고 있다.

### 가. 현재의 우주환경 예보와 분석

현재의 우주환경 예보와 분석 서비스에서는 최근의 태양/지자기 활동, 태양활동주기의 진행, 및 태양 이미지를 통한 storm 이벤트 등을 제공하고 있다.

#### (1) 최근 태양 및 지자기 활동

- SOHO 태양 영상: 태양흑점, 태양활동, halo CME
- NRL EIT/LASCO 동영상
- 태양활동 도표: 태양흑점 수
- 실시간 예측 Kp
- 우주환경 도표
- 지자기 활동 도표: 1달 1지자기 활동 Ap 지수 도표

### 나. 예보 서비스 (Forcast Service)

예보서비스에서는 주의와 경보, 및 우주환경의 예보와 그 효과 등을 제공하고 있다.

(1) 우주환경의 예보와 그 효과

- 태양활동: 태양활동주기의 진행, CMEs, 태양 프로톤 이벤트, 태양 플레어 등의 예보
- L1에서의 태양풍 조건: 태양풍 속도, 행성간 자기장, shock 도착시간 (STOA-IPSM 모델, HAF 모델) 등의 예보
- 지구 대기권: 자기권의 50 keV 전자 플럭스 준위, 오로라, AE 지수, Dst 지수, Kp 지수, 이온층 scintillation, 국지적인 지구 자기장 변화 등의 예보
- 기술 시스템에 미치는 영향: 위성 이상현상, 위성 drag, 통신 조건 (fOF2, MUF), GIC와 전력시스템에 미치는 영향 등의 예보
- 인간 건강에 미치는 위험 요소: UV 복사 예보

### 제 3 절 상업적인 우주환경예보 서비스 기관

#### 1. Northwest Research Associates (USA)

: [http://www.nwra-az.com/nwra\\_spawx.html](http://www.nwra-az.com/nwra_spawx.html)

Northwest Research Associates (NWRA)에서는 이온층 효과에 대한 정보를 제공한다. NWRA에서 개발한 WBMOD 모델은 이온층 scintillation을 위해 개발된 유일한 전 지구적 모델이다. 이 모델은 scintillation이 사용자의 시스템이나 기기에 주는 영향의 정도를 평가하기 위한 모델이다. 또한, 다른 이온층 및 전파 모델을 사용해서 Faraday rotation이나 시간 지연 같은 시스템에 영향을 미치는 다른 이온층 영향을 평가할 수 있다. NWRA는 시스템 설계, 우주환경 영향 평가, 장기 운용 계획, 및 운용하는 동안 필요한 문제해결 방안을 고객에게 제공한다. 고객으로는 상업적인 기관 (Boeing, Lockheed Martin, 및 Ball Aerospace)뿐만 아니라 정부기관 (USAF Weather Agency, USAF Space and Missile Systems

Organization, 및 NOAA Space Environment Center)도 포함된다.

#### 가. WBMOD 이온층 Scintillation 모델

라디오 신호 강도 및 위상에서 잡음이 증가하는 이온층 scintillation은 송신기와 수신기사이의 이온층 관통 경로를 따라 이온층 전자 밀도가 국지적으로 변화할 때 일어난다. WBMOD 모델은 사용자가 정의한 시스템과 위치, 날짜, 시간, 지구물리 조건에 대한 scintillation의 영향 정도를 평가하는데 사용된다. WBMOD는 scintillation을 일으키는 전자 밀도 불규칙성의 개략적인 움직임과 전지구적 분포를 제공하는 이온층 모델 (EDIM)과 이러한 불규칙성이 시스템에 미치는 영향을 계산하는 전파 모델 (SCNPROP)로 구성된다.

#### 나. NWRA Scintillation Services

##### (1) 일일 이온층 Scintillation 예보

NOAA SEC에서 제공되는 데이터와 SCINTMOD 모델을 기반으로 세계 다양한 장소에서의 scintillation 준위를 매일 예보한다.

- 적도 지역: 극동(1330 UT), 중동(1800 UT), 남미(0100 UT)
- 고위도 지역: 미주(0600 UT), 유럽(2300 UT)

##### (2) 태양 극대기 예보

태양활동 극대기 때의 SCINTMOD 모델을 기반으로 하여 세계 다양한 장소에서의 scintillation 준위를 매일 예보한다.

#### 다. 우주환경 지수

NOAA SEC이나 다른 SEC의 데이터로부터 NWRA에 의해 개발된 Space Weather Models and Applications Programming Interface (SWxMAPI) system을 사용하여 얻은 결과를 우주환경

지수 웹에서 제공하고 있다. 또한 SWxMAPI를 National Geophysical Data Center (Boulder), 호주의 Ionospheric Propagation Services (IPS) 같은 다른 센터의 데이터를 적출하고 준비하는데 사용할 수 있다. 여기서 제공하는 지수들은 다음과 같다.

(1) 지자기 위도 지도

(2) 이온층 scintillation 영향

(3) 일일 지수

- 10.7cm 태양 전파 플럭스 및 27일 예보
- 흑점수 및 T 지수
- Ap 지수: 27일 예보 및 현재의 예상 Kp 지수
- 실제 흑점수와 광학관측에서 유추한 흑점수의 차이 비교
- NWRA 및 기타기관에서 제공한 우주환경 지수 요약

(4) 근 실시간 도표

- NOAA 위성으로부터의 오로라 경계, DMSP SSJ/4의 오로라 Qe 지수
- 흑점수, 일일 foF2 비교
- 태양활동 주기의 진행: 흑점수

여기서 사용된 데이터와 그 출처는 다음과 같다.

- F10.7, 흑점수 (SSN), 예측된 Ap, and Ap (est): NOAA space Environment Center (SEC)
- GPS 이온층 계수: NAWCWPNS, China Lake, CA
- foF2 데이터로부터 계산된 흑점수: NOAA SEC

- IPS T 지수: 호주 IPS Radio and Space Services
- Qe: USAF 55th Space Weather Squadron (55SWS) via the NOAA SEC
- NWRA로 계산한 오로라 경계 지수: NOAA SEC의 DMSP SSJ/4 데이터 사용, NOAA TIROS 데이터 사용
- NWRA로 계산한 오로라 경계 위치: NOAA SEC의 NOAA TIROS 데이터 사용

## 2. Solar Terrestrial Dispatch (Canada)

: <http://www.spacew.com/>

Solar Terrestrial Dispatch (STD)는 태양의 상태와 그에 의한 지구에서의 효과에 대한 정보를 제공한다. 또한, 우주환경 관련 산업체를 위한 전문적인 소프트웨어와 서비스를 개발한다.

가. 웹에서 제공되는 서비스

### (1) 태양활동

태양 활동과 관련된 관측 데이터와 이로부터 계산된 여러 지수를 제공한다. 제공되는 데이터와 지수는 다음과 같이 요약된다.

- 현 H-Alpha, CaK, 백색광 태양 영상
- 최근의 SOHO LASCO EIT, C2, C3 영상
- 일일 태양 및 지구물리 활동 요약 보고
- 태양활동 관측 보고, 주간 태양 활동 요약 보고와 10일 예보, 태양 주기 진행보고
- 일일 WIND 관측 결과 보고
- 현재의 태양 및 지구물리 지수 및 발령된 경보
- 10.7cm 태양전파 플럭스
- 최근의 태양 플레어 경보, 프로톤 이벤트 경보, 위성 이상 현



## 상 정보

### (2) 오로라 활동

오로라 활동과 관련된 관측 데이터와 여러 가지 지수를 제공한다. 제공되는 데이터와 지수는 다음과 같이 요약된다.

- 오로라의 지상 및 실시가 위성 관측 보고, 오로라 활동의 일일 요약
- 현재의 태양 및 지구물리 지수와 정보
- 최근의 중위도 및 저위도 오로라 활동 감시 및 정보

### (3) HAM Radio

우주환경이 무선통신에 주는 영향을 알 수 있도록 이온층이나 태양활동과 관련된 여러 가지 정보를 제공한다. 여기서 제공하는 정보는 다음과 같이 요약된다.

- 160 meter 전파 전달
- 일일 이온층 및 태양-지구물리 활동 요약
- CAROS (Coordinated Amateur Radio Observation System)
- 주간 요약 및 10일 예보
- 태양활동 주기 진행
- 태양 10.7cm 전파 플럭스
- 현재의 태양 및 지구물리 지수와 정보 내용

## 나. Computer Software

### (1) STD Auroral Monitor

이 프로그램은 오로라 활동과 우주환경을 모니터링 하기 위한 것으로, 4개의 오로라 활동 모델을 사용해서 고위도, 중위도, 저위도에 걸쳐 나타나는 오로라 활동 가능성을 예보한다. 우주환경 모

니터로서 다음과 같은 이미지 및 데이터들을 보여준다.

- 실시간 위성과 지상의 오로라 활동 이미지를 자동으로 가져옴
- SOHO나 Yohkoh, Big Bear Solar Observatory, Sacramento Peak, NM and Kanzelhoehe Solar Observatory 등에서 얻은 실시간 태양 이미지를 표시
- 위성에서 촬영한 구름 사진
- 실시간 태양 x-선, 우주환경 상태, 태양풍 상태
- 사용자의 오로라 활동 관찰한 것을 오로라 활동 관측 네트워크에 보내줌
- 최근 예보와 매일의 요약
- 최근 오로라 활동 관찰과 정보
- 사용자의 자기 위도를 계산할 수 있음

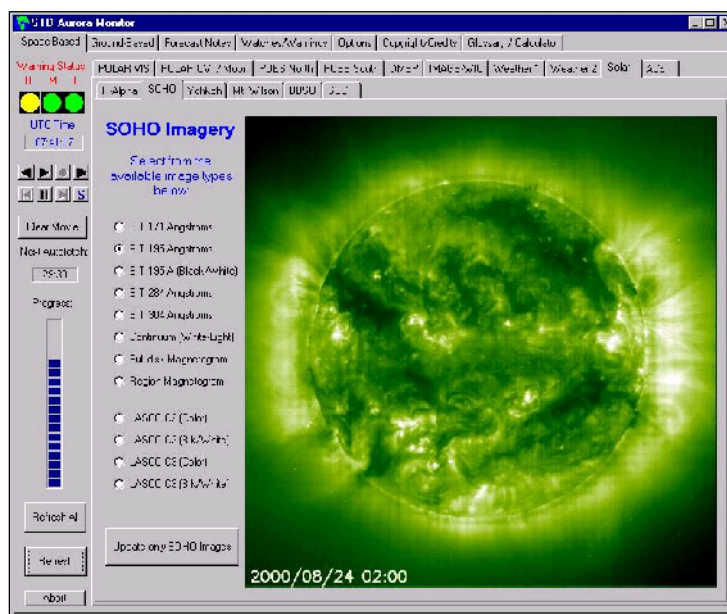


그림 4.11 STD Aurora Monitor 프로그램에서 제공하는 SOHO 위성의 태양 이미지.

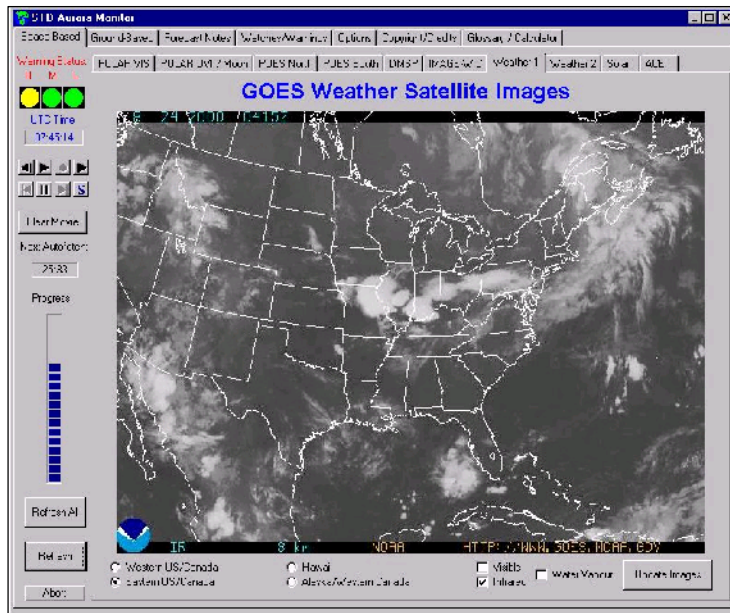


그림 4.12 STD Aurora Monitor 프로그램에서 제공하는 GOES 위성 구름 사진.

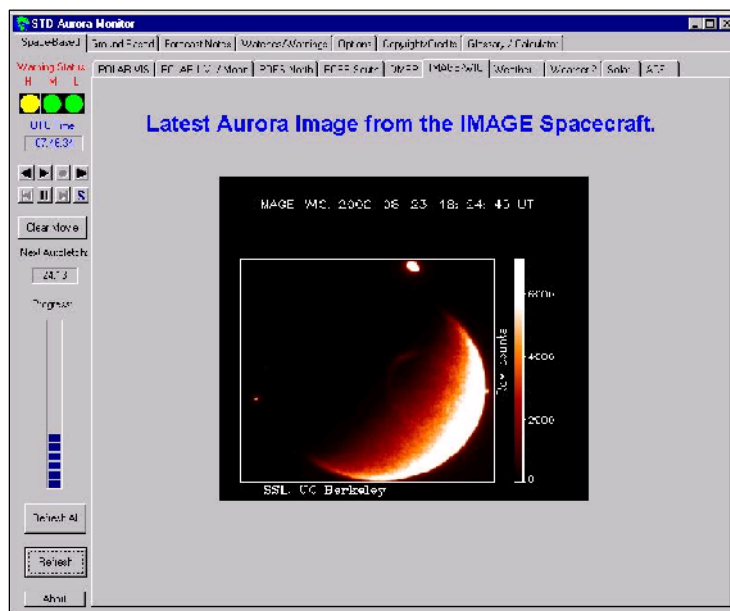


그림 4.13 STD Aurora Monitor 프로그램에서 제공하는 IMAGE 위성의 오로라 이미지.

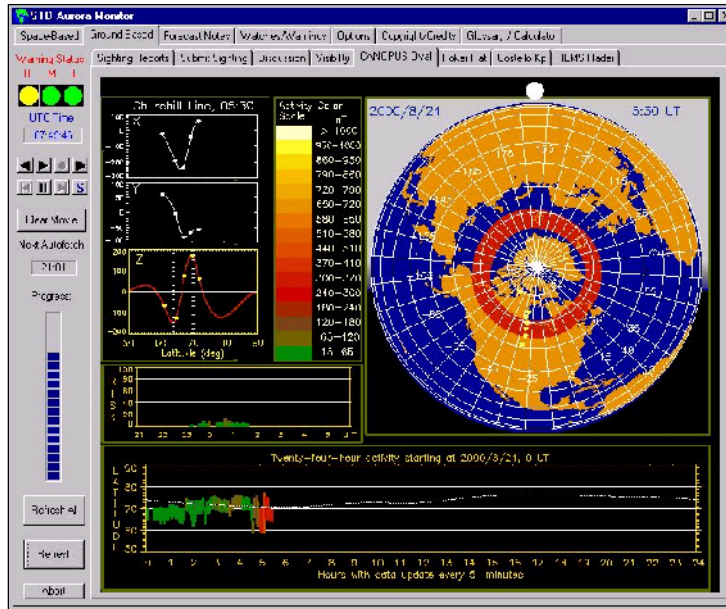


그림 4.14 STD Aurora Monitor 프로그램에서 제공하는 오로라 oval.

## (2) SWARM (Space Weather Early Warning System)

이 프로그램은 태양활동, near-Earth 우주환경, 지자기 상태, 이온층 상태, 및 기타 등등의 우주환경을 모니터링 하는 것으로, 위성의 자기권계면 통과, 행성간 충격파의 도달 등 65가지 다른 타입의 주의와 경보를 제공할 수 있다.

