

# 밀리미터파 및 서브 밀리미터파 우주전파 수신기 제작 기술

한석태 · 박종애

한국천문연구원  
대덕 천파천문대

## I. 서 론

지난 20여 년 동안 밀리미터파 우주전파 관측용 수신기의 발전에 힘입어 밀리미터파 전파천문학은 획기적인 발전을 거듭하고 있다. 전파천문학의 연구 대상인 우주전파는 주로 성간분자의 회전에너지 천이에 의해서 복사된다. 80여종 이상의 새로운 분자가 몇몇의 천체에서 검출되었고, 거대 분자운도 우리 은하계에서 발견되었다. 분자운은 질량에 견주어 볼 때 성간물질의 대부분을 차지하고 있어 별이 생겨나는 근원이 된다. 이러한 분자운과 우주에서 이들의 분포를 연구하면 별의 생성과정, 별의 질량손실과 은하의 구조를 이해할 수 있다.

이와 같이 우주에서 생성되는 우주전파는 아주 미약하다. 우주전파의 세기를 나타내는 단위는 우주전파 발견자의 이름을 따서 잔스키(Jy : Jansky)라 부르며, 그 정의는  $1\text{Jy} = 10^{-26} \text{Wm}^2\text{Hz}^{-1}$ 이다. 이 정도 세기의 우주전파를 직경이 45m인 카세그레인 안테나로 100 KHz의 신호대역폭으로 수신하였을 때, 수신기에 들어오는 신호의 전력은 약  $2 \times 10^{-18} \text{W}$ 가 되지만 이 전력은 우리가 통신에서 취급하는 최소전력의 백만분의 일 정도이다. 실제로 전파천문학 연구의 대상이 되는 우주전파는 1Jy보다도 훨씬 약한 전파의 세기를 갖는다. 따라서 전파천문학 연구를 위한 우주전파 수신기는 초저잡음, 고감도 수신 능력뿐만 아니라 매우 안정적인 동작이 요구된다.

우주전파 관측용 수신기는 주로 헤테로다인(Heterodyne) 방식의 수신 시스템을 채택하고 있다. 이와 같은 헤테로다인 방식은 믹서(Mixer), LO(Local

oscillator)와 중간주파수 증폭기로 구성되어 있다. 이때 수신기의 잡음온도  $T_{RX} = T_M + LT_{IF}$ 이다. 여기서  $T_M$ 은 믹서의 잡음온도,  $L$ 은 믹서의 변환손실,  $T_{IF}$ 는 중간주파수 증폭기의 잡음온도이다. 따라서 수신기의 잡음온도를 개선하기 위해서는 믹서의 잡음온도와 변환손실을 개선해야 한다.

또한 우주전파 수신기의 수신 감도는  $\delta T = K \cdot T_{RX} / (\tau \Delta f)^{1/2}$ 로 결정된다. 여기서  $K$ 는 상수,  $T_{RX}$ 는 수신기 잡음온도,  $\tau$ 는  $\delta T$ 를 얻기 위한 관측시간,  $\Delta f$ 는 관측하고자 하는 주파수 대역폭이다. 이 식에서와 같이 미약한 신호를 검출하기 위하여 관측에 요구되는 시간은 수신기 잡음온도 자승에 비례하게 된다. 따라서 관측효율을 높이기 위해서는 수신기의 잡음온도가 낮을수록 좋다.

1980년대 중반까지는 밀리미터파 전파천문학에 이용되는 우주전파 관측용 수신기는 주로 GaAs 쇼트키 다이오드의 믹서를 주로 사용하였다. 이와 같은 냉각용 쇼트키 믹서를 사용한 100 GHz대 우주전파 수신기의 최저 수신기 잡음온도는 약 125 K(DSB)로 발표되었다. 그러나 쇼트키 다이오드 믹서를 이용해서 수신기 잡음온도를 개선하는 방법은 이미 연구가 완료되어 이 다이오드를 사용해서는 더 이상의 수신기 잡음온도가 개선될 기미가 보이지 않고 있었다. 따라서 초 저잡음 특성을 갖는 새로운 다이오드 소자가 절실히 요구되었다. 그 결과 1980년 대 중반에 초전도체인 나이오비움(Nb)에 산화 알루미늄(AlO)을 절연체로 사용한 새로운 형태의 Nb/AlOx/Nb 접합인 SIS(Superconductor Insulator Superconductor)을 개발하는데 성공하였다. 이러한 초전도소자를 이용한

믹서가 제작되어 초 저잡음 밀리미터파 및 서브 밀리미터파 대역의 수신기가 개발되어 우주전파 관측 연구에 활용하고 있다. SIS 믹서는 전압-전류의 비선형성에 의한 양자 잡음온도까지 이르는 초 저잡음 온도 특성과 매우 적은 국부 발진 전력이 요구되는 장점을 갖는다. 이러한 장점 때문에 현재 800 GHz대까지 우주전파 수신기에 SIS 믹서가 사용되고 있다.

또한 최근에는 초저온(20 K)에서 동작하는 100 GHz HEMT 증폭기를 이용한 우주전파 수신기가 개발되어 관측에 활용되고 있다. 그러나 100 GHz 이상에서 동작하는 HEMT 증폭기의 개발에 대한 어려움으로 인하여 주로 100 GHz대 이하의 우주전파 수신기에 활용되고 있다.

밀리미터파 대역용 우주전파 수신기의 제작과 측정은 대덕전파 천문대에서 제작하여 우주전파 관측 연구에 활용하고 있는 100 GHz/150 GHz 대역용 이중채널 수신기를 중심으로 기술하고자 한다.

## II. 우주전파 수신기 시스템의 구성

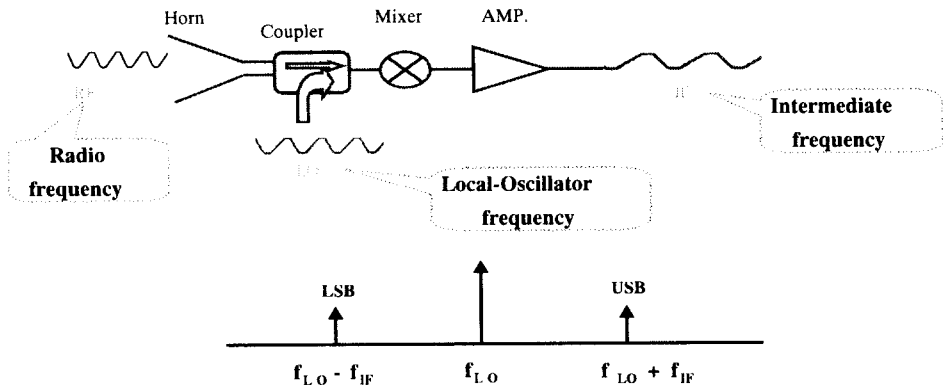
전형적인 헤테로다인 형태의 우주전파 수신기 시스템은 [그림 1]에 제시하였다. 우선 카세그레인 안테나의 초점에 집중된 밀리미터파 대역의 신호 빔

(Beam)을 최종적으로 휘드 혼에 최적 결합시키기 위하여 몇 개의 초점소자로 구성된 준광학계(Quasi-optical system)가 필요하게 된다.

