

主 題

위성, 태양, 지자기 관측자료 분석연구

¹한국과학기술원 물리학과, ²경희대학교 우주과학과, ³전파연구소

민경욱¹, 김갑성², 이동훈², 성향숙³, 이근호³, 표유선³, 최정림³,

조경석³, 김연한², 이성환², 황정선², 김일훈², 김성수¹

V. 지자기 관측자료 자료분석

VI. 결 론

차 례

I. 서 론

II. 우리별 위성의 과학 탑재체 사양분석

III. 우주환경 관측자료 분석처리 S/W 개발 및 자료분석

IV. 태양전파 관측자료 분석처리 S/W 개발 및 자료분석

무궁화 1, 2호의 발사로 본격적인 위성통신, 방송 시대를 맞이하게 되면서 통신위성의 안정적인 서비스를 위하여 우주환경에 대한 정확한 이해가 필요하게 되었다. 본 연구에서는 우주환경예보 서비스에 필요한 기초자료로 활용하고자, 우리별 위성에서 얻는 우주환경 데이터와 전파연구소 이천분소에서 운용하고 있는 태양 및 지자기 데이터를 분석하였다. 우리별 위성 1, 2, 3호의 우주환경 관측 탑재체의 사양을 분석하고, 우리별 위성의 자료분석을 위한 S/W를 개발했으며, 우리별 위성 자료를 이용한 우주환경 영향을 분석하였다. 태양전파 관측기의 데이터 취득 S/W와 태양전파 관측자료 분석처리 S/W를 개발했으며, 취득된 관측자료의 데이터베이스를 구축하였다. 또한, 국내 지자기 관측 자료를 외국 관측자료와 비교 분석하고 예보에 필요한 전처리용 S/W를 개발하였으며, 자기권에서의 전파전파 현상을 수치모델로 연구하였다. 본 연구에서는 지자기, 태양전파 등 국내자료 수신방안 연구를 통해 축적된 기술을 이용하여 실제로 예보에 필요한 자료구축이 가능함을 보여주었으며, 우주관

측자료 이용을 위한 기반기술 구축을 시도함으로써 향후 보다 실용성 있는 우주환경예보를 할 수 있도록 하였다.

1. 서 론

실험위성인 우리별 1, 2호의 제작과 운용을 거쳐 통신위성인 무궁화 위성의 보유, 및 다목적 실용위성의 제작으로 우리나라는 점차 본격적인 위성 이용 국가가 되고 있다. 현재까지의 우리의 위성 관련 사업은 위성을 보유하는 일에만 국한되어 왔으나 앞으로는 이 위성들을 효율적으로 운용하는 일에 신경을 써야할 것이며 특히 실 이용이 많은 통신 위성의 경우 안정적인 서비스를 제공할 수 있도록 하여야 할 것이다.

위성체의 운용 및 위성을 이용한 통신에 있어서 가장 큰 영향을 미치는 요인은 위성체가 위치하고 있는 곳의 가혹한 우주 환경이다. 이 우주 환경은 단순한 진공상태가 아닌 고에너지 및 저에너지 하전 입자들로 구성되어 있으며 이들은 위성체의 기

계와 전자 부품에 영향을 미쳐 손상을 입히게 된다. 따라서 위성체의 효율적 운용과 위성 통신의 안정적 이용을 위해서는 태양-지구간의 우주 환경에서 일어나는 물리적 현상을 이해하고 태양 활동에 따른 우주 환경 변화를 예측할 수 있어야 하며 변화가 심한 태양 활동을 항상 감시함으로써 위성체에 일어날 수 있는 만일의 사태를 사전 대비하고 또 사후 그 영향을 규명하는 연구가 필요하다. 본 연구의 목표는 장기적으로 우주 환경 예보에 필요한 지상 및 위성 관측 자료의 데이터베이스화와 이를 기반으로한 예보 모델의 개발이며 이를 위하여 우주 환경의 중요한 자료인 위성, 태양, 및 지자기 관측 자료 분석을 위한 S/W 개발을 시도하였다.

2. 우리별 위성의 과학 탑재체 사양분석

2.1 우리별 1, 2호 과학 탑재체

우리별 1호(KITSAT-1)에는 Packet data Communication Experiment(PCE), 지구 표면 촬영 장치(Earth Imaging System: EIS), Digital Signal Processing Experiment(DSPE)와 Cosmic Ray Experiment(CRE) 등 4개의 실험 장치가 탑재되어 있다. CRE의 목적은 KITSAT-1의 궤도에서 장, 단기적 우주 방사선 환경 및 그 영향을 조사하는 것이다. CRE는 Cosmic Particle Experiment(CPE)와 Total Dose Experiment(TDE)의 두 부분으로 구성되어 있다. CPE는 고에너지 입자가 실리콘(silicon) 검출기에 전달하는 에너지 스펙트럼을 측정하는 장치이고, TDE는 위성체가 궤도에서 받는 총 방사선 조사량을 측정하는 실험으로 RADFET(Field Effect Transistor)의 문턱 전압 변화로부터 이온화 방사선 양을 유추한다. CRE는 자기권 방사선대 양성자와 더불어 은하 우주선 (Galactic Cosmic ray), 태양 플레어와 관계 깊은 Solar Cosmic Ray (SCR)등도 관측할 수 있도록 설계되었다. TDE는 장기적 방사선 효과를 보기 위해서 만든 검출기로

서 RADFET의 결과에서 차폐 두께에 따라 방사선 환경이 주는 영향을 비교해 볼 수 있다. 한편 고에너지 입자 환경에 의해 위성체가 받는 영향은 위성 제어를 위한 주컴퓨터 OBC186의 프로그램 메모리와 RAMDISK 메모리의 Single Event Upset(SEU) rate를 조사함으로써 그 정보를 얻을 수 있다.

