

논문 2011-5-12

## 다중대역용 프랙탈 안테나의 설계 및 제작에 관한 연구

### A Study on Fractal Antenna Design and Fabrication for Multi-Band Applications

김갑기

Kab-ki Kim

**요약** 본 논문에서는 반원의 프랙탈 마이크로스트립 패치 안테나를 설계함으로써 안테나를 다중 공진시켜 대역폭의 문제점을 개선하였으며, 이는 IEEE 802.11의 무선랜 대역을 포함하고 IEEE802.16e인 이동형 WiMax의 규격을 동시에 포함할 수 있는 무지향성 안테나를 설계하고 특성을 측정하다. 안테나의 다중공진을 위해 공진주파수, 임피던스 정합, 극성 및 방사패턴을 훌륭히 제어할 수 있는 다중 독립 주파수를 만족시키기 위해 세 개의 반원의 프랙탈 패치를 삽입함으로써 무선통신을 위한 안테나를 설계하였다.

**Abstract** In this paper, fractal microstrip patch antenna in a semicircle, by designing a multi-resonant antenna was improved by bandwidth issues, including the IEEE 802.11 wireless LAN and IEEE802.16e-band mobile WiMax specification both of which can contain non-directional antenna design and measured characteristics of the antenna for multi-resonant resonant frequency, impedance matching, radiation pattern, brilliantly polarity and multiple independent frequencies that can be controlled to meet the three semicircular wireless communications by inserting fractal patch antenna was designed.

**Key Words :** WLAN/WiMax, fractal, antenna, multi-band

## 1. 서 론

최근 인터넷 접속 및 멀티미디어용 프로그램의 사용이 증가함에 따라 무선 통신의 급속한 발달로 인하여 무선통신기기 또한 다양한 기능을 가진 통신기기들이 연구 발전되고 있다. 이처럼 무선 통신이 급속도로 발달함에 따라 하나의 통신장비로 여러 가지 통신서비스를 제공할 수 있는 통신장비의 개발과 IEEE 802.11에서 제정한 무선랜 대역 2.4GHz, 5GHz 대역과 IEEE 802.16에서 제정한 WiMax 3.5GHz 대역을 하나의 급전으로 각 주파수 대역을 운용할 수 있는 다중대역 안테나의 개발이 활발히 진행되고 있다.[1],[2] 무선통신 서비스에 있어 중요시되는 것

이 안정된 통화품질이며, 각 기지국 및 중계기에 설치된 안테나의 특성은 통화품질을 결정하는 수많은 요소 중 하나이다. 따라서 현재 사용되어지고 있는 중계기용 안테나는 주로 다이폴 구조와 마이크로 스트립 구조가 사용되어지고 있다. 그 중 마이크로 스트립 구조의 안테나는 저렴하고 견고하며 대량생산이 가능한 장점을 갖고 있지만 좁은 대역과 낮은 효율을 갖는 것이 단점이다.[3],[4]

이를 개선하기 위해 광대역 또는 다중 대역 특성을 얻기 위한 다양한 형태의 안테나가 연구되었다. 특히 다중 대역을 위한 안테나의 소자로는 프랙탈 안테나[5], 보우-타이 안테나, 나선형 안테나 그리고 대수주기 안테나 등이 있다. 이들 안테나의 대역폭은 25% 이상으로 매우 넓으며, 보상구조와 자기유사구조[6]로 안테나를 구성할 때 100%이상의 대역폭을 구현할 수 있다.[7]

\*정회원, 목포해양대학교 해양전자통신공학부  
접수일자 2011.9.7, 수정일자 2011.10.3  
게재확정일자 2011.10.14

따라서 본 논문에서는 반원의 프랙탈 마이크로스트립 패치 안테나를 제작함으로써 안테나를 다중 공진시켜 대역폭의 문제점을 개선하였으며, 이는 IEEE 802.11의 무선랜 대역을 포함하고 IEEE 802.16e인 이동형 WiMax의 규격을 동시에 포함할 수 있는 무지향성 안테나를 설계 및 제작하여 그 특성을 측정하고자 한다.