일반적으로 밀리미터파 대역용 믹서는 제작상의 문제와 잡음온도 등을 고려하여 single-ended 형태로 제작되므로 RF 신호와 국부발진(Local oscillator) 신호를 믹서에 공급해 주기 위해서 crossguide 결합기를 사용하게 된다. 그러나 서브 밀리미터파 대역용 우주전파 수신기는 crossguide 결합기의 결합 특성에 의한 국부 발진 신호의 손실이 증대되므로 이 영역에서는 crossguide 결합기 대신에 Fabry-Perot 간섭계나 Martin-Puplett 간섭계가 이용된다.

믹서는 쇼트키 다이오드를 이용한 whisker 접촉형 도파관 믹서가 1980년 중반까지 사용되어 왔으나, 그 후로는 초전도체 소자를 이용한 SIS 믹서가 서브밀리미터파 대역까지 주로 사용되고 있다. 그리고 초단 중간주파수 증폭기는 냉각용 HEMT 증폭기가 널리 사용되고 있다.

국부발진부의 발진신호원으로는 주로 Gunn 발진기와 YIG 발진기가 주로 사용되고 있다. 120 GHz 이상의 국부발진 신호원은 Gunn 발진기와 YIG 발진기로 직접 발진이 불가능하므로 주파수 체배기를 이용하여 서브밀리미터파 영역까지 활용하고 있다. 또



[그림 1] 전형적인 헤테로다인 형태의 우주전파 수신기 시스템

한 주파수 안정도를 위하여 PLL(Phase locked loop) 시스템도 채택하고 있다.

믹서에서 상측파대(Upper-side band)와 하측파대(Lower-side band)의 RF 신호와 LO 신호에 의하여 중간 주파수가 생성되므로 이들 중에서 한 개의 측파대 성분을 제거하여 측파대 성분에 의한 신호의 모호성을 개선시켜야 한다. 따라서 측파대 성분을 제거하기 위한 단측파대(Single-side band) 필터가 필요하다.

앞서 서론에서 언급한 바와 같이 우주전파 신호는 일반적으로 무선통신에 이용되는 신호에 비하여 그 세기가 매우 미약함으로 수신기의 잡음온도가 매우 중요한 요소가 된다. 따라서 수신기 구성부품에서 발생하는 열 잡음을 최소화시키기 위하여 이들 부품을 초저온으로 냉각시키는 냉각장치와 냉각 챔버가 필요하게 된다.

우주전파 수신기 시스템을 구성하는 각 시스템에 대하여 보다 구체적으로 기술하고자 한다.

## 2-1 이중채널 수신기를 위한 준광학계 설계와 제작

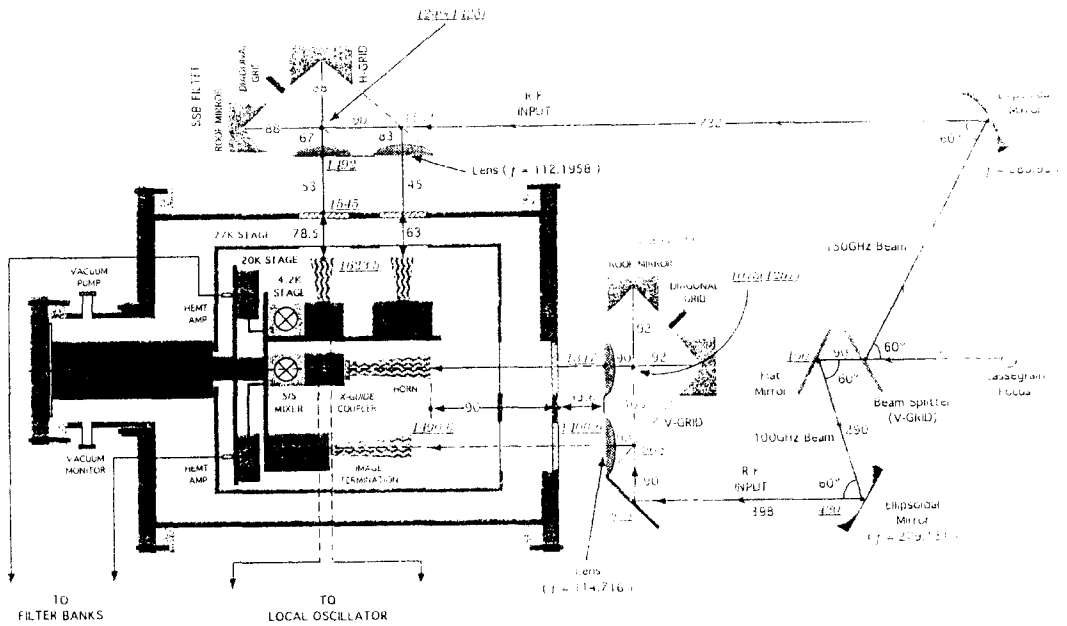
주경이 14m이고 부경이 1m인 카세그레인 안테나에 형성된 빔이 여러 가지 초점소자로 이루어진 준광학계를 거쳐서 전송되는 동안 손실을 최소로 하여 믹서 앞단의 휘드혼에 결합되도록 하는 것이 준광학계 설계의 목적이다. 수신기용 준광학계 설계에 널리 이용되고 있는 가우시안 빔(Gaussian beam) 전송이론을 도입하여 설계에 활용한다. 가우시안 빔 파라미터인 빔 반경과 곡률 반경은 주파수의 함수로 주어진다. 따라서 광대역 수신을 위한 수신기의 준광학계는 주파수에 무관한 빔 파라미터에 의하여 준광학계가 설계되어야 한다. 이것은 주파수 변화에 무관한 빔 파라미터를 이용해서 준광학계를 설계하여 일정한 안테나 에지 테이퍼(Edge taper)를 유지시켜 안테나의 구경효율이 저하되는 것을 방지하여

야 한다. 따라서 가우시안 빔의 전송이론을 기반으로 광대역 수신을 위한 준광학계 설계 방법연구와 설계 알고리즘을 개발하였다. 이러한 준광학계 설계 기법을 이용하여 이중채널 수신기용 준광학계가 설계되었으며, 설계된 준광학계 시스템 및 소자를 제작하고 그 성능을 측정하였다.

이중채널 수신기의 준광학계에서는 두 개의 초점소자를 이용하였는데, 첫 번째 소자는 안테나의 부경으로부터 입사된 빔이 카세그레인 초점을 통과한 후에 확산되는 빔을 다시 모아주고 방향을 전환시키기 위해 타원면경을 이용하였다. 두 번째는 유전체 렌즈를 이용하여 두 초점소자 사이의 공간을 확보하고, 타원면경을 경유해 전송된 빔이 최종적으로 휘드 혼과의 결합이 잘 되도록 하였다. 두 초점소자 사이에 공간이 필요한 이유는 헤테로다인 수신 방식이기 때문에 이미지 신호를 제거하기 위한 단측파대 필터를 설치하기 위하여 적절한 공간이 확보되어야 한다. 준광학계 설계에 적용된 안테나의 에지테이퍼는 안테나 효율과 넘침손실(Spillover loss)을 고려하여 12.5 dB로 결정하였다. 개발된 알고리즘을 이용하여 카세그레인 안테나에 수신기가 용이하게 설치될 수 있도록 100 GHz와 150 GHz 대역의 준광학계 시스템과 시스템을 구성하는 타원면경과 유전체 렌즈가 설계 제작되었다. 설계된 준광학계 시스템은 [그림 2]에 제시하였다.

