

재구성 정합 회로를 이용한 평판형 이중 모드 안테나 설계

Design of a Dual-Mode Planar Antenna Using a Reconfigurable Matching Network

김 윤 건 · 계 영 철* · 추 호 성*

Yoon Geon Kim · Youngchul Kay* · Hosung Choo*

요 약

본 논문에서는 RF 스위치 역할을 하는 핀-다이오드를 이용하여 정합 회로의 형상을 변경하는 새로운 형태의 재구성 안테나를 제안하였다. 개발된 안테나는 HSDPA 대역(2.1~2.2 GHz), WiBro · WiFi 대역(2.3~2.5 GHz)에서 Mode 1과 Mode 2의 두 가지 모드로 동작할 수 있도록 하였으며, polyacrylate 기판의 양면을 이용하여 제작 및 측정을 하였다. 측정 결과, Mode 1과 Mode 2의 동작 주파수에서 547 MHz($S_{11} < -3$ dB, 2.035~2.582 GHz), 600 MHz($S_{11} < -3$ dB, 2.2~2.8 GHz)의 대역폭을 보였으며, 각각 -4.4 dBi, -4.5 dBi의 x-y 평면 평균 수직 복사 성능을 보였다.

Abstract

In this paper, we propose a novel reconfigurable antenna that can change the electrical shape of the matching network using RF switches of PIN diodes. The designed antenna operates at two different modes that are Mode 1 (HSDPA band, 2.1~2.2 GHz) and Mode 2(WiBro · WiFi band, 2.3~2.5 GHz). The antenna is built on both sides of a polyacrylate substrate. The measured reflection coefficient shows a matching bandwidth of 547 MHz($S_{11} < -3$ dB, 2.035~2.582 GHz) for Mode 1 and 600 MHz($S_{11} < -3$ dB, 2.2~2.8 GHz) for Mode 2, and it shows average vertical gains of -4.4 dBi and -4.5 dBi in x-y plane, respectively.

Key words : Reconfigurable Antenna, T-Matching Network, Parallel T-Matching Network

I. 서 론

새로운 통신 서비스의 출현 및 서비스의 다양화와 더불어 많은 단말기에 다중 서비스를 지원할 수 있는 시스템이 내장되고 있는 추세이다^{[1],[2]}. 다양한 통신 서비스의 지원을 위해서는 각각의 통신 서비스 대역에서 동작하는 안테나들이 필수적이며, 특히 데이터 전송 속도 향상을 위한 핵심 기술인 다중 입출

력 기술(Multi Input Multi Output: MIMO)을 적용하게 되면 안테나의 개수는 기하급수적으로 늘어나게 된다. 하지만 단말기의 지속적인 소형화에 대한 요구와 시스템의 집적화로 인해 안테나의 가용 공간은 점차 줄어들며, 적은 공간에서도 하나의 안테나가 다수 안테나의 기능을 할 수 있는 멀티 functional 안테나에 대한 요구가 증가되고 있다. 최근에는 이러한 문제점을 해결하기 위해 안테나의 전기적인 크기

「본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 육성지원사업의 연구 결과로 수행되었음(NIPA-2012-H0301-12-2007).」

삼성전자 DMC 연구소(Samsung Electronics Digital Media & Communication R & D Center)

*홍익대학교 전자전기공학부(School of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University)

• Manuscript received May 17, 2012 ; Revised November 29, 2012 ; Accepted December 7, 2012. (ID No. 20120517-060)

• Corresponding Author : Hosung Choo (e-mail : hschoo@hongik.ac.kr)

및 형상을 변형시켜 다수의 특성을 도출할 수 있는 재구성 안테나가 대안으로 제시되고 있다.

