# 다중 증폭 회로를 이용한 높은 선형 특성을 갖는 광대역 능동 안테나 설계

# Design of a Highly Linear Broadband Active Antenna Using a Multi-Stage Amplifier

이 철 수 · 정 근 석* · 백 정 기**

Cheol-Soo Lee · Geoun-Seok Jung* · Jeong-Ki Pack**

## 요 약

능동 안테나는 수동 안테나에 비하여 소형으로 광대역 특성 및 높은 이득을 얻을 수 있으나, 잡음 및 불요파 신호가 발생되는 단점이 있다. 또한, 수신 시스템의 초단부에 위치하므로, 고감도 수신 시스템을 위하여 불요파 신호 특성이 좋아야 한다. 본 연구에서는 출력단 P1dB가 3 dBm 이상이고 100~500 MHz에서 동작하며, 실환경에서 높은 선형 특성을 갖는 능동 안테나를 개발하였다. 이를 위하여 공통 드레인 FET와 2단 BJT의 능동 회로를 구성하였고, ADS를 이용하여 능동 안테나를 설계하였다. 제작된 능동 안테나의 평균 이득, 평균 잡음 지수, OIP3, VSWR 및 P1dB는 각각 9.7 dBi, 10 dB, 14 dBm, 1.7:1 및 3 dBm으로 설계치와 잘 일치하였다. 도심 인근 지역에서 측정된 수신 스펙트럼 특성은 설계된 능동 안테나가 CS 구조를 갖는 참고문헌 [9]의 안테나보다 불요파 신호 특성이 약 10~30 dB가 개선되어 방송 및 상용 신호와 혼재된 상태에서 신호 세기가 약한 미지의 신호를 검출하기 위한 고감도 수신 시스템에 적용할 수 있음을 보였다.

## Abstract

An active antenna(AA) can have wider bandwidth and more gain with small antenna size than those of passive antennas. However, AA inherently generates thermal noise and spurious signals from an active device. Moreover, the spurious performance of AA is very important in a highly sensitive receiving system since it is located at the front end of the receiving system. In this study, we developed an AA with 100~500 MHz, having the output P1dB higher than 3 dBm and little spurious signals in real environments. To achieve such performance, we designed an AA with 3-stage amplifier using CD(common drain) FET and 2 BJTs. Its electrical performances were simulated using ADS. The measurement results for typical gain, NF, OIP3, VSWR and P1dB in the required frequency band were 9.7 dBi, 10 dB, 14 dBm, 1.7:1 and 3 dBm respectively. They are in good agreement with simulation results. The unwanted spectrum level of the proposed AA is 10~30 dB lower than that of the antenna[9] with CS(common source) FET configuration at a west suburban area of Seoul, which shows that the proposed AA can be applicable to a highly sensitive receiving system for detecting unknown weak signals mixed with broadcasting and civilian communication signals.

Key words : Highly Linear Active Antenna

## Ⅰ. 서 론

통신 대역 주파수를 갖는 미지의 신호를 수신하

국방과학연구소(Agency for Defense Development)
*LIG넥스원(LIG Nex1)
**충남대학교 전파공학과(Department of Radio Science & Engineering, Chungnam National University)
· 논 문 번 호 : 20080513-064
· 수정완료일자 : 2008년 10월 21일

는 통신 대역 수신 시스템은 낮은 신호 세기의 전자파를 탐지하고 전파의 도래각(AOA: Angle Of Arrival)을 알아내는 시스템으로 군사적 목적 이외에도 불법 전파의 위치 추적 등에 사용되고 있다. 이러한 목적의 안테나는 광대역에 분포되어 있는 미지의 신호를 수신하여야 하므로, 광대역 주파수 특성을 가져야 한다.

그러나, 수백 MHz 이하의 통신 대역에서 다이폴이나 모노폴 안테나를 많이 사용하며, 이러한 안테나는 협대역 주파수 특성을 가지므로, 안테나 자체로 높은 이득을 갖는데 한계가 있다. 이와 달리, 광대역 주파수 특성과 소형으로 구현하기 위하여 능동 안테나(AA: Active Antenna)가 사용되어진다[1]~[3]. 능동 안테나는 파장에 비하여 작은 크기의 안테나를 사용하며, 안테나에 유기된 신호를 증폭함과 동시에 안테나의 임피던스를 전송 선로의 임피던스로 변환하는 기능이 있어서 광대역 주파수 특성을 구현할 수 있다[2]. 한편, 능동 안테나는 RF 초단부에 설치되며, 참고문헌 [2]와 [4]는 능동 소자의 등가회로 성분 등을 이용하여 능동 안테나의 특성을 해석하였고, GHz의 마이크로파 대역의 경우, 저잡음 특성을 구현하기 위하여, 안테나 출력과 증폭기의 입력 임피던스를 150 Ω으로 설계하였으며[5], 임피던스 정합 회로를 안테나와 증폭기 사이에 설계하였다[6]. 그러나, 높은 신호 세기가 분포되어 있는 곳에서 능동 안테나는 혼변조 왜곡(IMD: Intermodulation Distortion) 특성 등으로 불요파 신호가 발생되며[2], 이러한 불요파 신호는 다른 의미의 잡음 신호가 되어[7] 수신 시스템에서 수신 감도 특성을 저하시킨다. 특히, 통신 대역의 경우, 실환경은 방송 및 많은 상용의 무선 신호들이 상시 존재하기 때문에 능동 안테나는 이들 신호들에 의하여 발생되는 불요파 신호를 억제하여야, 불요파 신호와 동일한 주파수를 가지면서 원거리에서 활동 중인 미지의 신호에 대한 탐지 확률을 높일 수 있게 된다. 따라서, 본 논문에서는 잡음 지수 특성이 우수한 공통 소스(CS: Common Source) 구조[3],[8] 대신에 높은 입력 임피던스와 낮은 출력 임피던스 및 IMD 특성이 우수한 공통 드레인(CD: Common Drain) 구조로 초단 FET 증폭 회로를 구성하고, CD 구조의 낮은 이득의 보상, 회로 안정성 증가 및 임피던스 정합을 위하여 BJT 증폭 회로를 후단에 구성한 다단 증폭 회로의 능동 안테나를 설계하였다.

