

Design of Array Antenna with Active Antenna Element

李 鏞 基* · 金 星 男** · 李 相 沅*** · 金 永 植§ · 千 昌 律§§

(Yong-Ki Lee · Sung-Nam Kim · Sang-won Lee · Young-Shik Kim · Changyul Cheon)

Abstract - In this paper, low noise amplifier(LNA), aperture coupled patch antenna and 4×4 array antenna are designed in the frequency range from 11.7GHz to 12GHz. Array antennas with and without LNA at the antenna element are fabricated and the performances are measured including noise figure(NF). The noise figure calculation for overall system was conducted and compared with the measured data to verify our measurement method. The measured overall noise figure of the array antenna with LNA at the antenna element is lower than that of array without LNA as expected.

Key Words : active antenna element, array antenna

1. 서 론

위성방송은 일반적으로 TV 프로그램이나 음성 프로그램 등의 각종 프로그램을 인공위성을 통하여 전송, 이용하는 방송 시스템을 의미한다. 즉, 방송국에서 TV 신호를 송신국으로 전송하면, 송신국은 적도 상공에 위치한 정지위성 궤도의 인공위성에 전파를 발사하고, 인공위성은 수신된 전파를 증폭하여 재 방송하는 시스템을 말한다. 이때 수신자는 위성 안테나를 설치하고 간단한 수신 장비를 이용하면 전국 어디서든 위성방송을 시청할 수 있게 되며 방송국은 전국 어디서나 동일한 TV 채널로 운용할 수 있는 이점이 있다.

무궁화 위성은 적도 상공 약 36,000 Km, 동경 116도의 정지궤도 상에 위치하여 있으며, 11.7GHz ~ 12.75GHz에 걸쳐 위성 방송을 중계하고 있다. 방송용(BS) 및 통신용 중계기(CS)를 모두 탑재하고 있으며, 대기 중의 감쇄 및 산란에 대비하여 원형 편파를 사용한다. 방송용 중계기는 11.7GHz ~ 12GHz의 주파수 대역에서 59.4dBW의 출력을 내고 있고, 통신용 중계기는 12.25GHz ~ 12.75GHz의 주파수 대역에서 54.7dBW의 출력을 내고 있다.

이와 같은 위성으로부터의 신호를 이동체에서 수신하기 위해서는 고 이득의 안테나가 필요하며, 이동체의 움직임에 따른 신호 추적이 가능해야 한다. 또한 사용 주파수가 높기 때문에 이동체 내부에 안테나를 설치할 수가 없고 외부로 돌출된 형태로 장착되어야 하기 때문에 수신단의 소형화는

무엇보다 중요한 요소라고 할 수 있다. 따라서 이동체 탑재형의 수신단은 주로 평판형의 배열 안테나를 통해 소형의 고 이득의 안테나를 구현하고, 모터 등의 기계적인 빔 조향 방식으로 위성으로부터의 신호를 추적하게 된다. 그러나 기계적인 빔 조향 방식의 경우 안테나 하단에 모터가 장착되어야 하기 때문에 수신단이 그 만큼 커지는 단점이 있다.

향후에는 기계적인 빔 조향 방식보다 위상 변위기를 이용한 전자적인 빔 조향 방식으로 수신단의 소형화는 물론, 좀 더 빠른 신호 추적이 가능할 것으로 기대된다. 하지만 전자적인 빔 조향 방식을 사용하기 위해서는 수신 안테나의 방사 패턴이 인공 위성이 위치한 양각 45°에 형성되어야 한다. 또한 배열 안테나 각 소자에 위상 변위기를 장착하여야 하고, 위상 변위기에서의 손실을 보상해야 한다. 이 손실은 이득을 감소시킬 뿐만 아니라 잡음지수(NF)에도 영향을 주어 전체 신호대 잡음비를 악화시키기 때문에 저잡음 증폭기(LNA)를 장착하여 수신단의 이득은 물론 잡음 특성을 개선하여야 한다.

본 고에서는 12GHz 대역에서 저잡음 증폭기가 장착된 배열 안테나를 설계, 제작하여 수신단의 잡음지수가 향상됨을 확인하고, 그것을 수식을 통하여 검증해 보고자 한다. 그러나 1 포트인 안테나의 잡음지수 측정은 일반적인 2 포트 측정 방법을 이용하기 힘들다. 따라서 Noise source에 기준 안테나를 연결하고 그 반대편에 측정하고자 하는 안테나를 Noise figure analyzer에 연결하여 잡음지수를 측정하고, 그 비교 대상을 통해 수식을 이용하여 그 결과를 검증하고자 한다.

