

등가 모델을 이용한 광대역 수신용 능동 다이폴 안테나 설계

Design of a Broadband Receiving Active Dipole Antenna Using an Equivalent Model

이 철 수 · 백 정 기*

Cheol-Soo Lee · Jeong-Ki Pack*

요 약

VHF 대역에서 능동 안테나는 작은 크기로 인하여 많이 사용되고 있다. 능동 안테나는 안테나와 증폭기가 직접 연결되어 있으며, 수신 시스템의 초단부에 위치하고 있으므로, 능동 안테나의 이득 및 잡음 지수 특성은 좋은 감도를 위하여 중요하다. 본 연구에서는 5:1 대역폭(100~500 MHz)에서 동작하며, 다이폴과 P-HEMT 증폭기로 구성되는 능동 다이폴 안테나를 개발하였다. 능동 다이폴 안테나의 요구된 성능을 얻기 위하여, 안테나와 증폭기를 동시에 설계되어야 한다. 이를 위하여, 1-포트 다이폴 안테나를 등가의 2-포트 시스템으로 모델링하는 등가 포트 개념을 도입하였다. 이러한 제안된 등가 포트를 이용하여 ADS로 능동 다이폴 안테나의 성능에 대한 시뮬레이션 하였다. 안테나의 이득과 잡음 지수 특성을 측정하기 위하여, 2-포트 등가 임피던스 모델을 이용하였다. 제작된 능동 다이폴 안테나의 측정된 평균 이득, 잡음 지수 및 VSWR은 각각 8 dBi, 9 dB, 1.7:1이다. 방사 패턴은 다이폴 안테나와 같은 특성을 얻었다. 시뮬레이션 결과와 측정된 결과를 비교 시, 제안된 방법의 타당성을 확인하였다.

Abstract

In the VHF range, active antennas are widely used for wideband applications due to their small size. Active antenna consists of antenna elements and amplifiers, which are directly connected to each other. Gain and noise-figure characteristics are very important for good sensitivity performance, because it is located at the front end of a receiving system. In this study, we developed an active dipole antenna with 5:1 bandwidth(100~500 MHz), which consists of a dipole antenna and a P-HEMT amplifier. To obtain required performances, the antenna and the amplifier should be designed simultaneously. In order for that, we introduced an equivalent port concept to model the 1-port dipole antenna as an equivalent 2-port system. Using the proposed equivalent port, the performance of the active dipole antenna was simulated by the ADS. In order to measure the gain and noise-figure characteristics of the antenna, we utilized the same concept of the two-port equivalent impedance model. The measurement results for typical gain, NF and VSWR in the required frequency band were 8 dBi, 9 dB and 1.7:1, respectively. The radiation patterns at the principal planes were same as the typical radiation pattern of a dipole antenna. By comparing the simulation results with measured ones, it is confirmed that the proposed methods works well.

Key words : Active Receiving Antenna, Equivalent Port Model, Equivalent Impedance Model

I. 서 론

다양한 주파수 특성을 갖는 음성 및 데이터 신호에 대한 탐색, 감청, 방향 탐지를 목적으로 하는 수

국방과학연구소(Agency for Defense Development)

*충남대학교 전파공학과(Dept. of Radio Science & Engineering, Chungnam National University)

· 논문 번호 : 20070911-101

· 수정완료일자 : 2007년 12월 28일

신 시스템의 경우, 광대역 주파수 특성을 갖는 안테나가 필요하다. 주파수 범위가 VHF 대역의 경우, 주로 wire 형태의 안테나가 많이 사용되며, 광대역 주파수 특성을 얻기 위하여 R/L/C 소자를 안테나의 방사 소자에 추가시키는 부하 안테나(loaded antenna)^[1]나 대수 주기 안테나(LPA: Log Periodic Antenna), 바이코니컬(biconical) 안테나와 같은 주파수 독립 안테나^[2]를 많이 사용하지만, R/L/C 등에 의한 이득 감소나 큰 크기와 무게 등으로 사용 범위가 제한될 수 있다. 참고문헌 [1], [2]에 비하여 소형, 경량 구조이면서 wire 안테나보다 이득이 높은 특성을 갖는 안테나로 능동 안테나가 있다^{[3]~[5]}. 능동 안테나는 소형, 경량화 구조 특성으로 주로 VHF 대역 이하에서 많이 사용되며, 동작 파장보다 짧은 모노폴 또는 다이폴 안테나에 증폭 소자를 직접 연결하는 구조로 되어 있다. 안테나 크기가 작기 때문에 복사 패턴도 주파수와 무관한 특성을 얻을 수 있으며, 안테나에 유기되는 전류량이 작기 때문에 다른 안테나와의 상호결합이 작으므로, 방향 탐지나 빔 조향 시스템 등에 응용할 수 있다^[6]. Ashraf Ramadan은 참고문헌 [7]에서 Lindmenmeier와 Meinke이 안테나와 증폭 기간 전송 선로가 1 m가 넘는 경우, 이를 수동 안테나로 분류함으로써, 능동 안테나는 전송 선로에 의한 부정합 특성을 줄이는 특성이 있음을 보였다. 이러한 능동 안테나는 E. H. Nordholt *et al.*은 케환 구조와 가상 접지(virtual ground) 및 FET(Field Effect Transistor)를 사용한 능동 안테나 설계에 있어서 안테나의 리액턴스만을 고려하였다^[8]. 그리고, R. A. Sainati *et al.*은 능동 안테나의 잡음 지수 및 회로의 유효 이득이 안테나의 임피던스와 관계가 있다고 하였으나, 광대역 특성을 갖는 안테나 저항을 구현하지 않고, 주파수와 무관하게 25 Ω으로 고정하였고, 잡음 지수는 감도로부터 계산하였다^[9]. 또한, 능동 다이폴 안테나의 주요 성능인 이득과 잡음 지수는 안테나의 방사 저항에 의하여 제한된다고 하였다^[10]. 그러나, 참고문헌 [8]~[10]은 능동 소자(FET)의 등가 회로 성분 및 수식을 이용하여 잡음 지수 및 유효 이득을 계산하였고, 설계된 능동 안테나에 대한 잡음 지수 및 이득에 대한 자세한 측정 방법을 기술하지 않고 있다.