설계된 능동 안테나는 100~500 MHz 5:1 광대역 주파수 특성을 가지면서, 평균 이득, 평균 잡음 지수, 출력 3차 교차점(OIP3: Output Third Intercept Point), VSWR이 각각 9.7 dBi, 10 dB, 22 dBm, 1.7:1이고, 포화영역을 3 dBm 이상으로 하여 실환경에서도 방송 및 상용 무선 신호에 의한 불요파 신호의 발생을 억제하여 원거리에서 활동중인 미지의 주파수를 갖는 신호에 대한 탐지 등을 수행할 수 있는 능동 안테나를 개발하였다. 제작된 능동 안테나의 전기적 특성은 등가 임피던스 모델[9]을 이용하여 측정하였으며, 측정치는 설계치와 잘 일치하는 결과를 얻었다.

또한, 도심 근교에서 동작 대역에서의 스펙트럼을 측정한 결과, 방송 및 상용 무선 신호 등을 제외한 주파수에서는 불요파 신호가 CS 구조를 갖는 능동 안테나[9]보다 10~30 dB 이상 감소되었으며, 이러한 특성은 실환경에서 낮은 신호 세기를 갖는 미지의 신호를 검출하기 위한 고감도 수신 시스템에 적용할 수 있음을 보였다.

## Ⅱ. 능동 안테나 특성 설계

### 2-1 능동 안테나 설계

능동 안테나는 방사체인 수신 안테나와 능동 회로가 직접 연결되어 있는 구조로, 각각을 분리하여 설계나 측정[10]을 할 수 없다. 따라서, 능동 안테나의 특성인 이득, 잡음 지수, P1dB 등을 설계하기 위하여 1-포트 구조의 능동 안테나를 회로 시뮬레이션이 가능하도록 2-포트 구조로 전환하여야 한다. 이를 위하여, 수신 안테나를 회로 해석이 가능한 포트로 구성하며, 이때 포트 임피던스는 안테나 임피던스가 되도록 한다. 그림 1은 수신 안테나를 등가 포트로 모델링하여 능동 안테나를 설계하는 개념[9]으로, 능동 회로에서 안테나와 등가 포트를 바라다 본 $S_{in}$은 동일하다. 등가 포트의 주파수별 회로 해석을 위하여 ADS의 RefNetDesign - File Base Termination 방법을 이용하여 등가 포트 모델을 구성하였다.

### 2-2 수신 안테나 특성 계산

능동 안테나에서의 수신 안테나는 복사 특성 및 능동 안테나의 전기적 특성과 밀접한 관계를 가지고

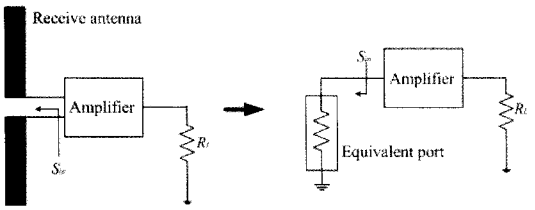



그림 1. 수신 안테나의 등가 포트 모델
Fig. 1. Equivalent port model of the receive antenna.

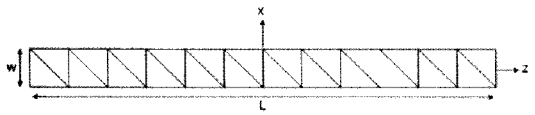



그림 2. 수신 안테나 구조
Fig. 2. Structure of the receive antenna.

있다. 따라서, 수신 안테나의 전기적 특성을 해석하기 위하여 본 논문에서는 RWG(Rao-Wiltron-Glisson)의 삼각형 패치 모델을 이용한 모멘트 방법을 사용하였다. 길이 $L$, 지름이 $a$를 갖는 다이폴 구조의 수신 안테나를 그림 2와 같이 평면으로 등가화하였고, 스트립 도체 폭($w$)은 원통 다이폴 지름($a$)의 2배로 근사화하였다[11].

모멘트 방법은 식 (1)과 같이 도체 표면에서 전계의 접선 성분의 합은 0이 되는 것을 이용하여, 도체 표면에 유기되는 전류를 구하여 입력 임피던스, 복사 패턴과 함께 지향도를 구할 수 있다.

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

여기에서, $\vec{E}^{t}(r)$은 총 전계이며, $\vec{E}^{i}(r)$은 입사 전계, $\vec{E}^{s}(r)$은 산란 전계이며, $\vec{n}$은 도체 표면에 수직인 단위 벡터를 나타낸다. 산란 전계를 도체 표면에 유기되는 벡터 전류 밀도 $\vec{J}$로 표현하면, 식 (2)~(4)이 된다.

$$\vec{E}^{s}(\vec{r})=-j\omega\vec{A}+\nabla\Phi \quad (2)$$

$$\vec{A}(\vec{r})=\frac{\mu}{4\pi}\int_{S}\vec{J}\frac{e^{-jkR}}{R}ds' \quad (3)$$

$$\Phi(\vec{r})=\frac{1}{4\pi\varepsilon}\int_{S}\sigma\frac{e^{-jkR}}{R}ds' \quad (4)$$

$k$는 위상 상수이며, $R=|\vec{r}-\vec{r}'|$으로 도체 표면의 관찰점 $\vec{r}$과 소스점 $\vec{r}'$까지의 거리이다. 표면 전하 밀도($\sigma$)는 전류의 연속방정식에 의하여 식 (5)로 나타낸다.

$$\nabla_{s}\cdot\vec{J}=-j\omega\sigma \quad (5)$$

전류 밀도 $\vec{J}$는 식 (6)과 같이 기저 함수 $\vec{f}$의 합으로 나타내며, 기저 함수 $\vec{f}$는 그림 3으로 정의되고, 식 (7)의 특성을 갖는다[11].

$$\vec{J}=\sum_{n}^{n}I_{n}\vec{f}_{n} \quad (6)$$

$$\vec{f}_{n}(\vec{r}')=\begin{cases}\dfrac{l_{n}}{2A_{n}^{+}}\vec{\rho}_{n}^{+} & \vec{r}\in T_{n}^{+}\\ \dfrac{l_{n}}{2A_{n}^{-}}\vec{\rho}_{n}^{-} & \vec{r}\in T_{n}^{-}\\ otherwise \quad 0\end{cases} \quad (7)$$

식 (1)에 기저 함수와 같은 형태의 시험 함수를 곱하고, 내적을 취하는 Galerkin 방법을 이용하면, 도체 표면에 흐르는 전류 밀도는 식 (8)~(14)에 의하여 얻어진다. 급전 모델로 델타갭(delta gap)을 사용하였다.