2. 능동형 배열 안테나의 설계, 제작

능동형 배열 안테나를 설계, 제작하기 위해 우선 저잡음 증폭기와 단일 안테나 그리고 배열 안테나에 대해 설계, 제작하여 기본적인 특성을 살펴보고, 그러한 결과를 바탕으로

* 非 會 員 : 서울시립대 공대 전자전기컴퓨터학부 碩士卒業
 ** 非 會 員 : 서울시립대 공대 전자전기컴퓨터학부 碩士課程
 *** 非 會 員 : 서울시립대 공대 전자전기컴퓨터학부 博士課程
 § 非 會 員 : 비클시스템(주) 首席研究員
 §§ 正 會 員 : 서울시립대 공대 전자전기컴퓨터 학부 正教授
 接受日字: 2004年 1月 29日
 最終完了: 2004年 3月 3日

능동형의 4 × 4 배열 안테나를 제작하였다.

2.1 저잡음 증폭기 설계 및 제작

저잡음 증폭기는 NE3210S01의 $V_g = -0.5V$, $V_d = 2V$, $I_d = 10mA$ 에서의 S-parameter를 이용하여 teflon 기판 유전율 3.5, 두께 0.51mm에서 설계하였고, 설계 목표는 이득 11dB 이상, 잡음지수 1dB 이하로 하였다. 우선 최소의 잡음지수 특성을 얻기 위해 그림 1과 같은 2 포트 회로망에서 $\Gamma_{opt} = \Gamma_s$ 로 하여 입력 쪽의 정합회로를 설계하였고, 출력 쪽은 단방향성 트랜지스터를 가정하여 $\Gamma_L = S_{22}^*$ 로 정합회로를 설계하였다[1],[2]. 입, 출력 DC block 커패시터는 업체에서 6GHz까지 제공하는 s2p 파일을 이용하여 그림 2와 같이 모델링을 한 후 값들을 추출하여 설계 주파수에서 모의 실험을 하였다[3]. 그리고 바이어스 회로는 $\lambda/4$ 전송 선로와 래디얼 스타브를 이용하여 크기를 가능한 한 줄이도록 했다.

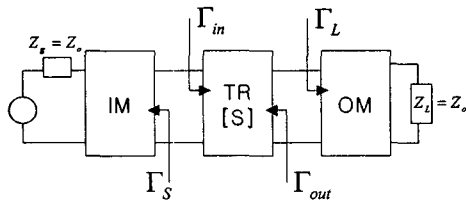


그림 1 일반적인 2 - 포트 회로망
Fig. 1 A general two - port network

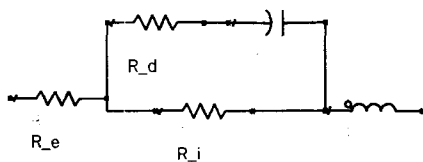


그림 2 커패시터 등가 회로
Fig. 2 Equivalent circuit of capacitor

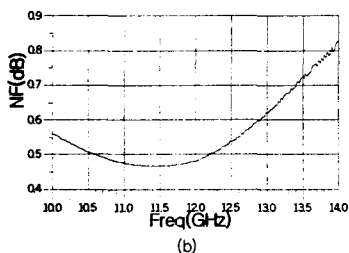
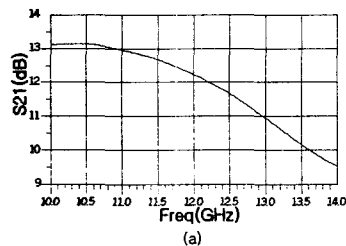


그림 3 저잡음 증폭기의 이득(a)과 잡음지수(b)
Fig. 3 Gain(a) and noise figure(b) of LNA

그림 3은 설계된 저잡음 증폭기의 모의실험 결과를 나타내고 있다. 이득은 설계 주파수 대역에서 12dB 이상을 보이고 있으며, 잡음지수는 0.5dB 이하로 설계 목표를 만족하는 것을 알 수 있다. 그러나 저잡음 증폭기는 이득과 잡음지수 특성도 중요하지만 그와 함께 회로의 발진 여부도 중요하기 때문에 그림 4와 같은 μ -test를 이용하여 설계 대역에서 모두 1 이상의 값을 만족하여 무조건 안정임을 확인하였다[1]. 그림 5에는 설계된 저잡음 증폭기에 대한 사진을 나타내었으며, 표 1은 설계 주파수 대역에서 측정된 이득과 잡음지수를 보이고 있다.

