

## 전파 잡음 측정 장치의 개발 DEVELOPMENT OF A RADIO-NOISE MEASUREMENT SYSTEM

박용선, 남옥원, 공경남, 성현일, 정재훈  
천문대  
(1996. 11. 18 접수)

### ABSTRACT

We have developed a measurement system with which harmful radio noise can be detected. It was designed to cover 1GHz band width centered at 1.5GHz and 22.2GHz (H<sub>2</sub>O line). The system consists of pyramid horn antennas, receivers, equatorial tracking system, spectrum analyzer, and PC for the control of the servo and data taking. As a test of the system, the site of Taeduk Radio Astronomy Observatory (TRAO) was investigated to see if there is any harmful radio interference. It is found that in 22GHz band there is no significant radio noise, but there are identified and unidentified artificial radio signals in 1-2GHz range. However a simple calculation of radiation power shows that it is weak enough not to affect the observations in TRA0.

### 1. 서 론

인공 또는 자연의 전파 잡음을 쫓 수 있는 측정 장치를 제작하였다. 천문대가 계획하고 있는 VLBI (Very Long Baseline Interferometry) 연구의 사전 연구의 하나로 수행되었다. 완성된 장비는 VLBI 안테나가 들어설 지역의 전파 환경을 측정하는데 활용할 계획이다.

일반적으로 전파 천문학에 쓰이는 주파수는 매우 넓은 범위에 걸쳐 있고 CCIR (국제 전파 자문 위원회)는 전파 천문 연구에 매우 중요한 몇몇 주파수 대역은 보호되어야 함을 규정하고 있으나 이것은 권고 수준에 그치고 있다. 그나마 보호받는 주파수 대역은 매우 좁아 적색편이가 매우 큰 천체를 관측하거나 광대역의 연속파 관측을 하는 경우에는 인공 전파에 의한 간섭을 배제하기 힘든 실정이다. VLBI 관측의 경우 전파 간섭의 허용치가 일반 단일 안테나에 의한 것보다 40dB 이상 높기는 하나 연속파 관측의 경우 감도를 높이기 위해 주파수 대역폭을 점차 넓히고 있는 추세이므로 문제가 될 소지가 있다. 우리나라도 근래에 들어서 이동 통신, 위성 통신의 발달과 함께 마이크로파나 밀리미터파 영역의 전파 자원에 대한 수요가 폭발적으로 늘어나고 있다. 또한 전자 레인지나 고속 전철같은 통신과 관련이 없는 것에 의해서도 잡음이 유발(Fisher 1994)될 수 있다. 이들의 사용 주파수뿐만 아니라 체배된 신호도 적절히 걸러지지

않으면 전파 천문 연구 대역에 영향을 미칠 수 있으므로 전파 안테나를 설치하기 전에 후보지의 전파 환경을 조사하는 것이 필수적이라 할 것이다.

2장에서는 측정 장치의 전체적 설계에 관한 내용을 다루고 3장에서는 구동 장치의 제작을, 4장에서는 수신 시스템의 제작을 다루며, 5장에서는 시험 측정 결과를 논한다.

## II. 측정 장치의 설계

측정 장치를 설계할 때의 가장 중요한 요소는 결국 적절한 비용으로 얼마나 감도가 좋은 시스템을 만드느냐이다. 이를 위해서는 안테나의 형태, 수신 방식, 최종 신호 검출기의 형태, 및 구동계의 유무등을 종합적으로 고려해야 한다.

### 1. 수신 주파수 대역의 결정

간섭이 염려되는 주파수 대역은 수신 대역 자체뿐만 아니라 중간 주파 대역 또는 아날로그 신호 처리가 이루어 지는 주파수 대역까지를 포함한다. VLBI 관측이 이루어지는 주파수 대역중에서 우리는 H<sub>2</sub>O 메이저가 나오는 22.2GHz와 SiO메이저가 나오는 43.1GHz대역에서 관측을 수행할 계획이다.

