

안테나 소형화를 위한 koch curve 마이크로스트립 패치 안테나 설계 및 구현*

김선웅** · 임동섭*** · 김영곤**** · 최동유*****

Design and Implementation of Koch curve Microstrip Patch Antenna for Antenna Miniaturization*

Sun-Woong Kim** · Dong-Seob Lim*** · Young-Gon Kim**** · Dong-You Choi*****

■ Abstract ■

In this paper, miniaturized patch antenna operating at ISM band has been designed by applying the fractal technique. Various type of antenna structure, microstrip patch antenna and koch curve microstrip patch antenna has been proposed and simulated using Ansoft HFSS (High Frequency Structure Simulator). The area of microstrip patch antenna and koch microstrip patch antenna is 1,058 mm², and 891 mm² respectively, showing the size reduction ratio of 16%. The finally made koch curve microstrip patch antenna resonates at 2.45GHz with return loss of 22.69dB, VSWR of 1.2142, and antenna radiation gain of 3.26dBi.

Keyword : Microstrip Patch Antenna, Fractal, Return Loss, VSWR, Antenna Gain

논문투고일 : 2013년 07월 26일 논문수정완료일 : 2013년 09월 07일 논문게재확정일 : 2013년 09월 13일
* 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2012005496).

** 조선대학교 대학원 정보통신공학과

*** 아시아나 IDT 인프라 운영팀

**** 조선이공대학교 광전자과

***** 조선대학교 전자정보공과대학 정보통신공학과 교수, 교신저자

1. 서 론

무선 통신 시스템은 산업 · 의료 · 과학 및 기타 목적으로 무선의 사용은 날로 증가하고 있다. 그에 따른 통신 시스템의 단말기는 다양한 방법으로 연구되고 있으며, 그 중 단말기의 휴대성과 이동성의 편리함을 위해 소형 및 경량화가 되어가고 있는 추세이다[2].

현재, 이동 통신 시스템은 2, 3세대를 지나 4세대로 진화하였으며, 진화와 함께 단말기의 다기능, 고도화가 가속화되고 있다. 하나의 단말기에 통신 기능 이외에 위치추적, 방송, 음악 및 동영상감상, 게임기능, 무선테이터 통신 기능 등의 다양한 기능이 집약되고 있는 실정이다. 무선 통신 안테나 기술 또한 이러한 휴대 단말기 시장의 다양한 요구로 인하여 소형화, 경량화, 저 전력화 등 다양한 기술의 개발에 집중하고 있는 추세이다[1].

안테나 소형화에는 유전체를 통한 방법 및 회로적으로 방사체의 한쪽을 단락시키는 등 여러 방법이 있지만 본 연구는 물리적으로 모양을 변형하여 공간에 필요한 전기적인 길이를 주어진 공간에 최대화하고 경우에 따라서 고차의 공진모드를 이용하는 방법이다[5]. 가장 대표적인 설계방법으로 헬리컬 안테나, 미앤더 안테나, 프랙탈 안테나 등이 있다.

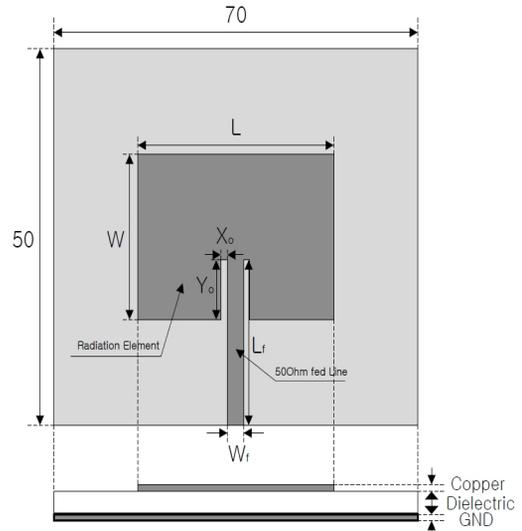
본 연구는 무선 통신 시스템의 소형 및 경량화를 위해 안테나의 방사체 크기를 줄여야 했으며, 프랙탈 기법을 응용하여 소형화 시켰다[3]. 따라서 제 2장에서는 마이크로스트립 패치 안테나 설계 이론 및 프랙탈 개념에 대한 이론을 고찰하였다. 제 3장에서는 Ansoft사의 HFSS 툴을 사용하여 시뮬레이션을 통해 소형화된 안테나를 설계 및 제안하였고 제 4장에서는 실제 제작 및 측정을 하였으며, 제 5장에서는 연구결과에 대한 결론을 맺는다.