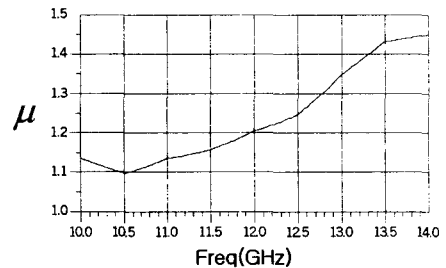


그림 4 안정도 (μ - test)
Fig. 4 Stability (μ - test)

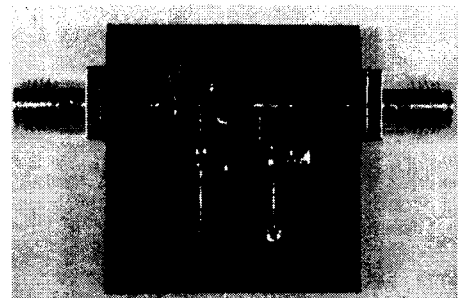


그림 5 제작된 저잡음 증폭기
Fig. 5 Photograph of LNA

측정된 결과는 모의실험 결과보다 이득은 약 1.3dB 정도, 잡음지수는 약 0.5dB 정도 안 좋아진 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 커패시터나 트랜지스터 그리고 커넥터 등의 연결 부분에서의 손실과 이상적이지 않은 DC block 커패시터의 사용이 제일 큰 원인으로 생각된다. 그러나 본 고의 목적은 최적화된 저잡음 증폭기의 설계가 아니기 때문에 이러한 손실은 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

표 1 측정된 결과

Table 1 Measurement results

	Gain	NF
11.7GHz	11.18	0.89
11.8GHz	11.1	0.74
11.9GHz	10.98	0.85
12GHz	10.76	0.98

2.2 배열 안테나 설계 및 제작

배열 안테나의 단일 소자로 개구면 결합 패치 안테나를 설계하였다. 2개의 기판이 사용되는데 급전부는 teflon 기판의 유전율 3.5, 두께 0.51mm를 사용하였고, 패치면은 teflon 기판의 유전율 3.5, 두께 1.6mm를 사용하였다. 이 때 대역폭은 패치가 위치한 기판의 두께와 유전율의 영향을 크게 받는데 두께가 두꺼울수록, 유전율 값이 작을수록 안테나의 대역폭은 증가하게 된다. 따라서 배열 안테나에 저잡음 증폭기를 장착할 때 -10dB 이하의 반사손실을 만족하기 위해 1.6mm의 두꺼운 기판을 사용하였다. 그림 6에 설계된 개구면 결합 패치 안테나를 나타내었다. 상단에 패치가 있고, 두개의 기판 사이에 GND가 위치하는데 이때 개구면을 통해 급전부와 패치와의 결합 양이 결정되게 된다. 공진 주파수는 기본적으로 패치 안테나의 크기에 의해 정해지지만, 개구면이나 스테브의 길이에 따라 급전부와의 결합 양이 달라지기 때문에 공진 주파수를 결정하는 변수는 그 만큼 많아지게 된다[4],[5].

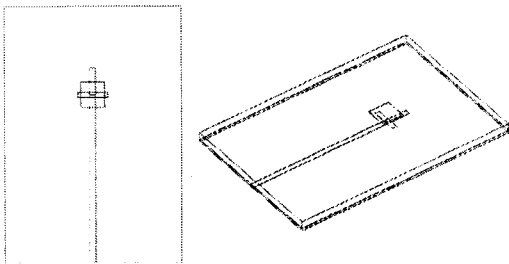


그림 6 개구면 결합 패치 안테나
Fig. 6 Aperture coupled patch antenna

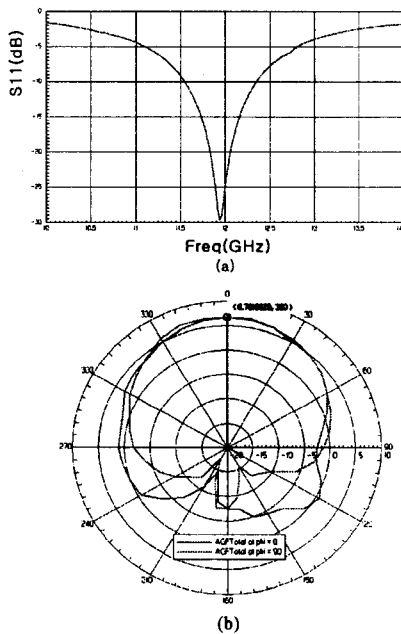


그림 7 안테나의 반사손실(a)과 방사패턴(b)(12GHz)
Fig. 7 Return loss(a) and radiation pattern(b)(12GHz) of antenna

그림 7에 나타낸 모의실험 결과를 보면 반사손실은 설계 대역에서 -10dB 이하의 값을 갖고, 12GHz 에서의 방사 패턴도 최대 6.78dBi의 이득을 보이고 있다. 지금까지 설계된 개구면 결합 패치 안테나를 이용하여 배열 안테나를 설계하기 위해서는 전력 분배기의 형태와 안테나 소자 간의 거리를 결정하였다. 우선 설계하고자 하는 배열 안테나는 어느 특정 방향에 대한 방사 패턴을 필요로 하지 않기 때문에 각 안테나 소자 간의 위상차가 없는 병렬 급전 방식을 사용하였다. 그리고 배열 안테나 소자 각각에 저잡음 증폭기를 장착해야 하기 때문에 그에 따른 전력 분배기에서의 공간이 필요하므로 안테나 소자간 거리 $d < \lambda$ 의 범위인 20.1mm로 하였다[4].