43GHz대역은 적어도 현재까지는 우리나라에서는 개발이 활발하지 않으므로 간섭의 가능성을 배제할 수 있을 것이다. 22GHz대역에서도 역시 전파 간섭의 영향은 무시할 수 있을 것이나, 안심할 수는 없다. 국방의 목적으로 이 주파수 대역이 활용되거나 4-12GHz 범위에서 활용되는 위성 통신 신호가 체배되어 간섭을 일으킬 가능성도 있다. 따라서 22GHz 대역이 우선 관심을 가져야 할 대역이다.

한편 슈퍼헤테로다인 방식으로 전파를 수신하는 경우에는 중간 주파수로서 대체로 1-2GHz 대역을 사용하게 된다. 근래 들어 VLBI 관측에 쓰이는 고속 기록기의 기록 속도가 빨라짐에 따라 샘플링 스피드도 GHz대로 확장되는 경향이다. 따라서 상관(correlation)등이 처리되는 주파수 대역도 이 범위가 된다고 할 수 있다. 중간 주파수 이하의 신호는 잘 차폐된 금속 상자 내부에서 처리되는 것이 보통이나, 수신기에서 중간 주파 처리부까지는 대개는 수십 미터 길이의 케이블을 사용하는 것이 불가피하다. 이 경우 손실이 적고 차폐가 잘 되는 제품을 쓰면, 이론적으로는 외부 전파의 영향을 무시할 수 있지만 실제로는 그렇지 못하다. 이런 것들을 감안하여 수신 주파수 대역을 1-2GHz와 21.7-22.7GHz로 하였다.

### 2. 안테나의 선택

안테나의 종류를 선정하는 데에는 두가지로 생각해 볼 수 있다. 하나는 무지향성 안테나를 사용하여 하늘 전체에서 들어오는 신호를 포착하는 방법이다. 이것의 장점은 안테나를 움직일 필요 없이 신호를 잡는다는 장점이 있으나 신호가 오는 방향을 모르며 일반적으로 안테나 이득이 낮으므로 수신 시스템 전체의 감도가 좋지 않다. 약간의 지향성이 있는 안테나를 3-4개를 동시에 여러 방향으로 배열하면 이런 문제를 해결할 수 있으나 비용이 많이 든다는 단점이 있

다.

또 한가지 방법은 반대로 지향성이 좋은 안테나를 움직여 가면서 신호를 포착하는 방법이다. 이 경우 안테나의 이득이 높으므로 약한 신호까지 검출할 수 있으며 신호가 오는 방향을 알 수 있는 장점이 있다. 반면에 구동 장치를 만들고 이를 제어해야 한다는 단점이 있다. 다행히 천문대에는 스테핑 모터를 사용하는 2축 구동 시스템을 가지고 있으므로 이런 문제를 해결할 수 있다. 또한 VLBI를 포함하는 천문 관측에서 검출하고자 하는 신호는 상당히 약하므로 고감도 측정을 하는 것이 바람직하다. 이런 측면에서 구동계를 갖춘 고이득의 안테나를 선택하는 것이 바람직하다고 판단된다. 지향성을 갖는 여러 형태의 안테나 중에서 저렴하게 만들 수 있는 피라미드 안테나를 택하였다.

### 3. 수신 방식

1-2GHz대역 수신 시스템의 경우 이 대역에서의 저잡음 증폭기는 비교적 싸게 구입할 수 있으므로 이 대역의 수신 방식은 직접 증폭 방식을 택한다. 그러나 22GHz대역 수신 시스템의 경우에는 저잡음 증폭기가 상당히 비싸므로 슈퍼헤테로다인 방식을 택한다. 중간 주파수로 1-2GHz를 택하면 1-2GHz대역 수신 시스템의 부품을 같이 쓸 수 있어 경제적이다. 이 수신 방식을 쓰면 안테나위에서 중간 주파수 신호로 바뀌므로 직접 증폭의 경우에 비해 안테나의 움직임 등에 의한 시스템 전체 이득의 변화가 적다는 등의 잇점이 있다. 직접 증폭의 경우 수 GHz의 광대역으로 수신할 수 있으나 필요한 대역폭이 1GHz밖에 안되는 경우에는 장점이 되지 못한다.

