J. Astron. Space Sci. 14(2), 320-329 (1997)

이천 태양전파 분광시스템 및 운용 소프트웨어 개발[1]

조 경 석 · 이 근 호
정보통신부 전파연구소 이천분소

김 갑 성
경희대학교 우주과학과

ICHON SOLAR RADIO SPECTROGRAPHIC SYSTEM AND DEVELOPMENT OF ITS OPERATION SOFTWARE

K. S. Cho, G. H. Lee
Ichon Branch of Radio Research Laboratory, Ministry of Information and Communication
kscho@solaradio.rrl.go.kr

K.-S. Kim
Department of Astronomy and Space Science, Kyung Hee University

(Received October 31, 1997; Accepted November 20, 1997)

요 약

전파연구소 이천분소에는 각각 세 개의 안테나로 30MHz~2500MHz대역의 태양전파를 관측할 수 있는 광대역 태양전파분광시스템이 1995년에 설치되었다. 그 동안 태양전파 데이터를 수집 분석할 수 있는 소프트웨어가 없어 실질적인 관측이 이루어지지 않았으나 본 연구에 의해 운용 소프트웨어가 개발됨으로써 본격적인 태양전파관측 연구를 수행할 수 있게 되었다. 개발된 운용 소프트웨어를 시험 이용한 결과 1997년 11월 4일 06시경(UT)에 연속하여 발생한 3개의 TYPE III Burst에 대한 양질의 관측자료를 얻을 수 있었다. 본 논문에서는 전파연구소 이천분소의 광대역 전파분광시스템을 소개하고 태양전파 데이터의 취득, 처리 및 분석을 위해 개발한 소프트웨어와 이를 통해 관측된 결과에 대하여 설명한다.

ABSTRACT

A solar radio spectrograph for monitoring solar radio emission was installed at Ichon branch of Radio Research Laboratory in 1995. The spectrograph consists of three different antennas to sweep a wide band of frequencies in the range of 30MHz ~ 2500MHz. We have developed the operating software for the acquisition and the analysis of solar radio data obtained by solar radiospectrograph in order to carry out active solar radio observational studies. It was found that by using our software, we could have very good

[1]본 연구비는 정보통신부 전파연구소에 의해 지원되었음

solar radio data for a sequence of three TYPE III bursts observd on 4 Nov. 1997. In this paper, we show the radio spectrograph and the result of the observation by its operating sofrware.

1. 서 론

지자기 및 전리층은 대부분의 경우 플레어와 같은 폭발성 태양활동에 의해 태양-지구간의 우주공간으로 방출되는 전파폭발(radio burst), X-선, 충격파, 고에너지 입자 등의 영향을 받게된다. 따라서 태양전파폭발 관측에 의한 태양플레어 연구는 광학, EUV, X선 관측과 더불어 우주환경 연구(Prestage *et al.* 1994)에 반드시 요구된다. 태양 전파폭발현상은 플레어 발생 직후 수분내에 뒤따르는데 관측된 스펙트럼의 유형과 구조, 그리고 지속시간에 따라 그림 1에서와 같이 크게 다섯 가지 유형으로 분류되어 연구(Wild *et al.* 1963, McLean *et al.* 1985)되고 있다.

호주의 Culgoora와 일본 Hiraiso 등 우주환경 예보를 수행하고 있는 각국의 연구소들은 1990년 초부터 태양전파폭발의 각 유형을 분류하고 특성을 연구하기 위해 그림 2에 나타난 바와 같이 광대역 전파분광 시스템을 갖추고 관측된 자료를 우주환경 변화에 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. 그림 3에 나타난 바와 같이 각각 세 개의 주파수 대역을 관측할 수 있는 자