본 논문에서는 일반적으로 많이 사용되었던 크기 혹은 형상 재구성을 통한 안테나 구현이 아닌, 급전부의 정합 회로 재구성을 통하여 안테나의 특성을 조절할 수 있는 새로운 형태의 재구성 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 편-다이오드(BAR64-02L, Infineon) 3개를 이용하여 HSDPA 대역(2.1~2.2 GHz), WiBro·WiFi 대역(WiBro band: 2.3~2.4 GHz, WiFi band: 2.4~2.5 GHz)의 2가지 모드에서 공진하도록 설계하였으며, 각 모드에 따라 단일 T-정합 회로(HSDPA: Mode 1) 혹은 병렬 T-정합 회로(WiBro·WiFi: Mode 2)로 동작하도록 하여 안테나의 소형화 및 광대역 특성을 도출하였다. 제안된 안테나는 두 개의 단일 T-정합 회로가 polyacrylate(두께 2 mm, $\epsilon_r = 3.25$, $\tan \delta = 0.016$)의 상단과 하단에 인쇄되어 3개의 비아-홀로 연결된 구조를 가지며, 3개의 편-다이오드를 삽입하여 모든 다이오드가 OFF 상태일 때 Mode 1, 모든 다이오드가 ON 상태일 때 Mode 2로 동작할 수 있도록 하였다. 설계된 안테나에 DC 바이어스를 조절하여 Mode 1과 Mode 2에서의 반사 손실 및 복사 성능을 측정하였으며, 무선 인터넷 용도의 다중 functional 안테나로 사용 가능함을 확인하였다.

II. 재구성 안테나 구조 및 설계

T-정합 회로를 이용한 급전 방식은 주변 유전체에 의해 비교적 적은 성능 열화를 보이면서도 광대역 특성을 도출할 수 있어 기판 인쇄형 안테나에 유리한 장점을 가진다. 따라서 제안된 안테나의 급전 방식은 T-정합 회로와 이를 응용한 병렬 T-정합 회로가 편-다이오드에 의해 선택적으로 재구성되어 사용될 수 있도록 설계하였으며, 정합 회로의 회로 모델을 그림 1에 나타내었다. 모든 RF switch(스위치, SW)가 열려있을 때 재구성 안테나는 Mode 1이 되며, 이때 정합 회로는 단일 T-정합 회로로 구현되어 HSDPA 대역에서 동작한다. 모든 SW가 닫혔을 때는 재구성 안테나가 Mode 2가 되며, 이 때 정합 회로는 병렬 T-정합 회로로 구현되어 WiBro·WiFi 대역에서 공진하도록 하였다. 안테나가 Mode 1로 동작할 때 입력단 반사계수(Γ)는 단일 T-정합 회로의 ABCD

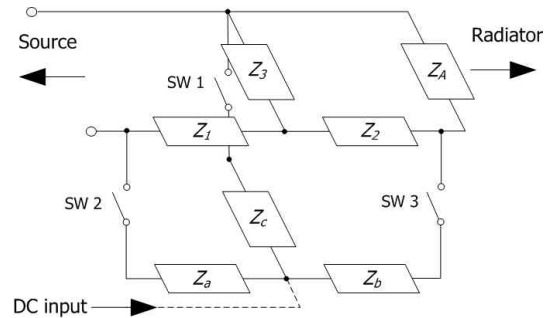


그림 1. 제안된 재구성 매칭 회로

Fig. 1. The proposed reconfigurable matching network.

매트릭스 (식 (1))를 [S] 매트릭스(식 (2))로 변환한 후 식 (3)을 이용하여 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{Z_1}{Z_3} & Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_3} \\ \frac{1}{Z_3} & 1 + \frac{Z_2}{Z_3} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{A + \frac{B}{Z_0} - CZ_0 - D}{A + \frac{B}{Z_0} + CZ_0 + D} & \frac{2(AD - BC)}{A + \frac{B}{Z_0} + CZ_0 + D} \\ \frac{2}{A + \frac{B}{Z_0} + CZ_0 + D} & \frac{-A + \frac{B}{Z_0} - CZ_0 + D}{A + \frac{B}{Z_0} + CZ_0 + D} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\Gamma = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21} - \Gamma_d}{1 - S_{22}\Gamma_d}, \quad \Gamma_d = \frac{Z_A - Z_0}{Z_A + Z_0} \quad (3)$$

또한 두 개의 T-정합 회로를 병렬로 연결한 병렬 T-정합 회로가 삽입된 네트워크의 입력단 반사계수는 상·하단 T-정합 회로의 어드미턴스 매트릭스 합으로 전체 네트워크를 나타낼 수 있으며, 이를 [S] 매트릭스로 변환한 후 반사계수를 계산할 수 있다^[3].