### - PC 경보 시스템

- \* 실시간 태양 X-선 플레어 경보 (C, M, X-class 플레어)
- \* 지자기 폭풍 경보
- \* 중위도, 저위도 오로라 활동 감시 및 주의
- \* 행성간 교란 도착 경보: 지구 도착 60분 전에
- \* 고에너지 태양 플레어 경보 (>1, >10 and >100 MeV)
- \* 고에너지 전자 이벤트 경보 (>2 MeV)
- \* 태양풍 교란 경보: 행성간 충격파 도착 경보

- \* 행성간 자기장 교란 정보
- \* 정지궤도 위성의 magnetopause 통과 정보
- \* Sudden Magnetic Impulse 정보
- \* 245 MHz 태양 전파 폭발 정보: Solar TENFLARE (10cm 태양 전파 잡음 폭발) 정보
- \* 태양 Type II 와 Type IV 전파 폭발 정보
- 태양과 근지구 우주환경 상태의 실시간 표시/출력: 태양 X-선, 고에너지 태양 프로톤/전자, 정지궤도 위성의 자기장 자료
- 1st Lagrangian (L1) 지점 또는 그 근처의 ACE와 Wind 위성에서 관측한 태양풍 상태를 실시간 표시/출력: 행성간 교란이 지구에 도착하기 1시간 전에 그것의 관측 데이터를 제공할 수 있다.
- \* 태양풍 속도, 밀도, 온도, 행성간 자기장
- ACE/WIND 위성의 데이터에서 유추된 자료 표시/출력
  - \* 오로라활동의 강도를 나타내는 예측된 polar cap potential
  - \* 오로라 이온층에 들어오는 estimated Hemispheric Power
  - \* 자기권 RAM pressure: 지구자기권에 적용되는 태양풍 압력
- 실시간 태양풍의 궤도: 지자기에 영향을 주는 potential을 결정하는데 유용하다.
- 지구와 자기권에 대한 WIND/ACE 위성의 궤도 표시/출력
- 실시간 지자기와 이온층 데이터의 표시/출력
  - \* 지자기 K-지수: 3시간 값, 매 시간마다 새로 고쳐짐
  - \* 지자기 A 지수: 24시간 값
  - \* 지자기 매시간 영역 지수: 지자기의 최대값 편차
  - \* 27 곳의 지자기 지상관측소에서 관측된 위의 값들을 표시: Boulder, Fredericksburg, College, Meanook, Sitka, Glenlea, Saint Johns, Ottawa, Newport, Hartland, Fresno, Post de le Baleine, Resolute Bay, Sacks Harbour, Baker Lake, Inuvik, Churchill, Cambridge Bay, Yellowknife,

Anchorage, Victoria, Tucson, Del Rio, San Juan,  
Honolulu, Guam, Goddard Maryland.

- 태양의 통계적인 정보 표시/출력
  - \* 태양 전파 관측소에서 관측된 245, 410, 610, 1415, 2695, 2800, 4995, 880, 및 15400 MHz의 플럭스
  - \* 관측된 태양 흑점수
  - \* 배경 X-선 플럭스
  - \* Stanford에서 유추된 평균 태양 자기장
  - \* 광학 플레어, X-선 플레어 (C, M, X classes)의 총수
  - \* 보이는 태양 흑점 영역
  - \* 최근 24시간 내에 지정된 새로운 태양 흑점 영역의 총수
  - \* 총 태양 흑점 영역
  - \* 90일 평균한 10.7cm (2800 MHz) 태양 전파 플럭스
- 10.7 cm 태양 전파 플럭스 값의 도표를 표시/출력
- 태양 흑점수의 도표 표시/출력
- 이온층 관측소의 실시간 이온층 데이터를 표시/출력
  - \* 최대사용주파수 (Maximum Usable Frequencies: MUFs)
  - \* 임계 F2-Layer 주파수
  - \* M-Factors
  - \* Total Electron Content (TEC)
  - \* 위의 데이터들을 사용자가 한정한 기간에 대해 전처리데이터 또는 경향 분석을 표시
  - \* 이온층 이상형상의 주기: Blanketing Sporadic-E, Spread-F, 완전한 흡수, 다양한 장비의 기능 장애 보고
- 19 종류의 일일, 주간, 월간 보고들을 전세계의 예보 센터들에게서 가져와서 표시, 출력 또는 기록한다.
- 사용자가 정한 시간에 일일, 주간, 월간 보고들을 자동으로 검색하도록 스케줄을 만들 수 있다.
- 다음의 첨가된 특성을 가지고 태양의 Full-Disk와 격자 시뮬레이션을 표시/출력

- \* 태양흑점 영역: NOAA에서 정한 영역 수, 광학적 분류, 자기적 분류, 지역적인 범위 등에 의해 결정됨.
- \* 코로나홀: 자세한 모양, NOAA에서 제공된 2-디지트 코로나 홀 ID number, 추측된 자기장 극성, 및 코로나홀 윤곽이 존재한다는 신뢰 준위 등에 의해 결정됨.
- \* Plage 영역
- \* 태양 filament 소멸, 태양 가장자리에서의 prominences 폭발 등의 태양 활동 발생 위치, 모양/크기, 범위 및 시간
- \* Wilcox 관측소에서 관측된 태양 광구 자기장의 등고선 지도
- \* Wilcox 데이터로부터 3.25 solar radii까지 외삽한 태양 자기장의 등고선 지도: Helospheric current sheet의 위치를 알아내는데 유용하다.
- 국제 태양 관측소의 방출선 (Emission Line) 코로나 광도계의 일일 검사에서 나온 full-disk 이미지로서 태양 Fe XIV와 Ca XV 코로나 가장자리 방출의 false-color 시뮬레이션을 표시/출력
  - \* 고에너지의 활발한 태양흑점영역과 관계 있는 매우 뜨거운 Ca XV 코로나 방출을 확인
  - \* Fe XIV 코로나홀 영역 확인
  - \* 태양의 보이는 면 (Nea-Side) 또는 뒷면 (Far-Side) 의 시뮬레이션
  - \* 예전의 활발한 태양흑점영역이 다음 며칠에 걸쳐 돌아가는 동쪽 태양 가장자리에 얼마나 가까이 있는지를 결정하기 위해 태양 뒷면 시뮬레이션을 사용
- 세계의 태양관측소로부터 22개의 최근 이미지를 가져와서 원하는 이미지 처리 소프트웨어를 사용해서 볼 수 있다.
- 태양 및 heliosphere 관측 위성의 실시간 태양 동영상을 가져와서 볼 수 있다.

### (3) PROPLAB-PRO

무선통신을 위한 PC 소프트웨어이며, 실제 3차원 이온층을 지나  
는 신호의 양상을 모델링하는 ray-trace를 수행하여 송신기로부터  
수신기까지 신호를 어떻게 얻어야 하는지를 결정해준다.

### (4) Ge+lert

오로라활동, 지진, 해일 및 화산활동의 경보와 주의를 주는 시스템이다.

### (5) PredCyc

PC를 위한 태양활동 주기 예측 모델이다. McNish-Lincoln 모델을  
기반으로 하며, 10년 주기동안의 흑점수와 10.7cm 태양 전파  
플럭스 값의 예보를 만들 수 있다.

## 다. 속보 서비스

### (1) E-Mail 서비스

태양, 지구 활동 및 각종 주의와 경보 등 Ge+lert 소프트웨어의  
결과를 e-mail로 서비스해 준다.

- 일일 태양 및 지구물리 활동 요약: 태양 활동, 지자기 활동,  
HF 전파 진행 상태, 72시간 예보, 전파통신/태양관측/  
오로라 관측을 위한 조언
- 일일 이온층 데이터 및 오로라 활동 요약 보고
- 중위도와 저위도에서의 오로라 활동 감시 및 경보
- 일일 WIND 위성의 태양풍 데이터 요약: 태양풍 속도, 밀도,  
온도, 행성간 자기장
- 주간 태양-지구 예보: 태양활동, 지자기활동, HF 전파 상태,  
오로라 활동
- 태양 플레어, 지자기 폭풍, 프로톤 이벤트 등의 경보 및 주의



- 위성의 이상현상 정보: 우주환경이 위성시스템에 위협하게 될 수 있을 때마다 내보낸다. 또한 위성내부의 유전체와 표면의 charging 이상현상 정보, 및 magnetopause 횡단 정보 등이 포함된다.

## (2) FAX 서비스

시간이 촉박한 태양 지구물리 현상을 알려준다. 양성자 플레어의 발생, 중요한 태양 물질 분출, 중대한 지자기 폭풍, 또는 운용중인 위성에 대한 위험도 등이 포함된다.

## 3. FDC (Federal Data Corp.)

: <http://www.spacewx.com/>

SpaceWx의 전문성은 태양복사변화의 정확한 기술에 있다. 1nm 분해능의 1-1,000,000nm 태양 스펙트럼을 나타내는 실험모델인 SOLAR2000을 포함하여 연구용 태양 복사 모델을 인터넷에서 다운로드 할 수 있다. FDC에서 제공하는 프로그램 및 서비스는 다음과 같다.

### 가. SOLAR2000

SOLAR2000 모델은 독립적인 태양 복사 모델, 및 다른 우주물리 모델들과 연결된 모델이 있다. SOLAR2000은 E10.7을 통해 다른 지구물리 실험 모델 (J71, MSIS, IRI, MET)과 쉽게 연결된다. 또한, 열권 및 이온층 물리량을 만드는 태양 스펙트럼을 통해 원 모델과도 쉽게 연결된다. SOLAR2000은 다음과 같은 결과물을 제공한다.

- 태양 복사의 데이터베이스: 태양활동의 5 주기 동안의 E10.7 와 Lyman-alpha

- 교란된 thermosphere와 이온층 상태의 자료들
- 궤도 파편 제거의 타당성 입증
- 위성의 이상현상 분석

나. EUVAC, SERF1, EUV97, EUV91 등 다른 solar EUV 모델

다. 1DTD

1 차원 열권 모델

라. 태양 복사 예보

3 시간 또는 1-3 일의 태양 복사 예보

마. 큰 실시간 TEC 오차 지도

JPL Ionospheric and Atmospheric Remote Sensing Group과 함께 GPS에 기반을 둔 이온층 총 전자 기둥 밀도 지도와 항법상 오차 지도를 제공한다.

바. 3-30일, 1-6개월 및 1/2-11년의 태양복사 예보를 제공할 예정이다.

#### 4. Electric Research and Management (USA)

: <http://www.electric-research.com/pq4.html?>

이곳에서는 지자기 유도 전류 (Geomagnetically Induced Current: GIC)가 전력 시스템에 미치는 영향을 서비스한다. SUNBURST 감시 시스템은 Solar Cycle 22의 정점에 가까웠던 1991년 GIC가 북미를 가로지르는 변전소와 발전소에 미치는 효과 및 성질에 대한 데이터를 모으기 위해 세워졌다. 데이터의 수집

결과, GIC가 흐르는 곳의 전력변압소 대부분에 반-주기의 포화가 일어났으며, 그것에 의한 주기적인 전류 및 전압 변화에 의해 전력시스템운용의 혼란, 기기 손상, 변압기의 고장 등이 발생할 수 있다는 결론을 얻었다.

SUNBURST-2000은 인터넷을 통해 실시간 데이터를 제공하기 위해 세워졌다. SUNBURST-2000의 멤버는 이벤트가 진행되는 동안 그 범위와 크기를 실시간으로 받아보게 된다. 또한 지자기 폭풍보다 적어도 30분 앞서 GIC event를 예보한다.

GIC 감시소의 위치는 British Columbia, California, England Maine, Maryland, Manitoba, New Jersey, New York, Pennsylvania, Washington DC, 및 Virginia 등이다.

## 5. Mission Research Corp. (USA)

: <http://www.mrcsb.com/reach.html>

### 가. 통신 및 레이더

극한 환경에서의 성능 평가, 이온층 교란의 효과, 전기적인 대항(countermeasure)과 방해(jamming)의 효과에 대한 연구.

### 나. 지구물리 및 정보

대기 역학과 화학, 지구물리 모델링, 영상처리, 자료 디스플레이/분석/처리, 및 정보기술 등을 취급한다.

## 6. Sterling Software ("SpaceCast") (USA)

: <http://www.itd.sterling.com/spacecast/>

### 가. 우주환경 예보

서경 95.5° 에서의 에너지 플럭스를 제공한다.

## 나. SpaceCast

Sterling Software는 일일 예보 서비스를 제공한다. 서비스는 우주환경에 대한 시스템 민감성을 평가하기 위한 엔지니어링 연구, 우주환경에 책임이 있는지 결정하기 위해 이상현상을 확인하는 quick-look 분석, nowcasts (분 단위 관측에 기반한 단기 예보), 및 24시간의 예보를 포함한다. 다음은 SpaceCast의 결과물이다.

(1) Bulletins: 태양 및 지자기 이벤트

(2) 주의 (Alerts): 근 지구에 심각한 충격을 주는 태양 이벤트 및 근 지구 시작 시각, 지속시간, 강도 등

(3) 경보 (Warnings): 진행중인 중요한 근 지구 이벤트. 지속시간과 최대 강도에 대한 정보를 포함한다.

(4) 위성 표면 charging의 현재상태/예보: 시작시간, 지속시간, 강도 (1일 예보까지)

(5) Bulk (위성체 내부의 유전체) Charging 현재상태/예보

(6) Single Event Upset의 현재상태/예보 (원인: 태양 플레어)

(7) Ground Induced Current의 현재상태/예보: 4시간까지 예보

(8) 위성 Drag 예보: 7일 예보 및 장기 (28까지) drag 조망

(9) 전세계적인 위성통신 scintillation의 현재상태/예보

(10) HF 통신의 현재상태/예보: 최저주파수 (lower usable

frequency: LUF), 최대주파수 (maximum useable frequency: MUF), 최적전달주파수 (72시간까지 예보)

(11) Very High Frequency Communication Forecasts : Circuit specific (circuit quality; forecast window out to 24 hours)

## 7. Metatech Corporation (USA)

: <http://www.metatechcorp.com/aps/apsmain.html>

이곳에서는 주로 지자기 폭풍에 대한 예보 서비스를 제공한다. 이곳에서 제공하는 서비스는 다음과 같이 요약된다.

가. Metatech 우주환경 경고

- 현 태양활동의 권고, 지자기 폭풍 예보

나. SpaceCast/PowerCast

파트너인 "Sterling Software"와 함께 SpaceCast/PowerCast를 가지고 자기권 폭풍 예보서비스 (1일 및 7일)를 제공한다. 특정 지역 및 전파 시스템에 따라 그에 맞는 예보를 제공한다. 또한 다양한 지자기 폭풍 시나리오에 대한 시스템 위험 분석 및 지자기 폭풍에 대한 대응 방법개발과 분석 등의 서비스도 제공한다.

다. Magnetic Storm/Electrojet Simulations

지자기 폭풍과 전력계에의 영향을 예보한다. Electrojet에서 생긴 자기장은 지구 표면에 전위 (voltage potential)를 유도한다. 지표면에 유도된 전위는 지자기 유도 전류 (Geomagnetically-Induced Currents)를 만들며, GIC가 지면과 연결된 전력계에 들어와 영향을 주게 된다. 지자기 폭풍 시 오로라 Hall 전기 전도도의 예보 (3

시간 간격), electrojet의 위치와 강도 예보를 실시한다. Electrojet 패턴은 지자기 폭풍의 영향영역을 보여주며, 지자기 폭풍이 시작되기 45분전에 예보된다. PowerCast Client Transmission System Model은 전체 송전 네트워크를 포함하고, 1100개의 transformer를 자세하게 모델링해서 각 변압기에서의 GIC를 보여준다.

## 8. SpaceWeather.com (Sweden)

: <http://www.spaceweather.com/>

이곳에서는 우주환경과 관련된 소식들과 태양-지구간 환경에 대한 정보를 제공한다. 이곳에서 제공되는 정보는 다음과 같이 요약된다.

### 가. 현 상태

- 행성간 자기장, 태양풍 속도 및 밀도
- 일일 태양 영상, 흑점수, X-선 플레어, 코로나 hole

### 나. NOAA 예보

- 태양 플레어 예보: 24 시간 또는 48 시간의 M급 또는 X급 플레어 예보
- 지자기 폭풍 예보: 지자기 폭풍을 3 단계 (active, minor storm, severe storm)로 나누어 예보

## 9. Aerospace Corp. (USA)

: <http://www.aero.org/research/>

Space Operations Support Office (SOPSO)에서 우주환경의 이

상 현상에 대한 자문을 제공한다. 서비스 내용은 다음과 같이 요약된다.