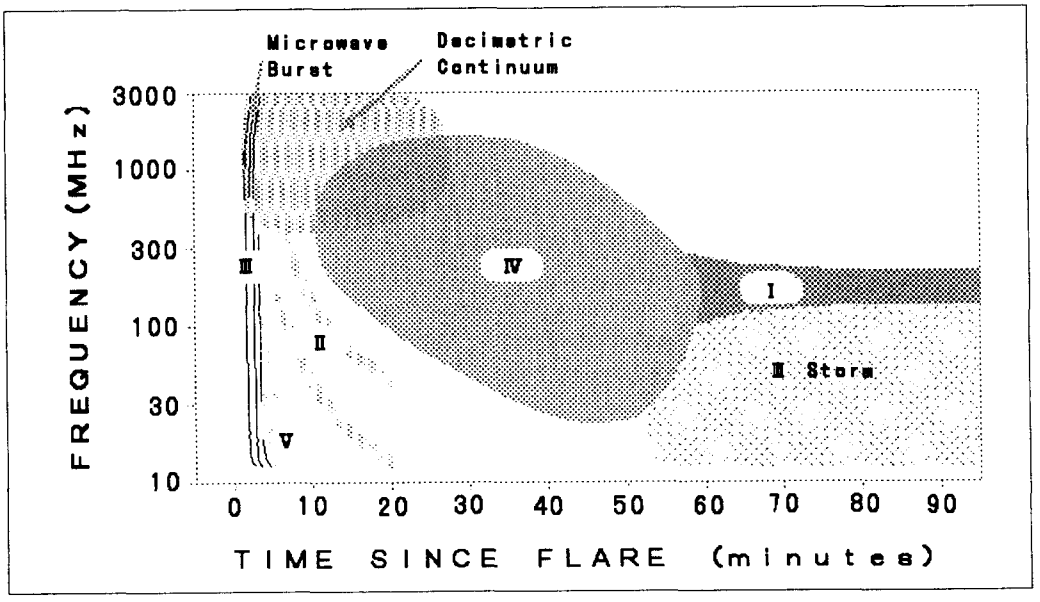

그림 1. 플레어 발생 후 출현하는 전파 폭발의 유형분류.

동추적 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 전달된다.

그러나 이렇게 수신된 전파데이터를 수집, 저장하고 분석 처리할 수 있는 운용 소프트웨어의 부재로 인해 전파폭발을 연구하기 위한 실질적인 관측연구가 수행되지 못하였다. 이에 윈도우즈 프로그래밍 기법과 IDL(Interactive Data Language)을 이용하여 안테나의 제어, 전파관측자료의 취득 및 분석이 가능한 소프트웨어를 독자적으로 개발함으로써 우주환경예보를 위한 본격적인 태양전파관측연구가 가능해졌다. 개발된 소프트웨어들을 이용하여 시험 관측해 본 결과 연속적으로 발생한 3개의 TYPE III burst를 관측할 수 있었다.

본 연구에서는 태양전파폭발 관측을 위한 전파분광 시스템의 구성과 특성에 대해 설명하고 원활한 안테나 운용과 관측데이터의 수집, 저장, 분석을 위해 개발된 운용 소프트웨어 그리고 이를 이용한 시험 관측결과를 논하고자 한다.

2. 시스템 구성 및 특성

전파연구소 이천분소의 태양전파분광시스템은 그림 3과 같이 30~100MHz, 100~500MHz, 그리고 500~2500MHz의 주파수대역을 수신할 수 있는 안테나들(Ichon Radio Spectrograph ; IRS-1, IRS-2,