2. 배경 이론

2.1 마이크로스트립 패치 안테나 구조

본 논문에서 제안한 마이크로스트립 패치 안테

나는 패치에 급전선이 연결되는 부분에 두 개의 슬롯을 삽입하는 구조이다.



[그림 1] 마이크로스트립 패치 안테나 구조(단위 : mm)

제안한 안테나의 동작주파수는 ISM(Industrial Scientific and Medical) 대역의 2.45GHz이다. 2.45GHz 대역의 주파수는 WLAN(Wireless Local Area Network), Bluetooth, RFID(Radio Frequency Identification) 기반의 무선 통신 시스템 및 무선 어플리케이션에 널리 사용되고 있다.

마이크로스트립 패치 안테나를 설계하기 위해서는 몇 가지의 설계 조건이 필요하게 되는데, 안테나 기판의 유전율(ϵ_r)과 기판의 높이(h) 그리고 안테나가 동작하는 동작주파수(f_r) 등이 있다.

특히, 패치 안테나의 폭 W 는 효율적인 방사를 결정하는 변수로서 식 (1)과 같다[7].

$$W = \frac{V_0}{2f_r} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

패치 안테나 길이 L 은 패치 안테나의 동작주파수를 결정하는 변수로서 식 (2)와 같다.

$$L = \frac{1}{2fr \sqrt{\epsilon_{eff}} \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} - 2\Delta L \quad (2)$$

실효 유효율 ϵ_{eff} 와 ΔL 은 식 (3), 식 (4)와 같다.

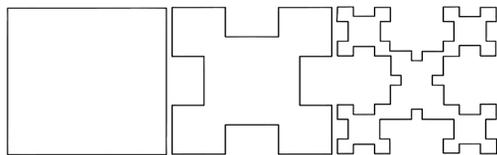
$$\epsilon_{eff} = \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right) + \left(\frac{\epsilon_r - 1}{2} \right) \left(1 + 12 \frac{h}{W} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (4)$$

2.2 koch curve 구조의 프랙탈 형태

프랙탈 구조는 나무줄기와 나뭇잎의 배열과 같은 자연적 배열에서 착안한 기하학적 구조로서 전체의 구조가 하부구조에 비슷하게 반복되는 자기 유사성의 특징을 보인다. 프랙탈 안테나 구조에는 sierpinski carpet 구조, seirpinski gasket 구조, koch curve 구조 등이 있다.

본 논문에서는 이러한 구조 중에서 koch curve 구조를 응용한 마이크로스트립 패치 안테나를 설계 및 제안하였다. koch curve 구조의 프랙탈 형태는 [그림 2]와 같이 koch curve을 변으로 다각형의 구조를 이루는 형태이다. 이 프랙탈 형태의 특징은 다른 프랙탈 형태와 마찬가지로 자기 유사성과 공간 채움 특성을 가지게 된다. [그림 2]와 같이 같은 면적을 차지하는 다각형을 점차 반복시켜 나갈수록 변의 길이는 늘어나게 된다[8].



(a) 기본 구조 (b) 1차 반복 (c) 2차 반복

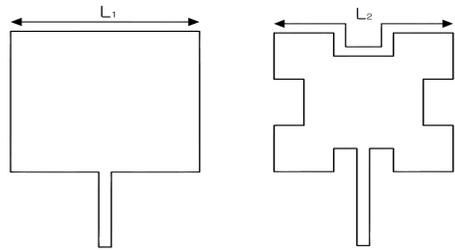
[그림 2] koch curve 구조

2.2.1 koch curve 마이크로스트립 패치 안테나

koch curve 마이크로스트립 패치 안테나는 일반적인 사각형 형태의 마이크로스트립 패치 안테나에 koch curve을 적용시켜 만든 패치 안테나이다.

[그림 3(a)]에서 사각형 패치 안테나의 가로축

길이 L_1 은 동작주파수의 파장에 1/2의 길이에 해당되며, 한 번 안테나의 물리적 길이가 정해지면 안테나의 동작주파수가 결정된다. [그림 3(b)]와 같이 안테나에 koch curve 구조를 적용한 경우는 가로축 변의 길이가 L_2 와 같이 늘어나게 된다. 이 때문에 동작주파수는 좀 더 낮아지게 된다. 이는 프랙탈이 가진 성질, 즉 공간 채움 특성에 의한 것으로 프랙탈 형태를 가진 패치 안테나는 같은 면적에서 동작주파수를 낮추는 특성을 가지게 된다[4].