- 조작 상의 문제에 맞춰진 우주환경 정보 서비스로 위성의 이상 현상이나 작동 중에 발생한 문제가 우주환경에 의해 일어났는지를 알려 준다.
- 문제 발생 시 빠른 해결을 돕기 위한 on-call 서비스를 실시한다.
- 우주환경 이벤트 발생과 그 효과에 대한 상담을 실시하고 위험의 평가 및 특별한 위성의 자세 또는 궤도 변화의 계획을 지원한다.
- 위성 이상현상과 유성진이나 태양 폭풍과 같이 알려진 우주환경 효과의 상관관계를 평가한다.
- 과거 위성들의 이상현상과 비교 평가를 실시한다

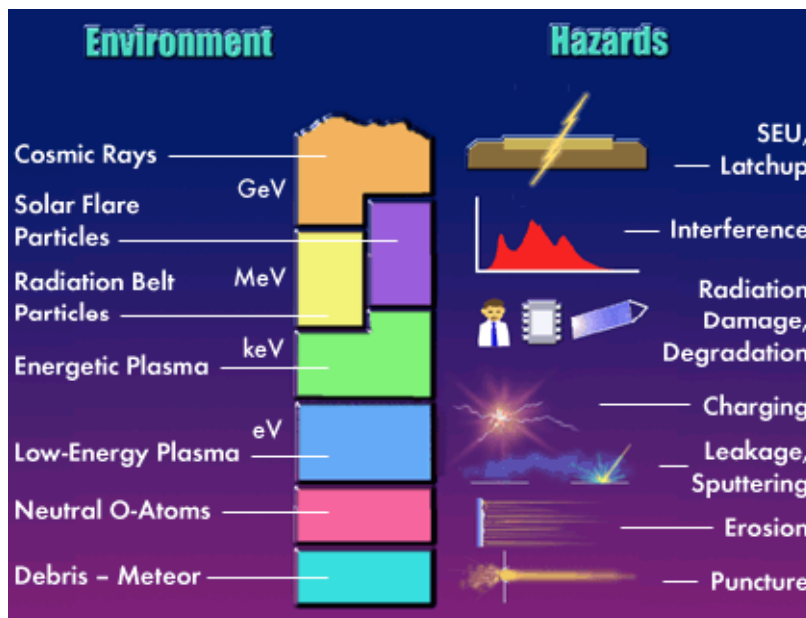


그림 4.15 이상현상의 원인.

## 제 4 절 전파연구소의 관측데이터 및 예보서비스

### 1. 우주전파관측

전파연구소는 우주전파환경 예보를 위해 태양전파, 지자기, 전리층 관측시스템을 운영하고 있다. 표 4.4는 우주전파환경 예보를 위해 전파연구소에서 운영하고 있는 관측시스템과 데이터 활용내용을 정리한 것이다.

표 4.4 전파연구소의 관측시설 및 데이터 활용

관측시설	관측데이터	데이터 활용
태양전파분광관측기	30MHz~2500MHz 전파 스펙트럼	태양 코로나 활동
지자기 네트워크 (이천, 용인, 제주)	3축 성분의 지자기 변화 및 지자기 총 세기 변화	지자기 변동
전리층 네트워크	Ionogram	전리층 상태

#### 가. 태양전파

##### (1) 전파연구소의 태양전파 관측시스템

전파연구소에는 각각 세 개의 안테나로 30MHz~2500MHz 대역의 태양전파를 관측할 수 있는 광대역 태양전파분광시스템 (Solar Radio Spectrograph)이 1995년 설치되었다. 대수주기 안테나 (Log Periodic Antenna)는 30MHz~100MHz, 10M 파라볼릭 안테나는 100MHz~500MHz, 그리고 6M 파라볼릭 안테나는 500MHz~2500MHz 대역의 전파를 수신한다.

1일 관측은 안정된 관측시스템의 운용과 관측데이터의 정확한 처리 분석을 위해 개발된 운용소프트웨어에 의해 데이터 취득에서 실시간 데이터 서비스에 이르기까지 자동으로 이루어진다.

또한 자료 분석을 통해 각 유형의 태양전파폭발 현상을 규명하고 태양 대기에서 진행하여 오는 충격파의 속도 결정 (조경석,



1999)을 위한 연구가 이루어졌다.

#### (가) 태양전파폭발의 유형

태양전파폭발은 플레어 발생 직후 수 분내에 뒤따르며, 전파방출 구조, 방출 주파수 변화 및 지속시간에 따라 표 4.5와 같이 5개 유형으로 분류하여 연구되어 왔다 (Wild *et al.* 1963).

태양전파방출 주파수는 전자의 분포에 따라 달라지므로 태양 코로나 대기모델을 통해 전자밀도 분포를 알고 이를 유형 II 태양전파폭발 자료에 적용하면 방출주파수와 시간으로부터 태양대기 상에서 진행되는 충격파의 속도를 산출 (조경석 등, 1999)할 수 있다. 이러한 코로나 충격파의 속도는 지자기 폭풍을 일으키는 태양-지구간 충격파의 초기속도로 사용되기 (Smart *et al.*, 1984) 때문에 태양활동에 의한 우주환경변화를 예측하는데 매우 중요하다.

표 4.5 태양전파폭발 유형 분류 및 관련 현상.

유형	특징	관련현상
Type I	짧은 주파수 대역에서 연속 전파 방출 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

#### (나) 관측자료 분석 요약

태양 스펙트럼 관측자료의 분석은 각 유형별 전파폭발 스펙트럼으로부터 관측 시간, 관측소, 전파폭발 시작 및 종료 주파수, 세기,

유형 등으로 나누어 분류한다. 전파폭발의 시작 및 종료 주파수는 데시메터파 (300~3000MHz)영역, 메터파 (30~300MHz)영역으로 분류되고, 전파폭발의 세기는 정량적 (1=weak, 2=moderate, 3=strong)으로 혹은 1 태양 속 단위 (SFU)의 전파속 세기에 따라 정성적 (1 은 50 SFU 미만, 2 는 50 이상 500 이하 그리고 3은 500 미만)으로 3 단계로 나누어 분석된다. 전파폭발 유형은 방출 주파수의 유형과 시간에 따라 5 개의 유형으로 분류된다. 표 4.6은 국제적으로 통용되는 태양전파폭발의 세부분류 기호를 정리한 것이다.

표 4.6 태양전파분석을 위한 기호 요약 및 내용 (김신겸 등, 2001).

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)

## (2) 태양활동 현황 및 예보

태양활동정도는 외국의 태양정보 사이트에서 제공되는 태양면 광학  $H\alpha$  이미지 분석을 통해 이루어지며 태양 채층 영역의 활동 상태, 플레어의 중요도 판정 그리고 필라멘트의 생성 및 소멸 정보를 활용하여 판정된다.

그 동안 플레어 발생의 예측 모델들이 개발되어 왔으나 그 정확도가 많이 떨어지는 것으로 알려져 있다. 국내외의 플레어 발생 예측정보는 그 신뢰도와 업무로의 적용방안에 대한 검토를 거쳐 적용되어야한다.

#### 나. 지자기 관측망

##### (1) 전파연구소의 지자기 관측시스템

전파연구소 이천분소는 지자기 연속관측을 통하여 통신위성에 영향을 미치는 지구근접 우주환경을 연구하기 위하여 1996년 8월에 이천 및 용인 (경희대)에 연속관측시스템을 각각 설치하여 pair station으로 운영하고 있으며 1997년 상반기에는 제주도에 같은 시스템을 추가로 설치하여, 본격적인 한반도 지역에서의 위도별 지자기 변화를 실시간으로 모니터하고 있다.

##### (가) 지자기현상 유형

지자기 K 지수를 산출하기 위해 프랑스의 CETP (지구행성환경 연구센터)의 도움으로 이천, 용인, 제주 관측소의 최대 자기장 변동량을 알고 이를 핀란드 기상 연구소에서 개발한 FMI 코드에 적용하여 K 지수를 관측데이터로부터 결정 (조경석 등, 1997) 할 수 있었다.

지자기 활동지수  $K$  는 3 시간 간격으로 평상시 자기장 값을 기준으로 변동하는 자기장의 평균값을 취하여 log scale 에 의해  $K_0$  에서  $K_9$  까지 10 개의 단계로 나눈다. 우주전파환경 변화에 의한 지자기 변화는 표 4.7과 같이 분류할 수 있다.

##### (나) 지자기 분석 요약

지자기 현상은 표 4.8에서와 같이 수평성분의 변화에 따라 섭동, 교란, 지자기 폭풍의 10단계로 나누어 기록한다.

표 4.7 우주전파환경 변화에 의한 지자기 변동 현상.

현상분류	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 시작되지만 지자기 폭풍 발생 안함	수시간
Solar Flare Effect (SFE)	태양 플레어에 의한 지자기 변동	수분
Bay	한밤중에 자기장이 증가	1시간

표 4.8 지자기분석을 위한 기호의 의미 (김신겸 등, 2001).

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

## (2) 지자기 활동

지구자기장의 변화는 지구 내부의 변화에 의해 오랜 기간을 주기로 천천히 변화하는 영년변화, 태양에서 오는 자외선, X선 등의 복사로 인해 형성된 외부자기장이 낮 지역과 밤 지역의 자기장의 세기가 다르기 때문에 발생하는 것으로 하루를 주기로 변화하는 일변화, 태양에서 발생한 급격한 현상으로 인해 갑작스럽게 변화하는 지자기폭풍 등이 있다.

지자기 폭풍이 일어나면 급격한 지자기 변동이 발생하는데 지자

기 폭풍은 태양의 코로나 물질 방출 (CME), 플레어, 코로나홀, 필라멘트 소실 등에 의해 발생되며, 특히 태양활동이 활발할 경우 지자기 교란이 많이 일어난다. 일반적으로 큰 플레어나 Halo CME가 관측된 시각으로부터 40시간~70시간 이후에 지자기 폭풍이 시작되는 경우가 많다. 한편 태양활동 극소기에 플레어와 무관하게 27 일 주기의 지자기 폭풍이 발생하는데 대개 코로나 홀이 태양 중앙 자오선을 통과한 때로부터 3~5 일 후에 지자기 교란이 발생한다.

#### 다. 전리층

전리층의 변화 현상은 일일, 계절, 위도, 태양활동 주기에 따른 변화 등 크게 4가지로 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 최대 값을 가지며 여름과 겨울에는 상대적으로 낮게 측정된다.

그리고 전리층은 저위도, 중위도, 고위도마다 변화 양상이 각기 다르게 나타나며 태양 활동 주기에 따라서 foF2 측정값이 2배 이상 차이가 나기도 한다. 특히 태양활동 주기 변화에 있어서 foF2 값의 변화를 가지고 예측이 가능할 정도로 태양활동과 밀접한 관계가 있다

#### (1) 전파연구소의 전리층관측시스템

높이에 따른 전리층 플라즈마의 전자밀도의 분포를 측정하기 위한 가장 기본적인 방법으로, 전파를 수직 입사하여 전리층내의 여러 전자층에 반사되어오는 전파를 측정함으로써 전리층내의 전자들의 분포를 높이에 따른 함수로 나타내는 Ionosonde를 통해 관측한다.

### (가) 전리층 현상

태양에서 방출되는 플레어는 전리층 내의 전자 밀도를 증가시켜 단파통신 두절현상을 일으키며 코로나 물질 분출이나 지자기 폭풍은 전리층 폭풍을 발생시킨다. 이와 같이 태양-지구간 우주환경의 변화는 전리층을 교란시킴으로써 전리층을 통과하거나 전리층 반사를 이용하는 통신에 영향을 주게된다. 표 4.9는 전리층 현상을 정리한 것이다.

표 4.9 전리층 현상.

전리층 현상	특징	생성원인
스포라딕 E 층	HF 통신 장애, VHF 통신 두절 늦봄에서 초가을 집중, 주간에 빈번	전리층 E영역에서의 고밀도 전자구름
단파두절 (텔러저)	HF 통신 수분에서 수시간 단절 태양활동 극대기에 빈번	플레어에 동반된 강한 X선
전리층 폭풍	수일동안 지속, U/VHF 통신 장애 급격한 태양활동과 연관	지자기 섭동, 태양코 로나, 코로나 구멍
신틸레이션	F층의 발생과 관련되는 자정에 최대 위성 통신 장애, 전파감쇠의 주원인	불규칙 전자밀도 분포

## 2. 실시간 관측 데이터

### 가. 태양전파

- 전파연구소 실시간 태양전파 스펙트럼: IRS (30-2500MHz R+L)
- 일본 CRL 전파 스펙트럼 :  
HiRAS (25-2500MHz R+L) (Update every 30 min.)
- 호주 IPS 전파 스펙트럼 :  
Culgoora Spectrograph (18-1800MHz)

#### 나. 지자기

- 실시간 이천, 용인, 제주 지자기 관측데이터 (그림 4.16)
- 일본 기상청 지자기 자료

Space Environment Realtime Data Intercommunication Network (SERDIN)의 지자기와 태양 활동, K 지수, GMS-4/SEM의 고에너지 입자 플럭스.

#### 다. 전리층

- 실시간 Ionogram : 전파연구소 실시간 전리층 관측데이터
- 일본 CRL F층/foes/fof2 : 일본 CRL 실시간 전리층관측데이터

#### 라. 고층대기

- 아리랑 1호 SPS 자료 (그림 4.18)
- IRS 모델 (구축예정)

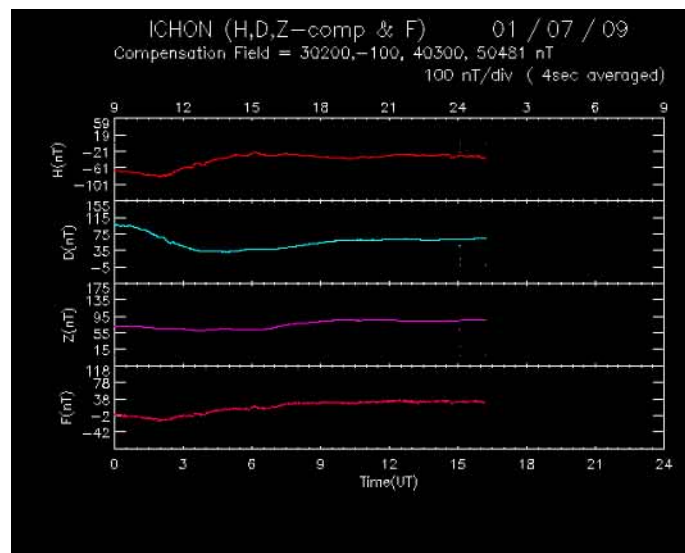


그림 4.16 실시간 이천 지자기 관측데이터.

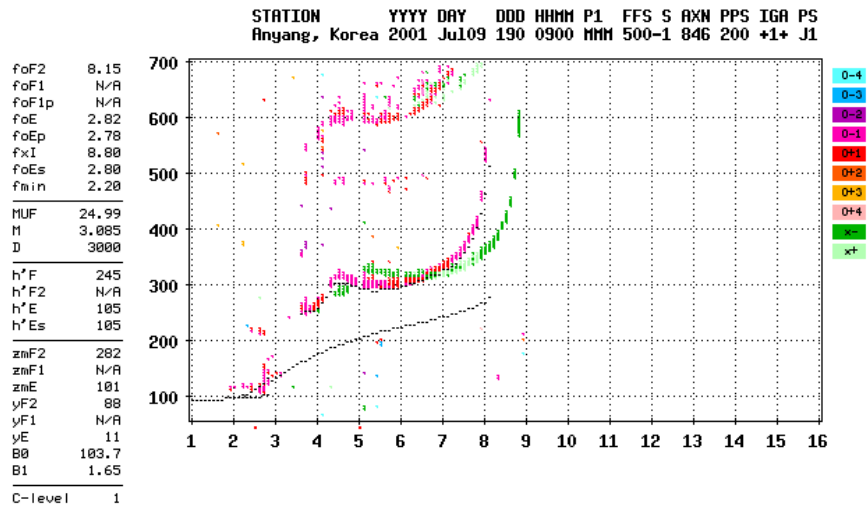


그림 4.17 Lowell Digisonde를 이용한 실시간 전리층 관측데이터 (이천).