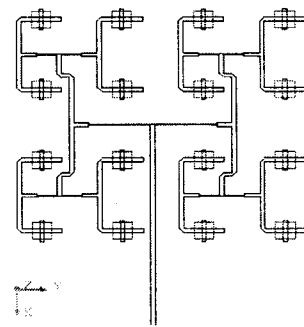


그림 8 4 × 4 배열 안테나
Fig. 8 4 × 4 array antenna

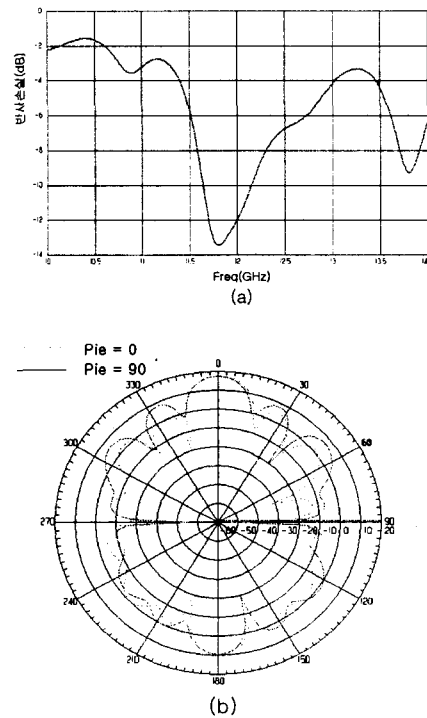


그림 9 계산된 배열 안테나의 반사손실과 방사패턴
Fig. 9 Computed return loss and radiation pattern(12GHz) of array antenna

그림 8은 설계된 배열 안테나의 구조를 보여주고 있고, 그에 대한 모의실험 결과는 그림 9에 나타내었다. 반사손실은 -10dB 기준으로 11.65GHz ~ 12.3GHz의 대역폭을 만족하고 있고 방사 패턴은 최대 17dBi의 이득을 보이고 있다. 지금까지 설계된 결과를 이용하여 그림 10과 같이 4 × 4 배열 안테나를 제작하였다. 사용되는 두 개의 기판을 연결하기 위해 영향을 최소화할 수 있는 플라스틱 스크류를 사용하였다. 측정 결과는 그림 11에서와 같이 반사손실과 방사 패턴 모두 설계 목표를 만족하고 있으며 모의실험과 비슷한 결과를 보이고 있다.

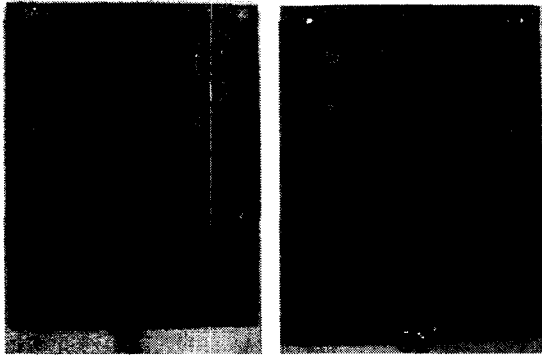
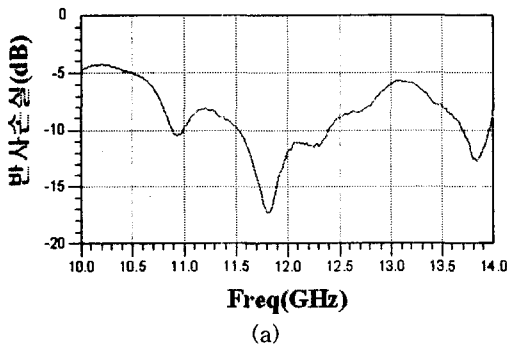
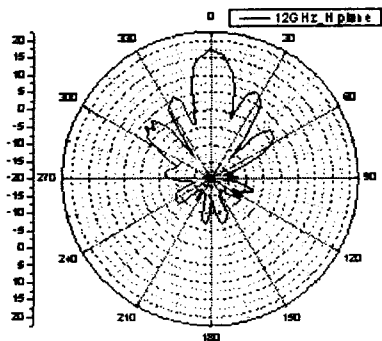


그림 10 제작된 4 × 4 배열 안테나
Fig. 10 Photograph of 4 × 4 array antenna



(a)



(b)

그림 11 측정된 4 × 4 배열 안테나의 반사손실과 방사패턴
Fig. 11 Measured return loss and radiation pattern of 4 × 4 array antenna

2.3 능동형 배열 안테나 제작

앞에서 설계, 제작한 저잡음 증폭기와 배열 안테나를 이용하여 4 × 4 능동형 배열 안테나를 제작하기에 앞서 2 × 2의 능동형 배열 안테나를 제작하여 반사손실 및 방사 패턴을 측정하였다.