본 논문에서는 5:1(100~500 MHz) 광대역 대역폭을 가지며, 안테나 소자로 다이폴 안테나를 사용한

광대역 수신용 능동 다이폴 안테나를 설계하였다. Agilent사의 ADS(Advanced Design Software)를 이용하여 능동 다이폴 안테나를 설계하고자 1-포트 구조의 능동 다이폴 안테나를 2-포트 회로로 변환하기 위하여 다이폴 안테나 대신에 ADS에서 시뮬레이션을 할 수 있는 포트 특성으로 등가화 하는 방법을 제안하였다. 또한, VHF의 동작 주파수를 갖는 능동 안테나의 이득 및 잡음 지수를 측정을 위하여 매우 큰 전자파 무반사실(anechoic chamber)이 필요하지만, 다이폴 안테나를 2-포트 등가 임피던스 모델로 등가화 하여 능동 다이폴 안테나의 이득 및 잡음 지수를 측정하였다. 등가 모델을 이용한 제안된 능동 다이폴 안테나 설계 방법과 측정 방법의 타당성을 검증하기 위하여 능동 다이폴 안테나의 이득을 야외에서 측정하였으며, 설계치와 측정치가 잘 일치함으로써 제안된 방법의 타당성을 확인하였다.

II. 광대역 능동 다이폴 안테나 특성 설계

2-1 다이폴 안테나 특성 계산

능동 다이폴 안테나에서 복사와 관련된 특성은 다이폴 안테나 특성과 동일하다. 그림 1은 길이 L , 지름이 $2a$ 인 구조의 다이폴 안테나로 입력 임피던스 ($Z_{IN} = R_{IN} + jX_{IN}$), 복사 패턴 및 지향도(directionality)는 모멘트 방법을 이용하여 계산하였다^[11].

모멘트 방법은 식 (1)과 같이 도체 표면에서 전계의 접선 성분의 합은 0이 되는 것을 이용하여, 도체

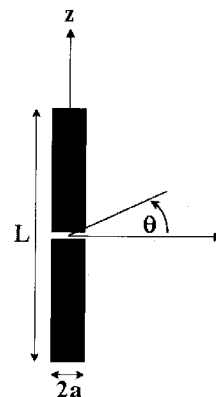


그림 1. 다이폴 안테나 구조
Fig. 1. Structure of a dipole antenna.

표면에 유기되는 전류를 구함으로써, 입력 임피던스, 복사 패턴과 함께 지향도를 구할 수 있다.

$$n \times E^i(r) \Big|_{\text{도체표면}} = n \times (E^i(r) + E^s(r)) \Big|_{\text{도체표면}} = 0 \quad (1)$$

여기에서, $E^i(r)$ 은 총 전계이며, $E^i(r)$ 은 입사 전계, $E^s(r)$ 은 산란 전계이다. 산란 전계를 도체 표면에 유기되는 전류 밀도 J_z 로 표현하면, 식 (2)~식 (3)이 된다.

$$E^s(r) = -j \frac{1}{\omega \mu \epsilon} \left(k^2 A_z + \frac{\partial^2 A_z}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$$A_z = \frac{\mu}{4\pi} \int_{-L/2}^{L/2} \int_0^{2\pi} J_z \frac{e^{-jkR}}{R} a d\phi' dz' \quad (3)$$

그림 1의 z 축에 관찰점이 있고, 반지름 a 인 도체 표면에 소스점이 있으며, z 축을 중심으로 대칭적인 구조 특성과 함께 전류 밀도가 ϕ 에 따라 변화하지 않는 특성을 이용하면, 식 (3)은 식 (4), 식 (5)로 정리할 수 있다.

$$A_z(\rho = a) = \frac{\mu}{8\pi} \int_{-L/2}^{L/2} \int_0^{2\pi} I_z(z') \frac{e^{-jkR}}{R} d\phi' dz' \quad (4)$$

$$R(\rho = a) = \sqrt{4a^2 \sin^2\left(\frac{\phi'}{2}\right) + (z - z')^2} \quad (5)$$

다이폴 안테나 반지름이 파장보다 매우 작은 조건에서, 입사파(E_z^i)와의 관계식으로 정리하면, 식 (1)은 식 (6)과 같이 표현되어진다.

$$\int_{-L/2}^{L/2} I_z(z') \frac{e^{-jkR}}{4\pi R^5} [(1 + jkR)(2R^2 - 3a^2) + (kaR)^2] dz' = -j\omega \epsilon E_z^i(\rho = a) \quad (6)$$

여기에서, $R = \sqrt{a^2 + (z - z')^2}$ 이 된다.

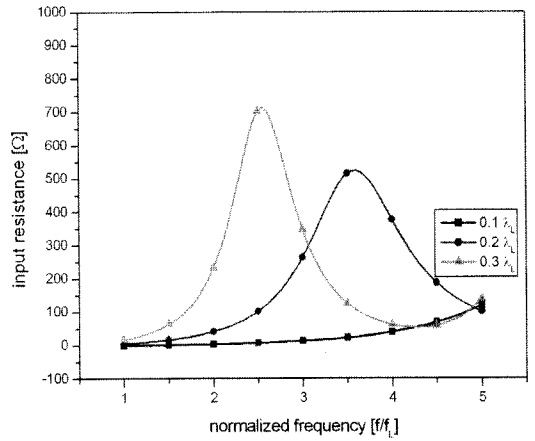
식 (6)은 펄스 기본 함수(pulse basis function)와 포인트 매칭(point-matching) 방법 및 가중치 함수(weighting function)로 펄스 기본 함수를 사용하는 Galerkin 방법을 이용한 모멘트 방법을 이용하여, 다이폴 안테나에 흐르는 전류($I_z(z')$)를 구할 수 있다. 급전 모델로는 델타 갭(delta gap)을 사용하였다.