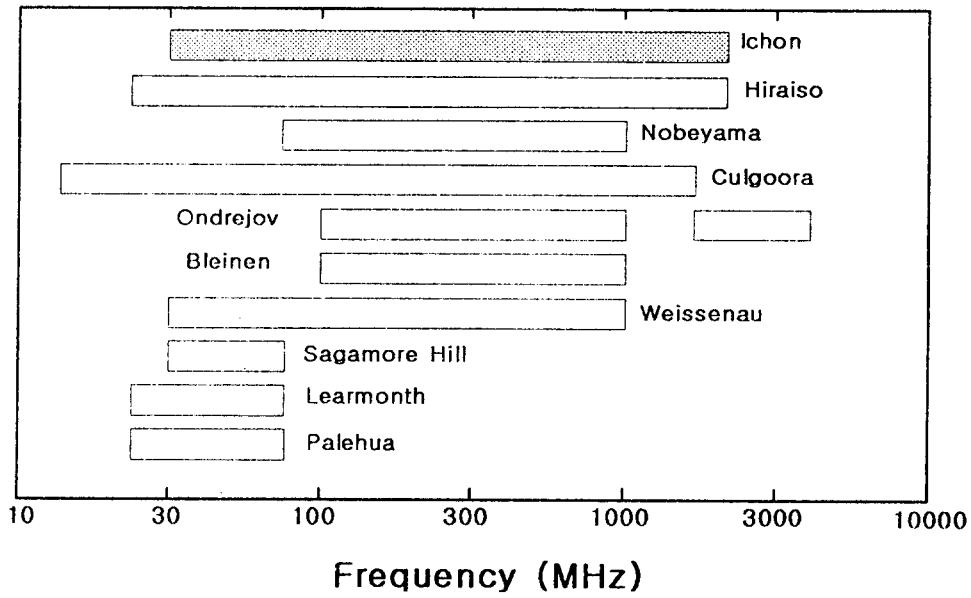

그림 2. 전파분광 관측시스템을 운영하는 연구소들의 전파관측 대역분포.

IRS-3)과 스펙트럼분석기(R4131D)로 구성되어 있다. 이들 안테나는 일출에서 일몰까지 구동컴퓨터에 의해 계산된 태양의 방위각과 고도좌표를 따라 자동으로 구동되고 있으며 구동범위는 방위각 ±175°, 고도 -5°에서 +185°이며 ±0.005°의 구동정확도를 갖는다.

IRS-1은 30~100MHz의 대역을 수신할 수 있는 15개의 소자로 구성된 교차 대수주기 안테나이며 HPBW(Half Power Beam Width)는 60°이고, 이득(gain)이 10.33dB로서 직교하는 두 성분의 직선편파를 수신한다. 수신된 좌·우 직선편파는 90°광대역 Hybrid-combiner를 거치면서 좌·우 원편파로 바뀌게 된다. 이 좌·우 원편파는 수신대역 밖에서 특히, 저주파영역에서 강한 잡음의 영향을 받지 않기 위해 30~100MHz의 BPF를 거치게 되며 45dB의 이득을 갖고 잡음지수가 1.3dB인 LAN을 통해 증폭된 후 각각 스펙트럼 분석기에 입력된다.

또한 IRS-2는 100~500MHz의 수신대역을 갖는 구경 10m의 Mesh형 파라볼라 안테나로서 초점부에 20개 소자로 구성된 교차 대수주기 피드 안테나가 부착되어 있고 100MHz와 500MHz의 HPBW는 각각 20°와 4.1°이고 이득은 17.5dB, 31.4dB이다. 수신된 좌·우 직선편광성분은 90° 광대역 hybrid-combiner를 거쳐 이득이 45dB, 잡음지수가 1.6dB인 LNA를 통해 증폭되어 스펙트럼 분석기에 입력된다. IRS-3은 500~2500MHz의 수신대역을 갖는 구경 6.4m인 24개의 알루미늄 패널로 구성된 파라