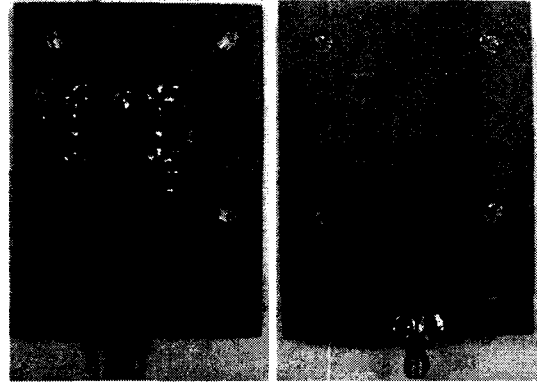


그림 12 저잡음 증폭기가 장착된 2×2 배열 안테나
Fig. 12 2×2 array antenna with LNA

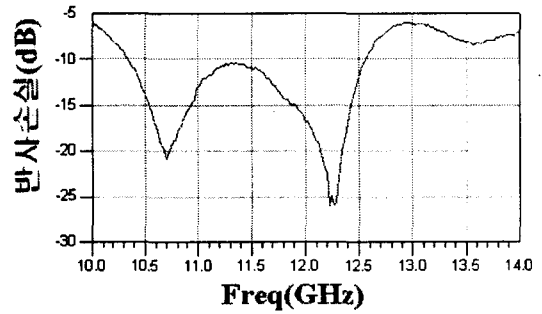


그림 13 저잡음 증폭기가 장착된 2×2 배열 안테나의 반사손실
Fig. 13 Return loss of 2×2 array antenna with LNA

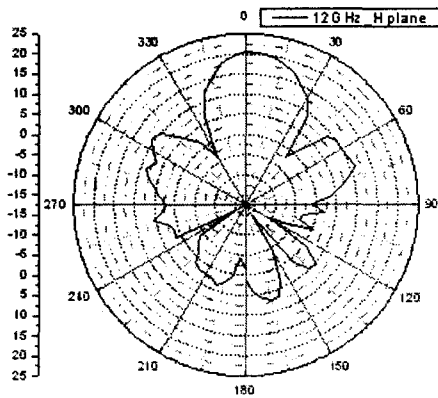


그림 14 저잡음 증폭기가 장착된 2 × 2 배열 안테나의 방사패턴
Fig. 14 Radiation pattern of 2 × 2 array antenna with LNA

그림 13, 14에서 보는 바와 같이 안테나 소자 각각에 저잡음 증폭기가 장착된 2 × 2 배열 안테나의 경우 설계 주파수 대역인 11.7GHz ~ 12GHz에서 반사손실 -10dB 이하의 값을 만족하고 있으며, 방사 패턴에서 이득 역시 최대 약 21dBi 정도의 값을 갖는 것을 알 수 있다. 그리고 그림 14에 나타난 방사 패턴에서 좌, 우 대칭이 틀어진 것을 알 수 있는데 이것은 측정 상의 오차로 측정 안테나를 회전시키면서 연결된 케이블이 비틀어짐에 따른 결과로 보여진다. 측정된 이득은 앞서 모의 실험과 측정을 통해 살펴본 각각의 단일 소자의 이득을 합한 것보다 약 2.5dB 정도 작은 값을 보이고 있는데, 이것은 전송선로에서의 손실과 함께 저잡음 증폭기에 의해 발생한 것으로 트랜지스터를 모두 동일한 조건으로 장착할 수 없는 이유와 함께 같은 트랜지스터라고 해도 동일한 바이어스 조건에 대해 드레인 전류에 차이가 생겨 트랜지스터 자체의 산란 계수를 변화시키기 때문인 것으로 판단된다. 이는 실제로 동일하게 인가한 전압에 따른 드레인 전류를 측정해 보면, 최대 ±3mA 정도의 변화폭을 갖는다.