카세그레인 안테나에 의해 집중된 빔의 수직편파 성분은 빔 분리기(Beam splitter)에 의하여 반사된 후 150 GHz 대역의 준광학계 시스템에 의하여 전송되어 150 GHz 대 휘드 혼으로 결합되고, 수평편파 성분은 빔 분리기를 통과하여 100 GHz 대역의 준광학계 시스템을 거쳐 최종적으로 100 GHz 대역의 휘드 혼에 결합된다. 가우시안 빔 패턴을 가지며, E면과 H면의 복사패턴이 서로 대칭이고 부엽복사가 작은 컬러게이드 휘드혼을 사용하였다.

제작 완성된 준광학계 시스템은 [그림 3]에 제시하



[그림 2] 설계된 이중채널 수신기의 준광학계 시스템



[그림 3] 제작 완성된 이중채널 수신기의 준광학계 시스템

였다. 제작된 준광학계의 성능 측정 결과는 수신기 시스템 측정에서 언급하기로 한다.

2-2 100 GHz와 150 GHz대의 광대역 초전도체 믹서 제작  
밀리미터 대역의 전파 천문학 관측연구에 주로

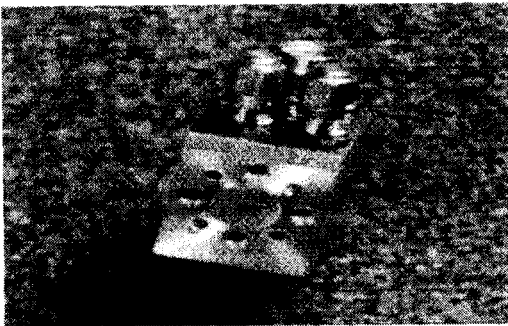
활용되고 있는 초전도체 접합을 이용한 믹서는 잡음 온도 특성이 우수하여 점점 양자 잡음(Quantum noise) 한계까지 도달하는 초저잡음 특성을 보이고 있다. 따라서 1980년 중반 이후로는 밀리미터파 대역과 서브 밀리미터파 대역용 우주전파 관측용 수신기의 믹서는 쇼트키 믹서 대신에 거의 초전도체 접합을 이용한 믹서가 주로 사용되고 있다. 대덕전파 천문대에서 100 GHz대와 150 GHz대 초전도체 믹서를 이용한 우주전파 관측용 수신기를 자체 개발하여 우주전파 관측에 사용하고 있다.

대덕전파 천문대에서 제작된 믹서는 도파관형 믹서로서 광대역 임피던스 정합을 위하여 규격 도파관의 높이를 약 1/7로 줄인 계단형 임피던스 변환기를 포함하고 있다. 광대역 특성과 국부발진 신호 결합을 위한 문제점을 해결하고자 crossguide 결합기를 이용하여 국부발진 신호와 RF 신호를 결합하는 single-ended 형태의 믹서로 개발되었다. 저역통과필터는

초전도체 접합을 제작할 때 동일 기판 위에 제작되었다. 기판은 열전도 특성이 우수하고 유전율이 큰 quartz 기판을 사용하였다. 이들 믹서의 특징은 신호 주파수 변환에 따른 임피던스 정합을 위한 가변 백쇼트(Backshort)를 사용하지 않고 광대역 특성을 얻도록 최적 믹서 백쇼트 위치를 이론적으로 계산하여 고정 백쇼트를 사용하였다. 가변 백쇼트를 사용하지 않으므로서 백쇼트를 장시간 사용할 때 발생하는 백쇼트 성능 저하로 인한 믹서의 특성이 나빠지는 특성을 제거하였다. 또한 수신 신호가 변환될 때 믹서의 백쇼트를 조정하지 않아도 되므로 수신기 조정으로 인한 시간손실을 크게 개선시킬 수 있었다. 믹서의 재질은 열전도 특성이 우수한 무산소동(Oxygen free high conductivity copper)을 사용하였다.

믹서에 사용된 초전도 소자는 초전도 임계온도가 약 9.3 K인 Niobium(Nb)을 사용한 Nb/AlOx/Nb의 3층구조의 샌드위치 형태를 갖는 4개의 접합이 직렬로 연결된 초전도 접합 소자이다. 그러나 이런 초전도체 믹서가 정상동작하기 위한 믹서의 냉각온도는 초전도체의 임계온도의 절반인 약 4.7 K 이하로 냉각되어야 한다. 따라서 반드시 믹서가 4.7 K 이하로 냉각되어야 하므로 초저온 고진공 챔버와 초저온 냉각기가 요구된다는 점에서는 초전도체 믹서의 커다란 단점이기도 하다.