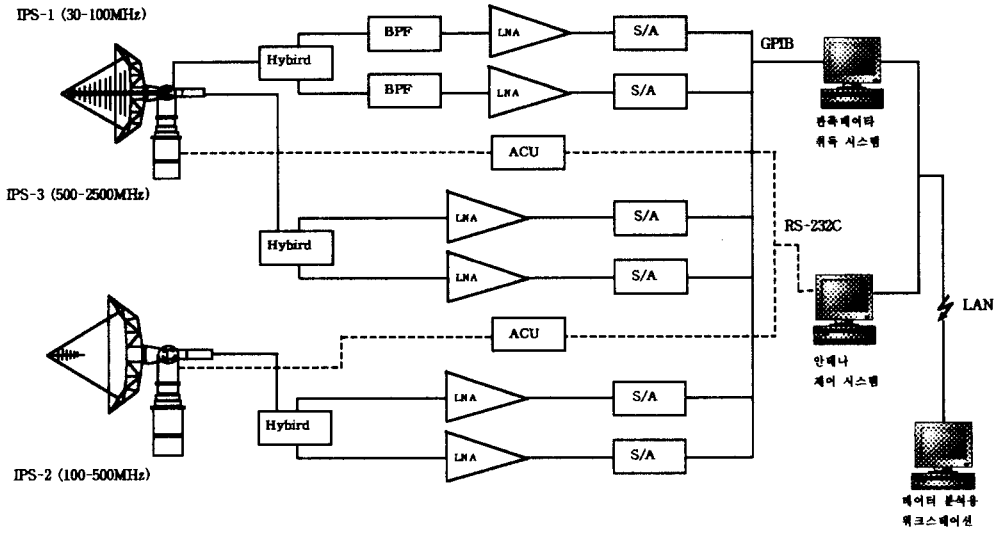

그림 3. 전파연구소 이천분소의 광대역 전파분광시스템 구성도.

볼라 안테나이다. 초점부에 23개 소자로 구성된 교차 대수주기 안테나가 부착되어 있으며 500MHz와 2500MHz에서의 이득은 27dB, 40.8dB이고 HPBW는 6.8°와 1.4°이다. IRS-2와 마찬가지로 수신된 좌·우 직선편파는 90° 광대역 Hybrid-combiner를 거쳐 이득이 32dB, 잡음지수가 2.0dB인 LNA를 통해 증폭된 후 스펙트럼 분석기에 입력된다. 이렇게 수신된 30MHz에서 2500MHz의 전파 데이터 속에는 태양에서 방출되는 전파외에도 TV, 라디오 등의 인공잡음이 함께 섞여 있다. 이러한 잡음들은 특히 태양의 추적이 원활히 수행되지 않으면 관측데이터의 막대한 장해를 주기 때문에 안테나들의 정확한 태양추적상태를 모니터하고 이를 조정하는 일은 매우 중요하다.

3. 운용과 데이터 취득

일상적인 안테나의 태양추적은 구동 컴퓨터(미국 Comsat의 Model 100V)에 의해 자동으로 이루어진다. 그러나 구동 컴퓨터의 기능은 실제 태양관측을 위해 제작된 것이 아니라 위성추적용을 변형한 것으로 태양전파관측환경에 맞는 제어 소프트웨어가 요구되며 안테나의 추적상태를 모니터하고 추적오류를 조정하는 기능을 수행하기 위해 구동 컴퓨터와의 통신이 필수적이다. 구동 컴퓨터의 운용 체계인 Model 100V는 RS-232C 및 RS-442 통신 프로토콜을 지원하는데 윈도우 환경에서 운용되는 소프트웨어를 위해 RS-232C 프로토콜을 바탕으로 Win32의 통신제어에 관한 API(Application Program Interface)를 사용하였다. IRS-1과 IRS-3을 위해 COM1을, IRS-2는 COM2를 통신포트로 설정하였다. RS-232C 통신을 위해 상호 간의 데이터의 전송환경을 baud rate는 9600, data bit는 7bit, stop bit는 1 bit로 각각 맞추고 STAT, SUNO와 같은 Model 100V의 운용지침서(Comsat RSI. 1995)에 수록된 명령을 이용하여 전달하고 안테나의 방위각과 고도 등의 정보를 전달받는다. 또한 안테나의 옵셋 설정을 통한 안테나 제어도 이와 같은 방식으로 수행하게 된다.