신호를 최종적으로 검출하는 장비로는 필터 बैं크 분광기와 스펙트럼 분석기를 생각할 수 있는데, 현재 천문대가 가지고 있는 필터 बैं크 분광기는 최대 대역폭이 260MHz밖에 되지 않고 크고 무거워서 사용하기에 적합하지 않다. 이에 반해 스펙트럼 분석기는 감도는 떨어지나 대역폭이 수KHz에서 수GHz로 조정이 가능하고 이동성이 좋다.

### 4. 측정 자료 획득과 처리

1-2GHz는 직접 증폭, 22GHz대는 헤테로다인 수신 방식이고 두 경우 모두 최종적으로 1-2GHz대의 신호를 스펙트럼 분석기에 인가한다. 스펙트럼 분석기에 검출된 신호는 GPIB를 통하여 PC로 저장된다. 후에 별도의 자료 처리 S/W를 이용하여 방향성, 신호의 세기, 시간적 변화등을 조사한다.

## III. 구동 장치의 제작

### 1. 구동 컨트롤러의 제작

천문대에서 보유하고 있는 2축 구동 시스템은 적위의식으로 2개의 5상 스테핑 모터와 모터 드라이버, 감속 기어등으로 구성되어 있다. 1펄스당 움직이는 각도는 적경 방향으로 0.0001

도/펄스, 적위 방향으로는 0.000588도/펄스이다. 두축에 위치를 인식하는 센서가 있으나 빔 크기가 7-8도 정도로 매우 크므로 개방 루프(open loop) 방식을 택했다.

구동 시스템을 PC로 제어하기 위해 80c196kc 컨트롤러 보드를 제작하였다. 이 보드는 80c196kc CPU를 이용하며 32KB의 ROM과 32KB의 RAM을 활용할 수 있다. 80c196kc CPU는 16비트 마이크로컨트롤러이며 22개의 인터럽트 소스와 8개의 인터럽트 벡터, 5개의 8비트 입출력 단자등, 매우 다양한 기능을 가지고 있다. 아울러 컨트롤러 보드는 기기의 동작 상태를 모니터할 수 있도록 제어 상태를 표시하는 2행 20문자 LCD 표시기, 안테나 구동 여부를 나타내는 10비트 LED표시기 및 4자리의 7-세그먼트 LED표시기를 가지고 있다.

## 2. 구동 소프트웨어의 제작

원칙적으로 사용자는 구동 컨트롤러를 인식할 필요없이 PC를 통하여 모터를 직접 구동하는 것처럼 해야 한다. 이를 위해 PC에서 받은 제어 코드를 해석하여 이를 모터로 전달하는 프로그램을 작성하여 80c196kc 컨트롤러 RAM에 이식하였다.

PC와의 시리얼 통신은 80c196kc의 내장 인터럽트 기능중의 하나인 수신 인터럽트를 사용하였다. PC에서 제어 코드를 보내면 컨트롤러 측에서는 수신 인터럽트가 발생하고, 인터럽트 벡터 서비스 루틴에서는 컨트롤러 내부에 할당된 링버퍼에 제어 코드를 저장한다. 한편 주 프로그램은 주기적으로 링 버퍼를 검색하여 제어 코드를 해독하여 모터 드라이버를 제어한다.

제어 코드는 모터의 선정, 모터의 기동, 모터의 회전 방향, 모터에 가해지는 펄스 수, 모터 속도등으로 구성되는 문자열이다. PC에서는 하늘을 탐색하는 순서에 따라 제어 코드 문자열을 연속적으로 만들어 컨트롤러로 전달하기만 하면 된다.

