
2단 LNA를 결합한 단일급전 원편파 패치안테나의 설계 및 제작

윤리호*

Design and Fabrication of Singly fed Circularly Polarized Patch Antenna with 2-stage LNA

Liho Yun*

요 약

본 논문은 위성 DMB 수신을 위하여 2단 저잡음 증폭기를 결합한 단일급전 원편파 패치 안테나를 설계 및 제작하였다. 제작된 안테나의 크기는 $40 \times 40 \times 15$ mm로서 상대유전율이 2.2인 테플론 기판으로 제작하였다. 측정된 안테나의 입력 반사손실(10 dB 대역폭)과 3 dB 축비의 대역폭은 각각 22 MHz와 28 MHz로 양호한 특성을 나타내었다. 제작된 2단 LNA는 각각 이득이 27.5 [dB], 잡음지수는 1.27 [dB], 입력 반사손실은 -15.4 [dB], 출력 반사손실은 -18.9 [dB]인 값을 갖는다. 시뮬레이션 결과와 실험결과가 잘 일치하였다. 제안된 안테나 구조는 위성 DMB 단말기 수신 안테나로 적용 가능하다.

ABSTRACT

In this paper, singly fed circularly polarized nearly-square patch antenna for receiving S-DMB is presented. It used teflon substrate of relative dielectric constant $\epsilon_r = 2.2$ and the size is $40 \times 40 \times 15$ [mm]. Experimental results of fabricated antenna show that input return loss and axial ratio are about 22 MHz, 25 MHz at the center resonant frequency, respectively. And fabricated LNA has gain of 27.5 [dB], NF of 1.27 [dB], input return loss of -15.4 [dB] and output return loss of -18.9 dB, respectively. Simulation results and experimental results are good agreements. This proposed antenna is well able to handheld gadgets for receiving S-DMB.

키워드

Nearly-square patch antenna, Circular polarization, LNA, S-DMB

I. 서 론

위성을 이용한 디지털 멀티미디어 방송(S-DMB)은 다양한 멀티미디어 정보를 차량 단말기나 이동통신용 단말기에 전송함으로써 사용자가 언제나 어디서나 이동하면서 정보를 수신할 수 있는 방송 서비스이다. 위성 정지궤도 위성으로 남남동 방향의 45° 상공에 위치

하고 있어 위성이 직접 보이는 지역은 전국 어디서나 수신 가능하다. 위성 DMB 주파수는 2.635~2.655 [GHz]의 주파수를 사용하며 이와같은 위성 신호를 직접 수신하려면 원형편파를 수신할 수 있는 안테나와 이와 결합한 고 이득, 저 잡음 증폭기가 요구된다.

원 편파를 발생하는 마이크로스트립 패치안테나는 편파의 트래킹이 불필요한 GPS, DMB 방송, 군사통신용

송수신 안테나에 널리 사용하고 있다. 이는 안테나를 경박단소화 할 수 있는 장점이 있기 때문이다. 이러한 마이크로스트립 패치 안테나는 급전방법에 따라서 쌍 급전(dual feed), 단일급전(single feed)으로 분류할 수 있고 이에 따라 다양한 형태의 안테나 구조를 연구하고 있다 [1-6]. 최근 단일급전 원 편파 패치 안테나가 널리 사용되는데 안테나 외부에 위상 변환기가 없으므로 compact한 구조를 만들기 쉽기 때문이다. 또한 원 편파 패치 안테나는 모드 전개법^[1-3], 다단자망 해석^[4], Raleigh-Ritz 방법^[5,6] 등의 해석방법을 연구하여 왔다.

저잡음 증폭기(LNA)는 이동통신 시스템의 수신단의 핵심부품으로 안테나에 수신된 신호를 증폭할 때 잡음을 최소한으로 줄이면서 원하는 신호만을 증폭시키는 기능을 하는 증폭기이다. 특히 수신기로 응용하고자 할 때 가능하면 잡음이 적은 전치증폭기를 갖도록 해야 한다. 이는 수신기의 첫 단의 잡음특성은 전체 시스템에 큰 영향을 미치기 때문이다^[7,8].

본 논문은 2.635~2.655 [GHz] 대역을 사용하는 차량용 위성 DMB 단말기의 수신 안테나에 대하여 차량에 설치가 용이하고 유지보수가 간편한 구조로 설계하기 위하여, 이득과 축비가 우수하며 단일급전 방식인 거의 정사각형인 마이크로스트립 원 편파 패치 안테나와 매우 양호한 임피던스 정합으로 안테나와 결합하는 고 이득 특성과 양호한 잡음지수를 갖는 2단 LNA를 개발하여 결합하였고, 실제 제작하여 측정된 결과 S-DMB 단말기의 수신용 안테나 구조로 사용할 수 있음을 보여주었다.