4 × 4 능동형의 배열 안테나는 측정치와 계산치를 비교하기 위하여 그림 15에 나타난 것과 같이 전력 분배기 최종단에 1개의 저잡음 증폭기를 장착한 것(a)과 배열 안테나 급전부의 각각에 저잡음 증폭기를 장착한 것(b) 등 두가지 종류로 하였다. 그림 15에는 각각의 제작된 능동형 배열 안테나를 나타내었고, 그림 16은 그림 15의 (a)에 대한 반사손실과 방사 패턴에 대한 측정 결과를 보여주고 있다. 그림 15의 (b)의 경우 16개의 저잡음 증폭기가 장착되어 그에 따라 인가할 바이어스가 많아지기 때문에 그림에 나타난 것처럼 스프링 핀으로 게이트 전압과 드레인 전압을 각각 분리하여 다른 기판에 구현하였으나 스프링 핀의 접촉이 확실하게 고정되지 않아 방사 패턴 측정에 필요한 세팅이 불가능하였다. 따라서 2 × 2 능동형 배열 안테나에서 방사 패턴과 이득의 측정된 결과를 볼 때 4 × 4 능동형 배열 안테나도 정상적인 결과를 기대할 수 있기 때문에 그림 17에는 측정된 반사손실만을 나타내었다.

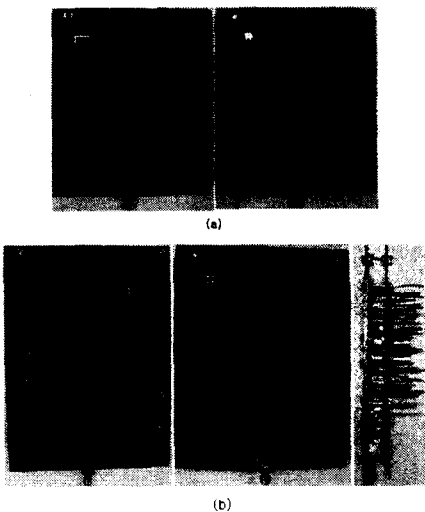


그림 15 저잡음 증폭기가 장착된 4 × 4 배열 안테나
Fig. 15 4 × 4 array antenna with LNA

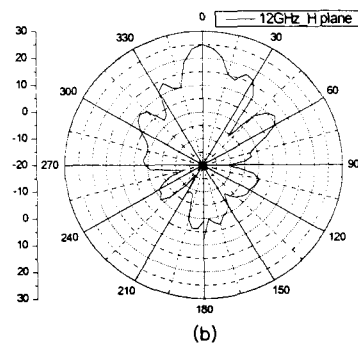
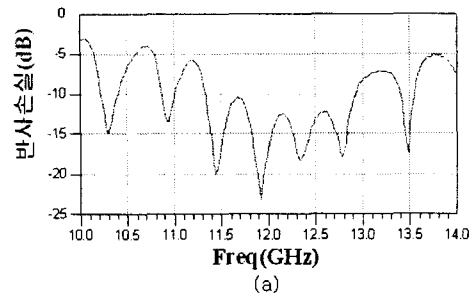


그림 16 저잡음 증폭기가 장착된 4 × 4 배열 안테나(그림 15 a)의 반사손실(a)과 방사패턴(b)
Fig. 16 Return loss(a) and radiation pattern(b) of 4 × 4 array antenna with a LNA(Fig. 15 a)

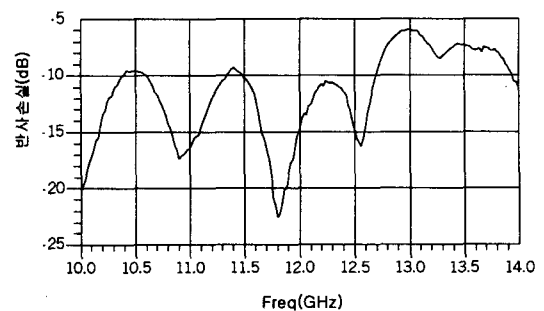


그림 17 저잡음 증폭기가 장착된 4 × 4 배열 안테나(그림 15 b)의 반사손실
Fig. 17 Return loss of 4 × 4 array antenna(Fig. 15 b) with LNA

지금까지는 저잡음 증폭기가 장착된 배열 안테나의 잡음 지수를 측정하기 위한 기본적인 안테나 특성을 측정하였고 이를 바탕으로 잡음지수를 측정하려 한다. 그러나 일반적인 잡음지수 측정은 2-포트 측정이기 때문에 1-포트인 안테나에서는 다른 방법을 사용하였다. 즉 그림 18의 (a)와 같은 방법으로 Noise Figure Analyzer를 교정하고 기준안테나와 측정 하고자 하는 안테나(DUT)를 위치시켜서 능동형 안테나의 잡음 지수를 측정하는 것이다. 이 때 안테나 간의 거리가 멀어질수록 잡음 지수가 커지게 되고, 그 변화폭도 커지

게 된다. 따라서 근접한 거리에 두 안테나를 위치시키고 능동형 안테나에 대한 잡음 지수를 측정하여 표 2에 나타내었다.