안테나는 적경, 적위 방향으로 10도 간격으로 움직이되, 고도 15도 이상의 하늘을 탐색하도록 하였다. 그러면 측정점은 전부 약 230점 정도가 된다. 각 측정점에서는 스펙트럼 분석기에 측정된 자료를 PC로 전송한 후에 다음 위치로 이동하도록 하였다.

## IV. 수신 시스템의 제작

### 1. 혼 안테나의 설계와 제작

1-2GHz대역용의 피라미드 혼은 박종애(1995)의 것을 사용하였다. 개구면의 크기가 94cmx74cm이고 혼의 길이는 104cm이다. 이론적으로 이득은 20dB, 빔크기는 E-필드 방향으로 HPBW(E)=15도, H-필드 방향으로 HPBW(H)=18도이다. 22GHz대역의 것도 같은 방식(Balanis 1982, Johnson 1984)으로 설계하고 제작하였다. 1-2GHz대역의 혼보다는 크게 만들 수 있으므로 이득을 27dB로 하면 개구면의 크기는 13cmx11cm, 혼의 길이는 40cm가 되고 빔크기는 HPBW(E)=7도, HPBW(H)=8도가 된다.

## 2. 수신 시스템의 설계와 구성

1-2GHz대역은 피라미드 혼뒤에 이득과 잡음 지수가 각각 40dB, 2.2dB이고 30dB, 2.2dB인 증폭기 두개를 두고 약 5미터길이의 케이블로 스펙트럼 분석기와 연결된다. 증폭기 사이에는 임피던스 정합을 위해 3dB 감쇄기를 두었다. 22-23GHz대역의 경우에는 USB 모드를 사용하여 20.7GHz의 국부 발진 신호를 내는 GUNN 발진기, 아이솔레이터, 그리고 감쇄기가 국부 발진부를 이루고 이것과 피라미드혼이 믹서에 연결된다. 믹서는 국부 발진부 출력이 6dBm인데서 최적으로 동작하며 변환 손실 6.5dB, 잡음 지수 4.5dB(잡음지수가 1.5dB인 중간주파 증폭기와 함께 측정한 경우의 값)인 특성을 가진다. 국부발진부로 쓰이는 GUNN 발진기는 두 개의 backshort으로 주파수를 조절할 수 있다. LO 주파수 20.7GHz에서 약 22dBm의 출력을 낸다. 이 출력은 상당히 크므로 중간에 있는 가변 감쇄기로 출력을 조정해서 믹서로 보낸다. 아이솔레이터는 국부발진기와 믹서간의 임피던스를 정합시키기 위한 것이다. 이 믹서뒤의 회로는 1-2GHz대역의 것을 그대로 쓰도록 하였다. 그림 1은 수신 시스템의 블록선도를 나타낸다.