$$ZI=V \quad (8)$$

여기에서,

$$Z_{mn}=l_{m}\left[j\omega\left(\vec{A}_{mn}^{+}\cdot\frac{\vec{\rho}_{m}^{c+}}{2}+\vec{A}_{mn}^{-}\cdot\frac{\vec{\rho}_{m}^{c-}}{2}\right)+\vec{\Phi}_{mn}^{-}-\vec{\Phi}_{mn}^{+}\right] \quad (9)$$

$$V_{m}=l_{m}\left[\vec{E}_{m}^{+}\cdot\frac{\vec{\rho}_{m}^{c+}}{2}+\vec{E}_{m}^{-}\cdot\frac{\vec{\rho}_{m}^{c-}}{2}\right] \quad (10)$$

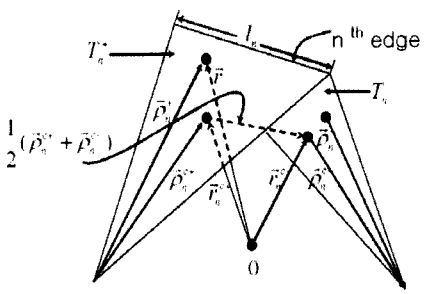



그림 3. 삼각형 쌍과 기하학적인 파라미터
Fig. 3. Triangle pairs and geometrical parameters.

$$\vec{A}_{mn}^{\pm} = \frac{\mu}{4\pi}\int_s \vec{f}_n(\vec{r}')\frac{e^{-jkR_{mn}^{\pm}}}{R_{mn}^{\pm}}ds' \quad (11)$$

$$\Phi_{mn}^{\pm} = \frac{j}{4\pi\omega\varepsilon}\int_s \nabla'_s \cdot \vec{f}_n(\vec{r}')\frac{e^{-jkR_{mn}^{\pm}}}{R_{mn}^{\pm}}ds' \quad (12)$$

$$R_{mn}^{\pm} = |\vec{r}_m^{c\pm} - \vec{r}'| \quad (13)$$

$$\vec{E}_{mn}^{\pm} = \vec{E}^{i}(\vec{r}_{mn}^{c\pm}) \quad (14)$$

급전된 포인트에서 전압과 전류의 비로 안테나의 입력 임피던스를 구하며, 안테나의 지향도[12]는 식 (15)로 얻을 수 있으며, 안테나 지향도와 능동 회로 이득의 합이 능동 안테나의 이득이 된다[9].

여기에서, 복사 패턴 $F(\theta, \phi)$는 식 (8)의 해인 도체 표면에 유기된 전류 밀도 $\vec{J}$를 식 (2)에 대입하여 얻을 수 있다.

$$D_o = 4\pi\frac{F(\theta,\phi)|_{\max}}{\int_0^{2\pi}\int_0^{\pi}F(\theta,\phi)\sin\theta d\theta d\phi} \quad (15)$$

그림 4는 RWG 방법을 이용하여 계산한 그림 2의 수신 안테나의 길이($L$)에 대한 임피던스 특성이다. 도체폭($w$)는 32 mm로 고정하였다. 길이 $L$이 동작 파장보다 작을수록 방사 저항은 작고, 높은 리액턴스 특성을 나타내고 있으며, 따라서, 다이폴 안테나 자체는 협대역 특성을 갖고 있음을 알 수 있다.

### 2-3 능동 회로 설계

능동 안테나는 수신 시스템에 있어서 RF 초단부

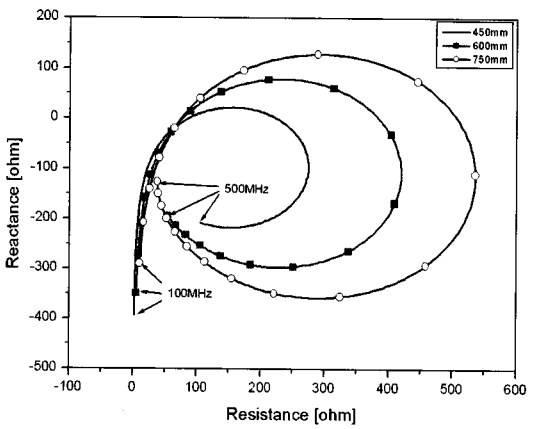



그림 4. 수신 안테나 임피던스 특성

Fig. 4. Impedance characteristics of the receive antenna as a function of the antenna length.

에 위치하므로, 능동 안테나의 이득은 높을수록, 잡음 지수는 낮을수록 수신 시스템의 수신 감도를 향상시킬 수 있다[1]. 이러한 잡음 지수 및 이득은 능동 안테나를 구성하는 능동 소자와 증폭 회로 구성 방법에 따라 변화되며, FET와 CS 구조가 낮은 잡음 지수 특성을 보인다[3],[8]. GHz 대역의 경우, 안테나와 증폭기를 특정 임피던스에 맞추어서 설계하거나, 임피던스 정합 회로를 구성함으로써 낮은 잡음 지수를 구현하고 있다[5],[6]. 그러나, HF~UHF 대역의 경우, 방송 및 상용 무선 신호와 같이 비교적 높은 신호세기를 갖는 신호 등이 많이 있으며, 이러한 높은 신호는 능동 회로에서 혼변조 왜곡으로 인한 불요파 신호를 발생하게 된다. 이러한 특성은 원거리에서 활동중인 불요파 신호와 동일한 주파수를 사용하는 미지 신호에 대한 수신이 어려우므로, 궁극적으로 수신 시스템의 수신 감도 성능을 저하시키게 된다[7]. 따라서, HF~UHF 대역의 능동 안테나는 낮은 불요파 신호 특성이 필요하다.

본 논문은 CD 구조의 FET와 BJT를 이용한 다단의 증폭 회로 구성하여 불요파 신호 세기를 감소시킴으로써 낮은 신호 세기를 갖는 신호에 대한 탐지가 가능한 높은 선형 특성을 갖는 능동 안테나를 설계하였다.

능동 안테나는 입사된 전계와 안테나의 유효 길이의 곱만큼 안테나 양극 사이에 전압이 유도되어지고, 유도된 전압은 안테나 입력 임피던스와 능동 회로 입력 임피던스로 구성된 직렬 회로를 거쳐서 능동 회로의 입력단으로 인가된다[5]. 따라서, 능동 회로의 입력 임피던스가 클수록 입사된 신호에 의하여 유도되어진 전압을 잘 전달할 수 있게 되며, 출력단이 전송 선로와 임피던스 매칭을 위하여 작은 임피던스가 필요하며, 이러한 특성 구현은 CD 구조가 CS 구조보다 적절하다[13].