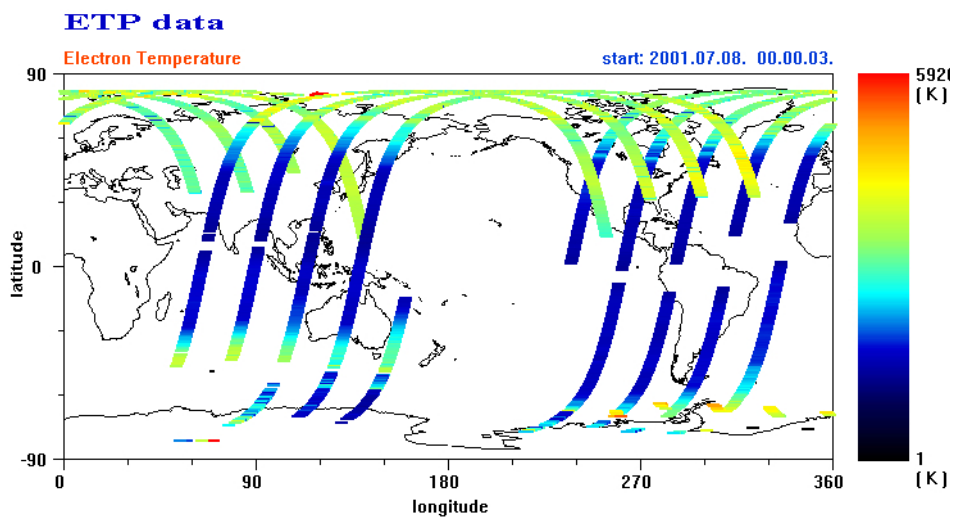


그림 4.18 KAIST 아리랑위성 SPS 실시간 관측데이터.



### 3. 우주전파환경 예보

가. 태양복사 (X-선) 정보 (매 5분마다 새로 고쳐짐)

태양활동 정도를 알 수 있는 태양 X-선 복사는 전리층내의 전자 밀도를 증가시켜 단파통신 두절을 일으키고 위성 통신 및 위성 항법신호의 에러를 발생시키는 등 지상, 위성 및 항법 통신에 직접적인 영향을 미친다. 미국 우주환경 예보센터에서는 GOES 위성에서 관측한 태양 X-선 세기 변화를 실시간으로 모니터하고 표 4.10의 분류기준에 맞추어 태양활동 정도를 규정하여 예상되는 장애를 5 가지 등급으로 나누어 부여하고 있다. 또한 국제 우주환경 서비스 기구 (ISES)에서도 최대 X-선 세기에 따라 3 가지 등급으로 나누어 태양활동상태를 분류하고 있다.

전파연구소에서는 태양활동에 따른 정보 (X20, X10, X1, M5, M1, C (No Warning))와 태양 X-선에 의한 전파장애 정도(R1 ~ R5)를 예보하고 있다. 그림 4.19는 미국 GOES 위성이 측정한 1~8Å (0.1 ~0.8nm)과 0.5~4.0 Å (0.05~0.4nm)의 5 분 평균 X-선 세기를 보여 준다.

표 4.10 태양복사 (X-선) 활동도 분류 및 장애 예측 기준.

최대 X 선 세기 *	정보 분류	장애분류 기호 (SEC 분류) †	태양활동 상태 (ISES 분류)
X20 ( $2 \times 10^{-3}$ )	Extreme	R5	Major
X10 ( $10^{-3}$ )	Severe	R4	Major
X1 ( $10^{-4}$ )	Strong	R3	Active
M5 ( $5 \times 10^{-5}$ )	Moderate	R2	Active
M1 ( $10^{-5}$ )	Minor	R1	Eruptive

\* X-선 플럭스: 1~0.8nm 파장,  $W \cdot m^{-2}$  단위; † R: Radio Blackouts

나. 플레어발생 예보

태양 X-선의 세기에 따라 플레어를 C (Quite), C (Eruptive), M (Active), X (Major)로 분류하고, 전파장애를 R1 (Minor), R2 (Moderate), R3 (Strong), R4 (Severe), R5 (Extreme)으로 분류하여 태양플레어를 예보한다.

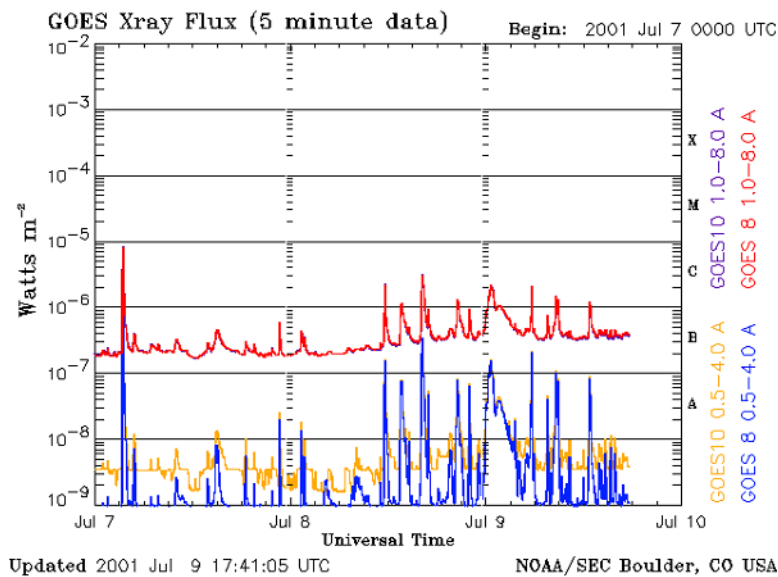


그림 4.19 미국 GOES 위성에서 측정한 3일 동안의 태양 X-선 변화.

다. 태양입자복사 (프로톤 현상) 활동 (매 5분마다 새로 고쳐짐)

태양 플레어나 코로나 물질 방출에 의해 발생하는 고에너지 입자는 지구자기장을 따라 극지방으로 유입되어 극관 흡수 현상 (PCAs : Polar Cap Absorption events)을 일으키고 전리층의 이온화를 발생시킴으로써 HF 통신장애나 항법시스템의 에러를 발생시켜 선박이나 항공기 위치상의 오차를 야기한다. 또한 위성체 내의 메모리 고장, 위성 관측영상에 심각한 잡음 발생, 태양전지판의 수명을 감소시키는 등의 현상을 일으킨다. 다시 말하면 태양 X-선이 주로 통신에 영향을 미치는 반면 프로톤 현상은 통신뿐 아니라 위성체 및 위성운용에 심각한 문제를 일으킨다.

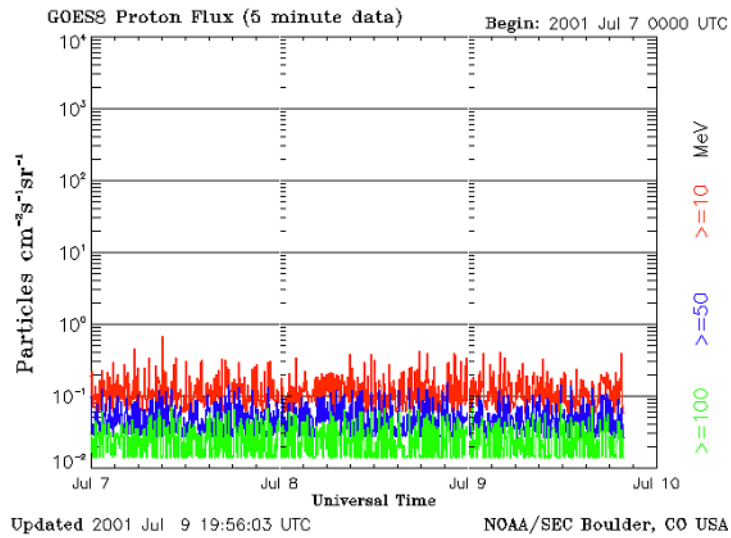


그림 4.20 미국 우주환경예보센터에서 제공하고 있는 실시간 프로톤 플럭스.

표 4.11 프로톤 현상 분류 및 장애 예측 기준.

프로톤 입자수 *	경보 분류	장애분류 기호 (SEC 분류)†	프로톤 현상 (ISES 분류)
$10^5$	Extreme	S5	Major P-Event
$10^4$	Severe	S4	Major P-Event
$10^3$	Strong	S3	Major P-Event
$10^2$	Moderate	S2	Major P-Event
10	Minor	S1	Proton Event

\* 10MeV 이상의 5 분 축적 프로톤 Flux (/sec/ster/cm<sup>2</sup>)

† S = Solar Radiation Storm

프로톤 현상에 의한 통신 및 위성 운용에 예상되는 장애 정도는 그림 4.20에서와 같이 GOES-8 위성 관측을 통해 측정된 단위면적 ( $cm^2$ ), 시간 (sec), 입체각 (sr) 당 프로톤 (10MeV 이상) 입자수를 근거로 표 4.11의 기준에 따라 5 단계로 나누어 예측한다. 또한 프로톤 현상의 규모는 ISES 분류에 따라 규정할 수 있는데 단위면적 ( $cm^2$ ), 시간 (sec), 입체각 (sr) 당 10MeV 이상의 에너지를 갖는 프로톤이 10개 이상인 경우, 프로톤현상으로 정의하고 100개 이상인 경우에는 대규모의 프로톤 현상으로 규정한다. 이러한 프로톤 현상은 수 일간 지속되는 경우가 많다. 위의 분류에 따라 우주입자 (프로톤활동)에 따른 정보와 우주입자에 의한 장애 정도 (S1~S5)를 예보하고 있다.

라. 지자기활동현황 (매 15분마다 새로 고쳐짐)

지자기 현상은 인공위성이 선회하는 지구근접 공간의 자기장의 변화를 나타내는 것이다. 특히 지자기 폭풍은 태양플레어폭발이나 코로나 물질 방출 CME 에 의해 발생하는 것으로 지상, 위성, 항법 통신과 위성체, 위성궤도 및 지상 전력망 장애 등 폭넓은 영향을 미치는 현상이다. 따라서 지자기 활동은 태양 X-선, 프로톤 현상과 함께 우주전파환경변화를 예측하는데 매우 중요한 현상이다.

지자기 활동 상태를 파악하고 장애 정도를 예측하기 위해 각국의 우주환경예보 센터들은 미국 볼더 관측소의 전세계 8 개의 지자기 관측소의 자료를 사용하여 미 공군 예보센터에서 결정한 지자기 Kp 지수 (그림 4.21)를 모니터 한다.

지자기 Kp 지수값에 따라 지자기 활동 상태와 예상 장애 정도를 분류할 수 있는데 표 4.12에서 보는 바와 같이 지자기 Kp 지수가 5 이상인 경우 지자기 활동 상태는 ISES 기준에 따라 3 가지로 분류되며 예상 장애정도는 미국 SEC 의 기준에 따라 5 단계로 나누어진다. 이러한 분류를 토대로 지자기활동에 따른 정보와 장애 정도 (G1~G5)를 예보하고 있다.

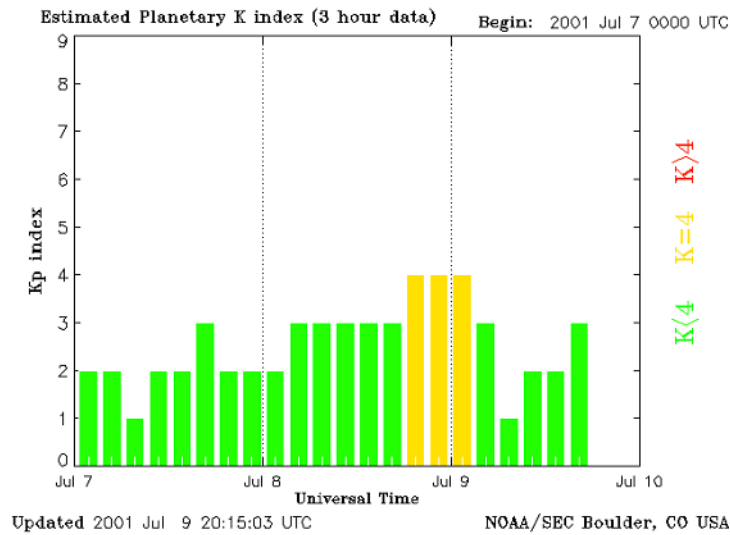


그림 4.21 미국 볼더 관측소와 전세계 8 개의 지자기 관측소의 데이터들을 사용하여 미 공군 예보센터에서 결정한 지자기 Kp 지수.

표 4.12 지자기 활동도 예측기준.

Kp 지수 *	경보 분류	장애분류 기호 (SEC 분류 )	프로톤 현상 (ISES 분류 )
Kp = 9	Extreme	G5	Severe Storm
Kp = 8, 9	Severe	G4	Severe Storm
Kp = 7	Strong	G3	Severe Storm
Kp = 6	Moderate	G2	Major Storm
Kp = 5	Minor	G1	Minor Storm

Kp 지수 : 3 시간마다 결정되는 전 지구적인 지자기장 변화

Kp > 4 :지자기 Active 상태

#### 마. 외국우주환경 보고서

##### (1) 예보

- GEOALERT: 미국, 일본, 프랑스, 호주, 중국의 1일 예보
- 예보 (FORECAST): Fredericksburg A-지수, Ottawa 10cm 태양 전파 플럭스, HF 전파통신 지수
- 미국의 3일간 지자기 활동 예보

##### (2) 현황

- 지자기 K 지수 (전파연구소, 일본 CRL)
- 3일간 지자기 Kp 지수
- 오늘의 미국 Boulder K와 Kp 지수
- 미국과 호주 우주환경 현황 및 예보 보고서
- 미국 24시간 전 후의 우주환경 정보 및 예측
- 미국의 1일 우주환경 정보 요약
- 태양활동영역 및 코로나활동 보고서
- 미국 우주환경 보고서 검색

##### (3) 전파예보

- 월간 전파예보 : 전파예보곡선, 선박통신예보표  
인터넷에서도 제공하고 있다.
- 태양흑점 상대수

##### (4) HOT EVENT

#### 4. 이용자 매뉴얼

태양 X-선 활동, 태양입자복사 (프로톤 현상), 및 지자기 활동 상태와 경보 발령 기준에 따라 예상되는 무선통신 및 항법시스템, 위성체 및 위성운용, 그리고 지상 전력 시스템 및 송유관에 미치는 세부적인 영향을 미국 우주환경예보센터 SEC에서 제공하는 우주천기 기준 (NOAA Space Weather Scale)을 토대로 제공한다.

가. 통신 및 항법시스템 : X-선 경보, Proton 경보, 지자기 경보

통신 및 항법시스템은 태양 복사 (X-선), 태양입자복사 (프로톤 현상), 그리고 지자기 활동 모두에 영향을 받는다. 표 4.13은 태양, 프로톤, 지자기 활동정도에 따른 세부적인 장애 예측 자료이다.

나. 위성체 및 위성운용 : 태양입자 (Proton) 경보, 지자기 경보

위성체 장애와 위성 운용상에 발생할 수 있는 우주전파환경의 변화는 주로 태양입자복사 (프로톤 현상) 활동과 지자기 폭풍과 같은 지자기 활동에 영향을 받는다. 표 4.14는 프로톤, 지자기 활동정도에 따른 세부적인 장애 예측 자료이다.

다. 지상전력시스템 : 지자기 경보

자기폭풍이 일어나 자기권과 이온층 내의 전류가 급증하면 지상의 전력 공급망에 영향을 미칠 수 있다. 표 4.15은 지자기 활동정도에 따른 세부적인 장애 예측 자료이다.

## 5. 우주환경 종합 서비스

일반인들을 위해 제공하게될 우주전파환경 종합 서비스는 자세한 우주환경상태 및 예보정보를 담고 있는데 태양활동, 지자기활동, 프로톤현상, 단파운용상태 및 델린저 현상의 현황/예보를 종합적으로 알려주는 개황예보와 각각 현상에 대한 자세한 현황/예보정보를 담고 있는 개별예보로 나누어 제공될 예정이다.

표 4.13 우주전파환경에 의한 통신과 항법 시스템 예상 장애 내용.