초전도 접합 소자를 이용하여 제작된 100 GHz와



[그림 4] 제작된 100GHz대 SIS 믹서

150 GHz 대 믹서는 같은 외부구조이므로 여기서는 100 GHz 대 믹서만 [그림 4]에 제시하였다. 믹서의 성능 측정은 수신기 성능 측정에서 언급되어진다.

### 2-3 이중채널 수신기의 국부발진부

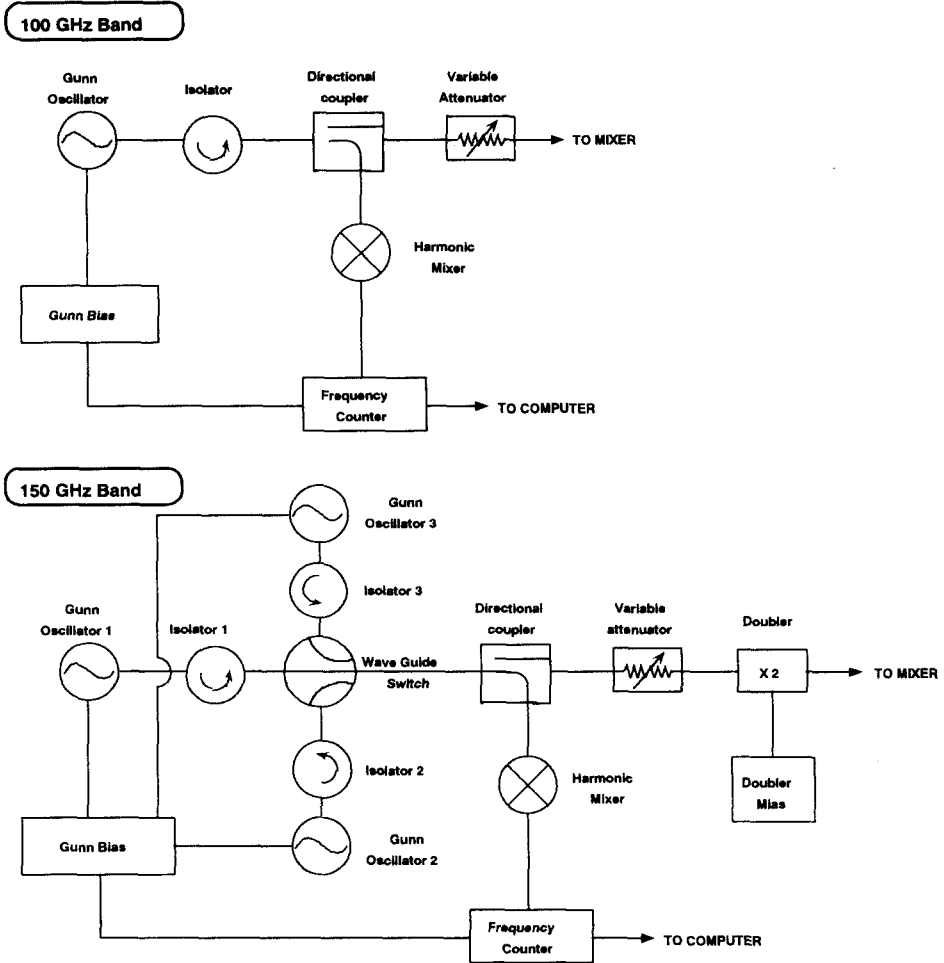
우주전파 관측용 이중채널 수신기는 헤테로다인 방식을 택하고 있으므로 국부 발진부가 요구된다. 수신기의 동작 주파수 범위는 각각 85~115 GHz 대역과 125~175 GHz 대역이고 중간 주파수가 각각 채널이 동일하므로 국부 발진부의 발진 신호대역도 두 채널의 동작 주파수 범위와 동일하여야 한다. 국부 발진부 신호원으로는 주파수 안정도가 좋고 출력도 적절한 Gunn 발진기를 사용하기로 하였다. 150 GHz 대역은 120 GHz~180 GHz 대역의 신호를 직접 발진하는 Gunn 발진기 제작이 불가능하므로, 우선 3개의 발진기를 이용하여 60 GHz~90 GHz 발진신호를 얻은 후 한 개의 주파수 체배기(Doubler)를 이용하여 120 GHz에서 180 GHz 대역의 국부발진 신호를 얻도록 구성하였다. 또한 관측 주파수 변화에 따라 적절한 국부 발진 주파수를 변화시키기 위하여 3개의 Gunn 발진기를 선택할 수 있도록 도파관 전환 스위치를 두었다.

100 GHz대역은 한 개의 Gunn 발진기의 발진 주파수 범위가 85~115 GHz이므로 별도의 주파수 체배기를 사용하지 않았다. 수신기의 위상잡음, 진폭잡음 개선과 우주전파 관측을 수행할 때 지구의 자전과 공전 효과를 보정하기 위하여 국부 발진부의 신호는 PLL 기능을 가져야 한다. 이러한 PLL은 밀리미터파 전용 주파수 카운터의 PLL기능을 이용하여 제작하였다. 제작 완성된 국부 발진부의 구성도는 [그림 5]에 나타냈다.

### 2-4 단측파대 필터

일반적으로 밀리미터파 및 서브 밀리미터파 대역

## LOCAL OSCILLATOR SYSTEM



[그림 5] 이중채널 수신기의 국부발진부 구성도

의 우주전파 관측용 수신기는 헤테로다인 방식을 택하고 있다. 따라서 믹서에서 상측파대와 하측파대의 RF 신호에 의하여 중간 주파수가 생성되므로 이들 중에서 한 개의 측파대 성분을 제거하여 측파대 성분에 의한 관측 신호의 모호성을 개선시켜야 한다. 그러므로 한 개의 측파대 성분을 제거하기 위한 단측파대 필터가 필요하게 된다. 이러한 목적으로 사용되는 단측파대 필터는 비교적 삽입손실이 작고 제

작하기가 쉬운 빔의 편파회전을 이용한 MPI 형태의 필터가 널리 이용되고 있다. 이 필터는 한 개의 편파를 이용하기 위한 수직 또는 수평 그리드(Grid)와 편파 성분을 크기가 같은 두 개의 성분으로 분리하는 45도 그리드로 구성된다. 또한 편파 성분을 90도 회전시키는 두 개의 직각면경(Roof mirror)이 필요하며, 그 중에서 한 개는 신호 경로차에 의한 간섭현상을 발생시킬 수 있도록 정밀하게 움직일 수 있는

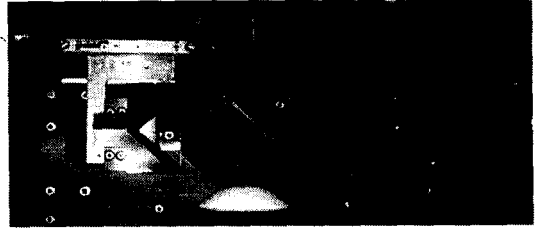
장치로 구성된다. 수평 또는 수직 그리드로부터 유입되는 원하지 않는 측파대의 영상신호(Image signal)를 흡수하기 위한 영상신호 흡수체(Termination)를 마련하여야 한다.

이중채널 수신기에 사용하기 위하여 100 GHz 및 150 GHz대의 단측파대 필터를 제작하였고, 두 대역의 필터는 동일하므로 여기서는 100 GHz대 단측파대 필터만 [그림 6]에 제시하였다. 다만 100 GHz 대역의 필터는 수직편파 그리드를 사용하고 150 GHz 대역의 필터는 수평편파 그리드를 사용하였다.

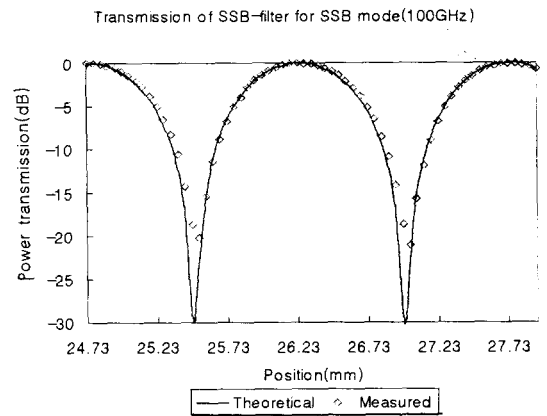
제작된 두 대역 필터의 성능 측정 결과는 [그림 7]과 [그림 8]에 각각 제시하였다. 100 GHz 대역은 85~115 GHz, 150 GHz 대역은 125~165 GHz 주파수 범위에서 측정하였으나 여기서는 각 대역의 중심 주파수인 100 GHz와 150 GHz에 대한 필터의 성능 측정만 제시하였다. 주파수에 대한 주어진 경로차에서 한 개의 측파대가 제거되는 필터의 전송특성은 이론치와 매우 잘 일치하는 결과를 나타냈으며, 제거하고자 하는 측파대의 제거비도 약 20 dB 이상의 우수한 특성을 나타냈다.