II. 본 론

1. 단일급전 원 편파 패치 안테나의 설계

원 편파를 발생하는 간단한 형태의 마이크로스트립 패치 안테나 중에서 거의 정사각형 형태(nearly square patch structure)의 사각형 패치 안테나의 구조를 그림 1에 나타내었다. 패치 안테나는 x-y 평면에 위치하며, 유한한 접지면 갖는 유전체 층의 폭과 길이는 각각 $L \times L = 40 \times 40$ [mm]로 정하고, 이때 유전체 층의 두께는 $t = 0.787$ [mm], 상대 유전율은 $\epsilon_r = 2.2$ 인 테플론 기판을 사용하였다. 정사각형 패치의 폭과 길이는 W 이고, 변형되는 패치의 폭과 면적은 각각 dW , $dS (=dW \times W)$ 이다. 급전방식은 동축선로 급전방식과 같은 형태의 단일급전이다.

또한 그림 1에서 보듯이 유전체 층의 윗면에는 패치 안테나가 위치하고, 아랫면은 고 이득, 저 잡음 특성을 갖는 2단 LNA를 배치하였다. 이때 패치 안테나의 급전점과 LNA의 입력단자는 피더를 통해서 직접 결합하므로 안테나 구조를 설계할 때 패치 안테나의 특성의 변화가 거의 없는 급전 점의 위치를 적절하게 결정해야 한다.

그림 1과 같은 구조는 노이만(Neumann) 경계조건과 Rayleigh-Ritz 방법을 이용하여 유한한 갯수의 고유 값과 고유함수로 표현된 행렬 방정식으로부터 퍼텐셜을 구하여 해석하고^[9], 이로부터 원편파를 얻기 위하여 크기는 같고 위상차가 90°인 두 개의 우세모드(dominant modes)를 구하여 안테나의 급전 점의 위치, 패치의 크기, 변형된 패치의 폭 그리고 원 편파 발생 주파수를 구하였다. 표 1은 무한 접지면일 때 패치안테나의 구조를 이론적으로 구한 값이다.

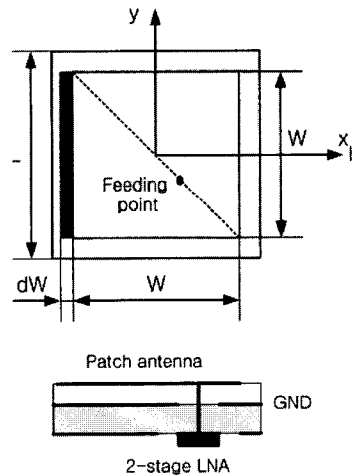


그림 1. 거의 정사각형인 안테나 구조
Fig. 1. Geometry of nearly square patch antenna.

표 1. 거의 정사각형 패치 안테나의 치수
($t = 0.787$ [mm], $\epsilon_r = 2.2$)

Table. 1. Dimensions of nearly square patch antenna
($t = 0.787$ [mm], $\epsilon_r = 2.2$).

W [mm]	37.4
급전 점 [mm]	(3.8, -3.5)
dW [mm]	0.6
CP 주파수 [GHz]	2.628

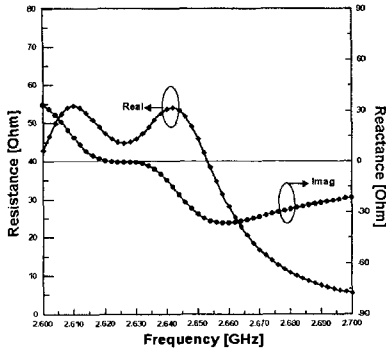


그림 2. 거의 정사각형 패치 안테나의 입력 임피던스
Fig. 2. Input Impedance of nearly square patch antenna

그림 2에 표 1의 치수를 이용하여 구한 안테나의 입력 임피던스의 실수와 허수부분을 나타내었다.

유한한 접지 면을 가진 유전체 층 위에 패치 안테나가 위치한다면 안테나의 특성이 무한 접지 면의 경우와 다소 달라진다는 사실은 잘 알려져 있다. 따라서 표 1의 치수를 바탕으로 유한한 접지 면을 갖는 유전체 층의 폭과 길이가 $L \times L = 40 \times 40$ [mm]일 때 안테나의 특성을 살펴보았다.