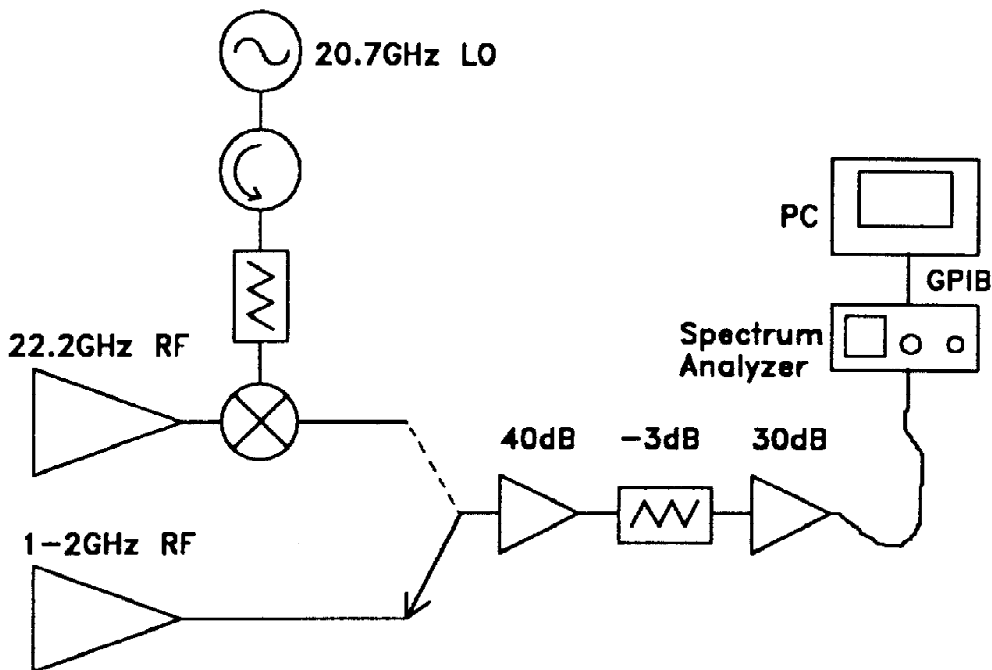


그림 1. 수신 시스템의 블록선도.

## 3. 자료획득 프로그램의 개발

측정의 시작을 구동계에 알리고 각 측정점에서 스펙트럼 분석기의 측정결과를 GPIB를 통해 PC로 읽어 들여 저장하는 윈도우 3.1용 프로그램을 작성하였다. 이 프로그램은 제 3장의 구동 프로그램과 연계되어 측정점으로 이동하고 측정결과를 받아들이고 저장하는 과정을 반복하는 구조로 되어 있다. 프로그램은 80c196kc 콘트롤러 보드와의 통신을 위해 시리얼 포트를 선정하고 초기화하며 GBIP를 통해 스펙트럼 분석기의 측정파라미터를 설정하는 기능을 가지고 있

다. 측정 파라미터로는 측정 주파수 대역(start frequency, stop frequency), 입력 신호에 대한 감쇠량(attenuation), 표시부의 눈금 스케일(Log dB/Div), 표시부 기준 눈금(reference level)의 파워등이 있다. 또한 프로그램은 스펙트럼 분석기와의 통신 상태를 시험할 수 있는 기능을 가지고 있어, 정규적인 측정을 하고 있지 않을 때는, 요구에 의해 스펙트럼 분석기에 측정 명령을 보내고 측정 결과를 바로 화면에 그대로 보여줄 수도 있다. 정규적인 측정 상태에서는 제일 먼저 GPIB 및 RS232 통신 포트를 초기화하고 전천을 탐색하도록 작성된 파일로 부터 제어 코드 문자열을 순차적으로 읽어 80c196kc 컨트롤러 보드를 통하여 안테나를 이동시키면서 각 측정점마다 스펙트럼 분석기의 측정 결과를 받아 PC의 기억 장소에 자동적으로 저장한다.

## V. 시험 측정 및 결론

### 1. 전파 잡음 측정 시스템의 성능 측정

구동계는 전반적으로 잘 작동하였으나 기계적인 문제로 천정 근처에서 북극으로 이동할 때와 북극에서 내려올 때 같은 펄스수에 대해 실제로 이동한 각도가 서로 틀린 경우가 발생하였다. 그러나 이 차이는 약 1-2도 정도로 안테나의 빔크기에 비해 크지 않으므로 문제가 되지 않는다. 적경 방향의 기어비가 적위 방향보다 커서 적경 방향으로 이동하는데 더 많은 시간을 소모한다. 한번 전천을 탐색하는데는 약 1시간이 소요된다. 수신 시스템의 동작은 1-2GHz대역 및 22GHz대역의 미약한 인공 신호를 혼 앞에서 쏘고 이를 스펙트럼 분석기로 검출하는 것으로 확인하였다. 그림 2는 완성된 안테나 및 구동계와 수신 시스템의 모습을 보여준다. 이 시스템은 필요한 경우 어느 곳에 이동해서도 쉽게 전파 환경을 측정할 수 있다.