경보분류	예상되는 통신과 항법 시스템 장애	분류 기호
Extreme	일조지역에서의 완전 HF 통신 두절, 해상, 비행을 위한 LF 항법 신호 두절 위성 항법 위치 에러 발생 빈도 증가	R5
	항법 위치 에러로 항법 운용에 큰 장애 극 지역에서의 HF 통신 불가	S5
	1~ 2 일간 다수 지역에서의 HF 전파전파 불가 수일간 위성 항법상태 저하, 수 시간 LF 항법 통신 두절	G5
Severe	대부분의 일조지역에서 1~2 시간 HF 통신 두절 항해, 비행용 HF 통신 두절 LF 항법 신호 두절 (Outage ), 위성 항법 약간의 이상발생	R4
	수일간 항법에러 증대, 극 지역을 통과하는 HF 통신 불가	S4
	수 시간 HF 전파 전파 분산 (Sporadic )및 위성 항법 이상 저주파 항법 두절	G4
Strong	광범위한 지역에서 HF 통신 두절 1 시간정도 항해, 비행용 HF 통신 두절 LF 항법 신호 감쇠 (Degrade)	R3
	수일간 항법에러 발생 극 지역을 통과하는 HF 통신 감쇠 (Degrade)	S3
	간헐적인 위성 항법 이상발생 간헐적인 LF 항법신호 및 HF 통신 이상	G3
Moderate	제한적인 HF 통신 두절, 10 여분정도의 전파 단절 현상 발생 10 여분 정도의 LF 항법 신호의 감쇠	R2
	극지방에서의 항해에 약간 영향 극 지역을 통과하는 HF 통신이 약간의 영향	S2
	고위도 지역에서의 HF 전파 전파 약화 (Fade)	G2
Minor	LF 항법 신호 감쇠로 짧은 시간 동안 항법 위치 신호에 영향	R1
	극지방에서의 HF 통신에 약간 영향	S1
	영향 없음	G1



표 4.14 우주전파환경에 의한 위성체 및 위성운용 예상 장애 내용.

경보분류	예상 통신, 위성체/위성운용 장애	분류기호
Extreme	일부 위성 분실 ,위성체 내 메모리 고장 위성 영상에 심각한 노이즈 발생 태양전지판의 영구적인 손상	S5
	광범위한 위성체 표면 대전 위성 회전, 상하향 링크 장애, 위성 통제 장애	G5
Severe	위성체 내 메모리 고장 위성 영상에 노이즈 발생 태양전지판 기능 저하	S4
	위성체 표면 대전 위성 회전 및 통제 장애	G4
Strong	single event upset, 위성영상에 노이즈 발생 노출 측정기나 장치에 영구적인 손상 태양전지판의 전류 감소	S3
	위성체 표면 대전 위성 공기저항 (drag) 및 고도 조절 필요	G3
Moderate	불규칙적인 single event upset 발생	S2
	위성 궤도 보정 필요 위성 공기 저항 증대로 위성 궤도 예측 곤란	G2
Minor	영향 없음	S1
	위성 운용에 사소한 문제 발생	G1

표 4.15 우주전파환경에 의한 전력시스템 예상 장애 내용.

경보분류	예상 지상 전력시스템장애	분류기호
Extreme	전력망 붕괴 및 변압기 파손 가스 및 송유관 등에 수백 암페어 전류 발생	G5
Severe	전압 불안정 문제 일부 전력망 붕괴 및 보호장치 고장	G4
Strong	전압 조정 요구 전력시스템 보호 장치에 허위 명령 발생 변압기 오일 내 기포 발생으로 과열 및 수명 단축	G3
Moderate	고위도 전력시스템 영향	G2
Minor	미약한 전력망 불안정	G1

## 제 5 절 우주환경 종합 서비스 제안

우주환경에 항상 노출되어 있는 위성 및 통신 운용은 필수 불가결하게 우주환경과학으로부터의 지식을 필요로 하게된다. 따라서 국내위성 및 무선통신의 안정된 운용을 위해서는 태양-지구간의 우주환경에 대한 관측자료 및 예보/경보 등의 서비스가 필요하다. 이러한 종합적인 우주환경 서비스를 위해서는 전파연구소 등의 국내 우주환경 관측시스템의 데이터 활용뿐만 아니라 미국의 Regional Warning Center (RWC)인 Space Environment Center(SEC)와 같은 외국 센터에서 제공하는 국제관측자료를 획득할 필요가 있다. International Space Environment Service (ISES) 및 INTERMAGNET 같은 국제 서비스 제공기관에의 가입을 통해 우주환경의 근사 실시간 국제 관측자료와 예/경보 서비스를 획득할 수 있다. 이렇게 얻어진 자료를 토대로 위성 및 무선통신 사용자의 특수한 필요에 맞는 서비스를 구성하고 관리하여야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 ISES의 RWCs에서 제공하는 서비스, 우주환경예보와 관련된 회사에서 제공하고 있는 우주환경예보

서비스, 및 현재 전파연구소에서 제공하고 있는 서비스의 조사를 토대로 종합적인 우주환경 서비스를 다음과 같이 제안한다.

## 1. 우주환경 (Space Weather)

우주환경 서비스로서 현재의 우주환경, GEOALERT, 예보, 및 관측데이터를 제공한다. 또한 사용자를 항법시스템, 무선통신, 위성체 및 위성운용, 전력 시스템, 지구물리 사용자와 뉴스미디어 등으로 분류하여 그에 따른 자료들을 제공한다.

### 가. 오늘의 우주환경 (Today's Space Weather)

매일의 정보로서 현재 전파연구소에서 제공하고 있는 태양 X-선 정보, 태양 X-선 플럭스에 따른 플레어 발생 예보, 태양입자(프로톤)정보, 및 지자기활동현황 (예측-Kp 지수) 외에 태양면 영상, 태양 및 지구활동 예보, 위성이 운용되고 있는 환경 정보로서 전자/프로톤 플럭스 그래프 등을 제공한다.

### 나. GEOALERT

RWCs 사이에 상호 교환하는 근사 실시간 GEOALERT (지자기, 플레어, 프로톤 예보)을 제공한다.

자기폭풍, 행성간 교란 도착, 고에너지 전자, 태양풍 교란, 행성간 자기장 교란, GEO 위성의 magnetopause 통과, Sudden Magnetic Impulse, 태양 전파폭발 (radio burst) 등의 예보를 추가하고 그에 따른 위성/무선통신에 미치는 영향을 표시해주는 서비스를 제공한다.

### 다. 예보 (Forecast)

#### (1) 태양 활동

SEC에서는 3시간의 태양활동 메시지, 3일의 태양활동 예보, 27일의 태양 전파 플럭스 예보, 45일의 Ap와 10.7cm 예보, 및 주 단

위의 예보를 제공하고 있다. 그리고 월 단위의 태양활동 주기 예측 (흑점수, 10cm 전파 플럭스, 및 Ap 예보)도 제공하고 있다 (그림 4.22). 이를 이용하여 단기 (3시간) 예보뿐만 아니라 장기 (태양 활동주기) 예보도 함께 제공한다. Wang-Sheeley 모델의 결과인 Photospheric Field, Derived Coronal Holes, Source Surface Field, 태양풍 속도, 및 지구에서 예측된 태양풍 속도와 행성간 자기장의 방향 등을 분석하여 행성간 교란이 지구에 도착하기 전에 그것이 지구에 미치는 영향을 예보한다.

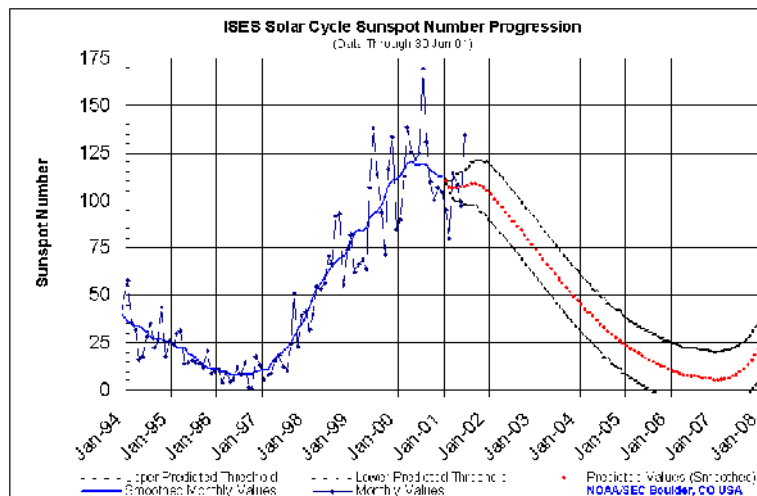


그림 4.22 ISES Solar Cycle Sunspot Number Progression.

## (2) 자기권 활동

3시간 단위의 Geophysical Alert 메시지, 3일의 지자기활동 예보, 및 3일의 우주환경예보 (K 지수, 지자기 조건, 플레어 가능성)를 제공한다. 지자기활동 지수인 예측-Kp 지수 (그림 4.24), Magnetospheric Specification Model (MSM)을 이용하여 구한 실시간 자기권의 고에너지 전자와 이온 플럭스 예측 지도 (그림 4.23), 및 로컬 지자기 변화 예보 그래프 등을 제공할 수 있다.

(3) 이온층

미국 SEC과 스웨덴의 Lund로부터 오로라 예보, AE, Dst와 Kp 예측지수를 획득하여 제공한다. 그리고 국지적 지자기 변화 예보와 D-영역 흡수 예측도 제공한다 (그림 4.25).

(4) 기술적인 시스템에 미치는 영향

인공위성 운용자를 위해 IPS에서 태양활동에 따른 위성의 drag를 예측한 그래프 (그림 4.26), 및 foF2와 MUF 같은 통신조건의 전지구적인 지도를 획득하여 제공한다 (그림 4.27).

(5) 인간건강의 위험

NOAA에서 제공하는 UV 지수를 얻을 수 있다 (그림 4.28).

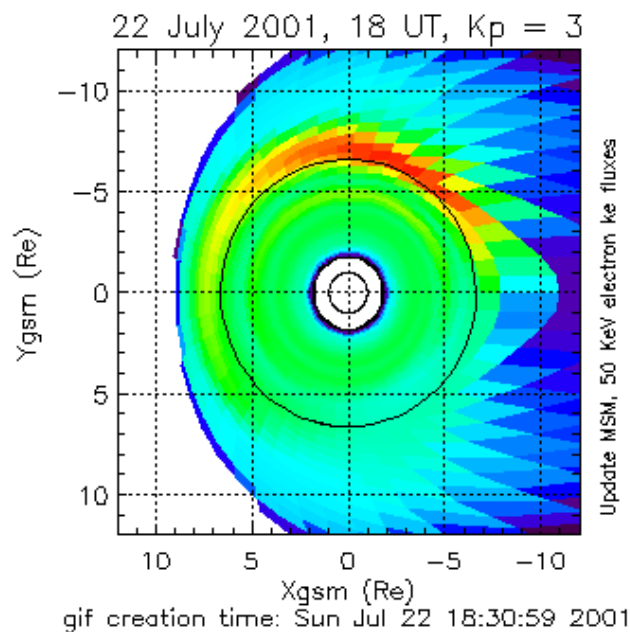


그림 4.23 지상관측과 위성관측을 input으로 하여 MSM을 사용하여 계산한 고에너지 전자 플럭스.

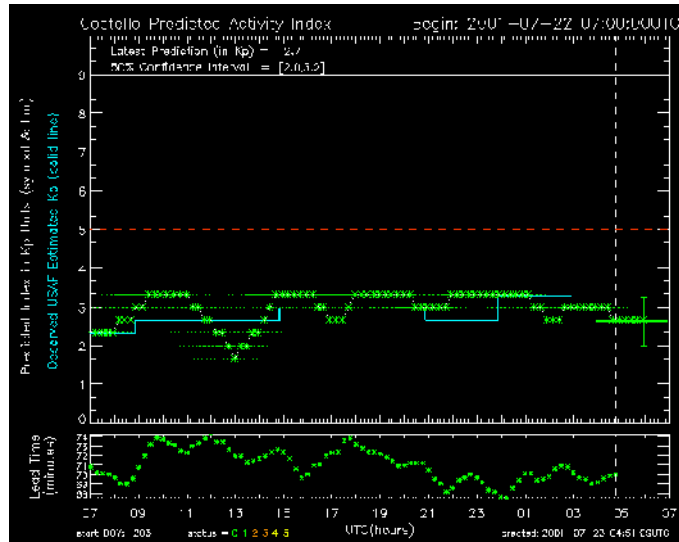


그림 4.24 Costello Predicted Geomagnetic Activity Index.

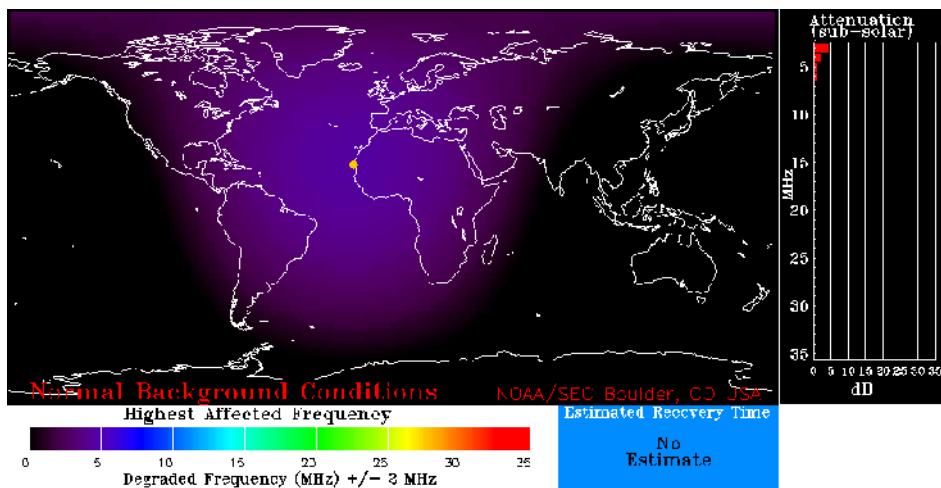


그림 4.25 D-Region Absorption Prediction.

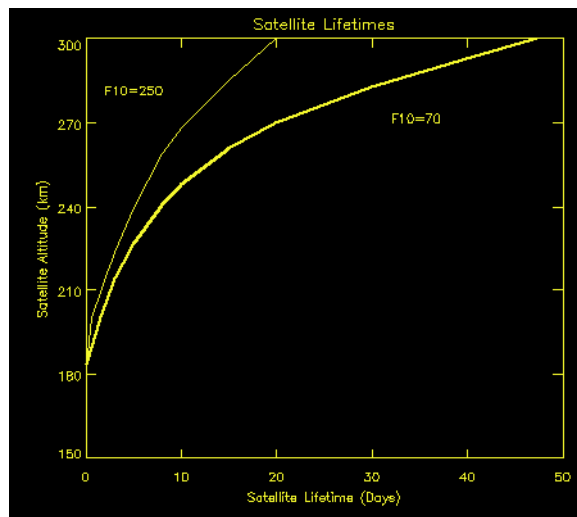


그림 4.26 태양활동 (F10)과 위성의 lifetimes.

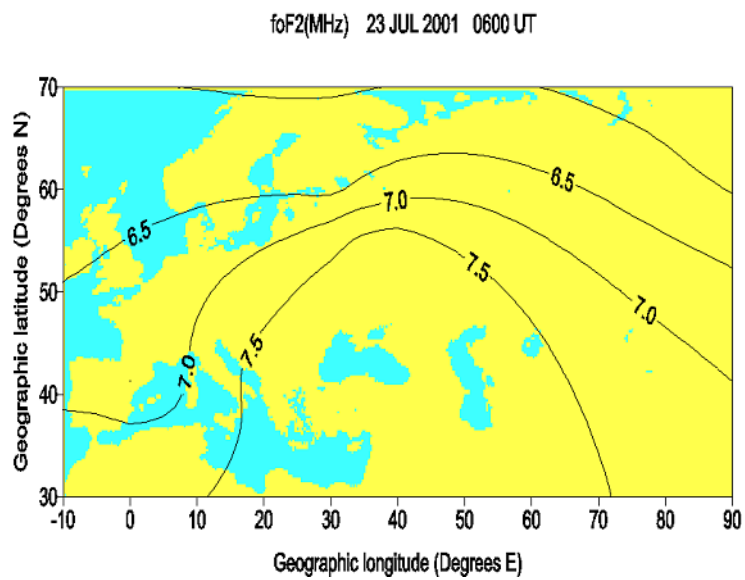


그림 4.27 위도, 경도에 따른 foF2.