우리별 2호에는 PCE, 적외선 감지기(Infra-red Sensor Experiment: ISE), DSPE, 저에너지 전자 검출기(Low Energy Electron Detector: LEED)와 EIS 등의 실험 장치가 탑재되어 있다. 또한, 우리별 1호와 같은 종류의 OBC(on-board computer) 외에 소형 위성용 32-bit 컴퓨터 KASCOM(KAIST Satellite Computer)이 추가로 탑재되어 있어 프로그램 메모리, RAMDISK 메모리 및 KASCOM에서 일어나는 SEU를 살펴 볼 수 있다. 우리별 1, 2호는 궤도가 다를 뿐 유사한 구조를 가지고 있어 궤도에 따른 고에너지 입자 환경을 비교해 볼 수 있는 좋은 기회를 제공한다.

2.2 우리별 3호 과학 탑재체

우리별 3호에서는 우리별 1호에서의 실험을 더욱 넓은 대상으로 확대하고 보다 정량적인 실험을 하기 위해 과학 탑재체 SENSE(Space ENvironment Scientific Experiment)를 준비하고 있다. SENSE는 고에너지 입자 검출기(High Energy Particle Telescope: HEPT), 방사선 영향 측정기(Radiation Effects on Micro-Electronics: REME), 정밀 지구자기장 측정기(Scientific MAGnetometer: SMAG), 전자 온도 측정기(Electron Temperature Probe: ETP) 등 4개의 부 시스템으로 구성되어 있다.

가. High Energy Particle Telescope (HEPT)

지구 자기장에 묶여 있는 여러 종류의 하전입자들은 지구 자기권이라 불리는 커다란 영역 속에 위치나 시간에 따라 그 분포가 달라지게 된다. HEPT에서는 이러한 역동적인 자기권 입자의 에너

지를 7개의 에너지 채널로 측정하고, 입자의 운동의 중요한 변수인 피치각을 측정함으로써 역동적 운동의 기본 과정을 밝힐 계획이다. 그리고, 멀리 태양계의 끝에서 가속되어 지구자기장에 갇혀 있을 것으로 생각되는 anomalous cosmic ray의 존재 유무에 대한 간접적 정보를 얻을 수 있을 것이다.

나. Radiation Effects on Micro-Electronics (REME)

지구 주변의 고에너지 입자는 궤도에서 운용되고 있는 위성에게는 심각한 영향을 미친다. 이러한 입자는 태양전지판의 효율을 떨어뜨리고, 여러 기역 소자의 정보를 변화시키고, 소자 자체의 전기적 특성을 변화시키기도 한다. REME 실험에서는 지상에서 고에너지 입자에 의한 이러한 현상에 대한 실험을 하고 실제 위성의 운용 중에 얻은 결과와 비교하여 고에너지 입자가 반도체 소자에 주는 영향을 연구하고 나아가서는 이러한 환경에 더욱 잘 견디는

소자 개발에 중요한 많은 정보를 제공할 것이다.

다. Scientific Magnetometer (SMAG)

지구 주변의 전리된 입자들은 플라즈마 환경으로 움직이는 하전 입자들은 일종의 전류로서 태양 플레어라든지 지구 자기폭풍과 같은 특별한 현상이 일어난 후에는 하전 입자 운동 상태가 달라져서 전류의 상태도 달라지게 된다. 이러한 미세한 변화는 위성에 실린 자기장 측정기(magnetometer)에 의해서 관측할 수 있다. 5 nT 이하의 정밀도로 지구 자기장의 변화뿐만 아니라 원형 전류, 연자기력선 전류 등과 같은 지구 주변의 독특한 플라즈마의 흐름을 연구하고 플라즈마의 파(wave)와 플라즈마 입자 사이의 상호 에너지 교환 과정에 대한 기본적인 연구에도 좋은 실험 결과를 제공하여 줄 것이다.

라. Electron Temperature Probe (ETP)

ETP는 지구 주변에 있는 1 eV 정도의 에너지를 갖는 저에너지 전자를 측정 대상으로 하며, 지구

자기권으로 전달된 태양에서 온 입자 에너지가 전리층으로 전달되는 과정에 대한 상세한 정보를 제공하여 줄 것이다. 특히, South Atlantic Anomaly와 같은 특별한 곳에서의 전자 가열 현상에 대한 정보도 얻을 수 있을 것이다.