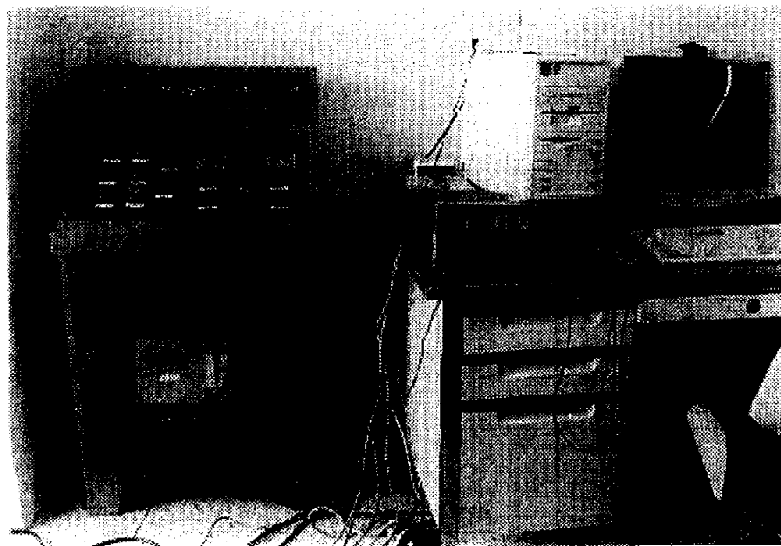
이 시스템의 성능을 확인하고자 우선 현재의 위치에서 천문대 근처의 전파 환경을 측정해 보았다.

### 2. 1-2GHz 대역의 전파 잡음 측정

1996년 4월 9일부터 5월 2일까지 이십여회 전천을 탐색하였다. 그림 3의 a)는 1-2GHz 범위로 넓게 본 경우이고, 그림 3의 b)는 천문대 전파 망원경이 주로 활용하는 중간 주파 대역을 보기위해 1.341-1.441GHz 범위를 세밀히 본 것이다. 이 그림들은 약 5000여개 측정 결과중의 하나로서 전형적인 예를 보인 것이다. 이 측정으로 부터 우리는 성격이 다른 두가지 종류의 잡음원을 찾아 낼 수 있었다. 하나는 1.0-1.3GHz 및 1.6GHz 근처에서 나타나는 신호들이고 하나는 1.4GHz 근처에서 나타나는 신호들이다. 앞의 신호는 간헐적으로 특별한 방향성 없이 나타나는 반면에 후자는 방향성이 있어서 안테나가 대체로 북극 방향을 향할 때면 항상 나타난다. 1.0-1.3GHz에서 나오는 신호는 평균 -30dBm, 최대 -10dBm의 세기를 가지며, 1.6GHz의 신호는 이 보다는 약해서 안 보이는 경우도 많고 최대 -30dBm 정도다. 후자는 최대 -30dBm의 세기를 갖는다. 후자의 신호는 최종적으로 천문대 전파 망원경 수신기가 위치하는 카세그레인 초점 근처의 주파수 측정기가 내는 신호로 밝혀졌다. 전자의 신호는 어디서 발생하는지 확실하지 않다. 이 신호는 평상시에 사용하는 천문대 전파 망원경의 중간 주파 대역 1.26-1.52GHz를 벗어나 있으나 광대역 즉, 밴드폭 500MHz 정도의 관측을 하는 경우에는 중간 주파 신호 케



(a)



(b)

그림 2. 완성된 전파 잡음 측정 시스템의 모습이다. (a)에 안테나, 구동계 및 수신시스템이 보이고 (b)에 구동 컨트롤러, 스펙트럼 분석기 및 제어 및 자료 획득용 PC가 보인다.