(a) 사각형 패치 (b) koch curve 1차 패치

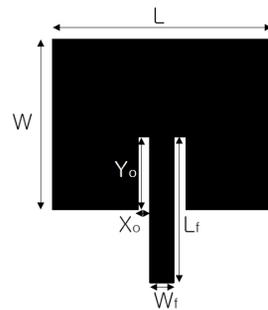
[그림 3] 사각형 패치 안테나와 koch curve 1차 반복 패치

3. 안테나 설계 및 시뮬레이션

제안한 안테나는 마이크로스트립 패치 안테나와 koch curve 마이크로스트립 패치 안테나이다.

마이크로스트립 패치 안테나는 inset-fed 구조를 갖는 안테나로서 패치와 급전선이 연결되는 부분에 두 개의 슬롯을 통하여 임피던스를 정합하였다[6].

본 논문에서 설계한 inset-fed 구조의 마이크로스트립 패치 안테나는 [그림 4], <표 1>과 같다.

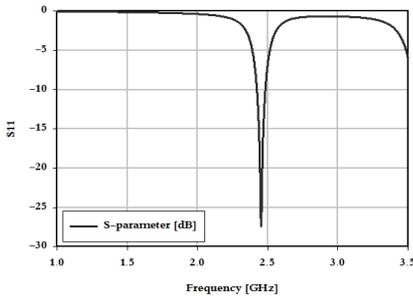


[그림 4] 설계된 마이크로스트립 패치 안테나

<표 1> 마이크로스트립 패치 안테나 설계 변수[mm]

안테나	W	L	L_f	W_f	X_o	Y_o
마이크로스트립 패치 안테나	27.5	38.5	16.2	2.87	1	8

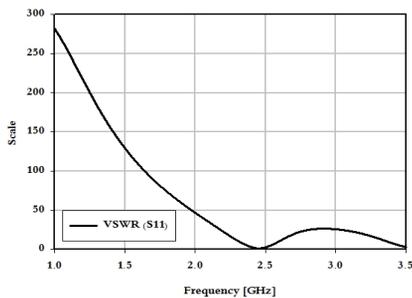
제안한 마이크로스트립 패치 안테나 반사손실(return loss, S) 시뮬레이션 결과는 [그림 5]와 같다.



[그림 5] 마이크로스트립 패치 안테나 반사손실 예측값

[그림 5]의 결과, 마이크로스트립 패치 안테나의 반사손실 시뮬레이션 예측값은 2.45GHz 대역에서 -27.46dB이며, -10dB 대역폭은 61.5MHz이다.

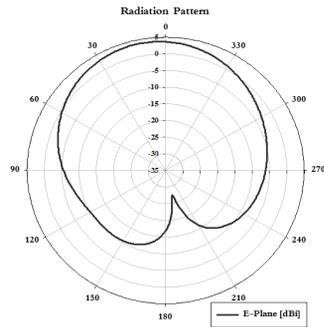
제안한 마이크로스트립 패치 안테나 정재파비 (VSWR : Voltage Standing Wave Ratio) 시뮬레이션 결과는 [그림 6]과 같다. 정재파란 전자파 신호를 전송할 때 전송로 상에 생기는 정재파의 크기를 나타내는 것으로서, 정재파 최대 값과 최소 값의 비에 의해 구할 수 있으며, 보통 1~∞의 범위의 값이 되는데 1에 가까울수록 정합상태가 좋음을 의미한다.



[그림 6] 마이크로스트립 패치 안테나 정재파비 예측값

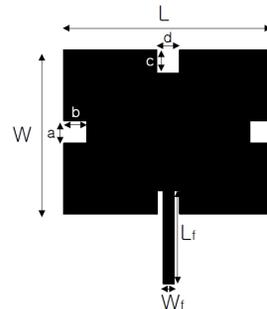
[그림 6]의 결과, 마이크로스트립 패치 안테나의 정재파비 예측값은 1.0379이다.

[그림 7]은 E평면상의 방사패턴 시뮬레이션 예측값으로서, 마이크로스트립 패치 안테나의 E 평면상의 방사이득은 3.87dBi이다.