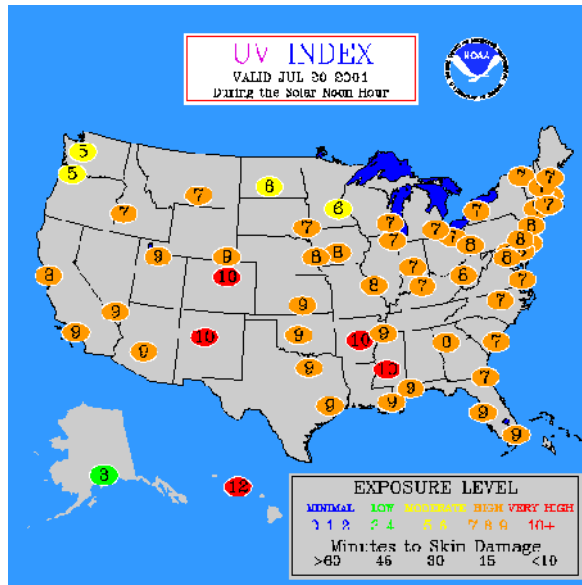


그림 4.28 NOAA에서 제공하는 UV index.

#### 라. 관측데이터

전파연구소 및 국내 우주환경 관측자료 외에 POES, ACE 등의 외국위성 및 지상 관측자료의 신속한 실사-실시간 서비스를 위해 미국 SEC, 스웨덴 Lund, 호주 IPS 등의 외국 센터에서 제공하는 자료를 획득하여 직접 서비스한다.

국내 우주환경 자료를 종합하여 서비스 할 수 있는 시스템을 구축하고, FTP 사이트를 통해 이를 제공한다. 가능한 국제관측자료도 서비스한다.

#### 마. 사용자 서비스

현재 전파연구소에서는 사용자를 무선통신 및 항법시스템, 위성체 및 위성운용, 그리고 지상 전력 시스템 및 송유관 그룹 등으로 나누고, 태양 복사 (X-선) 활동, 태양입자복사 (프로톤 현상), 및 지자기 활동 상태와 경보 발령 기준에 따라 예상되는 각 그룹에



미치는 세부적인 영향을 미국 우주환경예보센터 (Space Environment Center: SEC)에서 제공하는 우주천기 기준 (NOAA Space Weather Scale)을 토대로 제공하고 있다. 여기에 추가하여 사용자의 필요에 따른 우주환경 예보/경보 및 관측자료를 분류하여 제공한다.

#### (1) 항법시스템

- 경보 및 예보: 1일, 주간 또는 27일 예보 등
- 태양 및 지구 물리 활동 도표
  - \* X-선 플레어
  - \* 태양풍 데이터
  - \* 자기권 내의 양성자/전자 플럭스
  - \* K 지수 도표
- 위성에서 관측된 양성자 플럭스 도표로부터 예측된 오로라 활동 도표
- 태양 활동 주기의 진행, 흑점수 변화 등

#### (2) 무선통신

- 지구물리 경보 메시지
- 최신 우주환경 보고
- 태양 및 지구물리 활동 요약보고 및 도표
- 위성 관측에서 유추된 오로라 활동
- D-층 흡수 예보
- 모델을 이용한 이온층 전파 전달 예보: 실시간 예보, 점대점 또는 점대지역 HF 예측 등
- 전 세계의 이온층 자료: 이온층 관측 자료, foF2와 MUF 같은 통신조건의 전지구적인 지도, 자기권 모델 등
- 단파 fadeout: 실시간 도표
- Ap, Kp, T 지수 등
- 27일의 10.7 cm 전파 관측

### (3) 전력시스템

- 예보 및 경보
  - \* 우주환경 권고: 경보/감시, 1일 요약/예보, 주간 예보 등
  - \* 지자기 활동 예보: 예측된 Kp 지수 등
- 지자기 자료
  - \* 실시간 지자기 관측 자료
  - \* A 및 K 지수
  - \* GOES 위성 등의 자기장 관측 데이터
  - \* ACE 위성 등의 태양풍 자기장
  - \* 위성 관측에서 유추한 오로라 활동, 오로라 oval
- 태양 이미지

### (4) 위성체 및 위성운용

- 위성의 이상현상의 분석 및 권고문
- 간섭 예측: 정지궤도 위성의 이온층 간섭효과, 태양과 위성의 간섭 예상 시각, 위성 궤도 변화 등
- Today's Space Weather
- 태양 및 지구 물리 활동 요약
- 실시간 관측 자료: 양성자/전자 플럭스, 고에너지 입자, 태양풍 속도, 행성간 자기장, 지자기 관측 자료들. 장기 관측 자료도 함께 제공.
- K 지수
- 태양 전파 폭발 보고

### (5) 지구물리 사용자

- 보고 및 예보
  - \* 지자기 및 지구물리 상태의 주간/월간 보고
  - \* 지자기 경보
- 실시간 정보: 추정된 K 지수, pc3 파동 지수, 지자기 관측 결과

- 기록 정보: 자기장 기록, 지자기 파동 지수, K 지수

#### (6) 뉴스미디어

- 현재의 우주환경, 영상 등

## 2. Model

사용자에게 유용할 것으로 생각되는 모델들은 다음과 같다.

#### 가. 태양전파폭발의 지구 전달 프로그램

본 연구에서 개발한 Type II 태양전파폭발 자료를 이용한 태양 코로나 충격파의 지구 전달 프로그램을 이용하여 충격파의 상시적인 지구 도착을 예보할 수 있다.

#### 나. 자기폭풍예보 코드

전파연구소는 자기폭풍예보를 위해 1998년 Alaska대학교 부설 지구물리학연구소의 자기폭풍예보모델을 도입하였다. 코드는 태양면 관측 플레어자료로부터 태양풍이 지구에 도달했을 때 예상되는 태양풍의 물리량을 예측한다. 예측된 태양풍 자료로부터 태양풍-자기권 다이내모 출력값 Epsilon (energy-coupling function)을 계산한다. 이 값으로부터 여러 경험관계식을 이용하여 AE, Dst, 극관 횡단전위차, 극전리층의 에너지 소모량과 이에 수반된 열권의 온도상승 등의 물리량을 추정한다 (안병호 등, 1998).

코드를 이용한 예측값과 실측값을 비교해본 결과 차이가 있었다. Epsilon과 물리량 사이의 경험관계식을 개선한다면 우주환경예보에 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 생각된다.

#### 다. 대기권 매질 요소 산출

위성-지상간 우주통신시스템은 VHF 대역이상의 주파수를 사용

하고 있기 때문에 10GHz 이상의 경우 수증기와 관계가 많은 대류권의 영향을 받고 있으며 10GHz 이하에서는 비교적 대류권의 영향이 적지만 대류권의 영향이외에도 전리층의 영향도 무시할 수 없다 (이황재 & 배석희, 2001).

전파연구소에서는 강우감쇠 등의 대기에 의한 전파손실에 대한 연구를 수행하고 있다. 신뢰할 수 있는 예측이 가능한 모델이 개발된다면 위성통신 사용자들을 위한 서비스를 제공할 수 있을 것이다.

#### 라. Ionospheric Scintillation Model

Northwest Research Associates (NWRA)의 WBMOD Ionospheric Scintillation Model과 같은 이온층 및 이온층 불규칙성에 의한 전파 모델을 개발한다. 이러한 모델을 이용하여 사용자의 요구에 따른 특수한 시스템에 대한 scintillation의 영향 정도를 평가해 주는 서비스를 제공할 수 있다 (그림 4.29).

#### 마. Solar Terrestrial Dispatch의 PROPLAB-PRO

무선통신 사용자를 위해 송신자와 수신자 사이의 실제 3-D 이온층을 지나는 시그널의 양상을 모델링 (ray-trace)하여 최적의 시그널을 결정할 수 있게 도와준다 (그림 4.30). 시간에 따른 MUF (Maximum Usable Frequency) 그래프를 제공한다.

#### 바. IPS의 Advanced Stand Alone Prediction System (ASAPS)

이온층 모델을 이용하여 HF 전파 스펙트럼의 통신상태를 예측하여 point-to-area와 point-to-point field 강도를 예보한다. ASAPs는 최적주파수, Signal/Noise, Noise, 확률 (probability), Take-off 각도의 등고선 지도와 GRAFEX 표, GRAFEX 그래프, 주파수계획, 최적주파수 그래프, field 강도 산출표 등을 제공한다 (그림 4.31과 4.32).

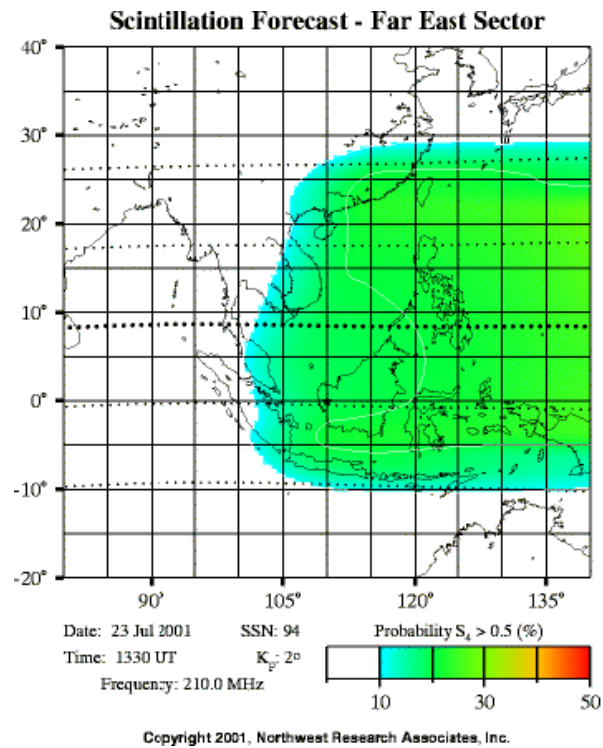


그림 4.29 NWRA의 WBMOD Ionospheric Scintillation Model을 이용하여 구한 scintillation 예보.

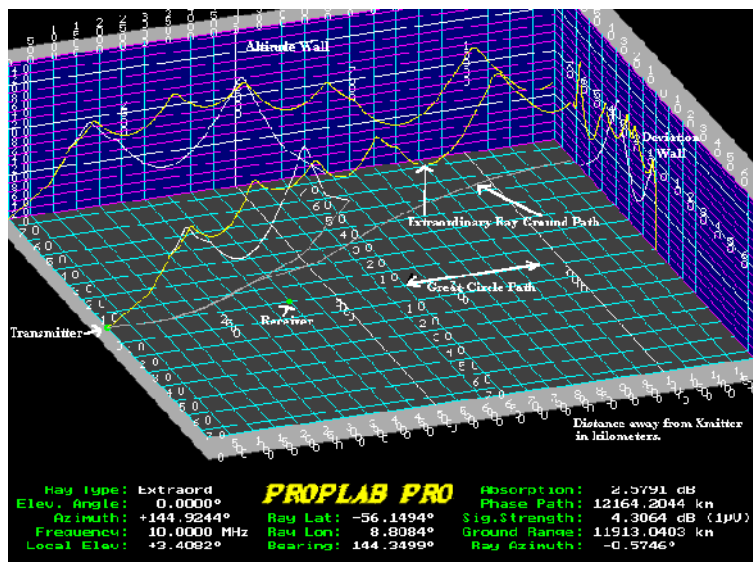


그림 4.30 PROPLAB-PRO를 이용하여 얻은 이온층을 지나는 신호 양상.

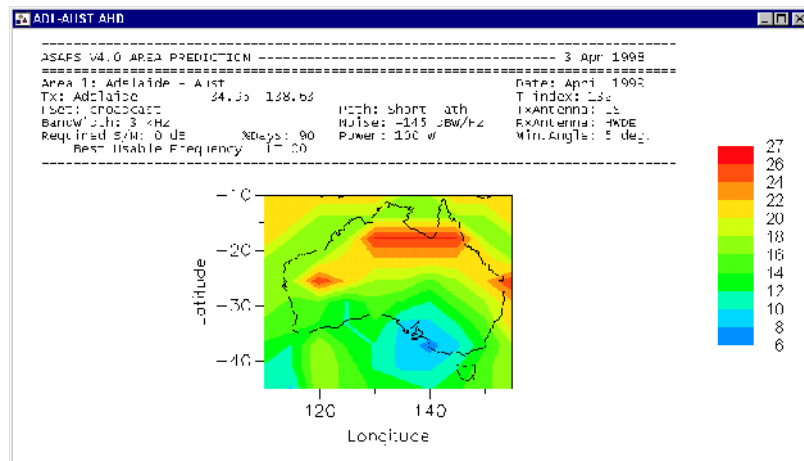


그림 4.31 ASAPS를 이용하여 구한 point-to-area field 강도 예보  
(Best Usable Frequency contour maps).

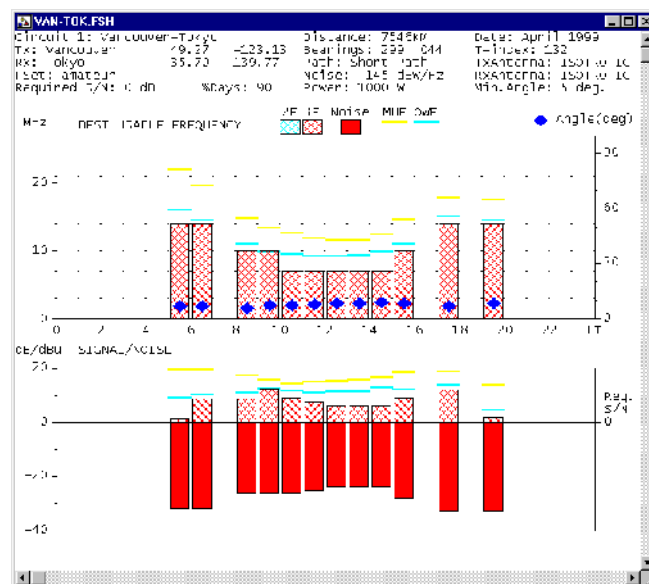


그림 4.32 ASAPS를 이용하여 구한 point-to-point field 강도 예보  
(Best Usable Frequency 그래프).

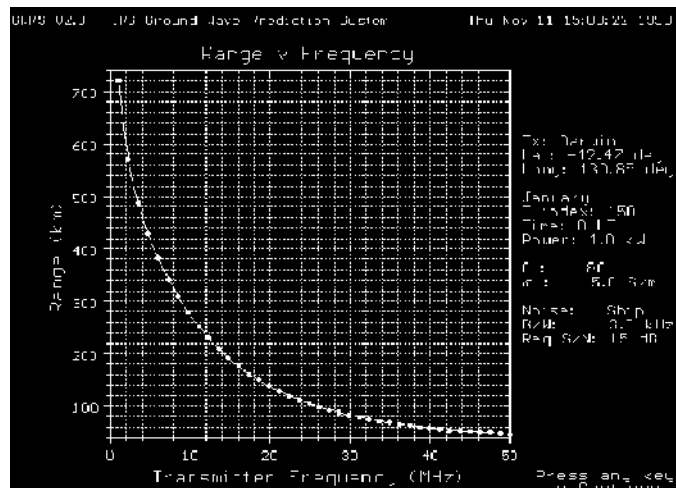


그림 4.33 GWPS를 이용하여 구한 주파수 vs 유효범위.

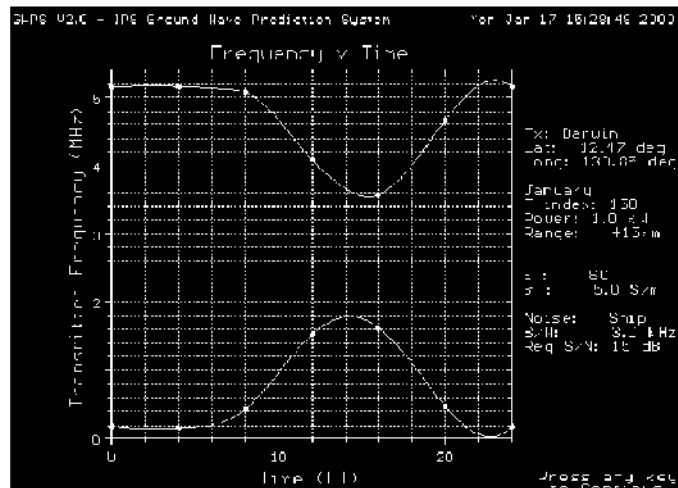


그림 4.34 GWPS를 이용하여 구한 시간 vs 주파수.