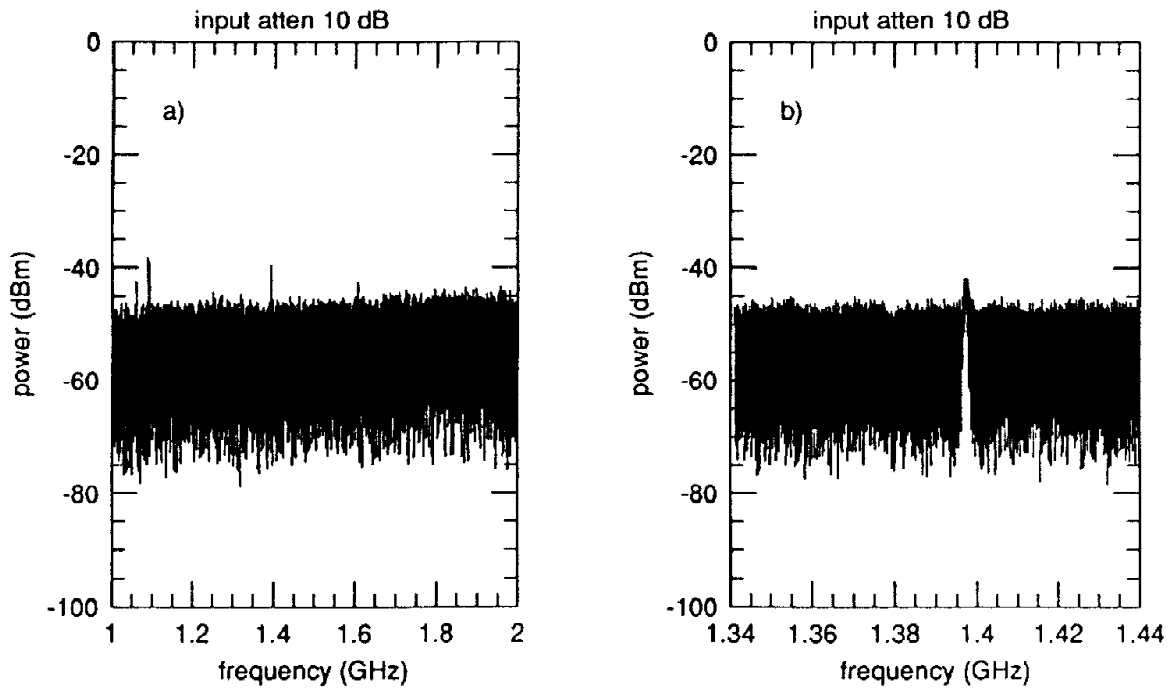


그림 3. 1-2GHz대역에서의 측정의 예. (a)와 (b)는 주파수 대역이 다르며 다른 시각에 측정된 것이다. 이때 Resolution Band Width는 1MHz, Video Band Width는 1MHz, Sweep Time은 50mS였다.

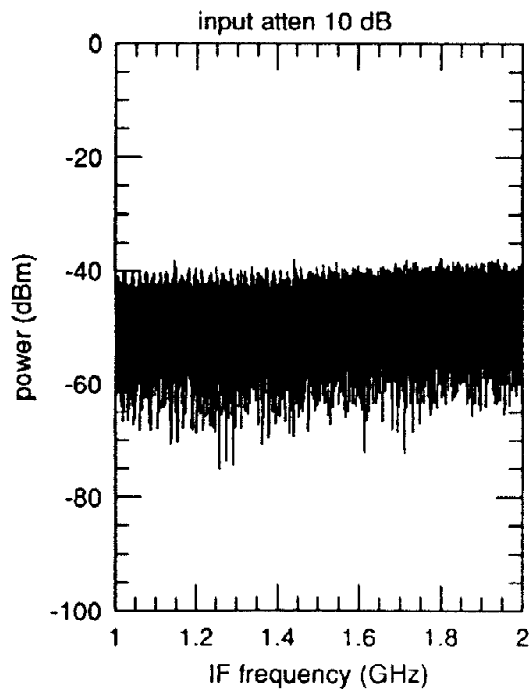


그림 4. 22GHz대역에서의 측정의 예. 실제로는 슈퍼헤테로다인 방식을 썼으므로 21.7-22.7GHz의 USB 신호와 19.7-18.7GHz의 LSB 신호가 함께 들어온다. 스펙트럼 분석기의 측정 파라미터는 그림 3의 것과 같다.