정사각형 패치 안테나의 길이와 폭은 $W = 37.4$ [mm], 변형되는 패치의 폭은 $dW = 0.5$ [mm], 급전 점의 위치는 $(x_0, y_0) = (3.8, -3.5)$ 일 때 HFSS 프로그램으로 설계하여 시뮬레이션 결과 원 편파 발생 주파수는 $f = 2.418$ [GHz]로 이론적으로 구한 결과보다 낮은 주파수에서 발생함을 관찰할 수 있었다. 이는 유한한 접지 면과 패치 사이의 fringing 효과가 고려된 결과이다.

표 1의 치수를 고정하고 변형된 패치의 폭 dW 를 $0.4 \sim 0.7$ [mm] 가변하여 안테나의 입력 반사손실을 관찰하여 그림 3에 나타내었다. 그림에서 보듯이 원 편파를 발생하려면 두 개의 모드가 존재해야 하므로 입력 반사손실도 두 곳에서 널(null)이 생겨야 하고 이들이 적절하게 겹쳐져야 원하는 주파수 대역에서 요구하는 축비(axial ratio)를 관찰할 수 있다. 따라서 유한한 경우 변형된 패치의 길이는 $dW = 0.5$ [mm]를 선택하였다.

그림 4는 원 편파 발생 주파수에서 관찰한 전장 성분의 복사패턴이다. 보여 사이트(bore-sight)에서 양호한 원 편파 특성이 나타남을 확인할 수 있었다. 또한 유한한 접지 면으로 인해 패치 안테나 뒤 쪽으로도 복사하므로 무한 접지 면보다 더욱 복사 각이 커짐을 알 수 있고 이는 실제 사용할 때 보다 유용하게 사용할 수 있음을 관찰할 수 있었다.

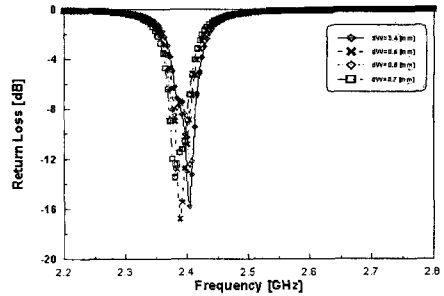


그림 3. 변형된 패치의 폭 dW에 따른 입력 반사손실
Fig. 3. Input return loss for various perturbed patch width dW.

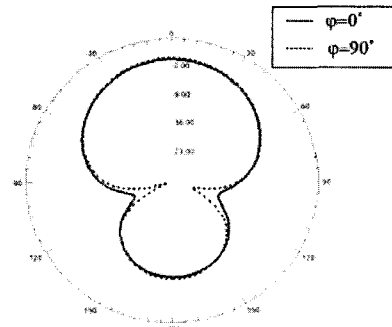


그림 4. 패치 안테나의 복사패턴
Fig. 4. Radiation pattern of patch antenna.

2.2단 저잡음 증폭기의 설계

2.6 [GHz] 대역에서 적절한 대역폭과 고 이득을 갖는 2 단 LNA를 설계할 때 우선 선형 라이브리리를 이용하여 S-파라미터로 설계한 후 Single ended type의 증폭기를 설계하여 최적의 잡음지수를 구현하며, 전치 증폭기의 선형성을 해석한다. 이러한 구조는 입력단의 반사손실 특성과 잡음지수 특성이 만족할 수 있도록 입력 정합 회로를 설계하여야 하며, 완벽하지 않아도 출력 단의 반사손실 또한 다음 단을 위하여 고려하여야 한다. 또한 출력 스미스 차트 상에서 전력이득 원을 그려 입력 쪽으로 변환하여 최적의 잡음지수 점을 정합 점으로 하여 정합 회로를 설계하여야 한다. 그러므로 설계할 저잡음 증폭기는 안정도, 선형성, 임피던스 정합, DC 바이어스 등 여러 조건의 trade off 관계를 따져 최적의 특성이 나올 수 있도록 하여야 한다⁸⁾. 또한 구현되는 LNA는 안테나와 직접 결합하는 형태이므로 시스템에 연결된 동축케이블을 통하여 시스템으로부터 DC 바이어스 신호를 공급받

게 된다. 따라서 LNA 설계할 때 S-DMB 대역 신호와 DC 신호를 분리하여야 한다.