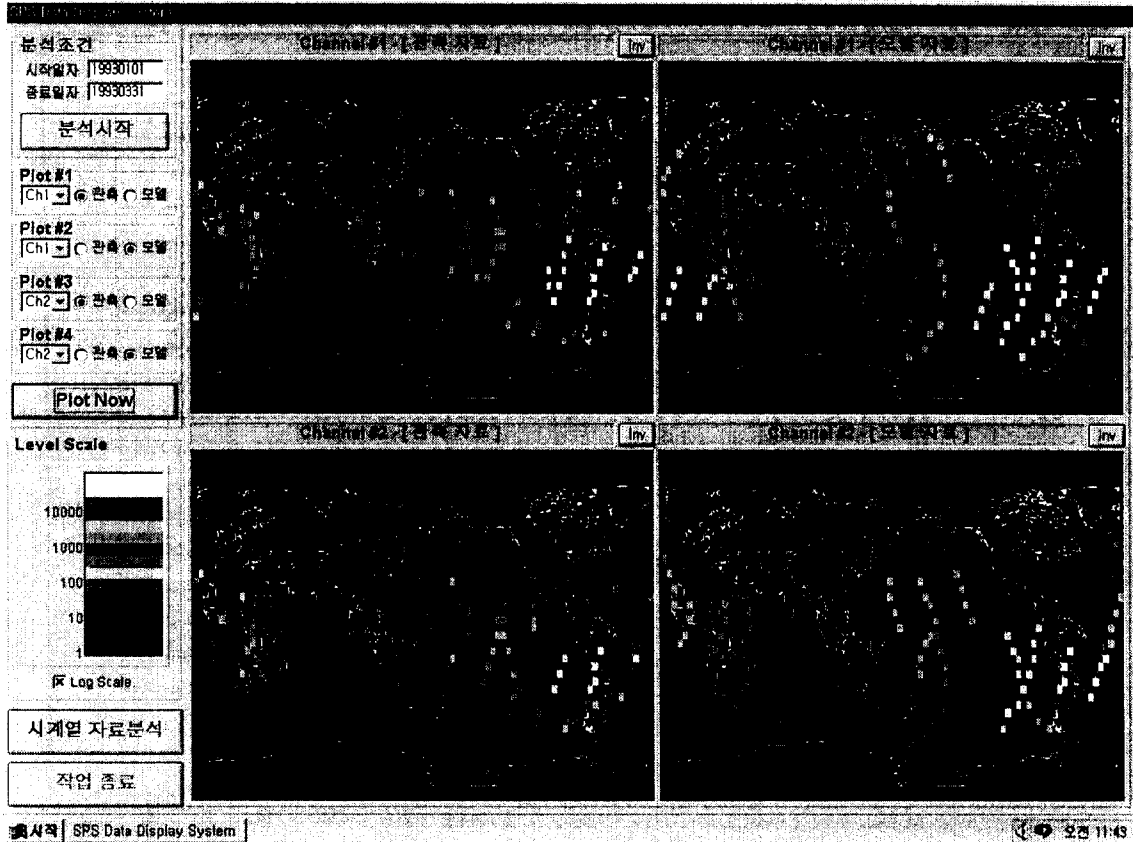
3. 우주환경 관측자료 분석처리 S/W 개발 및 자료분석

3.1 관측자료 분석처리 S/W 개발

우리별 위성의 우주환경 관측자료 분석을 위해, 1) 위성에서 수신된 raw 데이터를 아래의 프로그램들이 인식할 수 있는 형태로 바꾸고, 2) 새로운 형태의 데이터를 토대로 사용자가 원하는 위성, 측정장치, 관측일시, 에너지대역에 맞는 데이터를 시각화하는 프로그램에 맞도록 처리하고, 3) 앞에서 선택된 데이터의 취득위치(고도, 경도, 위도)에서 기대되는 이론적인 (NASA Trapped Radiation model) 값들을 계산, 역시 시각화하는 프로그램에 맞는 형태로 바꾸어서, 4) 사용자가 관측치와 이론치를 비교하는데 쉽도록 연속적으로 시각화하는 일련의 소프트웨어들을 수정, 개발하였다. 본 연구에서 개발된 소프트웨어는 다목적 실용위성의 우주환경 관측탐재체를 분석하는데도 이용될 수 있다.

그림 1은 우리별 1호의 CPE가 1993년 1월 6일 관측한 데이터와 그에 상응하는 NASA Trapped Radiation Model이 예측하는 값들을 개발된 소프트웨어를 이용하여 비교한 예이다. 화면에서 왼쪽의 두 그림은 위성데이터를, 우측의 두 그림은 이론치를 보여준다 (위의 두 그림은 CPE 1번 채널을, 아래의 두 그림은 2번 채널에 해당한다). 이때 그림의 color table은 그 스케일이 같도록 (즉, color table이 표시하는 최소값과 최대값이 같도록) 미리 조정되어 있으므로, 관측과 이론의 절대적인 비교가 가능하다.

(그림 1) 우리별 1호의 CPE가 1993년 1월 6일 관측한 데이터와 그에 상응하는 NASA Trapped Radiation Model이 예측하는 값들을 개발된 소프트웨어를 이용한 비교