이블에 인가될 가능성이 있다. 이 신호의 유해성을 조사해보기로 하자.

스펙트럼 분석기 입력단에서 전파의 세기는 평균적으로 약  $-30\text{dBm}$ 이다. 한편 시스템 전체의 이득은 케이블등의 손실을 감안하면  $50\text{dB}$  정도 되고, 안테나의 이득은  $20\text{dB}$ 이므로 혼 앞단에서의 전파의 세기는 약  $-100\text{dBm}$ 이다. 유효 개구 면적은 안테나 이득과의 관계식으로부터  $0.3\text{m}^2$ 이 되고 대역폭(스펙트럼 분석기의 resolution band width)은  $1\text{MHz}$ 이므로 안테나 앞단에서의 신호의 세기는  $-185\text{dBW}/\text{m}^2/\text{Hz}$  정도로 추정할 수 있다. 전파원이 먼 곳에 있다면 비슷한 세기의 신호가 천문대 전파 망원경의 중간 주파 신호 케이블에 인가된다고 볼 수 있다. 이 값은 CCIR에서 제시하는 단일 안테나에 대한 선(line) 관측시의 전파 간섭의 한계값  $-237\text{dBW}/\text{m}^2/\text{Hz}$ 보다 큰 값이다. 그러나 케이블에 의해 차폐되는 양이 적어도  $50\text{dB}$ 는 될 것이므로 한계값과 엇비슷한 값이 된다. 또한 이 신호들이 간헐적이므로 전파 세기를 시간에 대해 평균한 값은  $-30\text{dBm}$ 보다 훨씬 작아질 것이므로 전파 관측에 지장을 주지 않는 것으로 판단된다.

### 3. 22GHz 대역의 전파 잡음 측정

수퍼헤테로다인 형태를 쓰므로 실제로는 USB (Upper Side Band)인  $22.2\text{GHz}$  중심으로 대역폭  $1\text{GHz}$ 안의 신호뿐만아니라 LSB (Lower Side Band) 즉,  $19.2\text{GHz}$  중심으로 대역폭  $1\text{GHz}$ 되는 신호도 실제로는 입력되는 셈이다. 만약에 신호가 잡혔을 때에는 이것이 USB에서 오는 것인지, LSB에서 오는 것인지 구별해야할 필요가 있을 것이다. 그 것은 국부 발진 주파수를 변화시켜서 중간 주파 대역에서 그 신호 주파수가 어떻게 변하는가를 보면 알 수 있다.

1996년 5월 6일 4번 전천 탐색을 하였으나 감지할 수 있는 잡음은 검출되지 않았다. 그림 4가 전형적인 결과를 보여준다. 잡음이 검출되지 않은 것은 이 주파수 대역에서의 전파 자원의 활용이 현재로는 활발하지 않고 낮은 주파수의 하모닉스가 유입되는 것도 심각하지 않음을 의미한다. 이 주파수 대역의 전파 환경은 아직은 전파 관측에 영향을 미치지 않는 양호한 상태라고 판단된다.

이 연구는 과학 기술처 특정 연구 95-5100-401의 지원으로 이루어 졌습니다.

### 참 고 문 헌

- 박종애, 양종만, 한석태, 박용선, 1993, 천문학 논총, 8, 1  
 박귀태, 이상락, 1994, C언어로 쉽게 쓰는 80c196kc, 대영사  
 International Telecommunication Union, 1990, Reports of the CCIR, vol.II. Space Research and Radioastronomy Services  
 Fisher, J. R., 1994, NRAO Electronics Division Internal Report NO. 296  
 Balanis, C. A., 1982, 'Antenna Theory Analysis and Design', Haper & Row  
 Johnson, R. C., and Jasik, H., 1984, 'Antenna Engineering Handbook' 2nd edition, McGraw Hill