### 2-5 중간주파수(Intermediate Frequency) 증폭부 제작

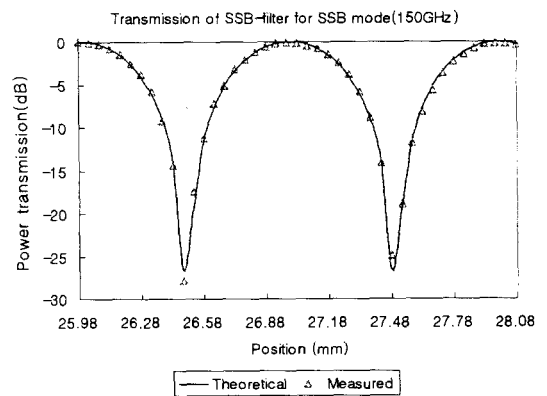
믹서에 의해 우주전파신호가 중간주파수로 변환되면 우선 초단 중간 주파수 증폭기에서 약 30 dB 증폭된 신호는 상온용 중간 주파수 증폭기들을 통해서 다시 증폭된다. 이 중간 주파수 증폭부를 IF strip 부라고 부른다. 초단 증폭기와 IF strip부의 첫 번째 증폭기(이득: 40 dB) 사이에 아이소레이터를 삽입시켜 두 증폭기간의 임피던스 부정합에 의한 전압정제파비가 개선되도록 하였다. 아이소레이터 다음에는 대역통과필터를 두어 실제로 필요한 대역만을 다음 증폭기(이득: 30 dB)가 증폭하도록 하였다. 대역 통과 필터와 증폭기 사이에 3 dB 감쇄기를 두어



[그림 6] 제작된 100 GHz대 단측파대 필터 모습



[그림 7] 100 GHz 신호에 대한 단측파대 필터의 전송 특성



[그림 8] 150 GHz 신호에 대한 단측파대 필터의 전송 특성

증폭기 입력단과 대역통과 필터 사이의 정재파비가 개선되도록 하였다. 다음에는 10 dB 방향성 결합기를 사용하여 한 쪽 단자에는 중간 주파수 신호의 모니터용으로 사용할 수 있도록 하였다. 최종적으로 이 증폭부의 종단에 다시 아이소레이터를 부착시켜 분광기와와의 정재파비가 개선되도록 하였다. 우주전파 신호를 처리할 분광기의 입력에서는 -20 dBm에서 0 dBm 정도의 전력이 요구되므로 이들 전력 조건에 만족되는 중간 주파수 전력이 이 증폭부에서 충분히 증폭되어야 한다. 따라서 이러한 전력 요구 조건과 수신기와 분광기 사이를 연결하는 중간주파수 신호 전송용 동축케이블의 손실과 기타 부과손실을 고려하여 IF strip의 총 이득은 약 70 dB가 되도록 설계하였다. 100 GHz와 150 GHz대 이중채널 수신기의 중간주파수가 동일하므로 같은 증폭부를 이용하였다. 제작 완성된 중간주파수 증폭부의 구성도는 [그림 9]에 제시하였다. 제작된 IF strip부를 성능측정한 결과, 총 이득은 약 68 dB 정도이고 잡음

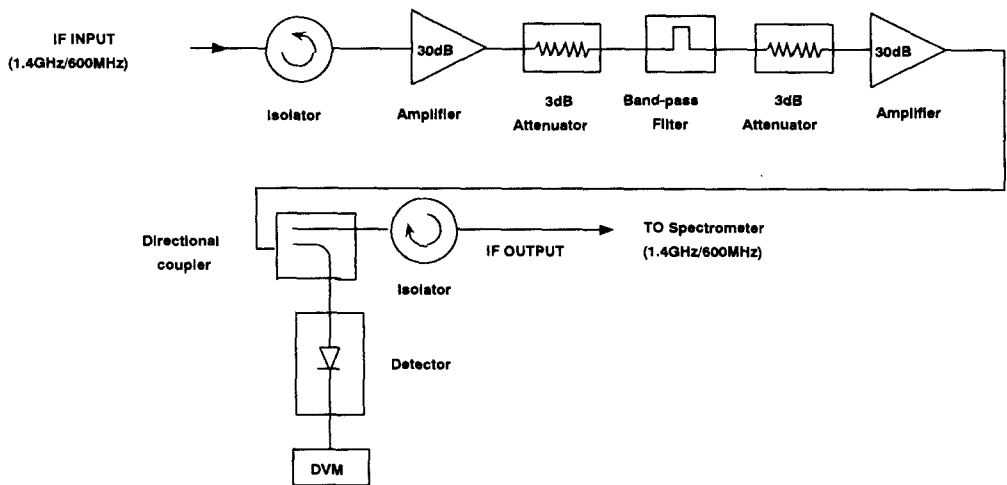
지수는 약 2 dB 정도의 우수한 성능을 보였다.

## 2-6 냉각시스템

4.2 K 정도의 극저온 상태가 유지되는 챔버(Chamber)는 고진공 상태가 우선 유지되어야 하며, 고진공 상태에서 초전도체 믹서의 동작 온도인 4.7 K 까지 냉각시켜 주는 냉각기가 필요하게 된다. 이러한 냉각 방식은 완전 폐회로를 이용하여 기체 헬륨을 순환시키는 GM-JT(Gifford McMahon - Joule Thomson) 방식을 채택하였다. 이 방식의 장점은 완전 폐회로를 통하여 압축기에 저장된 헬륨이 연속적으로 공급되기 때문에 헬륨을 한번 충전하면 재충전할 필요 없이 반영구적으로 사용할 수 있다.

이러한 GM-JT 방식의 냉각기를 우주전파 관측용 수신기에 이용하려면 몇 가지 세심한 검토가 필요하게 된다. 우선 냉각기 자체의 기계적인 진동이 다. 수신기를 냉각시키는 동안 냉각기 자체에서 발