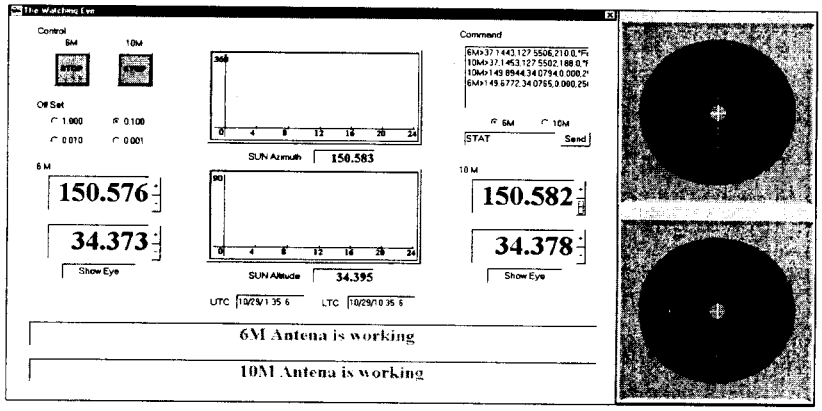

그림 4. 안테나 제어와 모니터링을 위해 개발된 운용 소프트웨어.

표 1. 스펙트럼 분석기(R4131D)의 수신환경 설정.

설정	IRS-1	IRS-2	IRS-3
Resolution bandwidth	100 kHz	300 kHz	1MHz
Video bandwidth	3kHz	10 kHz	10 kHz
Sweep time	0.5 sec	0.5 sec	0.5 sec
Frequency time	30 - 100 MHz	100 - 500 MHz	500 - 2500 MHz
Detector mode	sample	sample	sample

그림 4는 안테나 추적상태를 모니터하고 추적 오차를 복구할 수 있도록 개발된 안테나 운용 소프트웨어이다. 운용 소프트웨어는 IRS-1과 IRS-2의 태양 추적과 정지를 수행하는 콘트롤 부와 안테나 옵셋 설정을 위한 옵셋 부, 각각의 안테나들의 방위각과 고도 좌표를 보여주고 조정하는 기능과 명령어를 입력하여 제어하는 부분, 그리고 안테나 추적상태를 모니터할 수 있는 두 개의 창으로 구성되어 있다. 이 모니터 창에는 각각 IRS-1의 2500MHz에서 1.4°의 HPBW을 표시하는 원과 IRS-2의 500MHz에서 4.1°의 HPBW을 나타내는 원이 보이고 있다. 이는 HPBW내에 태양이 위치하는지를 모니터하고 안테나의 옵셋조정을 정확히 하기 위해 쓰이게 된다. 1.4°와 4.1°를 선정한 이유는 파라볼릭 안테나의 특성상 높은 주파수 쪽으로 갈수록 안테나의 HPBW가 좁아지므로 안테나들의 최대 수신 주파수에서의 HPBW을 선정하므로써 태양에서 방출되는 전파를 최대한 수신할 수 있게 하기 위해서이다.

수신된 태양전파자료의 컴퓨터처리를 위해 미국 National Instrument사의 NI-488.2 GPIB(General Purpose user Interface Bus) 카드를 이용하여 스펙트럼 분석기를 제어하고 데이터를 취득하였다. NI-488.2 구동 드라이버에는 GPIB제어를 용이하게 수행할 수 있도록 gpib.dll 혹은 decl-32.dll과 같은 라이브러리들을 제공하는데 이를 이용하고 GPIB 제어가 가능한 스펙트럼 분석기의 자체 GPIB 코드(Advantest Co. 1988)를 이용하여 6대의 스펙트럼 분석기의 수신환경을 관측대역에 따라 표 1과 같이 설정하였다. PC에서 GPIB를 통해 각각의 스펙트럼 분석기로 수신되는 데이터는 ASCII 코드와 Binary 코드의 형태로 취득이 가능한데 데이터 취득시간을 최소화하기 위해 본 연구에서는 이진코드(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 3초이다. 그리고 30MHz에서 2500MHz의 연속된 스펙트럼을 얻기 위해 각 대역 이내의 스펙트럼만을 선택하여 연결 처리하였다. 그림 5는 실시간 전파분광 자료 취득용 프로그램으로 매 3초마다 30~2500MHz 전체 대역에서 취득된 데이터를 실시간으로 보여주는 부분과 관측데이터의 안정성을 확보하기 위해 TV와 FM 라디오 방송과 같은 인공잡음의 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. 표 2에서와 같이 헤더에는 관측 날짜와 관측 시작 시각, 종료 시각 등의 데이터에 관한 정보가 들어있으며 바디는 데이터 취득 순간의