또한, CS 구조는 이득이 높지만 입력 P1dB가 낮고, CD 구조는 낮은 이득을 가지고 있지만 비교적 높은 입력 P1dB 특성을 가지고 있으므로, 동일한 세기의 입력 신호에 대한 불요파 신호의 억제는 CD 구조가 유리하다. 그림 5는 설계된 능동 회로 구성도이며, 수신 안테나로 다이폴을 사용하므로, 그림 5의 상단부의 점선의 A와 하단부 A'은 동일한 구조를 갖는 평형 증폭회로이다.

RF 케이블을 통하여 공급받은 전원은 $L_5$의 RF

choke를 통하여 능동 안테나의 FET와 BJT를 구동한다. $C_1$, $C_{13}$은 DC 블록 기능을 수행하며, $L_1$, $L_2$, $L_3$는 RF choke 기능을 수행한다. $C_2$, $C_3$, $C_8$은 RF ground 역할을 하며, $R_1$, $R_2$, $R_3$는 Agilent사의 P-HEMT인 ATF54143에 bias를 제공하는 역할을 한다. 안테나로 수신된 신호는 FET의 gate단으로 입력이 되며, FET의 drain 전류 증가로 인한 FET의 파괴를 방지하기 위하여 안테나와 FET사이에 서로 반대 방향으로 병렬 연결된 다이오드로 구성된 리미터 및 정전기 보호 기능을 $D_1$~$D_3$로 구성하였다.

$L_4$, $R_7$, $C_7$, $R_8$ 및 BJT 능동 회로는 능동 안테나의 발진을 제거하는 기능을 수행한다. BJT 회로는 능동 안테나의 안정화를 구현하면서, CD 구조의 낮은 이득을 증가시키는 역할을 한다. $R_{10}$은 피드백 회로로써 능동 안테나의 이득을 조정하고, $R_9$, $R_{11}$, $R_{12}$, $R_{13}$, $R_{14}$ 및 $R_{15}$는 BJT에 전원을 인가하는 기능을 한다. $C_{11}$, $C_{12}$는 RF 접지 역할을 하며, $R_{16}$은 출력단 임피던스 매칭 역할을 한다. ATF54143 FET의 동작전원은 $V_{GS}$=0.5 V, $V_D$=7.94 V, $V_S$=3.86 V가 되도록 하였으며, $Q_1$은 $V_{BE}$=0.79 V, $V_{CE}$=4.08 V, $I_{CE}$=11 mA, $Q_2$는 $V_{BE}$=0.8 V, $V_{CE}$=6.52 V, $I_{CE}$=27 mA으로 구동된다. $Q_1$과 $Q_2$는 NEC사의 NE85639와 NE85634를 사용하였다. TF는 발룬(balun) 역할로 CD 구조에서 증폭된 신호를 더해주는 기능을 한다.

그림 6은 그림 5의 $L_4$~$R_8$의 RC와 RL 병렬 회로와 BJT에 의한 능동 회로의 안정도(stability K-factor) $K$를 ADS를 이용하여 설계한 결과이다. 초단의 CD 회로만 있는 경우, 안정도 $K$는 1 이하로 CD 회로에서 발진이 발생될 수 있으나, RC, RL 병렬 회로 및 BJT 회로를 추가한 경우, 안정도 $K$는 1보다 매우 큰 상태가 되어 무조건 안정 조건을 충족함을 알 수 있다.

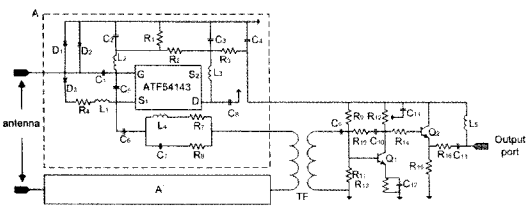
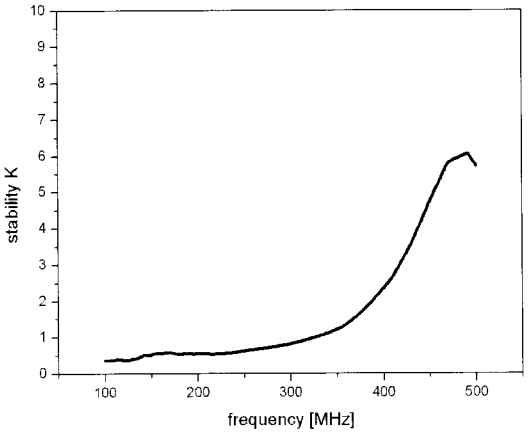
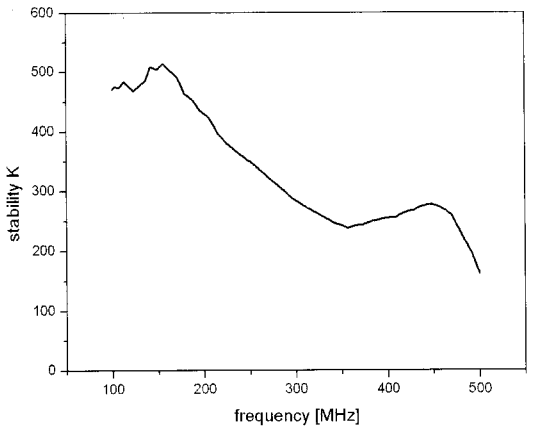



그림 5. 능동 안테나 회로도
Fig. 5. Schematic diagram of the active antenna.



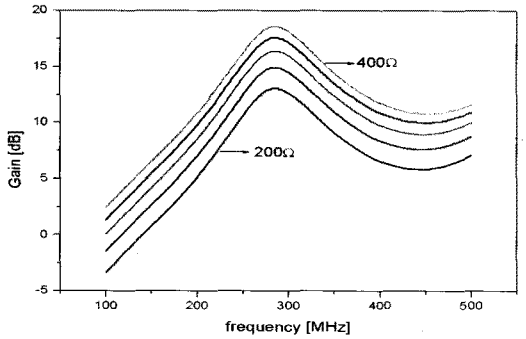

(a) 초단 회로의 안정성 특성
(a) Stability characteristics of the CD circuit



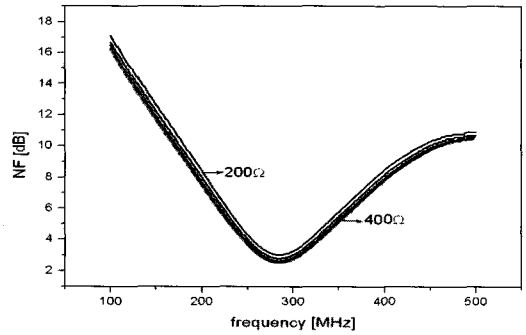

(b) 능동 회로의 안정성 특성
(b) Stability characteristics of the proposed circuit

그림 6. 능동 회로의 안정화 특성
Fig. 6. Stability characteristics of the active circuit.