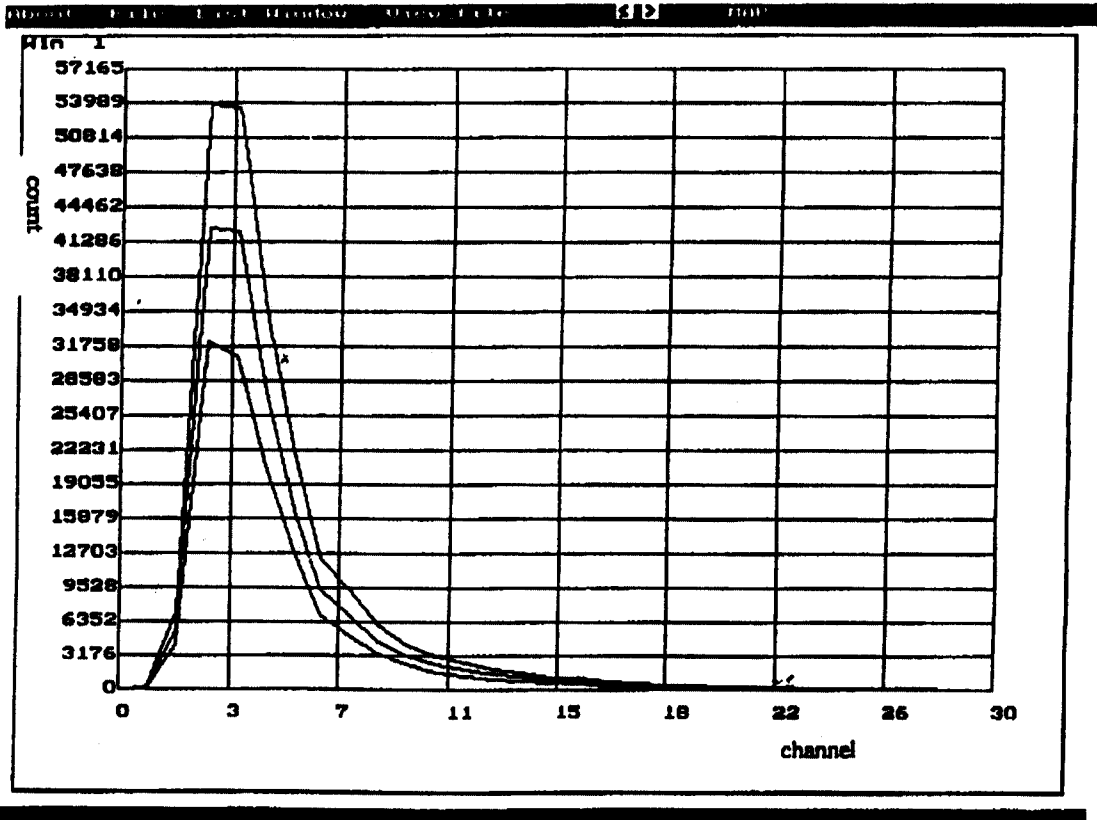


3.2 CPE 관측자료 분석

태양 활동의 변화에 따른 CPE data의 변화를 알아보기 위해서 1993년 3월 13일에 발생한 태양 플레어를 예로 들어본다. 이 플레어로 생긴 입자들이 지구에 도달하기까지는 이들이 걸리는데 방사선대에 주는 이 flare의 영향을 알아보기 위해서 입자가 많이 모여 있는 SAA에서의 CPE data를 보면 그림 2와 같다. 3월 15일, 3월 17일, 3월 24일로 시간이 지남에 따라 전 channel에 걸쳐 입자의 검출 수치가 작아짐을 알 수 있다. 하지만 3월 17일이나 3월 24일의 data와 3월 15일의 data를 자세히 비교해 보면 스펙트럼의 모양에는 변함이 없다. 즉, 어

떤 특정한 channel대가 상대적으로 특별하게 줄거나 늘지는 않았다는 것을 알 수 있다. 전체의 검출 수치는 플레어 이후에 늘지만 이를 구성하고 있는 입자들의 에너지 구성비는 일정하다는 결론을 얻을 수 있다. 따라서 태양의 플레어나 태양풍에 의해 생긴 하전입자가 직접적으로 안쪽 방사선대를 생성하는 것이 아니라 이 입자들이 대기과 상호작용에 의해 중성자가 생기고 이 중성자가 붕괴해서 지구 자기장에 잡히는 (CRAND theory) 간접적 원인이 되기 때문이다. 이와 같은 결과는 DMSP/ F7 위성이 1983년 12월부터 1987년 10월까지 고도 800km에서 태양 극대기 및 극소기에서 양성자 스펙트럼을 분석한 결과와 잘 일치한다.

(그림 2) SAA에서의 3월 15일, 17일, 24일 LET spectrum



3.3 TDE 관측자료 분석

KITSAT-1에서의 방사선 환경은 크게 세가지로 구분 할 수 있다. 첫째는 거의 변하지 않는 방사선 대 고에너지 양성자, 둘째는 변화가 심한 바깥 영역의 전자들, 셋째는 일정한 은하 우주선과 예측할 수 없는 태양 우주선이다. 실험 결과 RADFET1과 RADFET3의 변화가 다른 것을 알 수 있었는데, 안정한 방사선대 양성자의 영향은 일정하다고 보면 차폐 두께가 적은 RADFET1의 조사량이 RADFET3의 조사량에 비해 상대적으로 줄어든 것은 고 에너지를 전달하는 성분이 줄었기 때문이라고 생각된다.

3.4 SEU 관측자료 분석

표 1의 우리별 1, 2호에서 1993년과 1994년에 기록된 SEU를 분석한 결과는 monolithic RAM인 프로그램 메모리와 데이터 저장을 위한 램 디스크 (RAMDISK) Hybrid RAM의 우주 환경에 대한 반응이 다른 것을 보여 준다.