다이폴 안테나의 입력 임피던스는 급전된 포인트에서의 전압과 전류의 비로 구하며, 방사 패턴은 식 (6)으로부터 구한 전류를 식 (2)에 대입하여 계산되어지며, 지향도는 식 (7)로 얻을 수 있다.

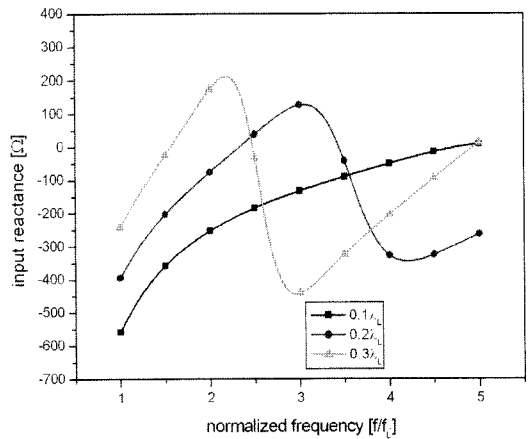
$$D_o = 4\pi \frac{F(\theta, \phi) \Big|_{\max}}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi F(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi} \quad (7)$$

여기에서, $F(\theta, \phi)$ 는 다이폴 안테나의 방사 세기이다.

그림 2는 다이폴 안테나 길이에 따른 주파수별 다이폴 안테나의 입력 임피던스 특성이다. 주파수 및 안테나 길이는 100 MHz로 정규화 하였으며, 다이폴 안테나는 $0.1 \sim 0.3 \lambda_L$ 의 길이를 갖는 경우로 제한하였다. 계산된 다이폴 안테나의 직경은 16 mm로 고정하였다. 다이폴 안테나 길이가 λ 보다 짧을수록 입력 저항은 작고, 캐패시티브 성분의 리액턴스를



(a) 입력 저항
(a) Input resistance



(b) 입력 리액턴스
(b) Input reactance

그림 2. 다이폴 안테나 입력 임피던스 특성
Fig. 2. Input impedance characteristics of the dipole antenna as a function of antenna length.

나타내고 있다.

2-2 저잡음 증폭기 설계

능동 다이폴 안테나는 증폭기와 같은 능동 소자를 다이폴 안테나에 직접 연결된 구조로 비가역 특성을 갖는다. 이러한 능동 다이폴 안테나는 수신용으로 사용됨으로 수신 시스템의 신호 감도 개선을 위하여 양의 이득 및 저잡음 특성이 요구되어진다. 능동 다이폴 안테나는 다이폴 안테나와 증폭 소자 사이에 전송 선로가 없는 구조이므로, 증폭 소자의 입력 임피던스는 다이폴 안테나의 입력 임피던스가 된다. 또한, 증폭 회로에 대한 이득 및 잡음 특성은 다이폴 안테나의 입력 임피던스와 사용되는 소자 및 증폭 회로의 구성 방법에 따라 달라진다^{[6],[10]}. 능동 다이폴 안테나가 수신용으로 사용됨으로 입사된 전자파에 의하여 다이폴 안테나 가운데에 전압이 유도되어지며, 유도된 전압이 증폭기로 유도되기 위하여 능동 소자의 입력 임피던스는 높아야 한다. 이와 함께, 저잡음 특성을 가져야 수신 시스템의 수신 감도를 향상시킬 수 있게 된다. 일반적으로 BJT(Bipolar Junction Transistor)보다 FET(Field Effect Transistor) 소자가 낮은 잡음 특성을 가지고 있다. 또한, FET를 사용한 회로 구성시 공통 소스(CS: Common Source) 구조가 공통 게이트(CG: Common Gate), 공통 드레인(CD: Common Drain) 구조보다 좋은 잡음 특성을 갖는다. 따라서, 본 논문에서 능동 다이폴 안테나의 증폭 회로를 Agilent사의 ATF-54143 E-PHEMT의 FET를 사용하였으며, CS 구조를 선택하였다. 또한, 다이폴 안테나는 평형(balance) 구조이므로 능동 회로도 평형 구조로 설계함으로써 능동 다이폴 안테나의 수신 복사 패턴이 다이폴 안테나의 복사 패턴과 동일한 특성을 얻을 수 있도록 하였다^[6].

2-3 안테나 등가 포트 모델

능동 다이폴 안테나는 안테나와 증폭기의 특성을 가지므로 이득 및 잡음과 같은 전기적 특성을 시뮬레이션하기 위하여 Agilent사의 ADS를 사용하였다. 그러나, ADS와 같은 2-포트 회로망 해석 툴을 이용하기 위하여 다이폴 안테나를 등가 포트 모델로 구성함으로써, 1-포트로 구현되는 능동 다이폴 안테나를 2-포트

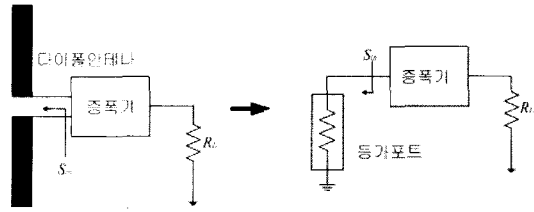


그림 3. 제안된 등가 포트 모델
Fig. 3. Proposed equivalent port model.