[그림 7] 마이크로스트립 패치 안테나 방사패턴 예측값

본 논문에서 설계한 koch curve 마이크로스트립 패치 안테나는 [그림 8], <표 2>와 같다. 마이크로스트립 패치 안테나와 길이 L 와 폭 W 은 동일하며, 패치에 슬롯을 삽입하였다.

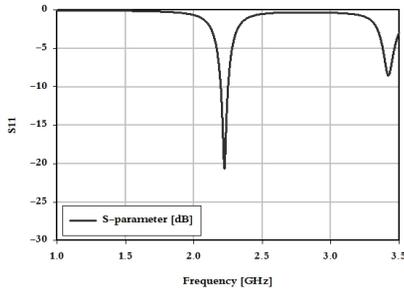


[그림 8] 설계한 koch curve 마이크로스트립 패치 안테나

<표 2> koch curve 마이크로스트립 패치 안테나 설계 변수[mm]

안테나	W	L	a	b	c	d	L_f	W_f
koch curve 안테나	27.5	38.5	3	3	3	3	12	1

제안한 koch curve 마이크로스트립 패치 안테나 반사손실 시뮬레이션 결과는 [그림 9]와 같다.



[그림 9] 슬롯이 삽입된 안테나 반사손실 예측값

[그림 9]의 결과, koch curve 마이크로스트립 패치 안테나의 반사손실 시뮬레이션 예측값은 2.22GHz 대역에서 -20.62dB의 반사손실 결과를 보였으며, 마이크로스트립 패치 안테나에 비해 동작주파수가 약 230MHz정도 낮아졌다.

즉, 프랙탈 이론의 특성과 같이 동일 면적에 슬롯을 삽입하여 변의 길이를 증가시켰더니 더 낮은 동작주파수의 특성을 보였다.

2.45GHz 대역의 동작주파수를 갖도록 하기 위하여 <표 3>과 같이 변수를 설정하였다.

<표 3> 세 가지 구조의 안테나 설계 변수[mm]

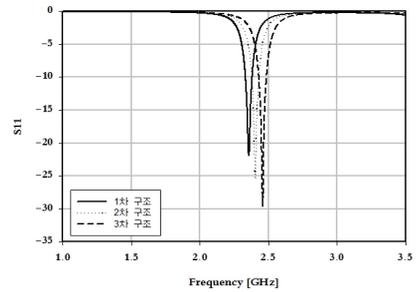
안테나	W	L	a	b	c	d	안테나 면적[mm ²]
1차 구조	27.5	38.5	3	3	3	3	1,003
2차 구조	27.5	35	3	3	3	3	962
3차 구조	27	33	2.5	2	3	3	891

1차 구조의 면적에 비해 2차 구조는 4%, 3차 구조는 11%의 축소율을 보였으며, 가장 낮은 축소율을 보인 3차 구조는 마이크로스트립 패치 안테나에 비해 16%의 축소율을 보였다.

<표 3>과 같이 설계한 안테나 반사손실 시뮬레이션 결과는 [그림 10]과 같다.

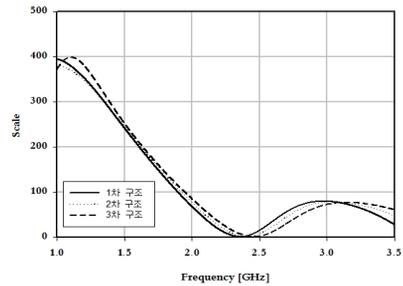
<표 3>과 같이 설계한 안테나 정재파비 시뮬레이션 결과는 [그림 11]과 같다.

<표 3>과 같이 설계한 안테나 방사패턴 시뮬레이션 결과는 [그림 12]와 같다.



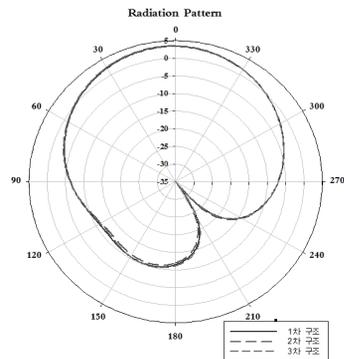
[그림 10] 세 가지 구조의 안테나 반사손실 예측값

[그림 10]의 결과, 세 가지 구조에 대한 반사손실 시뮬레이션 예측값은 1차 구조는 2.36GHz 대역에서 -21.48dB, 2차 구조는 2.4GHz 대역에서 -25.53dB, 3차 구조는 2.45GHz 대역에서 -29.45dB이다.