그림 7은 $Q_1$ 회로의 피드백 저항 $R_{10}$에 따른 능동 회로의 이득 및 잡음 지수에 대한 특성으로 피드백 저항값이 커질수록 $R_{10}$에 흐르는 피드백 전류량이 감소되어 높은 이득 특성을 보이며, 잡음 지수는 피드백 저항값과 무관하게 일정한 특성을 보이고 있다. 이는 CD회로가 수신안테나와 임피던스 정합이 되어 있지 않고 낮은 이득과 높은 잡음지수 특성을 갖는 반면, BJT 회로는 높은 이득과 낮은 잡음 지수 특성을 보이고 있기 때문이다. 따라서, 능동 회로의 이득은 $R_{10}$에 민감한 반면에, 잡음 지수는 이와 무관한 특성을 갖는 것으로 사료되어진다. 피드백 저항 $R_{10}$은 200 Ω에서 400 Ω까지 50 Ω 간격으로 증가시

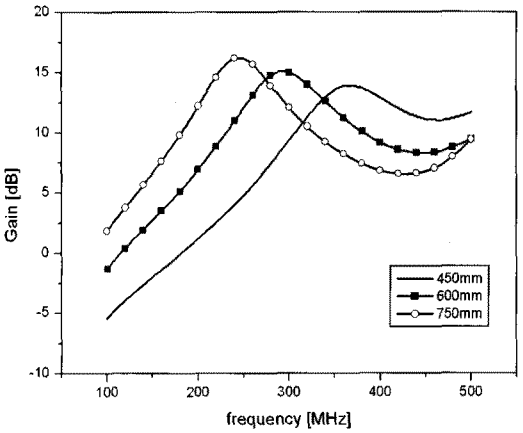



(a) 회로 이득
(a) Circuit gain

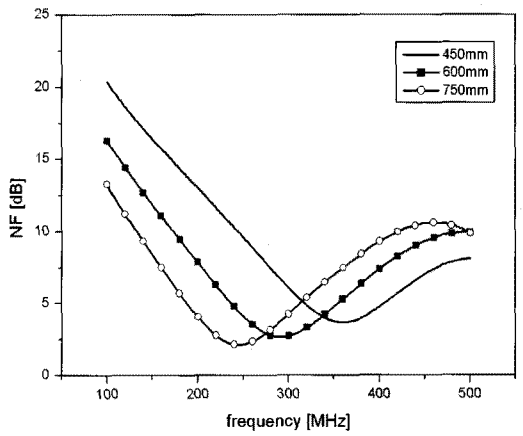



(b) 잡음 지수
(b) Noise figure

그림 7. 피드백 저항에 따른 능동 회로 특성
Fig. 7. The characteristics of the active circuit as a function of the feedback resistance.




(a) 회로 이득
(a) Circuit gain




(b) 잡음 지수
(b) Noise figure

그림 8. 안테나 길이에 따른 능동 안테나 특성
Fig. 8. Simulated characteristics of the AA as a function of the antenna length.

켰다.

그림 8은 수신 안테나 길이에 따른 능동 회로의 이득과 잡음 지수에 대한 특성이다. 안테나 길이가 짧을수록 낮은 이득과 높은 잡음 지수 특성을 보이며, 안테나 길이가 길어질수록 높은 이득과 낮은 잡음 지수를 보이고 있다. 이는 능동 안테나의 이득 및 잡음 지수 특성이 안테나의 방사 저항과 밀접한 관계를 갖고 있기 때문이다[3].

그림 9는 안테나 길이($L$)가 450 mm, 600 mm, 750 mm인 경우, 주파수($f$)는 100 MHz, 300 MHz, 500 MHz 경우 능동 안테나의 선형 특성인 P1dB를 시뮬레이션한 결과이다. 높은 P1dB 특성을 가질수록 능동 안테나는 외부 신호 환경으로부터 불요파 신호등을 억제할 수 있기 때문이다. 입력 레벨은 그림 4의 능동 회로 입력단에서의 신호 세기이며, 출력 레벨은 출력단에서의 신호 세기이다. 안테나 길이 및 동작 주파수 대역에서 P1dB는 약 10 dBm의 특성을 가지므로, 설계된 능동 회로는 높은 선형 영역 특성을 나타내고 있다.

그림 10은 다이폴의 길이가 60 cm인 경우, 본 논문에서 제안된 능동 안테나와 참고문헌 [9]에서 설계된 CS 구조의 능동 안테나에 대한 OIP3와 IMD 특성을 보였다. OIP3의 경우, 본 논문에서 제안된 능동 안테나가 참고문헌 [9]의 CS 구조의 능동 안테나보다 약 3~10 dB 이상 높은 특성을 보이고 있다. 그림 10(b)는 방송 신호 대역인 100 MHz에 대하여 제안된 능동 안테나와 참고문헌 [9]의 능동 안테나에 대한

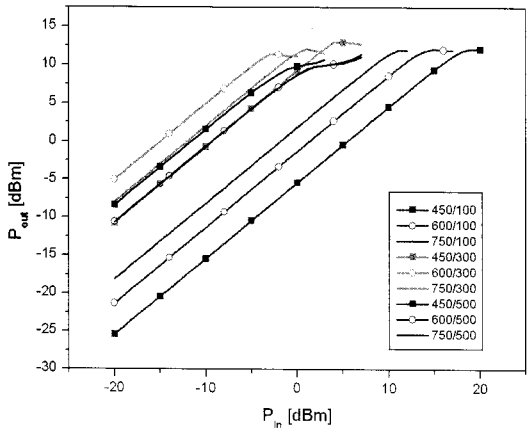
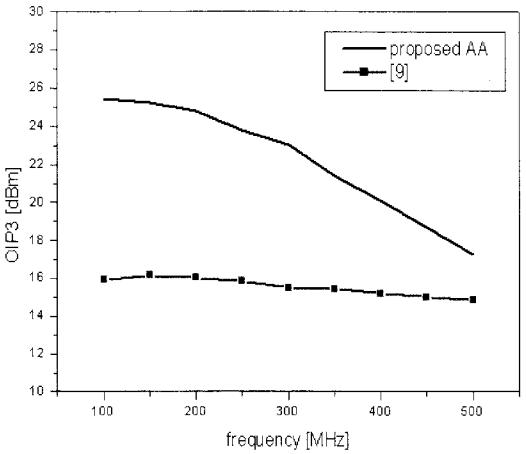



그림 9. 능동 안테나 P1dB 특성
Fig. 9. Simulated P1dB characteristics of the AA as a function of the antenna length and frequency.