그림 2는 본 논문에서 제안한 재구성 안테나 구조이다. 제안된 안테나는 상단의 T-정합 회로와 하단의 T-정합 회로가 polyacrylate 기판 양면에 위치하도록 하였으며, 비아-홀로 상·하단의 정합 회로를 연결하였다. 또한, 안테나가 무선단말기에 장착될 때, 급전 선로에 의한 공진 주파수 이동을 고려하여 접지면을 확보하였다. 설계 변수는 상단의 T-정합 회로의 크기(x_1, x_2, x_4, y_1), 하단의 T-정합 회로의 크기(x_2, x_4, y_1), 비아-홀의 위치(x_1, x_3, x_4), 방사부의 길이

(x_5)가 사용되었다. 상단 T-정합 회로의 설계 변수(x_1 , x_2 , x_4 , y_1)와 하단 T-정합 회로의 설계 변수(x_2 , x_4 , y_1)는 각각 매칭 회로의 Z_1 , Z_2 , Z_3 의 임피던스 값, Z_a , Z_b , Z_c 의 커패시턴스 값에 비교적 많은 영향을 미치는 것을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 제안된 재구성 안테나의 성능을 예측하기 위해서 EM 시뮬레이터 (FEKO suite 6.0)를 사용하였으며, 보다 정확한 성능 예측을 위해 핀-다이오드의 ON-OFF 상태에 따른 임피던스 값(2.1Ω)과 커패시턴스 값(0.17 pF)을 EM 시뮬레이션에 적용하였다^[4]. 먼저 Mode 1이 HSDPA 대역에서 공진하게 하기 위해 안테나의 방사부의 길이를 파장의 $\lambda/4$ 가 되도록 한 후, T-정합 회로를 상단 기판에 삽입하여 정합 특성을 개선하였다. Mode 2는 하단에 2.73 GHz에서 정합되는 T-정합 회로를 추가로 삽입하였으며, 모든 핀-다이오드가 ON 상태일 때 상단의 T-정합 회로 및 방사부와 연결되어 병렬 T-정합 회로로 동작하고, WiBro · WiFi 대역에서 공진할 수 있도록 하였다. 제안된 재구성 안테나의 복사 이득 특성을 최대화하기 위해 선폭에 따른 이득 특성 변화를 관찰하였으며, 안테나 선로의 두께에 따라 동작 주파수에서의 도선에 유도되는 전류량의 변화를 확인하여 선폭이 0.5 mm일 때 적정 이득을 가짐을 그림 3(a)를 통해 확인하였다. 또한, 비아-홀의 위치에 따른 이득 변화율을 그림 3(b)에 나타내었으며, 이 때 비아-홀의 위치를 0.5~2 mm까지 좌우로 변경시키며 이득 변화 민감도를 관찰하였다. 비아-홀의 위치가 정합 회로의 임피던스를 변화시켜 이득 성능에 높은 영향을 미치는 것을 확인하였으며, 따라서 설계된 재구성 안테나의 성능을 추가 개선하기 위해 최적화 알고리즘(genetic algorithm)과 EM 시뮬레이터를 연동하여 비아-홀의 위치를 최적화하였다^[5]. 최적 설계된 재구성 안테나의 설계 변수를 표 1에 정리하였다.

표 1. 안테나의 설계 변수

Table 1. Antenna parameters of the optimized antenna.

x_1	x_2	x_3	x_4
55 mm	12 mm	11 mm	8 mm
x_5	y_1		
38 mm	50 mm		

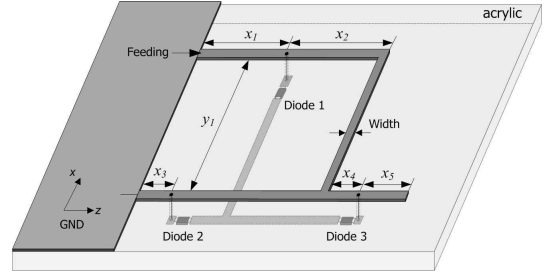
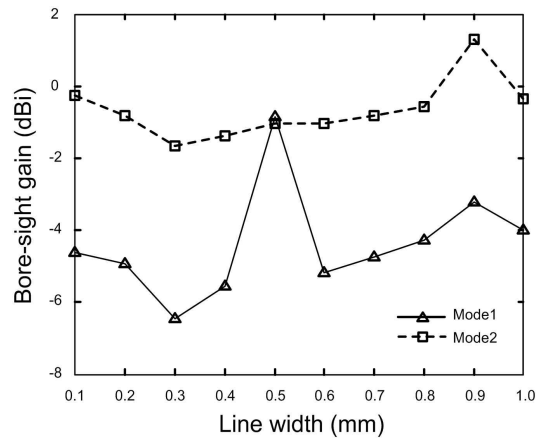