표 2. 관측데이터 화일의 구조 (yymmddhh.spe).

header(word)	내 용
1~6	관측 시작 시간 : 년, 월, 일, 시간, 분, 초 (UT)
7~12	관측 종료 시간 : 년, 월, 일, 시간, 분, 초 (UT)
14	주파수 축의 형태(=1 : 선형, =2 : 대수(log))
15	시작 주파수 (30 MHz)
16	종료 주파수 (2500 MHz)
17	IRS-1과 IRS-2 사이의 경계 주파수 (100 MHz)
18	30MHz에서 500MHz 사이의 데이터 개수
19	IRS-2와 IRS-3 사이의 경계 주파수 (500 MHz)
20	100MHz에서 2500MHz 사이의 데이터 개수
21~512	사용 안함
body (byte)	**내 용**
1~11	관측 시간 : 년, 월, 일, 시간, 분, 초 (UT)
13	태양의 방위각 좌표 (×10)
15	태양의 고도 좌표 (×10)
23~1775	우 원편광 데이터 (RHCP)
1776~3528	좌 원편광 데이터 (LHCP)

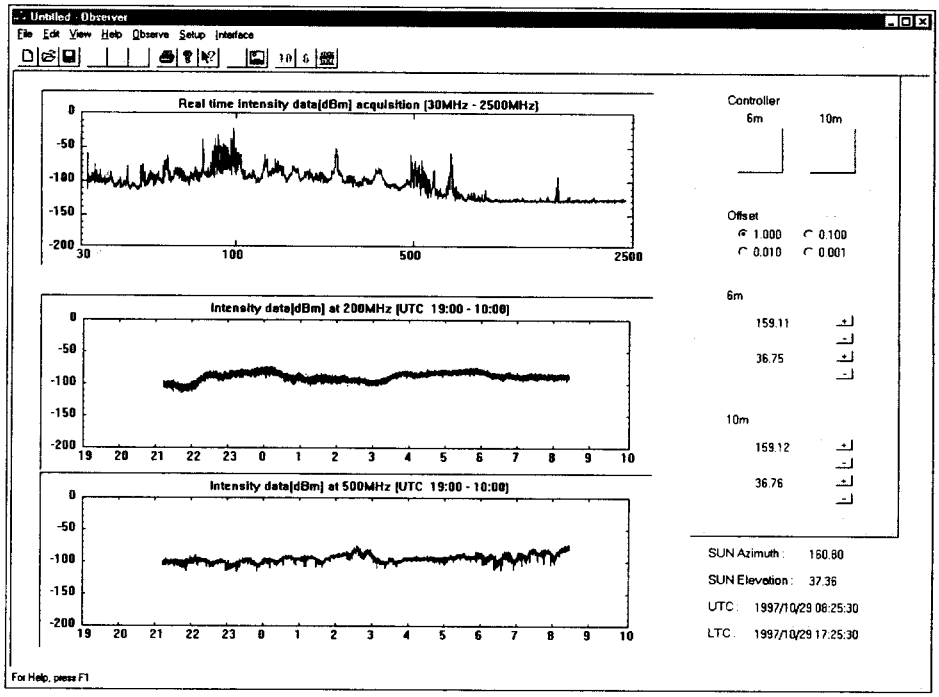

그림 5. 30~2500MHz 실시간 전파분광 자료를 취득하는 소프트웨어.