의 능동 다이폴 안테나로 구성하여야 한다. 즉, 증폭기의 입력에 해당되는 다이폴 안테나를 회로 해석이 가능한 포트 모델로 구성하고, 다이폴 안테나를 대신하는 등가 포트의 전기적 특성은 다이폴 안테나와 동일하도록 하였다. 그림 3은 다이폴 안테나와 동일한 전기적 특성을 가지면서, ADS에서 포트 기능을 갖도록 하여 다이폴 안테나를 대체하는 제안된 등가 포트 개념을 보였다. 이때, 증폭기에서 안테나와 등가 포트를 바라다 본 S_{in} 은 동일한 특성을 가져야 한다.

2-4 등가 포트 모델을 이용한 광대역 능동 다이폴 안테나 설계

그림 4는 그림 3의 등가 포트 모델을 이용하여, 광대역 능동 다이폴 안테나의 특성을 시뮬레이션하기 위한 ADS 회로 설계도이다. 'P1'은 등가 포트 모델로 다이폴 안테나의 임피던스와 ADS의 포트 성질을 동시에 갖고 있으며, 'TF1'은 양극(di-polarity)을 구현하기 위한 트랜스 포머이다. 점선의 A-A'는 구현된 증폭 회로로서, 다이폴 안테나와 동일한 복사 패턴을 얻기 위한 평형 구조를 갖도록 아랫 부분에 동일한 회로를 배치하였다. ATF54143 FET의 동작 전원 및 회로 구성은 참고문헌 [12]를 참고하였으며, $V_{DS}=3\text{ V}$, $V_{GS}=0.46\text{ V}$, $I_{DS}=26\text{ mA}$ 가 되도록 하였다. D_1 , D_2 는 강한 입력 신호로부터 능동 회로를 보호하는 리미터 다이오드이며, D_3 는 정전기로부터 FET를 보호하기 위한 다이오드이다. R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_5 는 FET에 전압을 인가하기 위한 전압 분배 회로이며, R_2 는 enhancement 모드 소자의 게이트 전류를 제한하는 역할을 한다. C_2 , C_3 , R_6 , C_7 은 출력단 안정도(K-factor)를 위한 회로이다. C_1 및 L_1 은 DC 블럭 및 RF 쇼크 기능을 한다. 'TF2'는 4:1 트랜스 포머로 출력단의 임피던스를 50 Ω 으로 변환하는 역할을 한다.

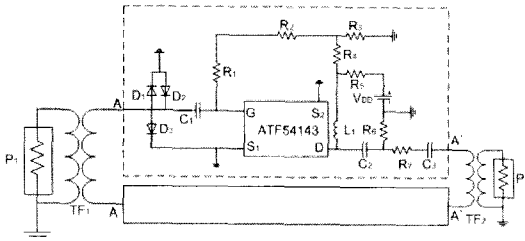
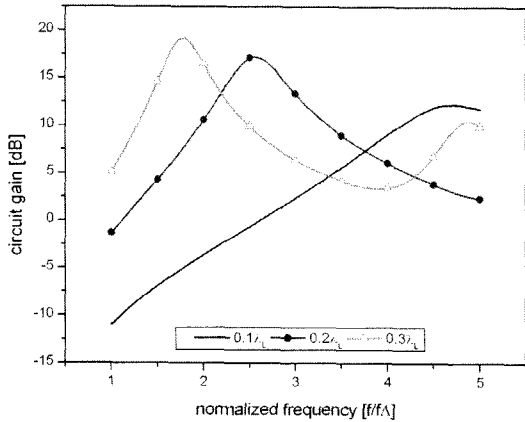
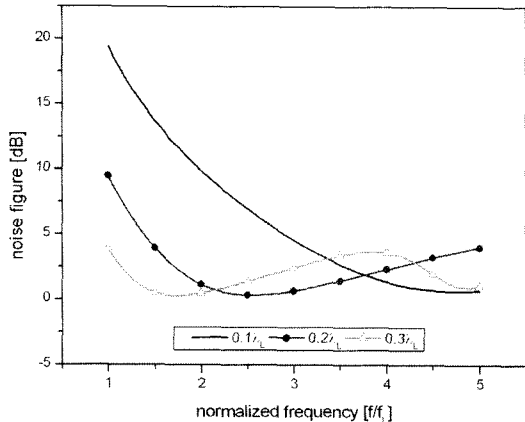


그림 4. 능동 다이폴 특성 해석을 위한 ADS 회로도
Fig. 4. Schematic diagram of the active dipole antenna for ADS simulation.



(a) 회로 이득
(a) Circuit gain



(b) 잡음 지수
(b) Noise figure

그림 5. 안테나 길이에 따른 능동 다이폴 안테나 특성
Fig. 5. Simulated performance of the active circuit as a function of dipole length.

그림 5는 다이폴 안테나 길이가 동작 최하위 주파수의 파장 대비 0.1~0.3 λ_l인 경우, ADS의 이득 및

잡음 지수 시뮬레이션 기능을 이용한 능동 다이폴 안테나의 회로 이득 및 잡음 지수 특성이다. 능동 다이폴 안테나 이득은 그림 5에서 구한 회로 이득 특성에 다이폴 안테나의 지향도를 합한 특성이 된다^{[6],[13]}. 주파수가 증가할수록 이득은 증가하고 잡음 지수는 감소하는 것은 다이폴 안테나의 방사 저항에 비례하기 때문이다^{[7],[10]}.