## IF Amplifier



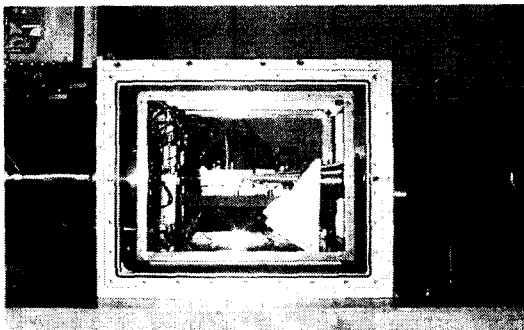
[그림 9] 이중채널 수신기의 중간주파수 증폭부의 구성도



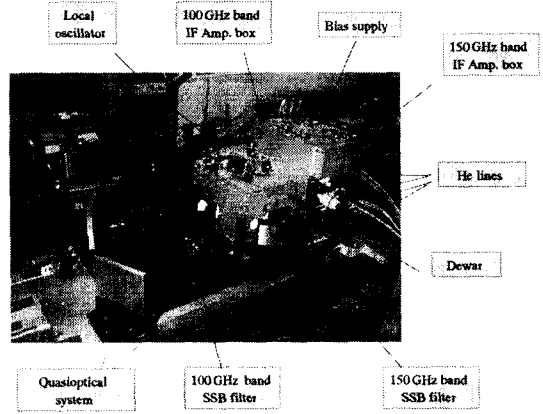
생되는 기계적 진동이 크면 미세하게 제작된 초전도체 믹서의 접합이 파괴되는 경우가 생기며, 수신기의 성능에 영향을 미치므로 냉각기 자체의 진동이 매우 작아야 한다. 또한 냉각기 자체의 냉각온도 변화도 매우 작아야 한다. 초전도체의 초전도 에너지 갭(Gap)은 온도에 따라 변하게 되므로 이로 인하여 믹서의 동작특성이 변화된다. 따라서 냉각기의 냉각온도의 안정도는 수신기 시스템 설계에 있어서 세심한 주의가 요구되는 사항이다. 이러한 점들을 고려하여 채택된 이중채널 수신기용 냉각기의 기계적 진동특성은 약  $20\ \mu\text{m}(\text{rms})$ 이며, 냉각온도의 안정도는 약  $10\ \text{mK}$ 로서 매우 우수한 특성을 갖는 냉각기를 택하였다. 설계된 이중채널 수신기용 챔버가 제작되었고 그 모습은 [그림 10]에 제시하였다. 완성된 초저온 고진공 dewar의 성능 측정 결과, 초전도 소자 믹서가 동작하기 위한 온도  $4.7\ \text{K}$ 보다 낮은 약  $3.8\ \text{K}$ 까지 냉각되는 우수한 성능을 보였고, 이 온도에 도달하는 시간은 약 9시간 정도 소요되어 수신기 운용에도 적절한 성능을 보였다. 수신기용 챔버의 진공도는 약  $10^{-8}$  Torr가 되어 설계치보다 우수한 성능을 나타냈다.

### 2-7 이중채널 수신기 시스템 제작

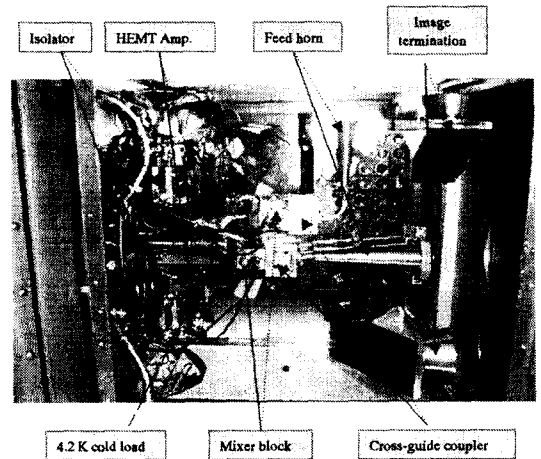
100 GHz대와 150 GHz대역을 동시에 수신할 수



[그림 10] 고진공 초저온 냉각용 수신기 챔버의 모습



[그림 11] 제작된 이중채널 수신기 시스템 모습



[그림 12] 이중채널 수신기의 내부 모습

있는 전체적인 이중채널 수신기 시스템이 제작된 모습과 내부의 모습은 [그림 11]과 [그림 12]에 각각 제시하였다.

## III. 우주전파 수신기 시스템의 성능측정

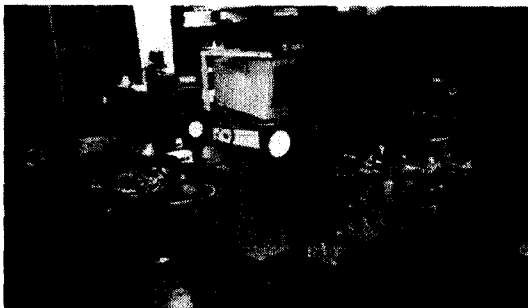
### 3-1 준광학계 시스템 성능 측정

준광학계를 구성하는 휘드 혼, 유전체 렌즈, 단축

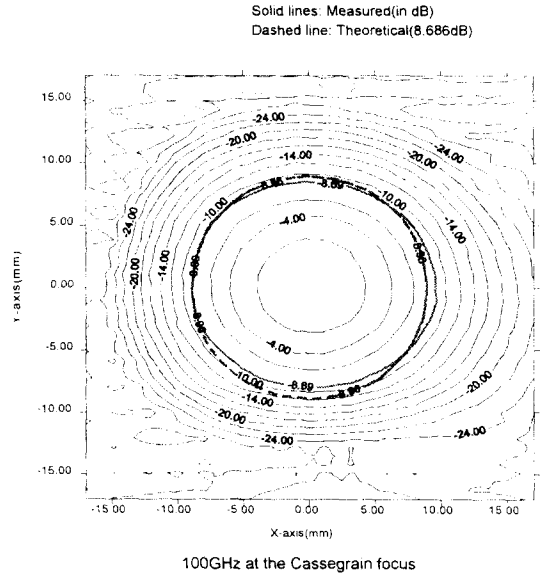
파대 필터, 타원면경 및 빔 분리기를 이용하여 준광학계 시스템을 제작하고 전체 시스템의 성능을 측정하였다. 제작된 준광학계의 구성부품인 타원면경, 유전체 렌즈, 단측파대 필터의 특성과 휘드 혼의 복사 패턴은 물론, 전체 준광학계 시스템을 측정하고자 준광학계 측정장치를 자체적으로 개발하였다. 제작된 준광학계 측정장치는 [그림 13]에 제시하였다. 이 측정 장치의 측정 주파수 범위는 30GHz에서 175 GHz이며, 초점소자의 복사패턴과 빔의 진행 방향에 대한 가우시안 빔 반경의 크기를 측정할 수 있다. 측정자료 처리와 복사패턴 측정은 컴퓨터에 의하여 측정된다.

카세그레인 안테나의 초점에 형성된 빔과 준광학계 시스템에 의하여 형성되는 안테나 초점에서의 빔이 서로 일치하여 안테나의 최대 구경 효율을 얻도록 하는 것이 준광학계 시스템의 목적이다. 그러므로 제작된 준광학계 시스템에 의하여 형성된 안테나 초점에서의 빔 파라미터를 측정하는 것이 매우 중요하다. 따라서 100 GHz대와 150 GHz 대역용 준광학계 시스템을 제작하고 준광학계 측정장치를 이용하여 안테나 초점에서의 빔 파라미터를 측정하였다.

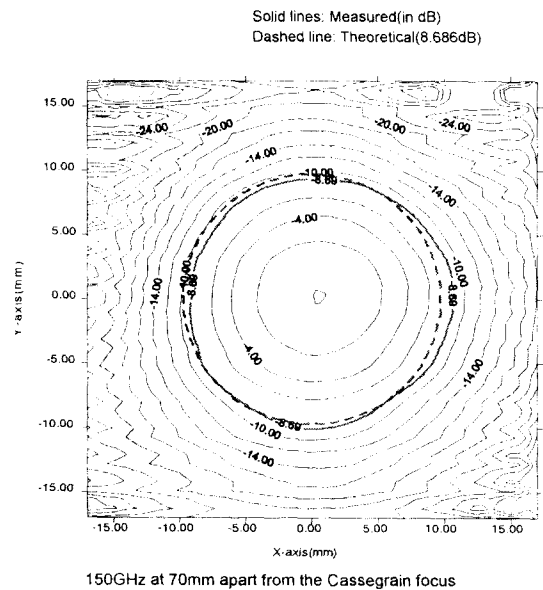
100 GHz 대 및 150 GHz 대의 안테나 초점 근처에서 측정된 빔 파라미터는 [그림 14]와 [그림 15]에 제시하였다. 이론적인 가우시안 빔 반경은 8.68 dB를 갖는 반경으로 나타낸다. 이것은 그림에서 점선