본 논문에서 제안한 적절한 대역폭과 고 이득 특성을 갖는 2단 저잡음 증폭기를 시뮬레이션 할 때 사용한 고 주파용 Tr은 Infineon 사의 BFP620이다. SPICE 파라미터들과 Tr의 패키지 등가회로와 이에 따른 소자 값들은 제조사에서 제공하므로 이를 참고하였다.

제조회사에서 제공하는 파라미터들과 ADS 2004A 프로그램을 이용하여 적절한 대역폭과 고 이득 그리고 저잡음 특성을 갖도록 각 단에서 임피던스 정합이 유지되는 시뮬레이션 회로도를 작성하여 그림 5에 도시하였다.

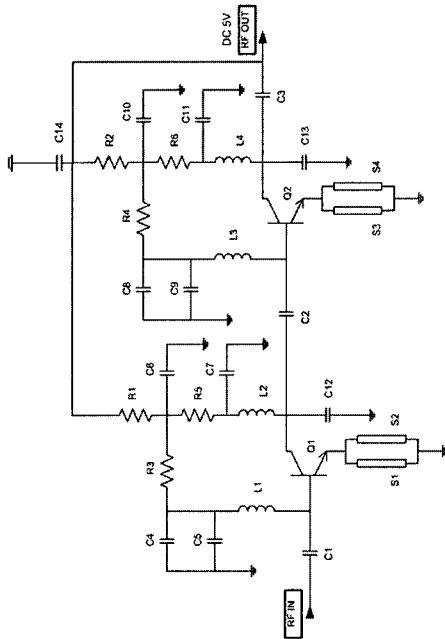


그림 5. 2단 LNA의 회로도
Fig. 5. Schematic diagram of 2-stage LNA.

그림 5의 회로도를 이용하여 시뮬레이션 결과 2단 LNA의 주요 스펙을 표 2에 나타내었다. 표에서 S11, S12, S21, S22 등 S 파라미터들과 잡음지수는 $f=2.642$ [GHz]일 때 계산한 값이다. 표에서 보듯이 바이어스 전압이 5[V]일 때 입력/출력 단에서 임피던스 정합, 이득과 잡음지수가 양호하므로 2.6 [GHz] 대역에서 우수한 2단 LNA를 제작할 수 있을 것이다.

III. 2단 LNA를 결합한 단일급전 원편파 패치 안테나의 제작 및 실험

그림 6에 제작한 2단 LNA를 결합한 단일급전 원편파 패치 안테나를 도시하였다. 이때 안테나의 [mm]인 테플론 기판을 사용하였고, LNA는 Rogers 사의 RO4003 기판 ($\epsilon_r=3.38, t=20\text{mil}$)을 사용하여 제작하였다. 기판의 전체적인 치수는 $L \times L=40 \times 40$ [mm]로 고정하였다. 그림 6에서 정사각형 패치 안테나의 길이와 폭은 $W=37.4$ [mm], 변형되는 패치의 폭은 $dW=0.6$ [mm], 급전 점의 위치는 $(x_0, y_0)=(3.8, -3.5)$ [mm]이다.

표 2. 2단 LNA의 시뮬레이션 결과
Table. 2. Simulation results of 2-stage LNA.

Parameter	Symbol	Value
DC Bias Condition	V	5 V
Operating Frequency	f_o [GHz]	2.627~2.657
Gain	dB[S21]	27.6
Noise Figure	NF	1.331
Input Return Loss	dB[S11]	-26.43
Output Return Loss	dB[S22]	-14.415
Reverse Isolation	dB[S12]	-35.1
CE voltage	V_{CE}	2.0V(1st) 2.3V(2nd)
Supply current	I [mA]	29.4
PCB Area	mm ²	30×25

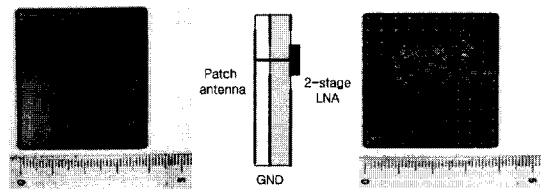


그림 6. 2단 LNA를 결합한 패치 안테나 구조
Fig. 6. Geometry of patch antenna with 2-stage LNA.