2-5 등가 회로 모델을 이용한 능동 다이폴 안테나 측정

그림 4와 같이 능동 다이폴 안테나를 제한된 등가 포트 모델로 대체하여 능동 다이폴 안테나의 증폭 회로에 대한 이득 및 잡음 특성을 시뮬레이션 하였다. 능동 안테나는 안테나와 증폭기를 서로 물리적으로 분리할 수 없는 구조로, GHz 주파수인 경우, 전자파 무반사실을 이용하여, 능동 안테나의 이득 및 잡음 지수를 측정한다^[13]. 그러나, VHF 이하 대역에는 우주 잡음(galaxy noise), 태양 활동에 의한 잡음(solar noise) 및 인간 활동에 의한 잡음(man-made noise) 등^[14]이 많음으로 이를 제거할 전자파 무반사실이 필요하나, 현실적으로 전자파 무반사실 건설이 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 잡음 지수 분석기를 이용하여 능동 다이폴 안테나의 이득, 잡음 지수 등 전기적 특성을 측정하는 방법을 그림 6과 같이 도입하였다. 외부 전자파에 의한 측정의 불확정성을 제거하기 위하여 전자파 차폐실을 사용하였다. 안테나 등가 모델은 그림 3에 보인 등가 포트 모델과 전기적으로 같은 특성을 갖게 된다. 즉, 50 Ω 특성 임피던스를 갖는 2-포트 계측기를 이용하여 그림 3과 같이 능동 회로에서 다이폴 안테나를 바라다 본 특성이 같도록 다이폴 안테나와 동일한 전기적 특성을 갖는 등가 임피던스 모델을 계측기와 능동 회로 사이에 삽입하

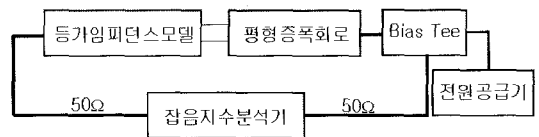


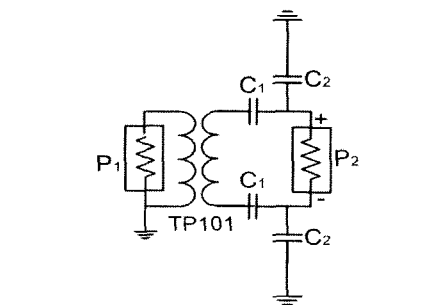
그림 6. 등가 임피던스 모델을 이용한 능동 다이폴 안테나 측정 구성도

Fig. 6. Block diagram of the test setup for measurement.

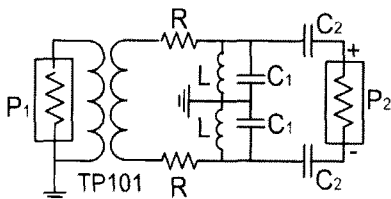
여, 2-포트 계측기로 능동 다이폴 안테나 특성을 측정할 수 있도록 하였다. 바이어스 티(bias tee)는 RF와 DC 전원을 동시에 공급하는 기능을 가지고 있다.

그림 6과 같이 능동 다이폴 안테나 특성을 측정하기 위하여 평형 증폭 회로에서 잡음 지수 분석기를 바라다본 임피던스는 주파수별 다이폴 안테나의 입력 임피던스와 동일한 특성을 갖는 등가 임피던스 모델이 필요하다. 이를 위하여 50 Ω 특성 임피던스를 갖는 잡음 지수 분석기(noise figure analyzer)와 함께 두 개의 극성을 구현하기 위하여 MACOM사의 TP101을 트랜스 포머를 사용하였으며, 저항, 인덕터 및 캐패시터로 구성되는 등가 임피던스 회로(EIM: Equivalent Impedance Model)를 시행 착오(trial and error) 방법으로 구성하였다.

그림 7은 동작 최저 주파수로 정규화한 동작 주파수의 등가 임피던스 모델 회로 구성도로 제작된 등가 임피던스 모델은 동작 주파수 대역을 50 MHz 간격으로 구성하였다. 1.0~2.0 f_L 의 경우, 다이폴 안테나의 리액턴스 성분이 크기 때문에 등가 임피던스 회로는 캐패시터로 구성되어지며, 2.5~5.0 f_L 대



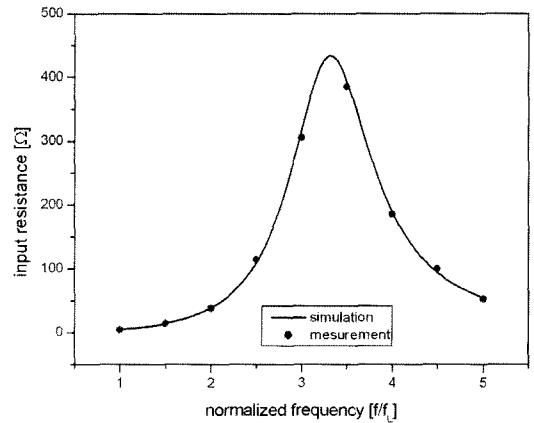
(a) 1.0~2.0 f_L 대역 등가 임피던스 모델 구조
(a) EIM for 1.0~2.0 f_L



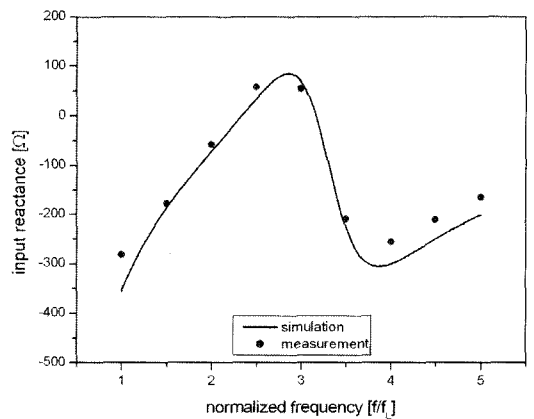
(b) 2.5~5.0 f_L 등가 임피던스 모델 구조
(b) EIM for 2.5~5.0 f_L

그림 7. 등가 임피던스 모델
Fig. 7. Equivalent impedance model.

역의 다이폴 안테나 임피던스는 공진 특성을 있으므로, 등가 임피던스 회로는 LC 공진 회로 및 저항으로 구성되어진다. 등가 임피던스 모델의 소자는 Advantest사의 R3770 벡터 신호 분석기로 그림 7의 포트2의 임피던스가 다이폴 안테나 임피던스가 되도록 소자값을 시행 착오 방법으로 구하였다. 그림 7의 등가 임피던스 모델과 MoM을 이용한 다이폴 안테나의 임피던스에 대한 특성을 그림 8에 보였다. 다이폴 안테나의 입력 저항값의 경우, 동작 주파수 대역에서 잘 일치하는 특성을 보였지만, 리액턴스의 경우 공진 주파수를 경계로 상위 주파수 대역에서 약 15%의 오차 범위를 보였다.