1994년 프로그램 메모리의 경우 고도 1300km인 우리별 1호에서의 SEU 발생율이 고도 800km인 우리별 2호에서보다 2배 정도 더 크게 나타난 것에 반하여, 램 디스크 메모리의 SEU 발생 빈도는 비슷하였다. 즉, monolithic RAM은 Hybrid RAM에 비하여 방사선대의 영향을 더 크게 받는 것을 알

(표 1) SEU 기록분석

	Program Mem.	Data Mem.	Program Mem.	RAMDISK	RAMDISK
	SEU Rate	SEU Rate	Max SEU	MBit.Sbyte Event	SBit.Mbyte Event
	(RAM size)	(RAM size)	(date)	(Event/Day)	(Event/Day)
1993년 KITSAT-1	16.6 (512Kb)	61.6 (13Mb)	974 (93.6.11)		
1994년 KITSAT-1	10.2 (512Kb)	59.9 (13Mb)	176 (94.1.20)	53/1	34/30
1994년 KITSAT-2	5.1 (512 Kb)	58.4 (12Mb)	558 (94.12.12)	148/98	2/2
1994년 KASCOM	4.0 (2Mb)	29.5 (8Mb)			

수 있다. 램 디스크의 경우, SEU가 발생한 address 를 살펴보면 1300 km 고도의 우리별 1호에서는 single-bit multiple-byte error(SBit, MByte)가 자주 발생하였고 800km 고도의 우리별 2호에서는 multiple-bit single-byte error(MBit, SByte)가 자주 발생하였다.

이는 우리별 2호가 위치한 800km 고도가 trapped proton의 영향을 덜 받는 대신 고위도 지역에서 더 높은 에너지인 cosmic-ray의 영향을 받기 때문인 것으로 생각된다. 또한 우리별 2호의 OBC와 KASCOM의 프로그램 메모리를 비교하여 단위 byte당 환산하여 보면 monolithic RAM인 OBC의 SEU 발생률이 Hybrid RAM인 KASCOM에 비해서 5배쯤 높은 것을 알 수 있다. KASCOM의 RAM은 우리별 2호의 OBC와 다른 것을 사용하여 절대적인 비교는 어려우나 우리별 1호와 2호의 궤도 차이에 따른 비교에서 얻은 결과에서도 보듯이 Hybrid RAM이 monolithic RAM에 비해서 방사선 영향을 적게 받는다고 말할 수 있다.

4. 태양전파 관측자료 분석처리 S/W 개발 및 자료분석

호주의 Culgoora와 일본 Hiraiso등 우주환경 예보

를 수행하고 있는 각국의 연구소들은 1990년 초부터 태양전파폭발의 각 유형을 분류하고 특성을 연구하기 위해 광대역 전파분광 시스템을 갖추고 관측된 자료를 우주환경변화에 대한 연구에 적용하고 있다. 전파연구소에서도 태양전파, 지자기 및 전리층을 관측함으로써 지구근접 우주환경의 변화를 모니터하고 연구하는 업무를 수행하고자 1995년 이천분소에 30MHz에서 2500MHz의 태양전파를 관측할 수 있는 전파분광시스템을 설치하였다. 각각 세 개의 주파수 대역을 관측할 수 있는 자동추적 안테나로 일출에서 일몰까지 상시관측 된 태양전파는 라디오, TV 등과 같은 인공잡음들과 함께 섞여 Hybrid-combiner, BPF (Band Pass Filter), 그리고 LNA (Low Noise Amplifier)를 거쳐 스펙트럼 분석기에 전달되도록 설치되었다. 그러나 이렇게 수신된 전파데이터를 수집, 저장하고 분석 처리할 수 있는 운용 소프트웨어의 부재로 인해 전파폭발을 연구하기 위한 실질적인 관측연구가 수행되지 못하였다. 이에 본 연구에서 윈도우즈 프로그래밍 기법과 IDL(Interactive Data Language)을 이용하여 안테나의 제어, 전파관측자료의 취득 및 분석이 가능한 소프트웨어를 독자적으로 개발했다. 이로써, 우주환경예보를 위한 본격적인 태양전파관측연구가 가능해졌으며, 개발된 소프트웨어들을 이용하여

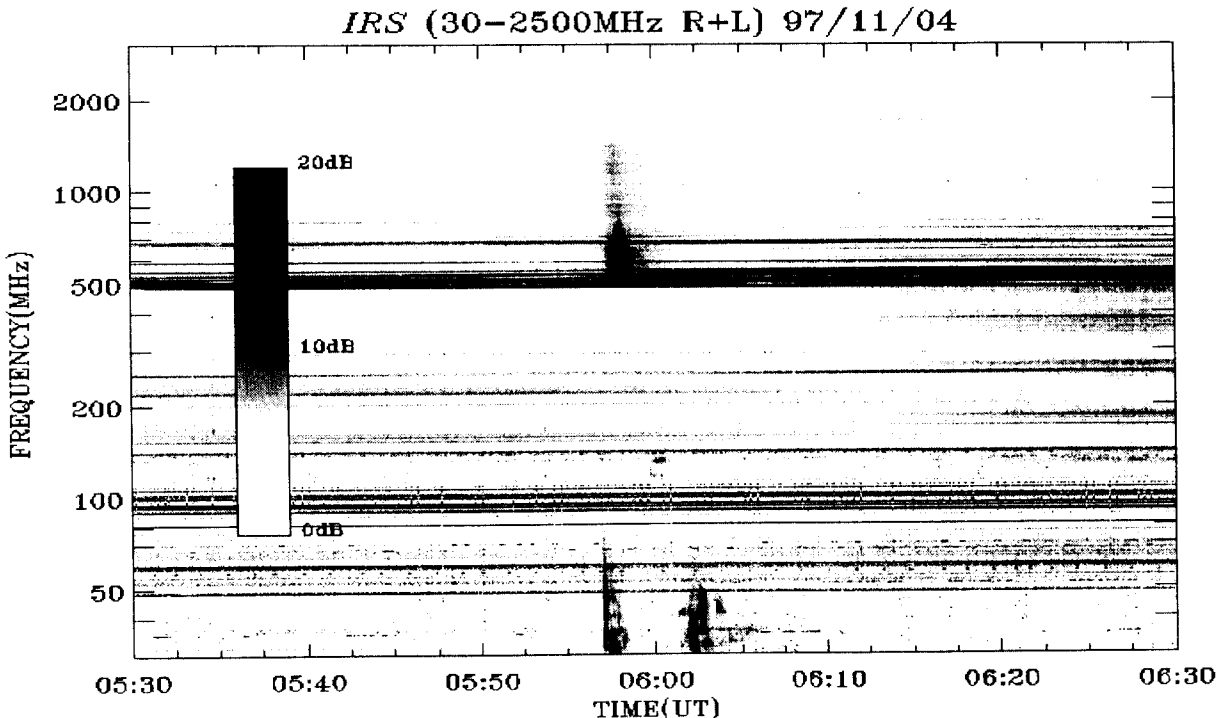
시험 관측해 본 결과 연속적으로 발생한 3개의 TYPE III burst를 관측할 수 있었다.