그림 7에 제작된 단일급전된 거의 정사각형 원편파 패치 안테나의 입력 반사손실에 대한 시뮬레이션 결과와 실험결과를 나타내었다. 2.6 [GHz] 대역에서 제작한 안테나의 입력 반사손실이 -10[dB]이하로 특성이 매우 양호함을 관찰할 수 있었다. 시뮬레이션 결과와 실험결과와의 차이는 가장자리에서 프린팅 필드와 급전 점에서 임피던스 정합의 변화 등에 의해서 생겼으며 이와 같은

효과들을 고려하여 설계 및 제작하였다.

제작한 패치 안테나에서 주파수에 따른 이득과 축비를 측정하여 표 3에 나타내었다. 2.6 [GHz] 대역에서 이득과 축비가 매우 우수함을 관찰할 수 있었다. 결론적으로 거의 정사각형인 패치 안테나는 S-DMB 수신용 단일급전 원편파 패치 안테나로서 매우 유용하게 사용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

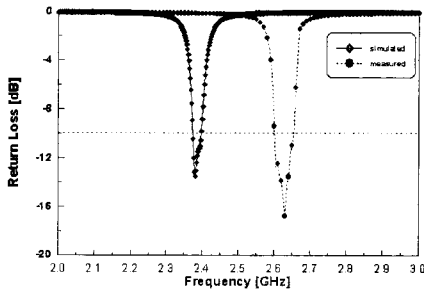


그림 7. 제작한 안테나의 입력 반사손실
Fig. 7. Input return loss of fabricated antenna.

표 3. 제작한 안테나의 이득과 축비
Table. 3. Gain and AR of fabricated antenna.

주파수[GHz]	2.635	2.645	2.655
이득[dBi]	3.04	3.12	3.08
축비[dB]	1.18	0.36	1.92

안테나의 특성을 보완하기 위하여 고이득 특성을 갖는 2단 LNA를 제작하여 입/출력단의 반사손실, 이득, 잡음지수 등을 측정하여 그림 8-12에 도시하였다. 2.6 [GHz] 대역에서 매우 양호한 특성들을 확인할 수 있었다. $f=2.642$ [GHz] 일 때 입/출력 반사손실과 역방향 이득은 각각 $S_{11}=-15.4$ [dB], $S_{22}=-18.9$ [dB], $S_{12}=-39.1$ [dB]를 관찰할 수 있었고, S-DMB 대역 전반에서 잡음지수는 $NF=1.27$ [dB]가 관찰되었다. 또한 $f=2.642$ [GHz] 일 때 이득은 $S_{21}=24.4$ [dB]인데 이때 바이어스 tee에 의한 삽입손실(2.34 [dB])과 케이블에 의한 손실(0.8 [dB])을 포함하면 실제의 이득은 $S_{21}=27.54$ [dB]가 되어 고이득 특성을 갖는 2단 LNA로서 매우 유용하다고 생각된다. 따라서 거의 정사각형의 패치 안테나와 2단 LNA를 결합하면 $f=2.642$ [GHz]에서 총 이득은 30.64 [dB]로 S-DMB 수신용 패치 안테나로서 유용하게 사용할 수 있음을 확인하였다.