안테나의 다중공진을 위해 공진주파수, 임피던스정합, 극성 및 방사패턴을 훌륭히 제어할 수 있는 다중 독립 주파수를 만족하기 위하여 세 개의 반원의 프랙탈 패치를 삽입함으로써 무선통신을 위한 안테나를 최종 설계 및 제작하였다. 시뮬레이션 프로그램인 CST Microwave 2008을 사용하여 최적화된 마이크로스트립 급전 안테나를 설계하였으며, 에칭기법을 이용한 간단한 방식으로 제작되었다.

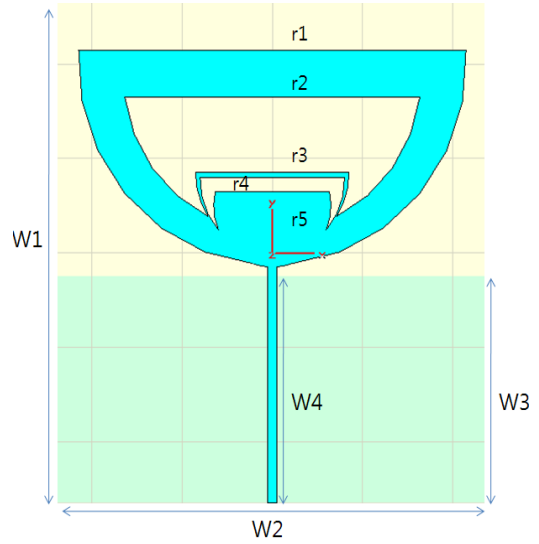


그림 2. 반원 프랙탈 패치 안테나  
Fig. 2. Semi-circle Fractal patch antenna

## II. 삼중대역 프랙탈 안테나의 설계

삼중대역 안테나 설계(그림 2)는 접지면상에 좁은 폭의 슬롯을 이용한 안테나는 슬롯의 중앙에 급전하는 경우에 방사저항이 커져 마이크로스트립 선로와 슬롯 간의 정합을 시키기 어려우므로 한 쪽 끝단으로 옹셋 시켜 방사 저항을 작게 하는 Yoshimura가 제시한 방식으로 그림 1과 같이 전송선로와의 정합을 가지는 슬롯 안테나를 설계하였다.

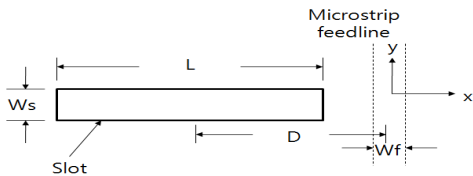


그림 1. 옹셋 급전 슬롯 안테나의 변수  
Fig. 1. Parameters of an offset-fed slot antenna

식 (1)과 (2)를 이용하여 슬롯 안테나의 방사저항을 구하며, L은 슬롯의 길이, D는 슬롯의 중심과 급전선로의 중심까지의 거리, h는 기판의 두께,  $\lambda_0$ 는 자유공간에서의 파장,  $\omega_r$ 는 마이크로스트립 급전 선로의 폭, p는 퓨리에 변환변수이다.[8]

$$R = \frac{45\pi^2 \left( \int_{-L/2-D}^{L/2-D} \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} g(p) \frac{\exp(-jpx)}{\exp(jph)} dp \cos \left[ \frac{\pi}{L}(x+D) \right] dx \right)^2}{\left( \frac{L}{\lambda_0} \right)^2 \left[ 1 - 0.374 \left( \frac{L}{\lambda_0} \right)^2 + 0.13 \left( \frac{L}{\lambda_0} \right)^4 \right]} \quad (1)$$

$$g(p) = \frac{\sin(pw_f/2)}{pw_f/w} - \frac{1}{2} \frac{\sin^2(pw/4)}{(pw/4)^2} \quad (2)$$

식(3)과 (4)는 실효유전율( $\epsilon_{eff}$ )과 주파수를 이용하여 슬롯의 길이를 얻을 수 있다.

$$L = \frac{150}{\sqrt{\epsilon_{eff}} \cdot f_{GHz}} \quad (3)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{2\epsilon_r}{1 + \epsilon_r} \quad (4)$$

슬롯 안테나의 설계에는 비유전율  $\epsilon_r$ 이 4.9, 유전체의 높이 h가 1.5mm인 FR-4 기판을 사용하였으며, 위 식을 바탕으로 안테나 제원을 얻을 수 있었으며, 표 1의 제원을 이용하여 회로 시뮬레이션 프로그램인 CST Microwave Studio 2008을 사용하여 다중대역을 만족시키는 최적화된 안테나를 설계하였다.