수신된 태양전파자료의 컴퓨터처리를 위해 미국 National Instrument 사의 NI-488.2 GPIB(General Purpose user Interface Bus) 카드를 이용하여 스펙트럼 분석기를 제어하고 데이터를 취득하였다. PC에서 GPIB를 통해 각각의 스펙트럼 분석기로 수신되는 데이터는 ASCII 코드와 Binary 코드의 형태로 취득이 가능한데 데이터 취득시간을 최소화하기 위해 본 연구에서는 이진 코드(binary code)로 데이터를 취득하였다. 각 스펙트럼 분석기에서 취득된 이진코드의 개수는 701개이며 각각의 코드는 상위 1바이트와 하위 1바이트로 구성되어 있고 6대의 스펙트럼 분석기로부터 전체 대역의 데이터 취득을 하는데 걸리는 시간은 약 2초이다. 그리고 30MHz에서 2500MHz의 연속된 스펙트럼을 얻기 위해 각 대역 이내의 스펙트럼만을 선택하여 연결 처리하였다. 또한 소프트웨어의 GUI에서는 실시간

으로 들어오는 자료를 보여주게 하였다. 그러면서 내부적으로는 계속적으로 GPIB의 상태를 점검하면서 통신을 하게 했다.

다른 작업보다도 많은 부하가 걸리는 이 두 가지 작업을 멀티태스킹으로 처리하지 않으면 GPIB통신이 끊기는 빈도가 잦아지거나 GUI에 나타나는 스펙트럼이 불연속적으로 나타나는 현상이 발생하게 된다. 이렇게 되면 심하게 불규칙적으로 자료획득을 하게 되는 위험성이 있다. 또한 계속적으로 작업이 밀리는 일이 발생할 경우 시스템이 전체가 멈춰버리는 일이 발생할 수도 있다. 그래서 멀티쓰레드(multi-thread)를 구현하여 완벽한 다중 프로그래밍(multiprogramming) 작업을 수행하였다. 이런 방법을 사용하게 되면 Windows NT 환경에서 선점형(preemptive) 방식으로 처리된다. 구현한 결과, 일본의 히라이소(Hiraiso) 관측소에서 3-6초로 자료 획득하는 것에 비해 보다 월등한 성능을 보였다. 이전의 시스템에서는 약 2초정도 보통 2초 이내

(그림 3) 1997년 11월 4일 06시경 관측된 TYPE III burst



자료 획득, 자료 연결, 자료 저장까지가 모두 처리가 완료된다. 이 시간이 스펙트럼 분석기(spectrum analyzer)에서 자료 처리하는데 걸리는 시간보다는 길어야 한다. 스펙트럼 분석기에서의 자료 처리 시간은 1초 이내이다. 여기서 또한 중요한 것은 스펙트럼 분석기로부터 들어오는 자료들의 값은 유닉스(UNIX)에서 사용하는 빅엔디언 형식(big-endian format)을 사용한다. 그래서 IBM 계열의 컴퓨터에서는 상위 비트와 하위 비트를 바꾸는 스왑(swap) 처리를 해주어야 IBM 계열의 컴퓨터에서 처리할 수 있는 수치들이 된다.

이렇게 받아들인 값들이 파일로 저장되어질 때에도 빅엔디언 형식(big-endian format)으로 모든 수치를 저장하게 된다. 이렇게 함으로서 자료 획득과 실시간 GUI의 처리가 끝났다. 매 2초마다 30~2500MHz 전체 대역에서 취득된 데이터를 실시간으로 보여주는 부분과 관측데이터의 안정성을 확보하기 위해 TV와 FM 라디오 방송과 같은 인공 잡음의 영향을 받지 않는 200MHz와 500MHz에서 수신되는 전파 신호세기의 변화를 시간에 따라 모니터 하는 부분 그리고 안테나의 위치와 제어를 위한 부분 등으로 구성되어 있다. 관측 저장된 데이터는 1시간마다 날짜와 시간을 그 이름으로 하는 파일로 저장된다.