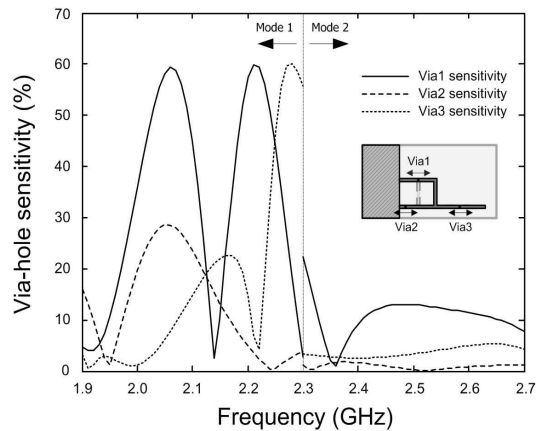
그림 2. 재구성 매칭 회로를 이용한 안테나의 구조 및 형상

Fig. 2. Geometry of the proposed antenna using the reconfigurable matching network.



(a) 선폭에 따른 안테나 복사 이득

(a) Bore-sight gain according to the width of the stripline

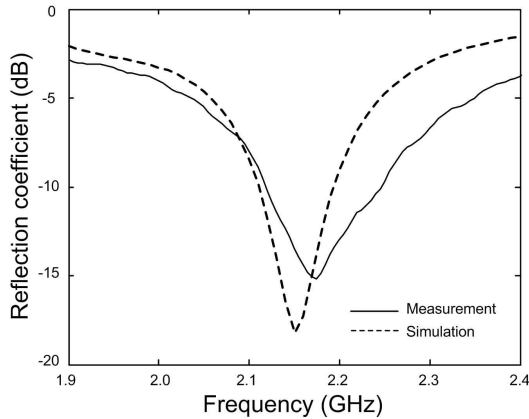


(b) 비아-홀의 위치에 따른 민감도

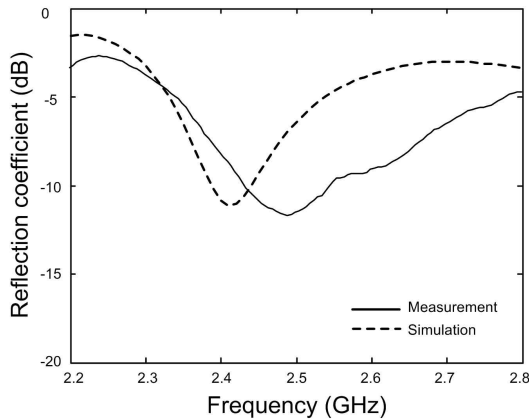
(b) Sensitivity according to via-holes

그림 3. 제안된 안테나의 주 빔 방향 이득과 민감도

Fig. 3. Bore-sight gain and sensitivity of the proposed antenna.



(a) Mode 1의 반사계수
(a) Reflection coefficient of Mode 1



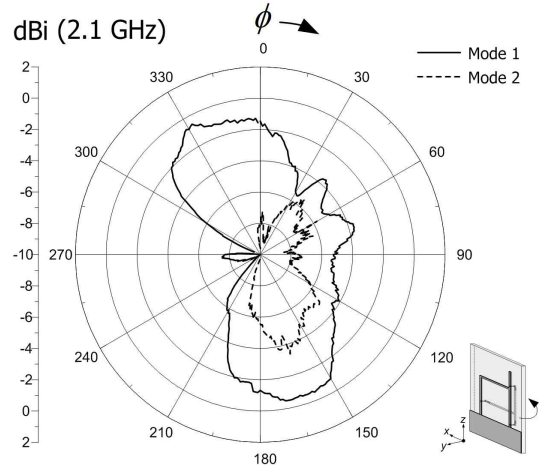
(b) Mode 2의 반사계수
(b) Reflection coefficient of Mode 2

그림 4. 각 모드에 따른 반사계수
Fig. 4. Reflection coefficient of each mode.