#### 사. IPS의 Ground Wave Prediction System (GWPS)

특정한 장소 및 조건하에서 지면파의 유효범위 (range)를 추정해 준다. GWPS는 송신기의 주파수, 파워, 및 시간에 대한 유효범위와 유효범위에 대한 전기장세기를 추정할 수 있다. 또한 주어진 유효범위에 대해 주파수/시간의 관계를 예측할 수 있다 (그림 4.33과 4.34).

#### 아. Sterling Software의 SpaceCast

SpaceCast는 우주환경에 대한 시스템 민감성 평가, 우주환경에 책임이 있는지를 결정하기 위한 이상현상을 확인하는 분석, 및 예보를 포함하는 모델이다. 이러한 모델을 이용하여 위성 운용자를 위한 Surface Charging, Deep Dielectric Charging, SEU, Drag 등의 현황/예보 (nowcast/forecast)와 지상 전력 시스템에 문제가 되는 Ground Induced Current (GIC)의 현황/예보를 제공할 수 있다. HF 통신 현황/예보와 전세계의 위성통신 사용자를 위해서는 Satellite Communication Scintillation 현황/예보를 제공할 수 있다.

또한 자기권 폭풍 예보서비스를 제공한다. 예보는 특정 지역 및 전파 시스템에 따라 그에 맞는 예보를 제공한다.

자기폭풍동안의 eletrojet에서 생긴 자기장은 지표면에 voltage potential을 유도하고, 이것에 의해 geomagnetically induced current (GIC)가 유도된다. GIC가 지면과 연결된 전력시스템에 들어와서 전력시스템에 영향을 주게된다. SpaceCast/PowerCast 프로그램은 electorjet이 전력시스템에 미치는 영향 평가를 제공하고 스톱 시작의 준비동안 45분 앞서 예보된다.

#### 자. 우주환경모니터링 시스템

Solar Terrestrial Dispatch (STD)의 SWARM (Space Weather Early Warning System)은 사용자의 PC를 이용하여 태양활동, near-Earth 우주환경, 지자기상태, 이온층상태, 및 기타 등등의 우주환경을 모니터링할 수 있게 하는 프로그램이다. 그 외에 65가지



다른 타입의 주의와 경보를 제공한다.

향후 개발될 우주환경 종합 서비스 시스템에서 우주환경에 대한 예/경보 및 정보를 얻을 수 있지만, 사용자가 자신의 PC에서 이러한 정보를 바로 모니터링할 수 있다면 매우 유용할 것으로 생각된다.

### 3. 신속한 예보/경보 서비스

현재 전파연구소에서는 일반인들을 위한 우주전파환경 종합 서비스 (ARS)를 준비하고 있다. 이 서비스를 e-mail, FAX, 또는 이동전화의 문자서비스를 통해 제공할 수도 있을 것이다.

## 제 6 절 코로나 충격파의 상시적인 지구 도착 예보를 위한 프로그램 작성

태양 코로나에서 발생하는 충격파는 지구에 전달되어 지자기 폭풍을 일으킬 수 있다. 따라서 태양 코로나에서 관측되는 Type II 태양전파 폭발에 의해 확인된 코로나 충격파의 지구 도착 시간을 2-3일 전에 미리 예보하는 일은 우주환경 예보에 있어서 매우 중요하다고 할 수 있다. 본 연구의 제 3 장에서 개발한 코로나 충격파의 지구 도착 시간 예측 프로그램인 1차원 STOA 모델을 전파연구소의 예보시스템에 활용하기 위해 JavaScript를 이용하여 새로 작성하였다 (첨부).

### 1. 웹에서 제공될 STOA 모델 사용법

#### 가. 초기 값 입력

아래 윈도우의 입력 값 (input data)에 연도, 달, 일, Ephemeris time (h), Piston driven time (h), 충격파 속도 (Shock velocity;

km/s), 태양풍 속도 (Solar wind velocity; h), Heliolongitude (degree), 및 Heliolatitude (degree) 등을 입력한다.

### STOA Model(Shock Time of Arrival Model)

Description	Data Entry
Year (yyyy)	<i>input data</i> <input type="text"/>
Month (m)	<i>input data</i> <input type="text"/>
Day (d)	<i>input data</i> <input type="text"/>
Ephemeris time in hour (h)	<i>input data</i> <input type="text"/>
piston driven time (h)	<i>input data</i> <input type="text"/>
Shock velocity (km/s)	<i>input data</i> <input type="text"/>
Solar wind velocity (km/s)	<i>input data</i> <input type="text"/>
Heliolongitude (degree)	<i>input data</i> <input type="text"/>
Heliolatitude (degree)	<i>input data</i> <input type="text"/>
Shocktime of arrival (h)	<i>Calculated</i> <input type="text"/>
도착시각	<i>Calculated</i> <input type="text"/>
Calculate	Reset

### STOA Model(Shock Time of Arrival Model)

Description	Data Entry
Year (yyyy)	<i>input data</i> <input type="text" value="1997"/>
Month (m)	<i>input data</i> <input type="text" value="2"/>
Day (d)	<i>input data</i> <input type="text" value="7"/>
Ephemeris time in hour (h)	<i>input data</i> <input type="text" value="23"/>
piston driven time (h)	<i>input data</i> <input type="text" value="6"/>
Shock velocity (km/s)	<i>input data</i> <input type="text" value="600"/>
Solar wind velocity (km/s)	<i>input data</i> <input type="text" value="400"/>
Heliolongitude (degree)	<i>input data</i> <input type="text" value="2"/>
Heliolatitude (degree)	<i>input data</i> <input type="text" value="-49"/>
Shocktime of arrival (h)	<i>Calculated</i> <input type="text"/>
도착시각	<i>Calculated</i> <input type="text"/>
Calculate	Reset

#### 나. 결과 값

모든 데이터 값을 입력한 후 Calculate라는 버튼을 클릭하면, 충격파 도달 시간 (Shock time of arrival; h)과 도착시각이 계산된다. 충격파 도달 시간은 태양에서 발생한 충격파가 지구에 도달하는 데 걸린 총 시간이며, 도착시각은 충격파가 지구에 도착한 시각이다.

**STOA Model(Shock Time of Arrival Model)**

Description	Data Entry
Year (yyyy)	input data 1997
Month (m)	input data 2
Day (d)	input data 7
Ephemeris time in hour (h)	input data 23
piston driven time (h)	input data 6
Shock velocity (km/s)	input data 600
Solar wind velocity (km/s)	input data 400
Heliolongitude (degree)	input data 2
Heliolatitude (degree)	input data -49
Shocktime of arrival (h)	Calculated 53.7451007089
도착시각	Calculated 1997년 2월 10일 4시 44분
Calculate	Reset

#### 다. Reset

Reset 버튼을 클릭하면, 입력된 데이터 값과 계산된 결과 값이 지워지고 다시 입력대기상태가 된다.

## 제 7 절 전파연구소 우주환경 예보 시스템 홍보를 위한 팸플렛 작성

전파연구소의 우주환경 예보 시스템의 홍보를 위해 다음과 같은

팜플렛을 작성하였다 (그림 4.35). 팜플렛의 크기는  $42 \times 29.7$  ( $cm^2$ ) 이고, 바깥 면의 1/4과 3/4 지점을 접어 마주보도록 제작하였다. 바깥 면에는 우주환경 예보 시스템에 대한 간략한 소개와 구성도, 우주환경예보 사용자 가이드 및 연락처 등을 수록하였으며, 안쪽 면에는 전파연구소의 우주전파환경 관측시스템과 관측시스템의 운용에 대해 소개하였다. 또한 우주전파환경이 통신, 항법시스템, 인공위성, 송전시스템, 및 송유관에 어떠한 영향을 미치는지를 설명하고, 전파연구소에서 제공하고 있는 경보서비스와 전파예보서비스 등을 소개하였다.

전파연구소에서는 우주환경의 급격한 변화로 인해 일어날 수 있는 여러 가지 손상에 대비하기 위해 우주환경예보 서비스를 제공하고 있다. 전파연구소에 설치된 태양전지판전력 및 지자기의 관측을 통해 우주환경을 연구하고, 이 관측 자료와 국내외 대기권의 관측 자료 및 예보 자료를부터 우주환경의 상태를 분석하고 이를 우주환경예보가 필요한 국내 관련 기관에 제공하고 있다.

### 우주환경예보 사용자 가이드

☐ 위성 운용  
태양전지판전력과 지자기예보를 이용

☐ HF 통신  
태양전지판전력과 태양입자정보 및 지자기정보를 이용

☐ 지상 전력시스템  
지자기정보를 이용

➢ 주요 인터넷 사이트

- 태양예보정보  
[http://solaradio.rrl.go.kr/ke/prediction/pre\\_sun.html](http://solaradio.rrl.go.kr/ke/prediction/pre_sun.html)
- 태양활동예보정보  
[http://solaradio.rrl.go.kr/ke/prediction/pre\\_sfls.html](http://solaradio.rrl.go.kr/ke/prediction/pre_sfls.html)
- 태양입자예보  
[http://solaradio.rrl.go.kr/ke/prediction/pre\\_pspn.html](http://solaradio.rrl.go.kr/ke/prediction/pre_pspn.html)
- 지자기예보  
[http://solaradio.rrl.go.kr/ke/prediction/pre\\_mag.html](http://solaradio.rrl.go.kr/ke/prediction/pre_mag.html)

Korea Space Environment Service  
**KSES 우주환경서비스**  
전파연구소 우주환경예보  
([solaradio.rrl.go.kr](http://solaradio.rrl.go.kr))

### 전파연구소 우주환경 예보 시스템

지구의 대기권 밖에는 광대한 플라즈마로 채워져 있는데, 이 플라즈마는 지구 자기장에 대항해서 만들어진 전자기 폭풍과 태양풍과 상호작용하여 자기권이라는 영역이 형성된다. 이 자기권을 형성한 공간에 대입되는 우주공간을 우주환경이라고 한다.

우주환경은 인류가 우주활동을 시작하고 우주공간을 이용하면서 인류에게 중요한 영향을 끼치게 되었다. 우주환경은 태양활동에 따라 급격한 변화를 겪게 되는데, 이러한 변화는 우주공간 뿐만 아니라 지상에 설치된 화물선 기기의 운용에 영향을 미치고, 인공위성, 전력망, 전자기기 등에 심각한 영향을 미칠 수 있으므로 인류에게 다양한 경제-사회적인 손실을 유발할 수 있다.

전파연구소 우주환경예보실  
Korea Space Environment Service  
Radio Research Laboratory  
467-861 경기도 이천시 용현면 신월리 370-9  
Tel) 031-644-7531  
Fax) 031-644-7531

일련  
2001년 9월 우주환경 예보실 요문  
18집 우주환경 예보 서비스 개시

4.35(a)

( )

## 우주전파환경 관측

### □ 태양전파

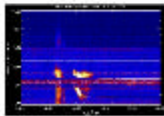
태양은 라디오, TV, 소용돌이(雷暴) 및 무선 전파가 통과하는 과정에서 방해하고 있는 거의 모든 통신 영역에 RFI의 전파를 방출한다. 전파측량은 RFI의 통신의 집중으로 극심할 뿐 아니라, 지자기 폭풍과 전리층 폭풍을 일으켜 통신도 장애를 일으키는 등 여러 영향을 미친다.

### □ 지자기

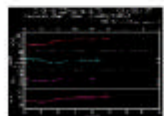
지구자기장의 변화는 일변화, 일변화 그래프, 지자기 폭풍은 발생시 지구자기장에 의해 확인되었던 고에너지 대기입자를 이 지구에 유입하여 인공위성, 통신, 위성항법 등에 장애를 일으킨다.

### □ 전리층 관측

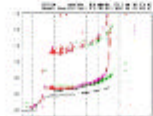
태양활동 변화에 의한 전리층의 변화는 HF 통신에서부터 위성통신에 이르기까지 광범위한 영향을 미친다.



태양전파관측



지자기관측



전리층관측

## 관측시스템의 운용

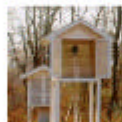
### □ 태양전파 관측 시스템

- 30 MHz ~ 2500 MHz 대역의 태양전파 측정시스템 구축
- 4 수주기 안테나: 30 MHz ~ 100 MHz
- 10m 대공률 안테나: 100 MHz ~ 500 MHz
- 6m 대공률 안테나: 500 MHz ~ 2500 MHz



### □ 지자기 관측 시스템

- 대한, 중국(강화대), 및 제주도 지역의 지자기 변화를 연속관측
- Fluxgate 센서 : 지자기 3축으로 연속 측정
- Proton 센서 : 총 지자기 변화 측정



### □ 전리층 관측 시스템

- 전파를 수직 입사하여 전리층에서 반사되어 오는 전파를 수신하여 전리층 변화율을 측정
- 송수신 주파수: 0.1 ~ 30 MHz
- 최소 파워: 5 W
- 통신 폭: 2 MHz



## 우주전파환경

어떤 영향을 미치나?

### □ 통신

전리층 교란은 전파전송 효율과 이상 대기 지대권 통신, 선박-대선고신, 대륙간 통신

### □ 항공시스템

LOFAR, ONF6A, GPS 등 위치오차 발생

### □ 인공위성

위성 속도 이상, 위성 비 정류파 5m 이하

하위궤도, 대기권상에 의한 부하 손실

### □ 송신시스템

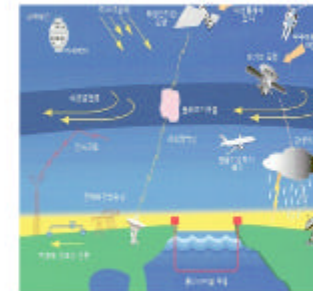
송신장비에 차폐력, 예-정보를 통해 전파회사는 손실과

안전 최소화 가능

### □ 송수신

송수신 계기기의 오작동으로 극심한 대기전파, 지대, 송수

전 부하율이 증가한다.



## 경보서비스

### □ 태양 방사 관측

GOES 위성에서 측정된 X-선 플럭스 세기(10) 태양 활동에 따른 태양 방사 관측 데이터를 나타낸 지수. 강한 X-선 플럭스의 발생은 HF 전파의 전파 장애나 위성 통신 장애를 일으킬 수 있다.

3. GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

GOES (X-ray) 플럭스

## 전파예보서비스

단파통신의 효율적인 사용을 위하여 발파관측에 따른 발파 및 전파예보 서비스 제공

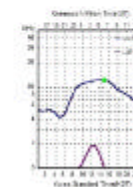
### □ 전파예보 서비스

• 특정 지역 Tokyo를 포함한 30개 지역

• 특정 지역 서울을 포함한 16개 지역

### □ 전파예보

• 전파예보 대상 지역에 대한 시간대별 적정 사용 주파수



# 5

가  
가  
· , , ,  
· , ,  
/ , ,  
·  
가  
· ,  
·  
/ /  
( ),  
·  
가 /  
Dst  
1997 2001 Dst ,  
/ Dst  
· , /  
가  
· ,  
1998 5 1 Equator-S - -  
outer radiation belt relativistic electron  
가 , 1998 5 6 Polar  
SEU on-board 가 6  
· 1998 5 19 Galaxy 4  
5 4 2 highly  
relativistic electrons (HRE) 가 . /

가 /

NOAA가

가

SE (soft error) ,

UNK (unknown) .

가

(C & DH

Subsystem)

(TC & R Subsystem) ,

(AOCS) .

가

. , -

(IMF)

. , IMF

. 8-9

.

가

102

42%

가 Dst

. ,

,

.

.

가

(radio type II burst)

.

Type II

,

.