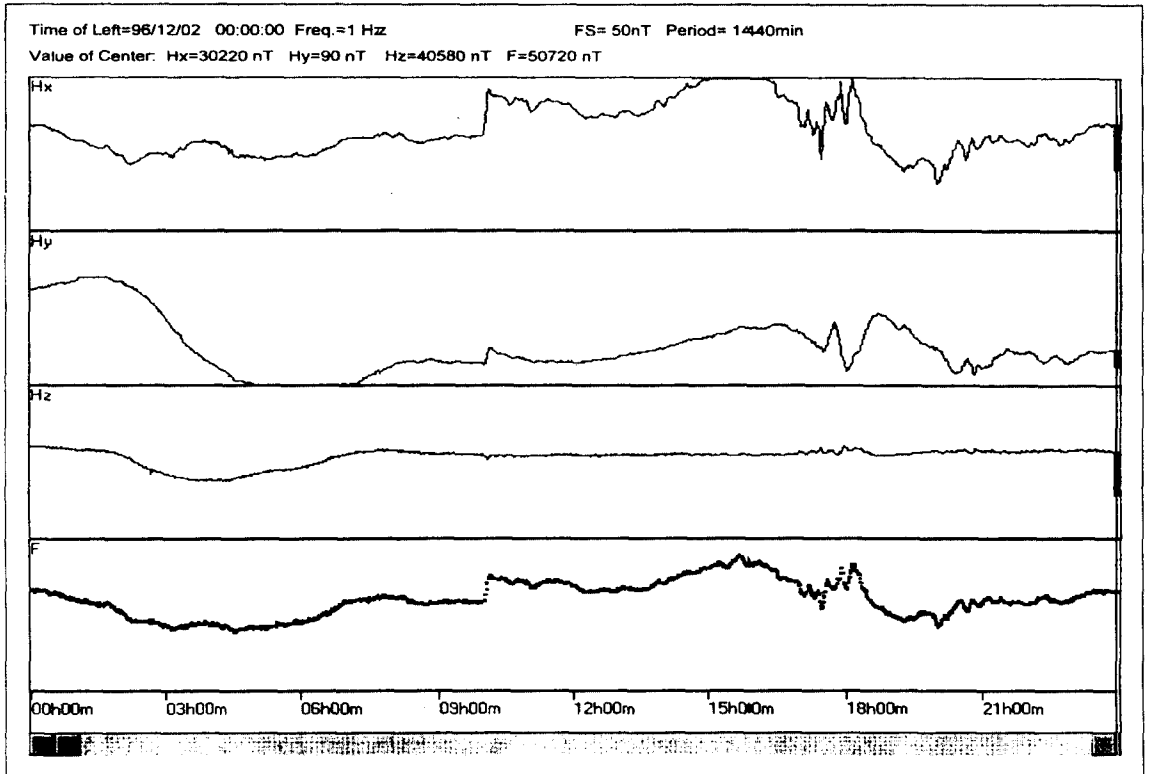
관측된 태양전파 데이터를 처리하여 전파폭발의 유형과 특징을 규명하기 위해서는 수평축은 시간(UT)이고 수직 축은 주파수(MHz)인 동적 스펙트럼(dynamic spectrum)을 만들어야 한다. 동적 스펙트럼 속에 나타나는 전파폭발을 명확히 하고 그 미세구조를 자세히 구분하기 위해서는 첫째, 태양 배경전파를 제거해야 하며 둘째, 태양전파와 함께 수신되는 인공잡음을 제거하고 셋째, 동적 스펙트럼의 세기와 명암을 임의로 조절할 수 있어야 한다. 일본의 Hiraiso와 호주 의 Culgoora 연구소에서 관측된 태양전파 분광 데이터와 마찬가지로 이천분소의 관측 데이터 속에는 TV, FM 라디오 방송 등의 인공잡음이 포함되어 있다.

그림 3은 최근에 시험 관측을 통하여 관측된 전파 폭발을 개발된 소프트웨어를 이용, 처리한 결과로 1997년 11월 4일 UT 6시경에 연속적으로 발생한 세 개의 TYPE III burst를 성공적으로 관측할 수 있었다. 그 동적 스펙트럼을 자세히 살펴보면 최초 UT 5시 57분에 시작하여 약 80MHz에서 30MHz 이하로 급격히 주파수가 표류하는 TYPE III burst의 발생 후 1분 이내에 또 다시 2500MHz 이상에서 비교적 약하게 발생하여 700MHz 근처로 표류하는 강력한 TYPE III burst가 관측된다. 그리고 TYPE III burst가 발생하여 5분이 지난 후 70MHz 근처에서 시작하는 제 3의 TYPE III burst 집단을 뚜렷이 볼 수 있어 태양의 플레어가 폭발하였다는 사실을 확인할 수 있었다.

5. 지자기 관측자료 자료분석

태양은 매우 활발한 활동을 하는 천체이다. 모든 지구 에너지원의 근원이므로 태양의 활동은 지구에 많은 영향을 끼치게 된다. 태양에서는 많은 양의 입자들이 행성간 공간으로 뿜어져 나오고 있는데, 이를 태양풍이라고 한다. 태양풍이 지구에 도착하기까지는 약 2,3일 정도가 걸리게 되는데, 이러한 태양풍과 지구 고유의 자기권이 평형상태를 이루어 지구의 자기권은 일정한 형태를 유지하고 있을 수 있게 된다. 그러나 태양의 활동이 갑자기 활발해져 거대한 플레어들의 발생에 의하여 입자들의 방출이 많은 경우에는 지구 주변의 자기권의 모습은 심하게 일그러지게 되어, 자기구권계면(magnetopause)이 태양풍에 밀리게 되어 플라즈마권계면(plasmapause)까지 들어오게 되는 경우도 생기게 된다. 이러한 경우에는 지구 주변을 돌고 있던 인공위성들에게 치명적인 영향을 미치거나 지상의 통신 현상이 두절되는 경우도 생기게 된다. 실제로 많은 보고서에 이러한 사례들이 보고되고 있다. CME(Coronal Mass Ejection)란 태양의 플레어가 발생하면서 거대한 입자덩어리를 방출하는 현상을 말한다. CME 현상은 단순하게 태양의 활