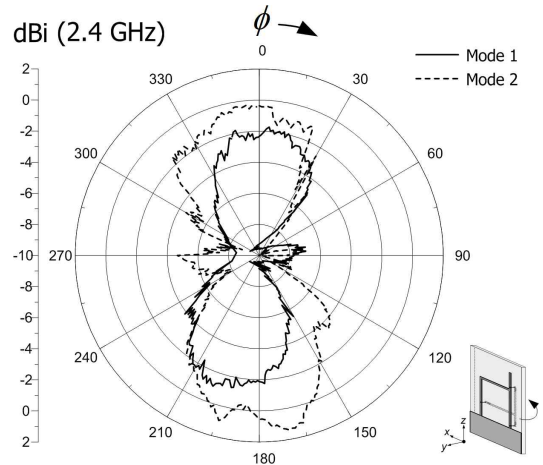
Ⅲ. 성능 측정 및 분석

최적 설계된 변수를 바탕으로 안테나 성능을 검증하기 위해 제안된 재구성 안테나를 제작하였다. 두께 2 mm를 가지는 투명한 polyacrylate 기판의 하단에 RF switch 역할을 하는 3개의 핀-다이오드를 장착하였으며, DC 바이어스의 간섭을 제거하기 위한 칩인덕터(NLCV25, TDK)를 DC 급전 선로의 끝단에 삽입하였다. DC 급전 선로는 안테나 도전 선로와의 커플링 특성을 최소화하기 위해 15 mm의 이격 거리를 두고 제작하였다.

제작된 재구성 안테나의 대역폭 특성을 Agilent 8753D 네트워크 분석기를 이용하여 측정하였으며,



(a) 2.1 GHz 대역(Mode 1) 복사 패턴
(a) Radiation pattern at 2.1 GHz(Mode 1)



(b) 2.4 GHz 대역(Mode 2) 복사 패턴
(b) Radiation pattern at 2.4 GHz(Mode 2)

그림 5. 모드에 따른 안테나의 복사 패턴
Fig. 5. Radiation pattern of each mode.

측정 결과를 그림 4에 나타내었다. 그림 4(a)는 재구성 안테나의 Mode 1의 반사계수를 나타내며, 실선이 측정 결과이고, 점선이 EM시뮬레이션 결과이다. DC 바이어스가 입력되지 않아 하단에 장착된 3개의 핀-다이오드는 OFF 상태로 되며, 재구성 안테나의 급전 부에는 T-정합 회로가 삽입되어 HSDPA 대역에서 26.2 %의 반전력 대역폭을 가지는 것을 확인하였다. Mode 2의 반사계수를 측정하기 위해 DC 선로에 1 V의 DC 바이어스를 입력하여 급전부에 병렬 T-정합 회로가 삽입되게 하였으며, 측정 결과 WiBro · WiFi

대역에서 25 %의 반전력 대역폭을 보이는 것을 그림 4(b)에 나타내었다.

제작된 재구성 안테나의 스위칭 특성과 복사 성능을 확인하기 위해 반무반사실 챔버에서 Schwarzbeck Mess사의 BBHA 9120D 광대역 혼 안테나를 해당 주파수 대역의 far-field 조건을 만족하는 1 m가 되는 거리에 배치하여 측정하였다. 그림 5는 Mode 1과 Mode 2의 중심 주파수에서 복사 성능을 나타낸다. 2.1 GHz 대역에서의 x-y 평면 평균 수직 복사 성능은 Mode 1에서 -4.4 dBi, Mode 2에서 -10.3 dBi이며, 동작 모드인 Mode 1의 최대 이득과 최소 이득은 -1.4 dBi, -10.0 dBi임을 그림 5(a)를 통해 확인하였다. 또한, 2.4 GHz 대역에서 평균 수직 복사 성능은 Mode 1에서 -6.8 dBi, Mode 2는 -4.5 dBi이며, 동작 모드인 Mode 2의 최대 이득과 최소 이득은 1.3 dBi, -12.4 dBi임을 그림 5(b)에 나타내었다. 또한, 핀-다이오드에 의해 2개의 서로 다른 정합 회로가 재구성 안테나에 삽입되어 각 모드에 따른 동작 주파수에서 더 높은 이득 특성을 가지는 것을 확인하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 정합 회로의 재구성을 이용하여 2가지 모드로 동작하는 재구성 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나의 급전부는 단일 T-정합 회로와 병렬 T-정합 회로가 재구성되어 삽입될 수 있도록 polycrylate기판 양면을 이용하여 구현하였으며, 안테나 본체에 DC 바이어스 선로를 인쇄하여 RF 스위치 역할을 하는 핀-다이오드 ON-OFF 상태를 조절하였다. Mode 1은 안테나에 장착된 3개의 핀-다이오드가 모두 OFF 상태일 때 기판의 상단에 위치한 단일 T-정합 회로가 급전부에 삽입되어 HSDPA 대역에서 동작할 수 있도록 하였으며, Mode 2는 DC 바이어스에 의해 하단에 위치한 T-정합 회로가 동작하여 병렬