시각과 태양의 위치좌표, 그리고 1753개의 우원편광 데이터와 좌원편광 데이터 순으로 저장되어 있다.

4. 데이터 처리와 분석

관측된 태양전파 데이터를 처리하여 전파폭발의 유형과 특징을 규명하기 위해서는 그림 1과 같이 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 호주의 Culgoora 연구소에서 관측된 태양전파 분광 데이터와 마찬가지로 IRS의 관측 데이터 속에는 TV, FM 라디오 방송 등의 인공잡음이 포함되어 있다.

이러한 인공잡음을 제거하기 위한 새로운 처리과정은 현재 연구중이며 개발된 분석용 소프트웨어는 IDL(Interactive Data Language)의 Widget을 기초로 하여 제작된 것으로 유닉스 환경에서 운영

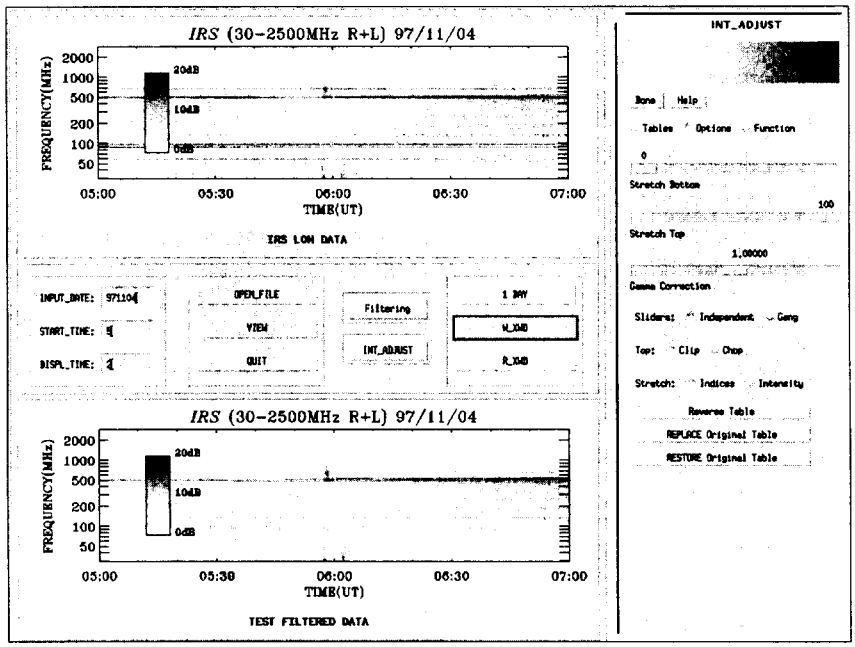

그림 6. 관측된 전파분광데이터의 분석용 소프트웨어.

되도록 만들어졌다. 그림 6은 전파분광데이타의 분석용 프로그램으로 관측 날짜와 시간 그리고 출력시간을 입력하거나 혹은 파일 열기를 통해 선택된 관측데이타의 분석결과가 나타난다. 관측데이터 속의 신호 대 잡음비를 향상시키기 위해 태양전파 데이터에서 태양 배경전파를 제거하고 그 세기를 0 dB에서 20 dB 사이의 색척도로 상대강도를 나타내는 동적 스펙트럼으로 만들어 화면 상에 IRS LOW DATA로 출력한다. 태양 배경전파는 매 시간마다 처음 수신되는 관측 데이터로 결정하여 이용한다. 또한 Low Pass Filtering을 통해 처리된 보다 뚜렷한 스펙트럼 역시 화면 상에 TEST FILTERED DATA로 출력된다. 그리고 이 외에 복잡한 전파폭발의 미세구조를 조사하기 위해 스펙트럼의 세기와 명암을 임의로 조절할 수 있는 기능(INTADJUST)과 간단한 LPF을 수행하는 기능(Filtering), 처리된 데이터를 이미지 화일로 저장하고 읽어들이는 기능(W_XWD, R_XWD) 등과 1일 관측데이터 전체를 출력하는 기능(1 DAY)이 있다.