[그림 11] 세 가지 구조의 안테나 정재파비 예측값

[그림 11]의 결과, 세 가지 구조에 대한 정재파비 시뮬레이션 예측값은 1차 구조는 1.1842, 2차 구조는 1.1117, 3차 구조는 1.02이다.



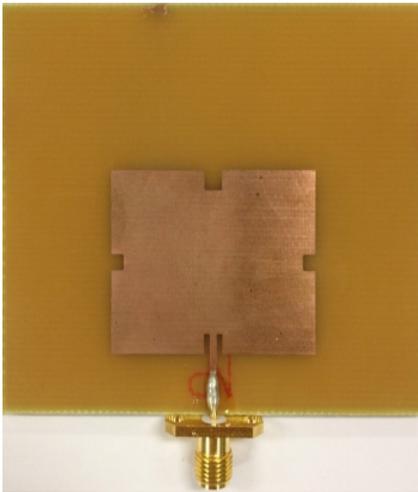
[그림 12] 세 가지 구조의 안테나 방사패턴 예측값

[그림 12]의 결과, 세 가지 구조에 대한 E평면 상의 방사이득 예측값은 1차 구조는 3.35dBi, 2차 구조는 3.45dBi, 3차 구조는 3.5dBi이다.

세 가지 구조에 대한 시뮬레이션 결과, 3차 구조의 안테나 면적이 가장 작았으며, 변의 길이가 증가할수록 2.45GHz 대역으로 동작주파수가 이동하였다. 따라서 본 연구에서는 3차 구조의 안테나를 최종 제작하였다.

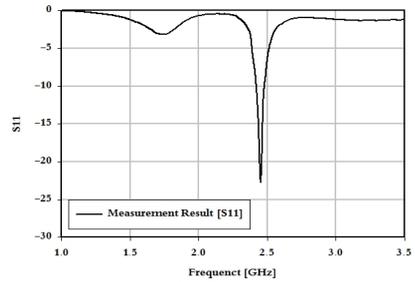
4. 안테나 제작 및 측정

시뮬레이션 한 결과를 바탕으로 소형화를 위해 사각 구조를 삼입하여 에칭기법으로 실제 제작한 koch curve 마이크로스트립 패치 안테나는 그림 13과 같다. 제작한 안테나는 유전율(ϵ_r) 4.7, 유전체 높이 1.6mm, 손실 탄젠트 0.019인 FR4 에폭시 기판을 사용하였다.



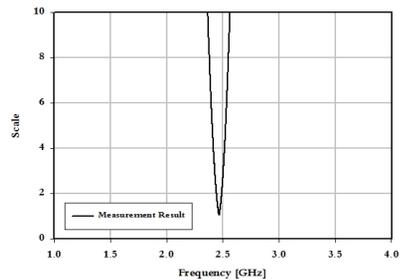
[그림 13] 제작한 koch curve 마이크로스트립 패치 안테나

Agilent사의 네트워크 분석기(N5230A)를 통하여 측정한 안테나 반사손실 실측값과 정재파비 실측값은 [그림 14], [그림 15]와 같다.



[그림 14] 제작한 안테나의 반사손실 실측값

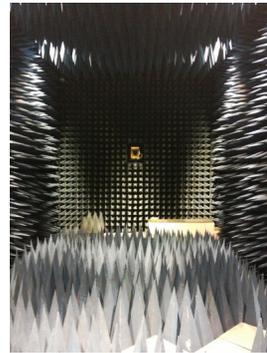
[그림 14]의 결과, 안테나 반사손실 실측값은 2.45 GHz 대역에서 -22.69dB이다.



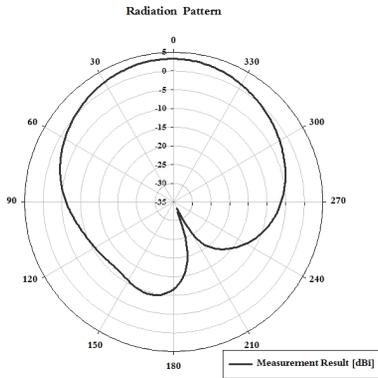
[그림 15] 제작한 안테나의 정재파비 실측값

[그림 15]의 결과, 안테나 정재파비 실측값은 1.2142이다.

[그림 16]은 안테나 무반향실이며, 측정된 안테나의 방사패턴 및 이득의 실측값은 [그림 17]과 같다.