T-정합 회로를 가지는 안테나로 재구성되어 WiBro · WiFi 대역에서 공진할 수 있도록 하였다. 제안된 안테나의 성능을 추가 개선하기 위해 FEKO EM 시뮬레이터와 최적화 알고리즘을 연동하여 비아-홀의 위치와 설계 변수를 도출하였으며, 최적화된 안테나를 제작 및 성능을 측정하였다. 측정 결과, 제작된 안테나의 대역폭은 HSDPA 대역(Mode 1)에서 26.2 %, WiBro · WiFi 대역(Mode 2)에서 25 %임을 확인하였으며, 반무반사실 챔버에서 평균 수직 복사 성능을 측정한 결과, Mode 1(2.1 GHz)과 Mode 2(2.4 GHz)에서 각각 -4.4 dBi, -4.5 dBi임을 보여 제안된 재구성 안테나를 무선 인터넷용 안테나로 사용가능함을 확인하였다.

참 고 문 헌

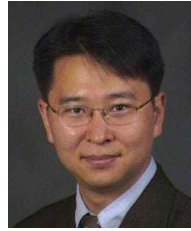
- [1] L. Dang, Z. Lei, Y. Xie, G. Ning, and J. Fan, "A compact microstrip slot triple-band antenna for WLAN/WiMAX applications", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 9, no. 1, pp. 1178-1181, Sep. 2010.
- [2] J. Jung, H. Lee, and Y. Lim, "Broadband flexible comb-shaped monopole antenna", *IET Proc. Inst. Elect. Eng. Microwaves, Antennas Propag.*, vol. 3, no. 2, pp. 325-332, Oct. 2009.
- [3] 김윤진, 계영철, 지성환, 추호성, "병렬 T-정합 회로를 이용한 차량 유리 부착형 광대역 안테나 설계", *한국전자파학회논문지*, 23(1), pp. 122-130, 2012년 1월.
- [4] FEKO Comprehensive EM solutions, [Online]. Available: <http://www.feko.info/>
- [5] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1989.

김 윤 건



2010년 8월: 홍익대학교 전자전기
공학과 (공학사)
2012년 8월: 홍익대학교 전자정보
통신공학과 (공학석사)
2012년 8월~현재: 삼성전자 DMC
연구소 연구원
[주 관심분야] 최적화 알고리즘을
이용한 안테나 설계, 무선전력전송, Meta-material

추 호 성



1998년 2월: 한양대학교 전파공학
과 (공학사)
2000년 8월: 미국 Univ. of Texas at
Austin 전자전기공학부 (공학석사)
2003년 5월: 미국 Univ. of Texas at
Austin 전자전기공학부 (공학박사)
2003년 6월~2003년 8월: 미국 Univ.
of Texas at Austin 전자전기공학부 (Post Doctor)
2003년 8월~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 부교수
[주 관심분야] 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한
안테나 설계, RFID용 태그 및 리더 안테나

계 영 철



1980년 2월: 서울대학교 전자공학
과 (공학사)
1982년 2월: 한국과학기술원 전기
및 전자공학과 (공학석사)
1991년 5월: Univ. of Southern Cali-
fornia, Electrical Engineering (공학
박사)

1991년 8월~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 교수
[주 관심분야] 음성 신호 처리, 인식 알고리즘의 최적화,
RFID용 태그 및 리더 안테나