표1. 설계된 안테나의 제원(단위 : mm)

Table 1. Parameters of the designed antenna

w1	106	r1	43	기판두께	1.5
w2	96	r2	33	유전율	4.9
w3	48	r3	17	기판	FR-4
w4	53	r4	16		

1. 설계된 안테나의 측정결과

가. 입력대비 반사손실(Input return-loss)

그림 3은 WLAN대역과 WiMax대역에서 입력대비 반사손실의 결과를 보여주고 있다. 목표 주파수인 2.4GHz, 3.5GHz, 5.8GHz에서 각각 -36.5dB, -44.1dB, -18.1dB를 보여 줌으로써 -10dB이상의 훌륭한 특성을 보여주고 있다.

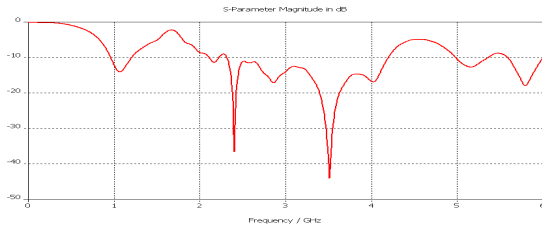


그림 3. 삼중대역 안테나의 반사손실  
Fig. 3. Input return-loss of tri-band antenna

나. 방사패턴

그림 4~9는 공진주파수 2.45GHz, 3.53GHz, 5.8GHz에서 E-면과 H-면의 방사패턴을 보여주고 있다. 각 주파수에서 이득은 E-면에서 1.9dBi, 0.6dBi, 3.8dBi이며, H-면에서는 5.1dBi, 5.5dBi, 1.6dBi이다. 전방향으로 전파를 전달할 수 있는 무지향성의 특성을 보였다.