[그림 16] 안테나 무반향 측정실(대전 테크노파크)



[그림 17] 제작 된 안테나의 방사패턴 실측값

[그림 17]의 결과, 안테나 방사패턴 실측값은 3.26 dBi이다.

<표 4> 안테나 예측값과 실측값 비교

안테나	공진주파수 (GHz)	반사손실 (dB)	정재파비	안테나이득 (dBi)
koch curve 패치 안테나 (예측값)	2.45	-29.45	1.02	3.5
koch curve 패치 안테나 (실측값)	2.45	-22.69	1.2142	3.26

제작된 안테나 실측값과 시뮬레이션 예측값을 비교한 값은 <표 4>와 같다.

4. 결 론

안테나의 소형화 방법으로는 유전체를 통한 방법이 있지만, 이 방법은 안테나 대역폭과 방사효율 등의 안테나 특성이 저하되기 때문에 소형화에는 한계가 있어 안테나 구조를 변형하는 소형화 연구가 진행되고 있다. 따라서 본 논문에서는 소형화 안테나를 제작하기 위해 프랙탈 개념을 응용하여 2.45GHz 대역의 koch curve 마이크로스트립 패치 안테나를 설계 및 제작하였다.

제작한 안테나의 유전율(ϵ_r) 4.7, 유전체 높이

1.6 mm, 손실 탄젠트 0.019인 FR4에폭시 기판을 사용하여 에칭기법으로 제작하였다. Agilent사의 네트워크 분석기(N5230a)와 안테나 무반향실에서 반사손실, 정재파비, 방사패턴, 최대이득을 각각 측정하였다.

본 논문에서 제안한 안테나의 실측값은 예측값에 비해 다소 낮은 결과를 보였지만 이는 에칭기법을 통한 제작과정에서의 기인한 오차로 판단되며, 프랙탈 기법을 응용하여 안테나 면적을 축소할 수 있음을 확인하였다.

향후, 연구과제로는 안테나 소형화 문제를 다양한 방법으로 연구하며 경량화 되고 있는 무선통신 시스템의 연계성에 부합하는 안테나를 설계하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] 강광원, "UHF RFID 리더기용 이중구조형 z-슬롯 안테나의 등방성 패턴 특성", 조선대학교 박사학위논문, 2012.
- [2] 김범수, "프랙탈 구조를 갖는 마이크로스트립 패치 안테나의 소형화", 조선대학교 석사학위논문, 2013.
- [3] 김선웅, 김근식, 최동유, "안테나 소형화를 위한 프랙탈 마이크로스트립 패치 안테나 설계", 2013년도 대한전자공학회 광주전남 하계학술대회, 2013.
- [4] 김일권, "고차 코퀴섬 마이크로스트립 패치 안테나의 특성 연구", 연세대학교 석사학위논문, 2000.
- [5] 윤영중, "휴대폰용 안테나 TRM", KETI 사업 개발 기획센터, 2005.
- [6] 임동섭, "Inset-fed 안테나를 갖는 렉테나에 관한 연구", 조선대학교 석사학위논문, 2013.
- [7] Balanis, C. A. *Antenna Theory*, 3rded., John Wiley and Sons, 2005.
- [8] Jens Feder, *Fractals*, plenum press, New York and London, pp.202-202.

◆ 저 자 소 개 ◆

**김 선 웅 (woongskim1@naver.com)**

현재 조선대학교 대학원 석사과정에 재학 중이며, 학사는 조선대학교 정보통신공학과에서 취득하였다. 주요 관심분야는 에너지 하베스팅, 렉테나 등이다.

**임 동 섭 (n79s@asianaidt.com)**

조선대학교 대학원에서 공학석사 학위를 취득하였으며, 현재 아시아나 IDT에서 근무 중에 있다. 주요 관심분야는 에너지 하베스팅, 클라우드 컴퓨팅 등이다.

**김 영 곤 (kim713@hanmail.net)**

조선대학교 대학원 전자공학과 공학박사 학위를 취득하였으며, 현재 Innocem-korea에서 전임연구원으로 재직 중에 있다. 주요 관심분야는 optical fiber sensing, a newly biological materials and optical system technology 등이다.

**최 동 유 (dychoi@chosun.ac.kr)**

조선대학교 대학원 전자공학과 공학박사 학위를 취득하였으며, 현재 조선대학교 정보통신공학과에서 교수로 재직 중에 있다. 주요 관심분야는 통신 및 전파전파, 에너지 하베스팅, 전파잡음, 마이크로파 강우감쇠 등이다.