그림 7은 최근에 시험 관측을 통하여 관측된 전파 폭발을 이러한 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

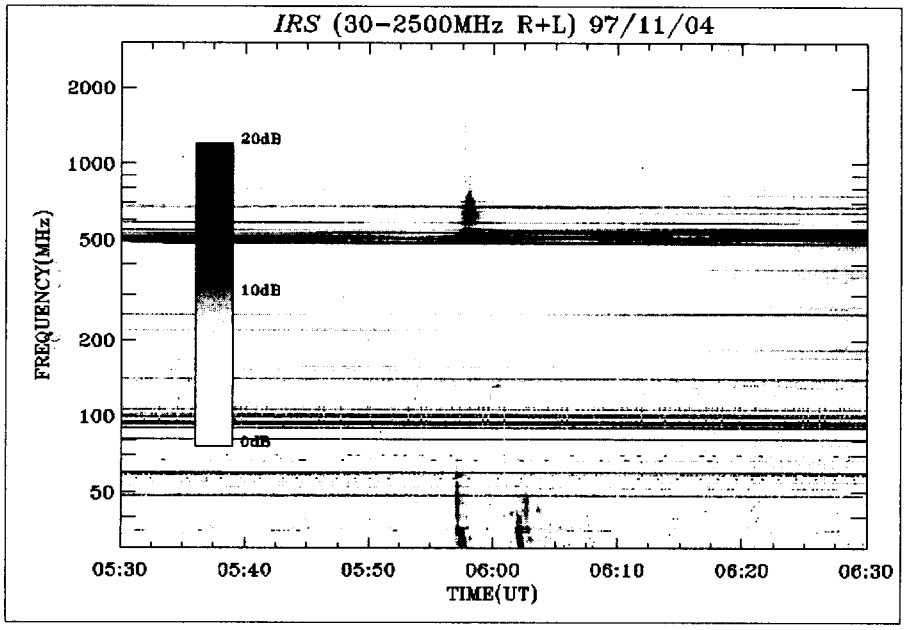

그림 7. 1997년 11월 4일 06시경 관측된 TYPE III burst.

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. 결 론

정보통신부 전파연구소에서는 태양전파폭발을 관측 분석하기 위해 광대역 전파분광시스템을 구축하였다. 이 시스템의 원활한 운영과 데이터 수집, 저장 그리고 분석을 위한 운영 소프트웨어가 개발됨으로서 본격적인 태양전파 관측이 가능해졌고 우주환경 변화에 영향을 주는 전파폭발의 유형과 특성을 연구하기 위한 토대를 마련하였다. 그리고 이들 소프트웨어들을 이용하여 연속적으로 발생하는 세 개의 TYPE III burst들을 성공적으로 관측할 수 있었다.

앞으로 전파연구소 이천분소에서는 인공잡음을 효과적으로 제거하는 방안을 연구하고, 스펙트럼의 패턴을 인식하여 자동으로 전파폭발을 규명함으로서 태양에서 방출되는 충격파의 속도 등과 같은 물리량을 산출하는 소프트웨어를 개발하여 지자기 섭동과 전파폭발과의 상관관계에 대한 연구가 곧 뒤 따라야 할 것이다.

참 고 문 헌

Advantest Co. 1988, Instruction Manual(Advantest Co.: Tokyo)
Comsat RSI. 1995, Operation and Maintenance Manual(Comsat RSI.: Texas)
McLean, D. J. & Labrum, N. R. 1985, Solar Radiophysics (Cambridge University Press: Cambridge)
Prestage, N. P., Luckhurst, R. G., Paterson, B. R., Bevins, C. S. & Yulie, C. G. 1994, Solar Physics, 150, 393
Wild, J. P., Smerd, S. F. & Weiss, A. A. 1963, ARA&A, 1, 291