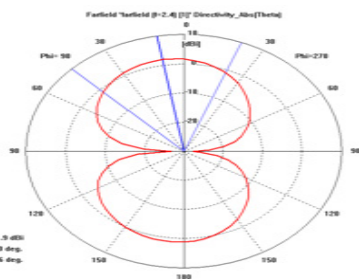


그림 4. 2.4GHz E-평면 방사패턴  
Fig. 4. Radiation pattern of the E-plane at 2.4GHz

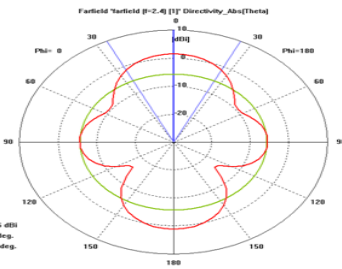


그림 5. 2.4GHz H-평면 방사패턴  
Fig. 5. Radiation pattern of the H-plane at 2.4GHz

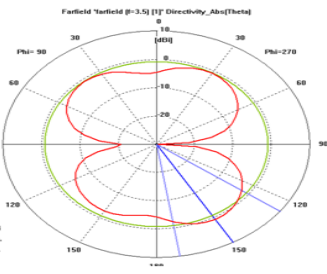


그림 6. 3.5GHz E-평면 방사패턴  
Fig. 6. Radiation pattern of the E-plane at 3.5GHz

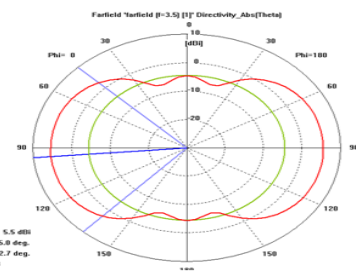


그림 7. 3.5GHz H-평면 방사패턴  
Fig. 7. Radiation pattern of the H-plane at 3.5GHz

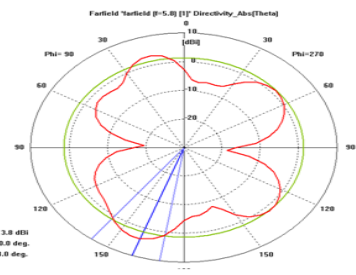


그림 8. 5.8GHz E-평면 방사패턴  
Fig. 8. Radiation pattern of the E-plane at 5.8GHz

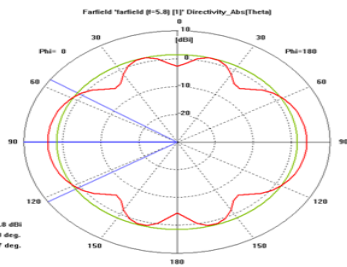


그림 9. 5.8GHz H-평면 방사패턴  
Fig. 9. Radiation pattern of the H-plane at 5.8GHz

### III. 프랙탈 안테나 제작 및 측정결과

#### 1. 프랙탈 안테나 제작

시뮬레이션에 의해 최적으로 설계되어진 WLAN/WiMax용 삼중대역용 반원의 프랙탈 마이크로스트립 패치 안테나 제작에 사용된 기판은 비유전율  $\epsilon_r=4.9$ , 기판 두께  $h=1.5\text{mm}$ 인 FR-4 기판을 사용하여 에칭기법으로 제작하였으며, 마이크로스트립 라인 굵기 방식으로 제작하였고 부분 접지를 사용함으로써 광대역성을 나타나게 하였다. 그림 10은 최적의 제원을 이용하여 제작한 삼중대역 프랙탈 안테나이며, 안테나 실물의 크기는  $100\times 96\text{mm}$ 이다.



그림 10. 제작된 안테나  
Fig. 10. The fabricated antenna

#### 2. 프랙탈 안테나 측정결과

제작된 안테나는 HP사의 8753ES VNA(Vector Network Analyzer)를 이용하여 입력반사계수(S11), 전압정재파비(VSWR), 입력 임피던스(Smith Chart)를 측정하였다.

##### 가. 입력대비 반사손실 및 입력임피던스

실제 제작하여 측정한 안테나의 특성은 시뮬레이션과 거의 유사한 결과임을 알 수 있다. 그림 11에서 보여주는

것과 같이 IEEE802.11g(2.4GHz), IEEE802.11a(5.8GHz)와 WiMax(3.5GHz)대역에서 반사손실이  $-10\text{dB}$ 이하, 그림12에서 전압정재파비 2:1 이하이며, 그림13에서 임피던스 또한  $50\Omega$  부근으로 궤적을 그림으로써 임피던스 정합이 잘 이루어졌음을 알 수 있다.

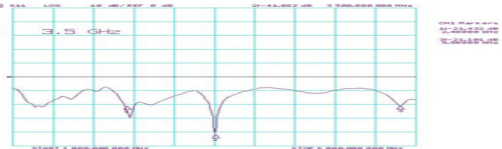


그림 11. 입력 반사손실  
Fig. 11. Input return loss of fabricated antenna

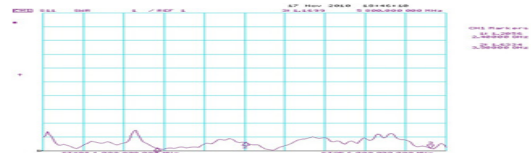


그림 12. 정재파비  
Fig. 12. VSWR of fabricated antenna

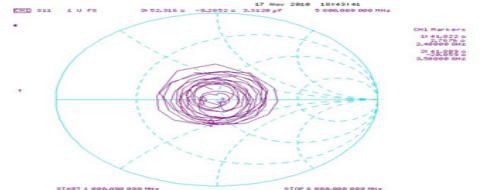


그림 13. 입력 임피던스  
Fig. 13. Input impedance

##### 나. 방사패턴

그림 14는 안테나의 방사패턴을 측정하기 위해 안테나와 적당히 떨어진 거리의 원거리장 영역에서 안테나의 방사패턴을 확인할 수 있는 chamber이다.



그림 14. 방사패턴 측정  
Fig. 14. Measurement of radiation pattern

표 2. 시뮬레이션 결과와 측정결과 비교

Table 2. Comparison of the result in simulation and measurement

		Simulation result		
Resonant Frequency [GHz]		2.4	3.5	5.8
Input Return Loss [dB]		-36.5	-44.1	-18.1
VSWR		≤2	≤2	≤2
Gain [dBi]	E-plane	1.9	0.6	3.8
	H-plane	1.6	5.5	3.8
		Measurement result		
Resonant Frequency [GHz]		2.4	3.5	5.8
Input Return Loss [dB]		-21.432	-41.082	-21.101
VSWR		≤2	≤2	≤2
Gain [dBi]	E-plane	9.79	6.39	5.56
	H-plane	0.16	3.36	2.31