[그림 13] 제작된 준광학계 측정장치의 모습



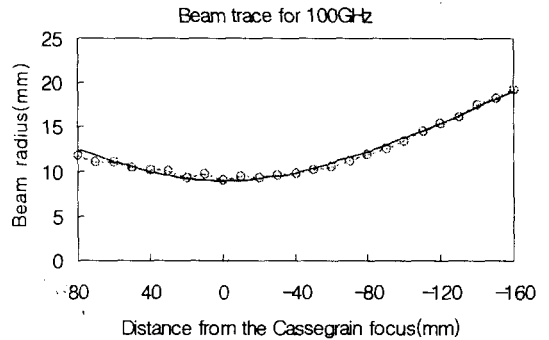
[그림 14] 카세그레인 안테나 초점에서 측정된 100 GHz의 빔 반경



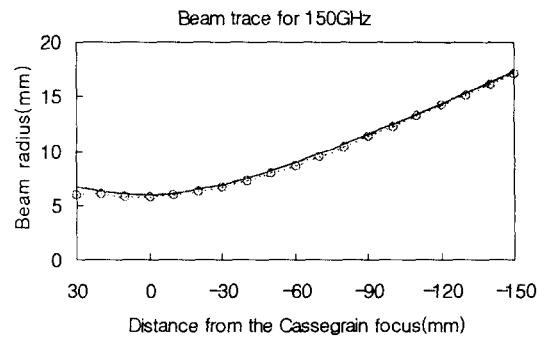
[그림 15] 카세그레인 안테나 초점 근처에서 측정된 150 GHz의 빔 반경

으로 표시되어 있고, 이에 해당하는 측정된 빔 반경은 굵은 선으로 나타내었다. 그리고, 나머지 실선은 측정치를 나타낸다. 이론치와 측정치가 서로 잘 일치된 결과를 얻게 되어 준광학계의 구성부품과 전체적인 준광학계가 잘 설계, 제작되었다는 것을 확인하였다. 준광학계를 구성하는 부품들이 광축과 일치하지 않으면 빔 패턴이 타원형태가 되어 안테나의 효율을 저하시키는 결과를 초래한다. 측정 결과에 나타난 바와 같이 측정된 빔 패턴이 매우 대칭적이고 이상적인 원에 가까워 준광학계의 구성부품의 광축이 정확히 일치됨을 확인하였다. 또한 카세그레인 초점에서 100 GHz에 대한 빔의 2차원 패턴은 [그림 16]에 나타냈다.

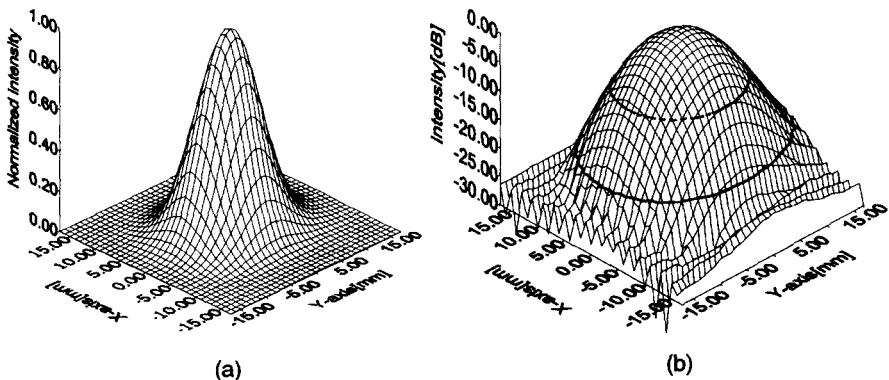
카세그레인 초점 근처에서 가우시안 빔이 진행할 때 위치에 따른 빔 반경의 변화를 100 GHz와 150 GHz에 대하여 측정하였으며 그 결과는 [그림 17]과 [그림 18]에 각각 제시하였다. 여기서 실선은 이론치를 표시하고, 각 심볼은 측정치를 나타낸다. 가우시안 빔의 진행방향에 대한 위치에서의 빔 반경이 이론치와 잘 일치하는 결과를 얻어, 밀리미터파 대역에서의 가우시안 빔 이론의 적용성과 준광학계에 대한 설계와 제작에 대한 타당성을 검증하였다.



[그림 17] 100 GHz 신호의 빔 진행 거리에 따른 빔 반경의 변화



[그림 18] 150 GHz 신호의 빔 진행 거리에 따른 빔 반경의 변화

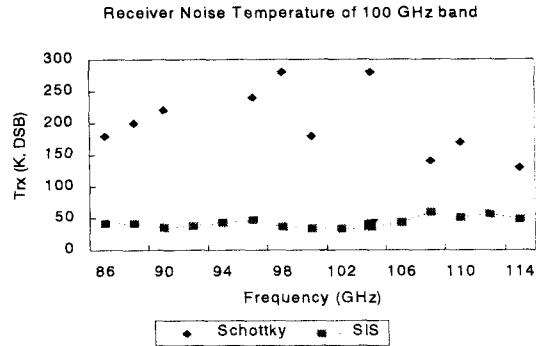


[그림 16] 100 GHz에 대한 2차원 빔 측정 결과. (a) normalized intensity, (b) dB.

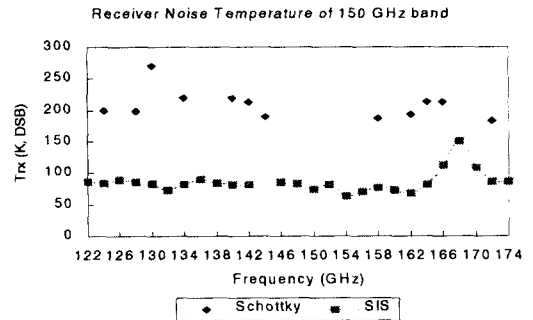
### 3-2 수신기 성능측정

서론의 연구 배경에서도 언급한 바와 같이 우주 전파 수신기는 매우 극미한 우주전파를 수신하므로, 이러한 극미한 전파를 분석하는 데는 고 감도 수신기 시스템이어야 하므로 수신기 자체에서 발생하는 부가잡음이 적은 시스템이 요구된다. 따라서 우주 전파 관측용 수신기 시스템 설계에 있어서 가장 중요한 과제는 수신기의 전체 잡음 온도가 가능한 작도록 제작하는 것이다. 따라서 수신기의 성능은 수신기의 잡음온도에 따라 좌우된다. 따라서 부분별로 제작된 부품들을 전체적으로 조립하여 전체 수신기 시스템을 제작하고 수신기 잡음온도를 측정하였다. 밀리미터파 수신기의 잡음온도 측정은 Y-factor 방법에 의하여 측정한다. 즉 실내온도인 300 K에서 복사되는 흑체(Block-body)복사 전력을  $P_H$ 라고 하고, 온도가 77 K인 액체질소의 흑체복사 전력을  $P_C$ 라고 하면, 수신기에서 수신되는 두 전력의 비를  $Y$ 라고 하자. 그러면 수신기의 잡음온도는  $T_{RX} = (300 - Y \cdot 77) / (Y - 1)$ 로 주어진다. 수신기의 중간주파수 증폭기의 최종 단에서 두 흑체복사의 전력을 측정하여 전력 비인  $Y$ 값을 구한 후 위 식을 이용하여 수신기 잡음온도를 주파수별로 측정하였다. 서론에서 언급한 바와 같이 수신기의 잡음온도는 대부분 믹서에 의하여 결정된다. 따라서 수신기 잡음온도를 측정하여 간접적으로 믹서의 성능을 평가하게 된다.