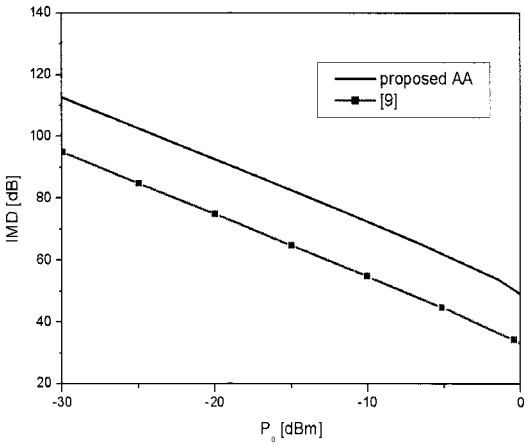
IMD 특성으로 불요파 신호가 20 dB가 개선되어 OIP3가 10 dB 향상됨을 볼 수 있다.

### 2-4 능동 안테나 측정

능동 안테나는 안테나와 능동 회로를 서로 물리적으로 분리할 수 없는 구조로, 참고문헌 [10]은 능동 회로의 이득을 능동 안테나의 수신 안테나와 동일한 수동 안테나의 이득을 측정하고 이를 능동 안테나의 이득으로부터 보상하는 방법을 사용하였다. 이러한 특성을 측정하기 위하여 전자파 무반사실 등과 같이 정확한 측정값을 얻을 수 있는 시설이 필요하나, 통신 대역에 만족하는 전자파 무반사실을 구성하는 것이 현실적으로 어렵다. 따라서, 능동 안테나의 평형 증폭 회로에 대한 이득, 잡음 지수는 수신 안테나의 임피던스를 특정 주파수별로 $R$, $L$, $C$ 등으로 구현한 등가 임피던스 모델[9] 및 Agilent사의 N-8975A 잡음 지수 분석기를 이용하여 그림 11의 구성 방법으로 측정하였다. 이때, 잡음 지수 분석기와 등가 임피던스 모델간의 임피던스 부정합에 의한 특성은 등가 임피던스 모델의 유효 이득을 벡터 네트워크 분석기로 측정하고, 이를 그림 11에서 측정한 이득 및 잡음 지수에서 보정하여, 능동 회로에 대한 이득 및 잡음 지수를 구하였다. 포화 신호 특성은 등가 임피던스 모델에 Agilent사의 E8267D 신호 발생기를 연결하고, 평형 증폭 회로를 Agilent사의 E4446A 주파수 분석기를 이용하여 측정하였다.




(a) OIP3 특성
(a) OIP3 characteristics




(b) 100 MHz IMD 특성
(b) IMD characteristics at 100 MHz

그림 10. OIP3 및 IMD 특성
Fig. 10. The characteristics of the OIP3 and IMD.

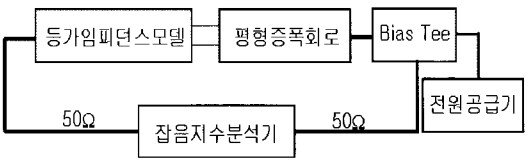
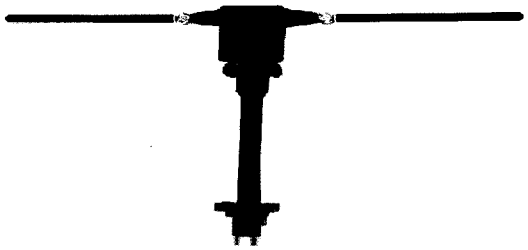


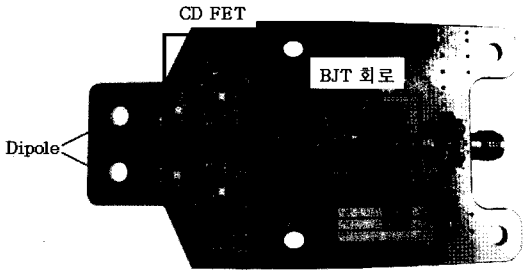

그림 11. 등가 임피던스 모델을 이용한 능동 안테나 측정 구성도
Fig. 11. Block diagram of the test setup for measurement.

## Ⅲ. 광대역 능동 안테나 제작 및 측정

본 논문에서는 100~500 MHz의 5:1 광대역 주파



(a) 능동 안테나
(a) Active antenna




(b) 능동 회로
(b) Active circuit

그림 12. 제작된 능동 안테나
Fig. 12. Fabricated AA.

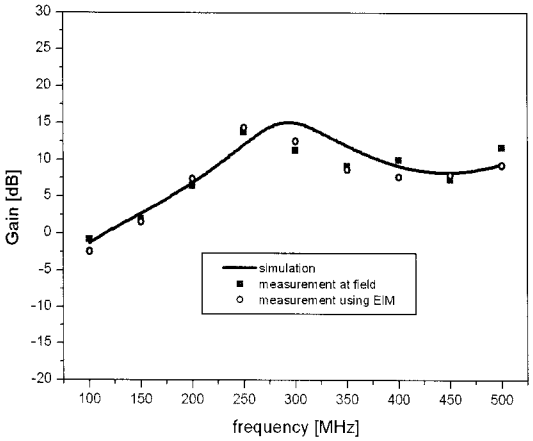
수 특성을 가지며, 평균 이득 및 평균 잡음 지수가 각각 5 dBi, 10 dB이며, 출력 P1dB가 0 dBm 이상으로 방송 및 상용 무선 신호 등으로 인한 불요파 신호 특성을 개선한 능동 안테나를 설계하였다. 그림 7~8에 의하여 수신 안테나 길이가 길수록 요구된 전기적 특성을 충족하나, 소형화하기 위하여 안테나 길이를 60 cm로 제작하였다. 그림 12(a)는 제작된 능동 안테나 사진이며, 그림 12(b)는 능동 안테나의 능동 회로에 대한 사진으로 다이폴 안테나를 사진 왼쪽의 홀에 나사를 이용하여 체결하고, 다이폴의 평형 특성을 유지하고자 CD 능동 회로를 평형 구조로 설계하였다. 후단에 BJT로 구성된 2단 증폭 회로는 CD 능동 회로의 낮은 이득을 보상하면서, 발진 등을 제거하여 능동 안테나의 안정성을 증가시켰다. 능동 회로를 구동하기 위하여 능동 안테나는 RF 케이블로부터 전원을 공급받는다.