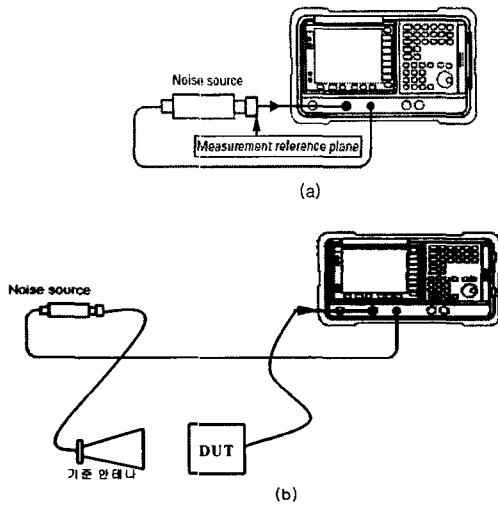


그림 18 교정(a) 및 잡음 지수 측정 방법(b)

Fig. 18 Calibration(a) and measurement method(b) of noise figure

표 2 측정된 결과

Table 2 Measurement results

	잡음지수(dB)			
	11.7GHz±	11.8GHz±	11.9GHz±	12GHz±
4×4 배열안테나-(1개의LNA)	12.8	13.6	14	14.3
4×4 배열안테나-(16개의LNA)	11.4	12.2	12.9	13.1

표 2에서 보듯이 12GHz에서 약 1.2dB 정도의 차이가 나타나는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 전송 선로에서의 손실 전과 후에 저잡음 증폭기가 위치함으로써 나타난 결과로 보이며 이것을 수식을 이용하여 검증하고자 한다. 이 때 저잡음 증폭기가 장착된 배열 안테나에서 모든 소자들의 특성이 동일하다고 가정하면, 전체의 잡음 지수는 그림 19에 의해 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

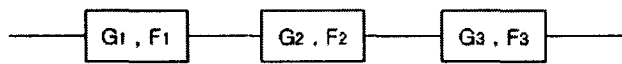


그림 19 시스템 구성도

Fig. 19 Block diagram of system

$$NF = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} \quad (1)$$

그리고 그림 18 (b)의 측정에서 위의 수식을 이용하기 위해 다시 그림 20처럼 나누어 생각할 수 있다. 이때 저잡음 증폭기와 전송선의 이득 및 잡음 지수, 그리고 전체 잡음 지수는 측정을 통해 알고 있다. 또한 그림 20에 나타난 마주보는 두 안테나의 이득 및 잡음지수는 수동 소자이므로 둘

중 하나를 알면 그 역으로 나머지를 계산할 수 있다. 즉 수동소자에서 $L = 1/G = F$ 가 되는 것이다. 따라서 그림 20의 (a)를 이용해 앞에서 나타난 잡음 지수 계산 식으로 마주보는 두 안테나의 이득 및 잡음지수를 계산할 수 있다. 이렇게 계산된 안테나 사이의 이득 및 잡음지수를 그림 20의 (b)에 적용하여 측정된 전체 잡음지수 값과 비교하고자 한다. 우선 저잡음 증폭기에 대한 이득과 잡음지수의 측정 결과는 알고 있기 때문에 식에서 필요한 저잡음 증폭기 사이의 전송선의 이득을 측정하여 그림 21에 나타내었다.

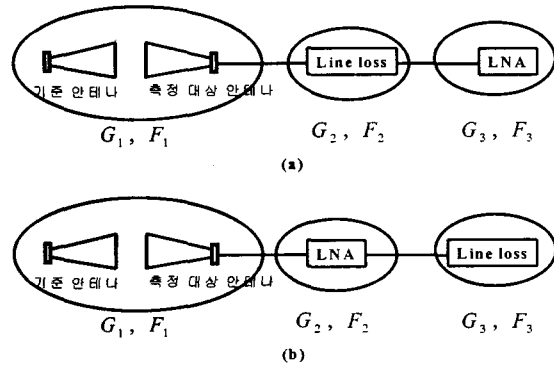


그림 20 저잡음 증폭기가 장착된 배열 안테나의 구성도

Fig. 20 Component of array antenna with LNAs

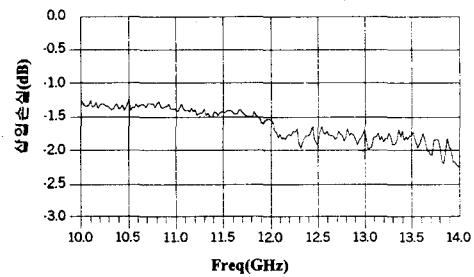


그림 21 전송 선로의 삽입 손실

Fig. 21 Insertion loss of the microstrip line

이러한 결과를 그림 20 (a)에 적용하여 12GHz에서 마주보는 두 안테나의 이득 및 잡음지수를 구하고, 그 값을 이용하여 그림 20 (b)의 그림에서 적용하여 식 (1)에 대입하면 계산된 잡음지수를 표 3과 같이 얻을 수 있다.