(그림 4) 1996년 12월 2일 용인 관측소 지자기 데이터



동의 한 부분이라는 측면도 있겠지만, 현재의 위성들에게 많은 영향을 끼치게 되므로 많은 연구기관들은 CME 발생에 대한 예보와 경보를 함께 해 나가고 있다.

그림 4는 1996년 12월 2일 용인에서 관측한 지자기 자료이다. 가로축은 시간(UT), 세로축의 한칸은 50nT 단위를 나타내며, Hx, Hy, Hz는 H, D, Z를 각각 의미하고 F는 지자기의 절대치인 프로톤센서의 데이터이다. 10시경에 태양의 CME(Coronal Mass Ejection)에 의한 shock이 양쪽의 관측소에서 관측되었다.

태양에서 flare가 발생되면 자신이 가지고 있던 물질 덩어리를 밖으로 내뿜는 것을 CME(Coronal Mass Ejection)이라 한다. 이것의 초기속력은 약 270Km/s 정도이며 초음속(supersonic)으로 가속되어 지구에 도달된다. 미국 SEL 연구소에 따르면,

이날 13개의 solar flare가 발생하였다.

위에서 관측한 CME가 발생하였을 무렵, WIND 위성은 태양과 지구사이에 위치해 있었고 지구로부터 약 10RE (RE:지구반경, 6,380Km)에 위치해 있었으며, GEOTAIL 위성은 지구에서 태양반대편에 위치해 있다. 이들 각각의 위성에서 관측한 데이터들을 함께 비교하여 이때의 shock speed를 대략적으로 계산할 수 있다.

태양 방향에 있던 WIND 위성은 같은 현상을 관측소보다 약 2분 정도 먼저 관측하였으며, 태양 반대방향의 GEOTAIL 위성에서는 약 1분 정도 늦게 관측되었다. 이때의 shock speed는 위성과 관측소간의 거리와 시간차(관측시간)로 대략적으로 계산해 보면 약 530Km/s 정도이다. 이렇듯 위성과 관측소에서의 관측결과를 토대로, 태양으로부터의 shock이 지구까지 전파되는 경로를 직접적으로 확

인할 수 있었다.

6. 결론

본 연구에서는 안정적인 위성 통신을 위한 우주 환경 감시 및 우주 환경 예보를 목적으로 수행한 위성, 태양, 및 지자기 관측 자료의 확보와 이용 방안에 대하여 고찰하였다. 이들은 일기예보에 있어서 각 관측소에서 측정된 기상 자료를 수집하는 것에 비교될 수 있으며 기상 예보에서와 마찬가지로 이들 자료를 이용하여 예보를 실시하려면 적당한 수치적 모델이 필요하다. 우주 환경 예보는 기상 예보보다 더욱 쉽지 않은데 그 이유는 더 넓은 공간을 대상으로 한다는 점 외에 근본적으로 하전 입자가 영향을 미치는 물리적 현상이라 그 세부 기작이 아직도 잘 알려져 있지 않기 때문이다. 따라서 우주 환경 감시 및 예보를 성공적으로 수행하려면 보다 많은 자료의 수집과 더불어 우주 환경의 물리적 현상 이해와 이를 모델에 적용할 수 있는 노력이 동시에 필요하다. 한편 우주 환경에 의해 위성이 받는 효과를 연구하는 것은 위성의 부품에 대한 성능 연구를 포함하는 것이라 그 인과 관계를 정립하는 것은 더욱 어렵다. 예를 들어 최근에 일어난 여러 통신 위성의 고장이 왜 그 위성에만 국한되고 동시에 운용되고 있던 다른 위성에는 영향을 미치지 않았는지 그 이유를 밝혀 내는 것은 쉽지 않은 일이다. 우주 환경 예보를 기상 예보 만큼 진전시키기 위해서는 향후 전 세계적인 많은 연구가 필요할 것이다.

본 연구는 1997년도 전파연구소의 연구비 지원을 받아 수행된 연구과제입니다.

민 경 옥

- 1978년 2월 : 서울대학교 물리학 이학사
- 1985년 10월 : 프린스턴 대학 천체물리학 이학박사
- 1985년 10월 : 라이스대학 연구원
- 1986년 12월 ~ 현재 : 한국 과학기술원 정교수

김 갑 성

- 1978년 2월 : 서울대학교 학사
- 1984년 3월 : 일본 교토 대학 석사
- 1988년 1월 : 일본 교토 대학 박사
- 1988년 1월 : 일본 히다 천문대 연구원
- 1988년 3월 ~ 현재 : 경희대학교 우주과학과 정교수

이 동 훈

- 1985년 2월 : 서울대학교 물리학 이학사
- 1990년 8월 : 미네소타대학교 물리학 이학박사
- 1992년 2월 : 천문 우주과학연구소 선임연구원
- 1996년 4월 ~ 현재 : 경희대학교 우주과학 부교수