(a) 입력 레지스턴스
(a) Input resistance



(b) 입력 리액턴스
(b) Input reactance

그림 8. 등가 임피던스 모델 특성
Fig. 8. Characteristics of the equivalent impedance model.

III. 광대역 능동 다이폴 안테나 제작 및 측정

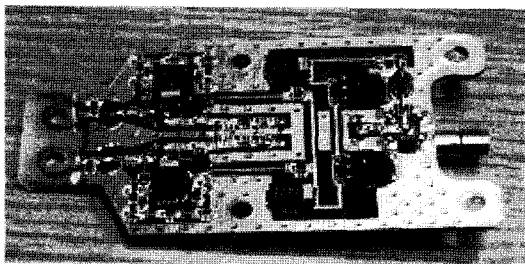
본 논문에서는 100~500 MHz의 5:1 광대역 주파수 특성을 가지며, 주 전개면의 복사 패턴은 ∞ 이고, 양의 이득을 가지며, 잡음 지수가 10 dB 이하인 능동 다이폴 안테나를 설계하였다. 그림 5에 의하여 다이폴 안테나 길이가 $0.2 \lambda_L$ 인 경우, 설계 요구 조건을 충족함을 알 수 있다. 그림 9(a)는 제작된 능동 다이폴 안테나 사진이며, 그림 9(b)는 능동 다이폴 안테나의 능동 회로에 대한 사진이다.

그림 10(a)는 제작된 능동 다이폴 안테나의 능동 회로에 대한 이득 및 잡음 지수를 측정하는 장면으로, 전원 공급기와 bias-tee로 능동 회로에 전원을 인가하여, Agilent사의 N8975A 잡음 분석기로 등가 임피던스 모델과 능동 회로를 포함한 DUT에 대한 이득 및 잡음을 측정하였다. 그림 10(b)는 그림 10(a)의 DUT를 확대한 그림으로 등가 임피던스 모델과 능동 다이폴 안테나의 능동 회로로 구성되어 있다.

능동 다이폴 안테나의 능동 회로에 대한 이득 및 잡음 지수를 측정함에 있어서, 잡음 지수 분석기와 등가 임피던스 모델의 임피던스 부정합으로 인하여,

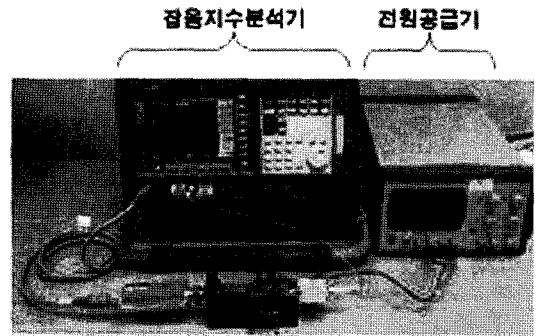


(a) 능동 다이폴 안테나
(a) Active dipole antenna

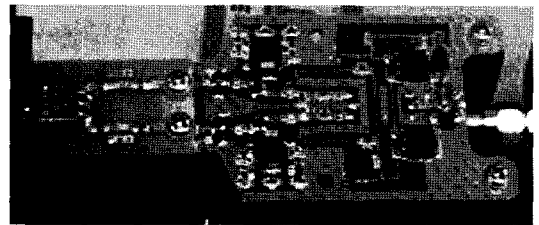


(b) 능동 회로
(b) Active circuit

그림 9. 제작된 능동 다이폴 안테나
Fig. 9. Fabricated active dipole antenna.



(a) 측정 장면
(a) Configuration of the test setup



(b) DUT 확대 사진
(b) Enlargement of the DUT

그림 10. 능동 다이폴 안테나 측정 사진
Fig. 10. Photos of the measurement setup.

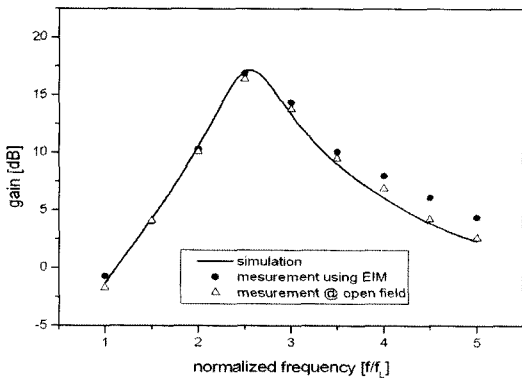
그림 6과 그림 10의 측정 방법에서 능동 회로에 인가되는 신호 세기는 보정 과정의 신호 세기와 다르게 등가 임피던스 모델의 유효 이득이 고려된 신호 세기로 전달되어진다. 한편, 등가 임피던스 모델의 유효 이득은^[15] 식 (8)로 얻어진다.

$$G_a = \frac{(1 - |\Gamma_d|^2) |S_{21}|^2}{|1 - S_{11} \Gamma_d|^2 (1 - |S_{22} + \frac{S_{12} S_{21} \Gamma_s}{1 - S_{11} \Gamma_s}|^2)} \quad (8)$$