표 3 계산된 잡음지수 비교

Table 3 Comparison of the reckoned noise figure

	단위 (dB)			
	LNA Gain	LNA NF	Line loss	안테나 간 Gain
4×4 배열 안테나(그림 15 b)	10.78	0.98	1.5	-11.818

	단위 (dB)		
	안테나 간 NF	측정된 전체 NF	계산된 전체 NF
4×4 배열 안테나(그림 15 b)	11.818	13.1	12.915

표 3의 결과에서 보듯이 그림 20 (a)를 이용하여 계산된 안테나 간의 이득은 -11.818 dB가 나왔다. 이것은 잡음지수 측정 시 far field resign이 아닌 안테나 간 거리가 근접한 상태에서 측정이 이루어졌기 때문에 나타난 결과로 판단되고, 계산된 잡음지수와 측정된 잡음지수는 약 0.2dB 정도의 근소한 차이를 보이고 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 11.7GHz ~ 12GHz 대역에서 저잡음 증폭기, 개구면 결합 패치 안테나 그리고 배열 안테나를 설계, 제작하였다. 이를 이용해 전력 분배기 최종단에 저잡음 증폭기가 장착된 경우와 배열 안테나 급전부에 각각 저잡음 증폭기가 장착된 경우의 잡음 특성을 측정하였고, 이를 수식을 통하여 검증하였다. 즉 저잡음 증폭기가 장착된 배열 안테나의 잡음지수는 그 기준 안테나와 함께 noise figure analyzer를 이용하여 측정할 수 있고, 그 비교 대상을 통해 그 측정 결과를 수식으로 검증할 수 있다. 이 때 잡음 지수를 측정할 경우 두 안테나의 편파를 일치시키고, 위치를 고정하는 것이 무엇보다 중요하다.

감사의 글

본 논문은 2003년도 서울시립대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] David M. Pozar, "Microwave and RF Design of Wireless System", Jhon Wiley & Sons, Inc., pp. 202-204, pp. 214-218, 2001.
- [2] David M. Pozar, "Microwave Engineering", 2nd Edition, Jhon Wiley & Sons, Inc., pp. 628-631, 1998.
- [3] Yukio Sakabe, Masami Hayashi, Takefumi Ozaki, James P. Canner, "High Frequency Measurement of Multilayer Ceramic Capacitors", IEEE Trans. on components, Packaging and Manufacturing Tech., vol. 19, No. 9, pp. 7-14, 1996.
- [4] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory", 2nd Edition, Jhon Wiley & Sons, Inc., pp. 724-726, 1997.
- [5] Ramesh Garg, Prakash Bhartia, Inder Bahl, Apisak Ittipiboon, "Microstrip Antenna Design Handbook", Artech House, Inc., pp. 539-544, 2001.

저 자 소 개



이 용 기 (李 鑄 基)

1976년 12월 13일생. 2002년 서울시립대 전자전기컴퓨터 학부 졸업. 2004년 동 대학원 전자전기컴퓨터 학부 석사 졸업

Tel : 02 - 2216 - 1483

Fax :

E-mail : yiangel@empal.com



김 성 남 (金 星 男)

1977년 11월 15일생. 2003년 서울시립대 전자전기컴퓨터 공학부 졸업. 2003년 ~ 현재 동 대학원 석사과정

Tel : 02 - 2216 - 1483

Fax :

E-mail :



이 상 원 (李 相 沅)

1971년 7월 10일생. 1994년 서울시립대 전자공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전자공학과 석사 졸업. 2003년 동 대학원 전자전기컴퓨터 학부 박사 수료

Tel : 02 - 2216 - 1483

Fax :

E-mail : mobile_90@msn.com



김 영 식 (金 永 植)

1962년 10월 17일생. 1992년 광운대학교 전자공학과 졸업. 1998년 서울시립대학교 대학원 전자공학과 석사 졸업.

Tel : 02 - 858 - 4806

Fax :

E-mail : joys1009@nate.com



천 창 울 (千 昌 律)

1960년 4월 5일생. 1983년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1985년 동대학원 졸업(석사). 1992년 The University of Michigan, Ann Arbor 졸업(박사). 1992년-1995년 강원대학교 전기공학과 조교수. 1995년-현재 서울시립대학교 전자전기컴퓨터 공학부 교수

Tel : 02 - 2216 - 1483

Fax :

E-mail : changyul@uoscc.uos.ac.kr