100 GHz 대 채널의 수신기 잡음온도 측정결과는 [그림 19]에 제시하였다. 평균 수신기 잡음온도는 약 50 K(DSB)로서 기존에 보유한 쇼트키 믹서 수신기에 비해 4배 정도의 우수한 잡음특성을 얻었다. 한편 150 GHz 대 수신기의 잡음온도를 측정한 결과는 [그림 20]에 제시하였다. 연구관측을 하고자 하는 주파수대역 125 GHz에서 175 GHz 대역에 걸쳐



[그림 19] 100 GHz대역의 수신기 잡음온도 측정 결과



[그림 20] 150 GHz대역의 수신기 잡음온도 측정 결과

평균 수신기 잡음온도는 약 90 K(DSB)가 되었다. 이 결과는 현재 보유하고 있는 쇼트키 수신기의 잡음온도에 비해 약 2배정도 개선된 성능을 얻었다.

## IV. 결 론

밀리미터파 및 서브밀리미터파 대역용 우주전파 수신기에 대한 개념에 대하여 기술하였다. 대덕전파 천문대에서 개발한 100 GHz/150 GHz 대 이중채널 수신기의 제작 방법을 중심으로 수신기 제작방법을 제시하고, 제작된 수신기의 측정방법과 그 결과에 대하여 기술하였다. 제작된 수신기는 종래에 대덕전파천문대에서 보유한 쇼트키 믹서 수신기에 비해 매우 우수한 성능을 보였다. 제작된 수신기는 현재 대

덕전파천문대에서 보유한 14 m 카세그레인 안테나형 전파 망원경에 설치하여 국내외 전파천문학들이 전파 천문학 연구에 활용하고 있다.

초전도 소자를 이용한 밀리미터파 및 서브밀리미터파 대역용 우주전파 수신기는 종래의 쇼트키 다이오드를 이용한 믹서 수신기에 비해 그 성능이 월등히 우수하여 전세계적으로 이 소자를 이용한 수신기가 활용되고 있다. 그러나 초전도 소자를 냉각시키기 위하여 매우 고가인 냉각기가 요구되고, 냉각시스템이 복잡하다는 단점도 있다. 따라서 100 GHz 대역 이하의 우주전파 수신기는 냉각 HEMT 증폭기를 사용하여 제작하고 있는 추세이다. HEMT 증폭기를 이용한 수신기는 RF 신호를 직접 증폭할 수 있어서 우수한 수신기 잡음온도 특성을 갖는다. 또한 고가의 냉각기가 필요하지 않고 냉각온도도 약 20 K 정도이면 충분하므로 초전도 소자 수신기에 비해 여러 가지 장점을 가지고 있다. 그러나 100 GHz 대역 이상의 주파수 범위의 HEMT 소자 개발이 아직까지는 미진한 상태이므로 이 대역의 HEMT 증폭기가 개발되기까지는 당분간 초전도 소자를 이용한 밀리미터파 및 서브밀리미터파 대역용 우주전파 수신기가 주로 사용될 전망이다.

### 참 고 문 헌

- [1] 한석태외 3인, "밀리미터파 믹서용 초전도 터널 접합 설계와 제작에 관한 연구", 대한전자공학회지, 제30권, A편, 제10호, 1993년 10월
- [2] 한석태외 7인, "85-115 GHz대 우주전파 관측용 초전도체 믹서 설계", 대한전자공학회지, 제 33권, A편, 제6호, 1996년 6월
- [3] 한석태외 7인, "100GHz대역 도파관형 SIS 믹서의 임피던스 정합효율에 관한 해석", 대한전자공학회지, 제33권, A편, 제6호, 1996년 6월
- [4] 한석태외 7인, "Martin-Puplett 간섭계를 이용한 밀리미터파 대역의 단측파대 여파기의 설계", 대한전자공학회지, 제33권, A편, 제4호, 1996년 4월
- [5] 박종애외 7인 "100/150 GHz대역용 이중채널 SIS수신기의 준광학계 설계, 제작 및 측정", 대한전자공학회지, 제36권, D편, 제8호, 1999년 8월
- [6] 박종애외 7인 "편파회전을 이용한 100/150 GHz 대역용 단측파대 여파기의 제작 및 성능측정", 대한전자공학회지, 제36권, D편, 제2호, 1999년 2월
- [7] Seog-Tae Han, Chang-Hoon Lee "A 100 GHz band Heterodyne SIS Receiver for the TRAO Telescope", *International Journal of Infrared and Millimeter Waves*, vol. 17, no. 1, Jan., 1996.
- [8] Jong Ae Park, Seog Tae Han "A Quasioptical System of the Dual Channel SIS Receiver for TRAO Telescope", *International Journal of Infrared and Millimeter Waves*, vol. 20, no. 10, Oct., 1999.
- [9] Jong Ae Park, Seog Tae Han "The Development of a Dual Channel SIS Receiver of TRAO Telescope", *International Journal of Infrared and Millimeter Waves*, vol. 20, no. 12, Dec., 1999.

≡필자소개≡

한 식 태

1957년 6월 18일 생

1979년 2월: 한양대학교 공과대학 통신  
공학과(공학사)

1986년 8월: 광운대학교 공과대학 전자  
통신공학과(공학석사)

1996년 8월: 충남대학교 공과대학 전자  
공학과(공학박사)

1987년 3월~1989년 3월: 미국 메사츄세츠 주립대학 천문학  
과 객원연구원

현재: 한국천문연구원, 대덕전파천문대 책임연구원

[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 부품 및 시스템  
개발, 초전도체 소자를 이용한 밀리미터파 및 서브밀리미  
터파 대역용 믹서 개발, 밀리미터파 및 서브밀리미터파  
우 주전파 수신기 개발 등.



박 종 애

1965년 8월 14일생

1987년 2월: 이화여자대학교 물리학과  
(이학사)

1993년 2월: 이화여자대학교 물리학과  
(이학석사)

2000년 2월: 이화여자대학교 물리학과  
(이학박사)

현재: 한국천문연구원, 대덕전파천문대 위축연구원

[주 관심 분야] 마이크로파 및 밀리미터파 부품 및 시스템  
개발, 준광학계 부품 및 시스템 설계 및 제작, 준광학계를  
이용한 안테나 시스템 제작 및 측정, 밀리미터파 및 서브  
밀리미터파 우주전파 수신기 개발 등.