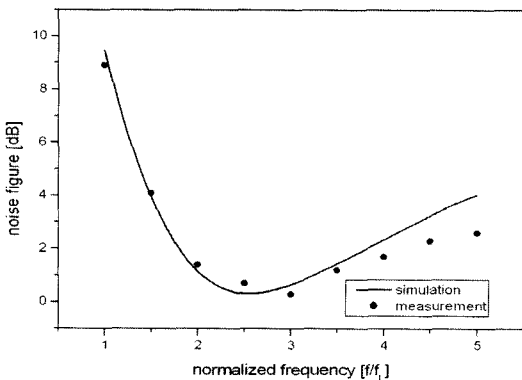
잡음 지수 계측기로 측정된 이득 및 잡음 지수를 각각 G_m , NF_m 이라 하면, 능동 다이폴 안테나 증폭회로에 의한 이득 및 잡음 지수(G_{ckt} , NF_{ckt})는 등가 임피던스 모델의 유효 이득(G_a)에 의하여 식 (9), 식 (10)으로 얻어진다.

$$G_{ckt} = G_m - G_a \quad (9)$$

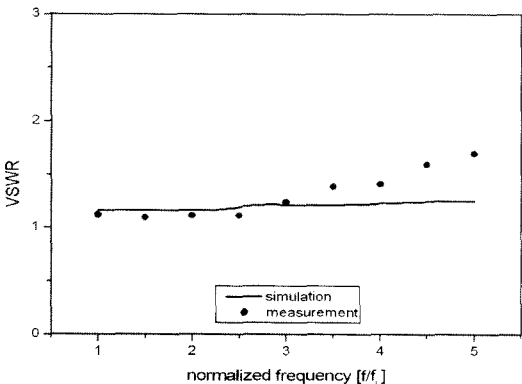
$$NF_{ckt} = NF_m - NF_a = NF_m + G_a \quad (10)$$



(a) 이득
(a) Gain



(b) 잡음 지수
(b) Noise figure



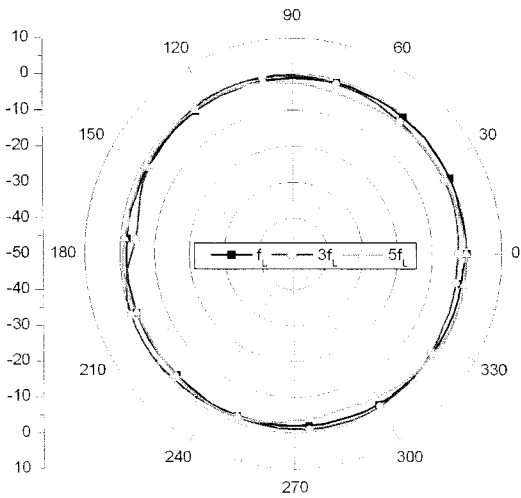
(c) 전압 정재파비
(c) VSWR

그림 11. 제작된 능동 다이폴 안테나 특성
Fig. 11. Characteristics of the fabricated active dipole antenna.

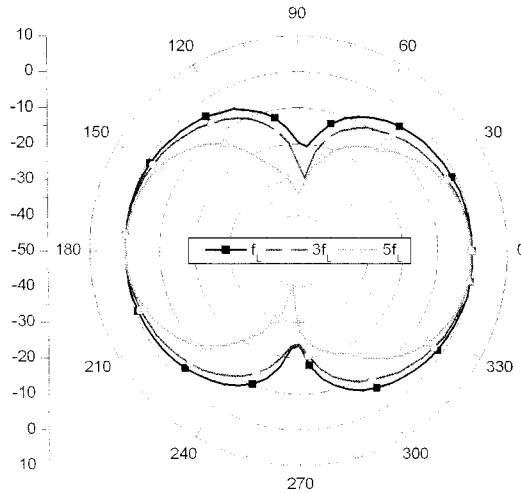
이때, 등가 임피던스 모델은 수동 소자로 구성됨으로써 잡음 지수는 이득의 역관계 특성을 이용하였

다. 능동 다이폴 안테나 전체 이득은 식 (9)의 증폭 회로 이득에 다이폴 안테나 지향도만큼 증가되어지며, 다이폴 안테나의 도전율에 의한 손실은 방사 저항보다 작기 때문에 고려하지 않았다. 그림 11은 그림 10에 의하여 동작 주파수 대역에서 50 MHz 단위로 측정된 이득 및 잡음 지수 특성이다. 제안된 등가 모델을 이용한 능동 다이폴 안테나의 이득은 능동 회로의 이득으로써, 능동 다이폴 안테나의 전체 이득은 다이폴 안테나의 지향도만큼 증가하게 된다. 그림 11(a)은 제안된 등가 포트 및 등가 임피던스 모델을 이용한 능동 다이폴 안테나의 회로 이득과 함께 야외(open field)에서 측정된 능동 다이폴 안테나의 이득에서 지향도를 감(減)한 특성을 비교하였으며, 공진 주파수를 중심으로 상위 주파수 대역을 제외하고 매우 잘 일치하는 결과를 얻었다. 등가 임피던스 모델을 이용한 능동 다이폴 안테나의 잡음 지수의 특성은 그림 11(b)에 보였으며, 설계치와 측정치에 다소의 오차가 있지만, 주파수에 따른 잡음 지수의 특성은 잘 따라가고 있음을 알 수 있다. 등가 임피던스 모델을 이용한 이득 및 잡음 지수에서 공진 주파수보다 높은 대역에서 오차를 보이는 것은 그림 8과 같이 등가 임피던스 모델이 공진 주파수보다 높은 대역에서 오차를 보이기 때문으로 사료되어진다. 그림 11(c)는 제작된 능동 다이폴 안테나 출력단의 VSWR로 1.7 이하의 매우 양호한 임피던스 정합 특성을 보이고 있다. 이는 능동 회로가 주파수에 따라 민감한 특성을 갖는 다이폴 안테나의 입력 임피던스를 별도의 임피던스 정합회로 없이도 50 Ω 전송 선로 특성 임피던스로 정합시켜 주는 기능을 보여주는 있음을 알 수 있다.