(NOAA) Dryer

가

STOA (Shock Time Of

Arrival)

,







- , , & , , 2001
- , , , , , & , , 1998
- & , , 2001
- , , , ( ), , 9 2 , 2001a
- , , , ( ), , 9 2 , 2001b
- , & , , 14, 320, 1997
- , & , , 105, 1999
- Aubier, M. G., Leblac, Y., and Howard, R. A., *Adv. Space Res.*, 6, 315, 1986
- Baker, D. N., R. D. Belian, P. R. Higbie, R. W. Klebesadel, and J. B. Blake, Deep dielectric charging effects due to high energy electrons in Earth's outer magnetosphere, *J. Electrostat.*, 20, 3, 1987
- Baker, D. N., S. Kanekal, J. B. Blake, B. Klecker, and G. Rostoker, Satellite anomalies linked to electron increase in the magnetosphere, *Eos Trans., AGU*, 75, 401, 1994
- Baker, D. N., *et al.*, An assesment of space environmental conditions during the recent Anik E1 spacecraft operational failure, *ISTP Newsl.*, 6, 8-29, June, 1996
- Baker, D. N., J. H. Allen, S. G. Kanekal, and G. D. Reeves, Disturbed Space Environment May Have Been Related to Pager Satellite Failure, *Eos Trans., AGU*, 79, 40, 477, October 6, 1998
- Birn, J., M. F. Thomsen, J. E. Borovsky, G. D. Reeves, D. J.

- McComas, and R. D. Belian, Characteristic plasma properties during dispersionless substorm injections at geosynchronous orbit, J. Geophys. Res., 102, 2309, 1997
- Blake, J. B., D. N. Baker, N. Turner, K. W. Ogilvie, and R. P. Lepping, Correlation of changes in the outer-zone relativistic-electron population with upstream solar wind and magnetic field measurements, Geophys. Res. Lett., 24, 927-929, 1997
- Blanchard, G. T., L. R. Lyons, J. Spann, Predictions of substorms following northward turnings of the interplanetary magnetic field, J. Geophys. Res., 105, A1, 375-384, 2000
- Collier, M. R., J. A. Slavin, R. P. Lepping, A. Szabo, and K. Ogilvie, K., Timing accuracy for the simple planar propagation of magnetic field structures in the solar wind, Geophys. Res. Lett., 25, 14, 2509-2512, 1998
- Dryer, M and D. F. Smart, Adv. Space Res., 4, 291, 1984
- Fong, B. H., S. C. Cowley, and O. A. Hurricane, Metastability in magnetically confined plasmas, Phys. Rev. Lett., 82, 4651, 1999
- Hamilton, D. C., *et al.*, J. Geophys. Res., 93, 14343, 1988
- Hultqvist, B., J. Geophys. Res., 101, 27111, 1996
- Hurricane *et al.*, J. Geophys. Res., 104, 10, 221, 1999
- Lyons, L. R., G. T. Blanchard, J. C. Samson, R. P. Lepping, T. Yamamoto, and T. Moretto, Coordinated observations demonstrating external substorm triggering, J. Geophys. Res., 102, AA12, 27,039-27,052, 1997
- Reeves, G. D., *et al.*, The Relativistic electron response at geosynchronous orbit during the January 1997 magnetic storm, J. Geophys. Res., in press, 1998
- Ridley, A. J., G. Crowley, and C. Freitas, C., An empirical model of the ionospheric electric potential, Geophys. Res. Lett., 27, 22,

3675-3678, 2000

Smart, D. F. and M. A. Shea, J. Geophys. Res., 90, 183, 1985

Smart, D. F. & M. A. Shea, Solar-Terrestrial Prediction Proceedings, 471, 1998

Smith, Z., M. Dryer, E. Ort, and W. Murtagh, J. of Atm. and Solar Terr. Phys. 497, 972, 2000

Thompson, R., J. Kennewell, and N. Prestage, Solar Phys., 166, 371, 1996

Troshichev, O. A., A. L. Kotikov, B. D. Bolotinskaya, and V. G. Andrezen, Influence of the IMF azimuthal component on magnetospheric substorm dynamics, J. Geomagnetism and Geoelectricity, 38, 1075, 1986

Vampolar, A. L., The aerospace environment at high altitudes and its implications for spacecraft charging and communications, J. Electrostat., 20, 21, 1987

Vlasov, V. I., Geomagnetism and Aeronomy, 28, 1, 1988

Volkmer, P. M. and F. M. Neubauer, Ann. Geophysics, 3, 1, 1985

Wild, J. P., S. F. Smerd, and A. A. Weiss, ARA&A, 1, 291, 1963

Yokoyama, N., and Y. Kamide, J. Geophys. Res., 102, 14215,

## 첨부. 코로나 충격파의 상시적인 지구 도착 예보를 위한 프로그램: STOA.html

```
<html>
  <script language="JavaScript">
<!--
function showdata(){
  leapyear = (((document.calc.year.value % 4 == 0) && (document.calc.year.value
    % 100 != 0)) || (document.calc.year.value % 400 == 0)) ? 1:0
  if ((document.calc.year.value == null || document.calc.year.value.length == 0||
    document.calc.year.value < 0)||
    (document.calc.month.value==null || document.calc.month.value.length == 0||
    document.calc.month.value>12 || document.calc.month.value==0||
    document.calc.month.value<0)||
    (document.calc.day.value == null || document.calc.day.value.length == 0) ||
    (document.calc.ep.value == null || document.calc.ep.value.length == 0) ||
    (document.calc.t0.value == null || document.calc.t0.value.length == 0)||
    (document.calc.v0.value == null || document.calc.v0.value.length == 0) ||
    (document.calc.swv.value == null || document.calc.swv.value.length == 0)||
    (document.calc.long.value == null || document.calc.long.value.length == 0)||
    (document.calc.lat.value == null || document.calc.lat.value.length == 0)||
    (document.calc.month.value == 2 && document.calc.day.value> (leapyear ? 29
      : 28))||
    (document.calc.month.value == 3 && document.calc.day.value> 31)||
    (document.calc.month.value == 4 && document.calc.day.value> 30)||
    (document.calc.month.value == 5 && document.calc.day.value> 31)||
    (document.calc.month.value == 6 && document.calc.day.value> 30)||
    (document.calc.month.value == 7 && document.calc.day.value> 31)||
    (document.calc.month.value == 8 && document.calc.day.value> 31)||
    (document.calc.month.value == 9 && document.calc.day.value> 30)||
    (document.calc.month.value == 10 && document.calc.day.value> 31)||
    (document.calc.month.value == 11 && document.calc.day.value> 30)||
    (document.calc.month.value == 12 && document.calc.day.value> 31))
  { document.calc.stoa.value = "Incomplete data"
```

```

document.calc.stoal.value = "Incomplete data"
}
else
{
    var years      = eval(document.calc.year.value)
    var months     = eval(document.calc.month.value)
    var days       = eval(document.calc.day.value)
    var eps        = eval(document.calc.ep.value)
    var t0s        = eval(document.calc.t0.value)
    var v0s        = eval(document.calc.v0.value)
    var swvs       = eval(document.calc.swv.value)
    var longs      = eval(document.calc.long.value)
    var lats       = eval(document.calc.lat.value)
    var nns        = 0.45+(v0s-1000.)*0.0004
    t0s            = t0s*3600.
    var dd         = v0s*t0s/(1.5*Math.pow(10,8))
                    //태양과 지구까지의 거리를 1.5*10^8로 규격화
    var n=1001
    var jd = 275*months/9+days+eval(1721029)+367*years
            -7*(years+(months+9)/12)/4
            -3*((years+(months-9)/7)/100+1)/4
    var jds = jd - 0.5 + eps/24
    var t = (jds - 2415020)/36525
    var mnl = 279.69668 + 36000.76892*t + 0.0003025*t*t
    mnl = mnl % 360
    var mna = 358.47583 + 35999.04975*t -0.000150*t*t - 0.0000033*t*t*t
    mna = mna % 360
    var radeg = 180./Math.PI
    var e = 0.01675104 - 0.0000418*t - 0.000000126*t*t
    var c = (1.919460 - 0.004789*t - 0.000014*t*t)*Math.sin(mna/radeg)+
            (0.020094 - 0.000100*t)*Math.sin(2*mna/radeg) +
            0.000293*Math.sin(3*mna/radeg)
    var ta = (mna + c)%360
    var true_long = (mnl + c)%360
    var dist = 1.0000002*(1. - e*e)/(1. + e*Math.cos(ta/radeg))
    var theta = (jds - 2398220)*360/25.38

```

```

var i = 7.25
var k = 74.3646 + 1.395833*t
var lamda = true_long - 0.00569
var obl = 23.452294 - 0.0130125*t - 0.00000164*t*t + 0.000000503*t*t*t
var omega = 259.18 - 1934.142*t
var lamda2 = lamda - 0.00479*Math.sin(omega/radeg)
var diff = (lamda - k)/radeg
var x = Math.atan(-Math.cos(lamda2/radeg)*Math.tan(obl/radeg))*radeg
var y = Math.atan(-Math.cos(diff)*Math.tan(i/radeg))*radeg
var pa = x + y
var lat0 = eval(Math.asin(Math.sin(diff)*Math.sin(i/radeg))*radeg)
var ra=eval((Math.PI)/180)
var longs=longs*ra
var lats=lats*ra
var lat0=lat0*ra
var p=pa*ra
var dum=Math.sin(lats)*Math.cos(lat0) -
    Math.cos(lats)*Math.sin(lat0)*Math.cos(longs)
var dum1=Math.cos(lats)*Math.sin(longs)
var pmt=Math.atan(dum1/dum+0.00001)
var rho=Math.asin(dum1/(Math.sin(pmt)))
var th=p-Math.asin(dum1/Math.sin(rho))
var uu=6.96*Math.pow(10,5)
var tt=1.5*Math.pow(10,8)
var s=Math.asin(uu/dist/tt)
var x1=eval(rho/(1./s-1.))
var ss=[Math.sin(x1+rho)-x1/s]
var ss1=[Math.cos(x1+rho)-1/s]
var term = eval(ss)/eval(ss1)
var eps1=0.01
var diff=0.1
    while(diff>eps1){
        var term1 = term
        var x_new = x1- term1
        diff= Math.abs(x1-x_new)
        x1=x_new
    }

```



```

    }

    //newton function= $x=x-f(x)/df(x)$ 

var r1= x_new
    r1=eval(206265.*r1)
var rs=Math.round(s*206265.)
var sinh=r1/rs
var cosh
    if ((sinh) < 1.) { cosh=Math.sqrt(1-sinh*sinh) }
    else { cosh=0. }
var cosh1=Math.cos(longs)
var dist1=Math.sqrt(dist*dist+dd*dd-2.*dist*dd*cosh)
var dist2=dist1 +dd
var rr= new Array(n)
    for(var m=0; m<=n-1; m++){
        rr[m]=(dist2/(n-1))*m
    }
vt= new Array(n)
t1= new Array(n)
    for (var u=0 ;u<=n-1;u++){

        if(rr[u]>dd)
        { vt[u]=v0s*0.5*(1+cosh1)*Math.pow((dd/rr[u]),nns)+eval(swvs) }
        else { vt[u]=v0s+eval(swvs) }
        if (u>1){t1[u-1]=(rr[u]-rr[u-1])*2./(vt[u]+vt[u-1]) }
    }
var total=0
    for(u=1;u<=n-2;u++){ total=total+t1[u] }

    //time=shock time of arrival

var time=total*1.5*Math.pow(10,8)/3600.
document.calc.stoa.value = eval(time)
time1=eval(time+eps)
if((time1)>=24&&(time1)<48) {days=days+1; time1=time1-24}
if((time1)>=48&&(time1)<72) {days=days+2; time1=time1-48}
if((time1)>=72&&(time1)<96) {days=days+3; time1=time1-72}
if((time1)>=96&&(time1)<120) {days=days+4; time1=time1-96}

```

```

        if((time1)>=120&&(time1)<144) {days=days+5; time1=time1-120}
        if((time1)>=144&&(time1)<168) {days=days+6; time1=time1-144}
leapyear = (((years % 4 == 0) && (years % 100 != 0)) || (years % 400 == 0))
        ?1:0                                //윤년 계산식
        if(months==1&&days>31){ months=months+1; days=days-31 }
        if(months==2&& days>(leapyear ? 29 : 28)){ months=months+1;
            days=days-(leapyear ? 29 : 28) }
        if(months==3&&days>31){ months=months+1; days=days-31 }
        if(months==4&&days>30){ months=months+1; days=days-30 }
        if(months==5&&days>31){ months=months+1; days=days-31 }
        if(months==6&&days>30){ months=months+1; days=days-30 }
        if(months==7&&days>31){ months=months+1; days=days-31 }
        if(months==8&&days>31){ months=months+1; days=days-31 }
        if(months==9&&days>30){ months=months+1; days=days-30 }
        if(months==10&&days>31){ months=months+1; days=days-31 }
        if(months==11&&days>30){ months=months+1; days=days-30 }
        if(months==12&&days>31){years=years+1;months=1;days=days-31}
document.calc.stoa1.value = years + "년"+months+"월"+days+"일"+parseInt(time1)+
        "시"+parseInt((time1-parseInt(time1))*60)+"분"
                                //도착시각 계산
    }
}

```

//윈도우 설정부분

```

</script>
<body bgcolor="#ffffff">
<center><font color=blue size=5>STOA Model
    (Shock Time of Arrival Model)</font><center>
<center>
<form name=calc method=POST>
<table width=60% border=0>
<tr><th bgcolor="#C0C0C0" width=50%>
<font color=black>Description</font></th>
<th bgcolor="#C0C0C0" width=50%>
<font color=black>Data Entry</font></th></tr>
<tr><td bgcolor="#c0c0c0"><font color=>Year (yyyy)</font></td>

```

```

<td bgcolor="#C0C0C0" align=right><em><font color=black>
input data</font></em> <input type=text name=year
size=10></td></tr>
<tr><td bgcolor="#C0C0C0"><font color=black>Month (m)</font></td>
<td bgcolor="#C0C0C0" align=right><em><font color=black>
input data</font></em><input type=text name=month size=10></td></tr>
<tr><td bgcolor="#C0C0C0"><font color=black>Day (d)</font></td>
<td bgcolor="#C0C0C0" align=right><em><font color=black>input data</font>
</em> <input type=text name=day size=10></td></tr>
<tr><td bgcolor="#c0c0c0"><font color=black>Ephemeris
time(ep)in hour (h)</font></td><td bgcolor="#C0C0C0" align=right><em>
<font color=black>input data</font></em> <input type=text name=ep
size=10></td></tr>
<tr><td bgcolor="#C0C0C0"><font color=black>piston driven
time (h)</font></td><td bgcolor="#C0C0C0"
align=right><em><font color=black>input data</font></em> <input type=text
name=t0 size=10></td></tr>
<tr><td bgcolor="#C0C0C0"><font color=black>Shock
velocity(km/s)</font></td><td bgcolor="#C0C0C0" align=right><em>
<font color=black>input data</font> </em> <input type=text name=v0
size=10></td></tr>
<tr><td bgcolor="#C0C0C0"><font color=black>Solar wind
velocity(km/s)</font></td><td bgcolor="#C0C0C0" align=right><em>
<font color=black>input data</font></em><input type=text name=swv
size=10></td></tr>
<tr><td bgcolor="#C0C0C0"><font color=black>
Heliolongitude (degree)</font></td><td bgcolor="#C0C0C0" align=right><em>
<font color=black>input data</font> </em> <input type=text name=long
size=10></td></tr>
<tr><td bgcolor="#C0C0C0"><font color=black>
Heliolatitude (degree)</font></td><td bgcolor="#C0C0C0" align=right><em><font
color=black>input data</font></em> <input type=text name=lat
size=10></td></tr>
<tr><td bgcolor="#C0C0C0"><font color=red>Shocktime of
arrival (h)</font></td><td bgcolor="#C0C0C0"
align=right><em><font color=red>Calculated</font></em><input

```

```

type=text name=stoa size=10></td></tr>
<tr><td bgcolor="#C0C0C0"><font color=red>도착시간</font></td>
<td bgcolor="#C0C0C0"align=right><em><font color=red>Calculated</font></em>
<input type=text name=stoal size=20></td></tr>           //계산된 값 출력창
<tr><td bgcolor="#C0C0C0"align=center><input type=button onClick='showdata()'
value=Calculate></td><td bgcolor="#C0C0C0" align=center><input type=reset
value=Reset></td></tr>    //onClick=click button , reset=모든 값이 초기상태로
</table>
</form>
</center>
</html>

```