그림 13은 설계된 능동 안테나에 대한 이득, 잡음 지수, VSWR, P1dB 및 OIP3 측정 결과이다. 설계된 능동 안테나의 능동 회로 이득은 이득을 알고 있는 안테나의 수신 레벨과 제작된 능동 안테나의 수신 레벨을 비교를 통하여 측정된 이득에서 수신 안테나의 지향도를 감한 것으로 시뮬레이션과 등가 임피던스 모델을 이용한 측정결과를 비교시, 공진 주파수 이하에서 비교적 잘 일치하고 있다. 잡음 지수의 경우, 시뮬레이션 결과와 등가 임피던스 모델을 이용한 결과는 비교적 잘 일치하고 있으나, 외부 신호를 차단하기 위하여 전자파 차폐실에서 참고문헌 [14]에 의한 방법으로 측정한 경우, 450 MHz 이상을 제외하고는 약 2 dB 내외의 오차를 보이고 있다. 공진 주파수 이상 대역의 이득 및 잡음 지수의 오차는 등가 임피던스 모델의 오차[9] 및 능동 회로 구성 소자들에 대한 전기적 모델의 정확성에 의한 것으로 사료되어진다. 설계된 능동 안테나의 P1dB는 그림 13(c)와 같이 측정되었다. 낮은 주파수의 경우, P1dB의 설계치와 측정치가 잘 일치하나, 주파수가 높아질수록 약 4 dB의 오차를 보였다. 그림 13(d)는 Advantest사의 R3770 벡터 네트워크 분석기를 이용하여 측정된 VSWR로 설계주파수 대역에서 1.7:1 이하로 측정되었다. 그림 13(e)는 서로 200 kHz 떨어진 2 tone 신호에 대한 출력 전력과 IMD를 Agilent사의 E-4446A 주파수 분석기로 측정하여 OIP3를 계산하였으며, 설계치와 약 3 dB의 오차를 보였으며, 낮은 주파수 대역에서 OIP3가 약 20 dBm 이상으로 FM 방송 등에 의한 불요파 신호 등이 억제됨을 알 수 있다.

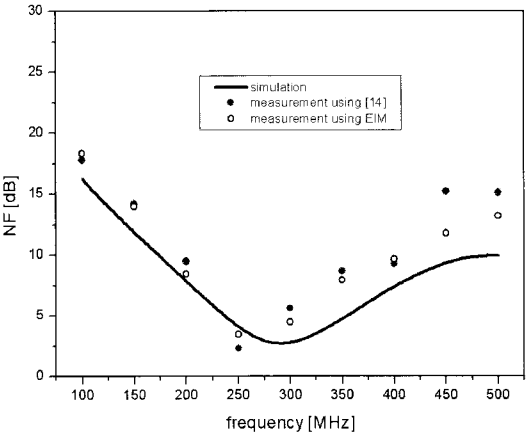
그림 14는 본 논문에서 제안한 다중 증폭 회로를 이용한 능동 안테나와 참고문헌 [9]의 CS 구조를 갖는 능동안테나의 불요파 신호 특성을 관찰하기 위하여 서울 서부 근교인 김포 지역에서 측정한 스펙트럼이다. 제안된 능동 안테나의 스펙트럼은 FM, TV, Pager, TRS 등 신호만을 증폭시키는 반면, 참고문헌 [9]의 CS 구조를 갖는 능동 안테나의 경우, 방송 및 상용 주파수 이외 대역에서 제안된 능동 안테나보다 10~30 dB 높은 스펙트럼을 보였다. 따라서, 방송 및 상용 무선 신호 등이 혼재된 실 환경 조건에서 제안된 능동 안테나가 낮은 신호 세기를 갖는 미지의 신호를 검출하기 위한 고감도 수신 시스템에 적용 가능할 것으로 사료되어진다.