그림 12는 최저 동작 주파수와 주파수별 최대 신호 크기로 정규화된 능동 다이폴 안테나의 복사 패턴으로, 주 자계면(principle H-plane)과 주 전계면(principle E-plane)에서 측정하였다. 주 자계면에서 무지향 복사 특성을 나타내었으며, 주 전계면에서는 ∞인 figure of eight 패턴이 측정되었으며, 이는 능동 다이폴 안테나의 복사 패턴은 다이폴 안테나의 자체 특성과 동일함을 알 수 있다. 또한, 동작 주파수 대역에서 거의 동일한 복사 패턴을 가지고 있으므로 위상 배열 시스템이나 진폭 비교를 이용한 방향 탐지 시스템에 적용시, 복사 패턴에 따른 시스템 보정



(a) 주 자계면 패턴
(a) Principal H-plane patterns



(b) 주 전계면 패턴
(b) Principal E-plane patterns

그림 12. 능동 다이폴 안테나 복사 패턴 특성
Fig. 12. Measured radiation patterns.

(system calibration)을 간단하게 수행할 수 있는 장점이 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 5:1(100~500 MHz)의 광대역 주파수 특성을 갖는 $0.2 \lambda_L$ 길이의 능동 다이폴 안테나를 설계하였다. 능동 다이폴 안테나는 안테나와 증폭기를 직접 연결되는 구조로 되어 있으며, 안테나

의 길이를 파장보다 짧게 구현하면서, 사용되는 능동 소자 특성 및 회로 토폴로지에 따라 다른 특성을 얻을 수 있다. 본 논문에서는 안테나와 능동 소자가 직접 결합된 구조의 능동 다이폴 안테나의 해석 및 측정을 할 수 있는 방법을 제안하였다. 1-포트 소자인 능동 다이폴 안테나를 2-포트 소자로 등가화 하기 위하여 다이폴 안테나를 전기적으로 동일한 특성을 갖는 등가 포트로 대체하여, ADS를 이용하여 능동 다이폴 안테나의 전기적인 특성을 시뮬레이션 하였다. 또한, 계측기를 이용하여 능동 다이폴 안테나의 특성을 측정할 수 있도록, 다이폴 안테나를 대체하는 등가 임피던스 모델을 이용하였다. 16 mm의 지름 및 $0.2 \lambda_L$ 의 길이를 갖는 능동 다이폴 안테나는 5:1 광대역 주파수 대역에서 이득은 평균 8 dBi이었으며, 잡음 지수는 9 dB 이하였고, VSWR은 1.7:1이었다. 방사 패턴은 주 자계면과 주 전계면에서 각각 무지향성 및 ∞ 의 짧은 다이폴 안테나의 복사 패턴과 동일한 특성을 얻었다. 제안된 등가 포트를 이용하여 설계된 능동 다이폴 안테나의 이득 및 잡음 지수는 등가 임피던스 모델을 이용한 능동 다이폴 안테나의 측정치와 잘 일치하였다. 또한, 야외에서 측정된 능동 다이폴 안테나의 이득은 제안된 방법에 의해 설계 및 측정치와도 잘 일치함으로써 본 논문에서 제안한 능동 다이폴 안테나의 설계 및 측정 방법의 타당성을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] T. T. Wu, R. W. P. King, "The cylindrical antenna with nonreflecting resistive loading", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 13, pp. 369-373, May 1965.
- [2] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, 2nd, John Wiley & Sons, pp. 542-574, 1997.
- [3] R. Poisel, *Introduction to Communication Electronic Warfare Systems*, Artech House, MA, 2002.
- [4] 이철수 외, "광대역 고이득을 갖는 통신대역 다이폴 안테나 설계", 한국군사과학기술학회 종합학술대회, pp. 259-262, 2006년.
- [5] Cheolsoo Lee, Jeongki Pack, "Design an active an-

- tenna using an equivalent model", *ITC-CSCC*, Jul. pp. 81-82, 2007.
- [6] G. H. Tan, C. Rohner, "The low frequency array active antenna system", *Proc. SPIE*, vol. 4015, pp. 440-457, 2000.
- [7] Ashraf Ramadan, "Active antennas with high input impedance low noise and highly linear amplifiers", Ph. D. Dissertation, Univ. of Bundeswehr München, Jul. 2005.
- [8] Ernst H. Nordholt, Durk Van Willigen, "A new approach to active antenna design", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 28, pp. 904-910, Nov. 1980.
- [9] R. A. Sainati, D. E. Fessenden, "Performance of an electrically small antenna amplifier circuit", *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 17, pp. 88-92, Jan. 1981.
- [10] R. A. Sainati, "Active antenna performance limitation", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 30, pp. 1265-1267, 1982.
- [11] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, 2nd, John Wiley & Sons, pp. 151-162, 1997.
- [12] ATF-54143 Data Sheet, www.agilent.com/semiconductors
- [13] H. An, B. K. J. C. Nauwelaers, "A novel measurement technique for amplifier-type active antennas", *IEEE MTT-S Digest*, vol. 3, pp. 1473-1476, 1994.
- [14] CCIR Report 670-1, International Telecommunication Union, Geneva, 1990.
- [15] Guillermo Gonzalez, *Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design*, 2nd, Prentice Hall, pp. 212-216, 1997.

이 철 수



위상배열 안테나

1990년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)
 1992년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학석사)
 1992년 3월~현재: 국방과학연구소 선임연구원
 [주 관심분야] 전자파 전파, 광대역

백 정 기



연구소

1978년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1985년 9월: Virginia Tech. 전자파 전파 (공학석사)
 1988년 9월: Virginia Tech. 전자파 전파 (공학박사)
 1978년 3월~1983년 2월: 국방과학연구소
 1988년 10월~1989년 2월: 한국전자통신연구원
 1989년 3월~1995년 2월: 동아대학교 전자공학과 부교수
 1995년 2월~현재: 충남대학교 전자공학과 교수
 2002년 3월~현재: 충남대학교 전자파환경기술연구(EM-ERC) 센터장
 [주 관심분야] 전자파 전파, 전자파 산란, 전자파 인체 영향