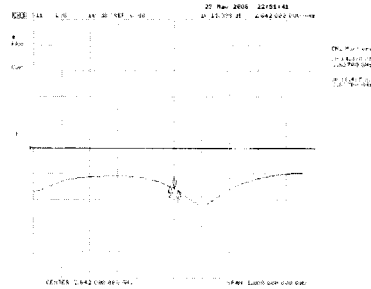


그림 8. 입력 반사손실 S_{11}
Fig. 8. Input return loss S_{11}

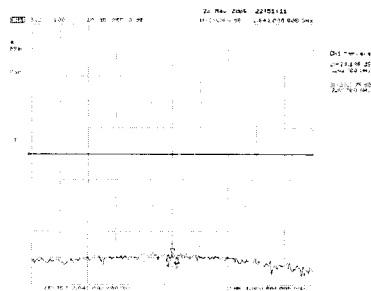


그림 9. 역방향 이득 S_{12}
Fig. 9. Reverse gain S_{12}

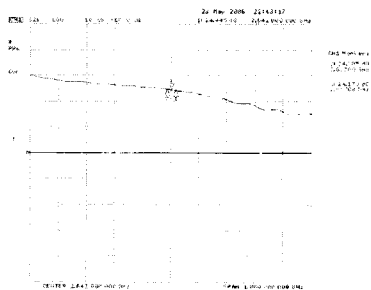


그림 10. 순방향 이득 S_{21}
Fig. 10. Forward gain S_{21}

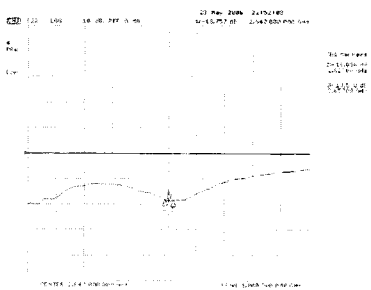


그림 11. 출력 반사손실 S_{22}
Fig. 11. Output return loss S_{22}

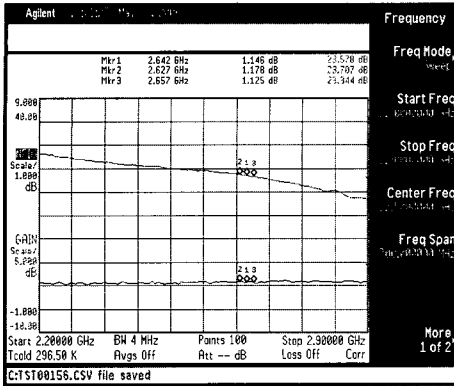


그림 12. 잡음지수 NF
Fig. 12. Noise Figure NF.

IV. 결 론

S-DMB 대역을 사용하는 차량용 위성 DMB 단말기의 수신용 안테나로서 거의 정사각형인 단일급전 원편파 마이크로스트립 패치 안테나를 해석, 설계 및 제작하였고, 또한 안테나와 매우 양호한 임피던스 정합 특성으로 결합하는 고 이득 특성 그리고 양호한 잡음지수를 갖는 2단 LNA를 설계 및 제작하였다. 제작된 패치 안테나와 2단 LNA를 각각 측정하였으며, 안테나는 2.6 [GHz] 대역에서 이득과 축비의 값이 매우 우수하였고, 2단 LNA의 입/출력 반사손실과 이득, 잡음지수의 값도 매우 양호함을 확인할 수 있었다.

그러므로 고 이득 2단 LNA를 결합한 단일급전 원편파 패치 안테나 구조는 S-DMB 단말기의 수신용 안테나 구조로 매우 유용하게 사용할 수 있음을 보여주었다.

향후 단말기에 직접 결합될 때 공진주파수, 입력 반사손실과 복사특성 등의 다양한 변화에 대하여 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] G. Ramesh, B. Prakash, B. Inde, and I. Apisack, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Artech House, Inc. 2001.
[2] Y. K. Cho, G. H. Son, G. S. Chae, L. H. Yun, and J. P. Hong, "Improved analysis method for broadband

rectangular microstrip antenna geometry using E-plane gap coupling", *Electronics Lett.*, vol. 29, no. 22, pp. 1907-1909, Oct. 1993.

[3] 조영기, 이창원, 이종익, 윤리호, 채규수, 홍재표, "구형 마이크로스트립 안테나구조의 상호결합에 대한 개선된 해석방법과 제안된 해석방법의 광대역 기술에의 응용", *전자공학학회논문지*, 32-A(1), pp. 61-69, 1995.
[4] Y. Suzuki and T. Chiba, "Computer Analysis method for arbitrarily shaped microstrip antenna with multi-terminals", *IEEE Trans. AP-32*, pp. 585-590, 1984.
[5] 이윤만, 서호수, 윤리호, 홍재표, 조영기, "Rayleigh-Ritz 방법을 이용한 원형편파용 패치 안테나의 기저함수의 수렴에 대한 고찰", *춘계 마이크로파 및 전파 전파연구회 학술발표회 논문집*, 16(1):126-128, 1993.
[6] J. R. James and P. S. Hall, *Handbook of Microstrip Antennas*, IEE Electromagnetic Waves Series 28 Part I, pp. 219-232, 1989.
[7] G. Gonzalez, *Microwave Transistor Amplifiers*, Prentice-Hall 2nd Edition, 1997.
[8] 강병수, 정재호, 최현철, "스펙트럼 분석기용 광대역 저잡음 증폭기의 설계 및 제작", *마이크로파 및 전파 학술대회 논문집*, 제21권 2호, pp. 3-6, 1998.

저자소개



윤리호(Li-Ho Yun)

1989년 경북대학교 전자공학과 공학사
1992년 경북대학교 전자공학과 공학석사
1998년 경북대학교 전자공학과 공학박사
1998.3~현재 경북도립대학 IT특약계열 부교수
※관심분야: 안테나공학, 마이크로파 및 전파전파