## Ⅳ. 결 론

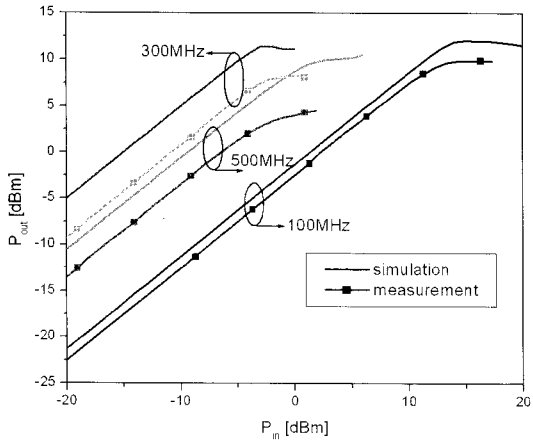
본 논문에서는 100~500 MHz의 광대역 주파수



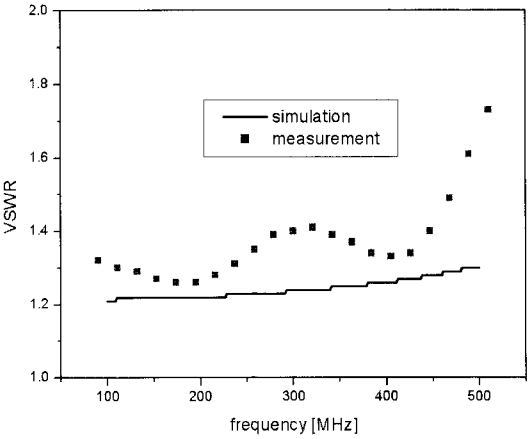

(a) 회로 이득
(a) Circuit gain



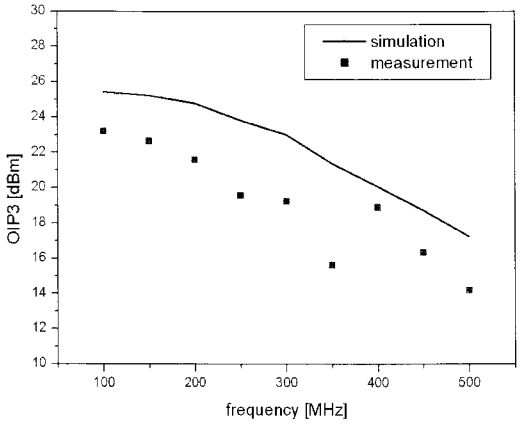

(b) 잡음 지수
(b) Noise figure




(c) P1dB 특성
(c) P1dB

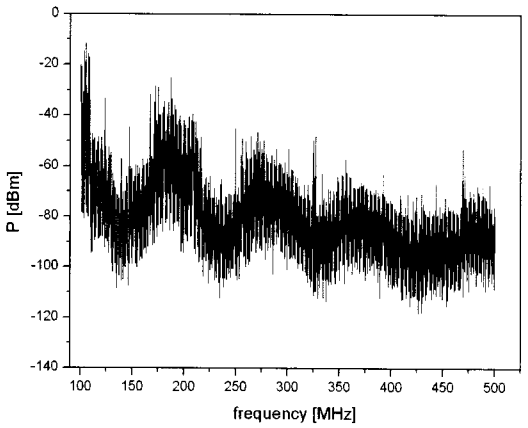



(d) 전압 정재 파비
(d) VSWR

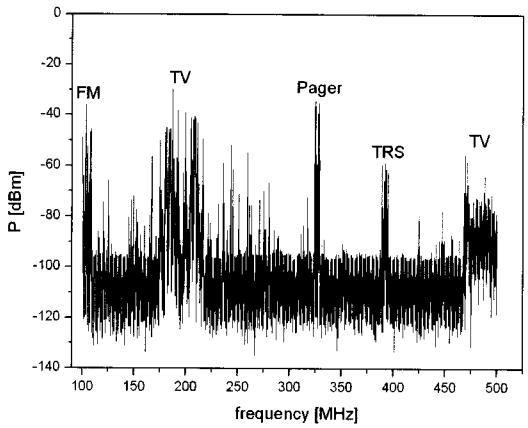



(e) OIP3 특성
(e) OIP3

그림 13. 제작된 능동 안테나 특성
Fig. 13. Performance of the fabricated AA.




(a) 안테나[9] 스펙트럼
(a) Spectrum of the antenna[9]




(b) 제안된 AA 스펙트럼
(b) Spectrum of the proposed AA

그림 14. 서울 근교에서 측정한 능동 안테나 스펙트럼 특성

Fig. 14. Spectral performance of AA at a suburban of Seoul.

특성을 갖는 능동 안테나를 설계하였다. 능동 안테나는 안테나에 능동 회로가 바로 연결하여 전송선의 손실을 줄이는 장점이 있으며, 수동 안테나에 비하여 소형, 경량 구조이며, 광대역 주파수 및 상대적으로 높은 이득을 얻을 수 있다. 그러나, 방송 및 상용 무선 신호 등과 같이 높은 신호 세기를 갖는 신호 환경에 의하여 능동 안테나는 불요파 신호를 발생하며, 이러한 불요파 신호는 원거리에서 활동중인 미지의 신호에 대한 수신을 어렵게 한다. 본 논문에서는 길이가 60 cm이고, 지름이 16 mm의 다이폴 구조를 가지면서, 5:1 광대역 주파수 대역에서 평균 이득, 평균 잡음 지수, VSWR, 출력 P1dB 및 OIP3는 각각 9.7 dB, 10 dB, 1.7:1, 3 dBm 및 14 dBm 특성을 갖는 CD 구조의 FET 및 BJT를 이용한 다단 증폭 회로의 능동 안테나를 설계하였다. 실환경에서 불요파 신호 특성을 관찰하기 위하여 서울의 서부 근교 지역인 김포에서 측정한 스펙트럼은 방송 및 상용 무선 신호 대역을 제외한 대역에서, CS 구조를 갖는 참고문헌 [9]의 능동 안테나보다 신호 레벨이 약 10~30 dB 개선되었음을 알 수 있다. 따라서, 설계된 능동 안테나는 원거리에서 활동함으로써 낮은 신호 세기를 갖는 미지의 신호에 대한 탐지 등을 목적으로 하는 고감도 수신 시스템에 적용 가능할 것으로 사료되어진다.

## 참 고 문 헌

[1] Richard Poisel, *Introduction to Communication Electronic Warfare Systems*, Artech House, 2002.

[2] E. H. Nordholt, D. V. Willigen, "A new approach to active antenna design", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 28, pp. 904-910, Nov. 1980.

[3] R. A. Sainati, "Active antenna performance limitation", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 30, pp. 1265-1267, 1982.

[4] 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.

[5] J. G. Bij de Vaate, D. Geskus, and R. H. Witvers, "Integrated active antenna noise figure characterization using a cryogenic anechoic noise source", *European Microwave Conference*, pp. 1-4, Oct. 2001.

[6] A. S. Andrenko *et al.*, "Impedance matching in active integrated antenna receiver front end design", *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, pp. 16-18, 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] G. H. Tan, C. Rohner, "The low frequency array

active antenna system", *Proc. SPIE*, vol. 4015, pp. 440-457, 2000.

[9] 이철수, 백정기, "등가모델을 이용한 광대역 수신용 능동 다이폴 안테나 설계", 한국전자파학회논문지, 19(1), pp. 23-32, 2008년 1월.

[10] H. An, B. Nauwelaers, and A. Van de Capelle, "Measurement technique for active microstrip antennas", *Electronics Letters*, pp. 1646-1647, 1993.

[11] S. N. Makarov, *Antenna and EM Modeling with Matlab*, John Wiely & Sons, 2002.

[12] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, 2nd, John Wiley & Sons, pp. 542-574, 1997.

[13] Adel S. Sedra, Kenneth C. Smith, *Microelectronic Circuits*, 3rd, Saunders College Publishing, pp. 354-361.

[14] H. An, B. Nauwelaers, and A. Van de Capelle, "Noise figure measurement of receiving active microstrip antennas", *Electronic Letters*, pp. 1594-1596, 1993.

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

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

정 근 석

2003년 2월: 서울시립대학교 전자전기공학부 (공학사)
2005년 2월: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 (공학석사)
2005년 1월~현재: LIG넥스원(주) 전자전연구소 주임연구원
[주 관심분야] 통신 대역 전자전장비 안테나 및 수신기