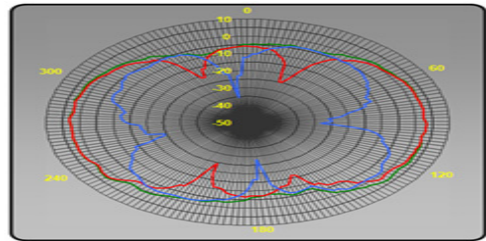


그림 18. 3.5GHz에서의 H-평면 방사패턴

Fig. 18. Radiation pattern of the H-plane at 3.5GHz

3.5GHz에서의 E-평면 패턴상의 최고 이득이 6.39dBi이고 H-평면 패턴상의 이득은 3.36dBi이다.

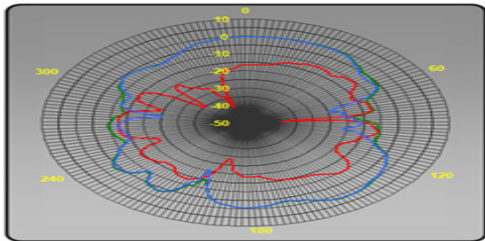


그림 15. 2.4GHz에서의 E-평면 방사패턴

Fig. 15. Radiation pattern of the E-plane at 2.4GHz

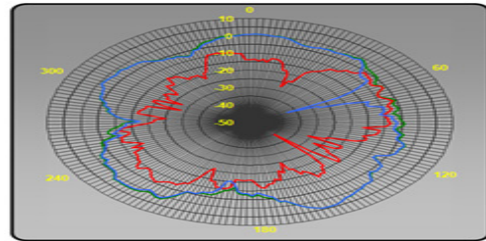


그림 19. 5.8GHz에서의 E-평면 방사패턴

Fig. 19. Radiation pattern of the E-plane at 5.8GHz

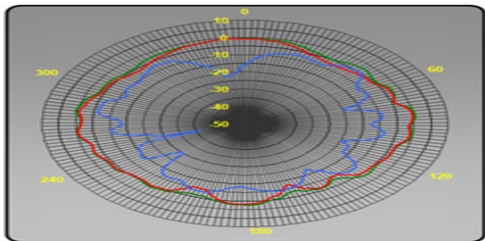


그림 16. 2.4GHz에서의 H-평면 방사패턴

Fig. 16. Radiation pattern of the H-plane at 2.4GHz

2.4[GHz]에서의 E-평면 패턴상의 최고 이득이 9.79dBi이고 H-평면 패턴상의 이득은 0.16dBi이다.

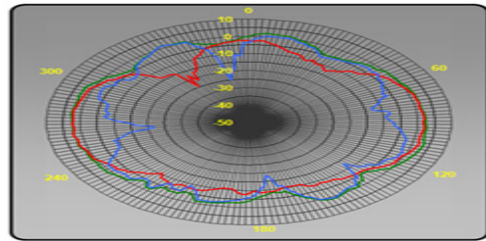


그림 20. 5.8GHz에서의 H-평면 방사패턴

Fig. 20. Radiation pattern of the H-plane at 5.8GHz

5.8[GHz]에서의 E-평면 패턴상의 최고 이득이 5.56dBi이고 H-평면 패턴상의 이득은 2.31dBi이다.

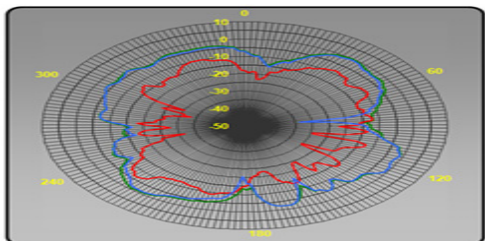


그림 17. 3.5GHz에서의 E-평면 방사패턴

Fig. 17. Radiation pattern of the E-plane at 3.5GHz

시뮬레이션 결과 입력 반사 손실이 -10dB (VSWR 2:1) 이하인 대역폭으로써 각 동작주파수를 포함하며 무지향성의 방사특성을 확인하였다. 제작된 안테나의 측정결과 입력대비 반사손실이 -10dB(VSWR 2:1) 이하인 주파수 대역은 2.4GHz, 3.5GHz, 5.8GHz로써 설계목표의 동작주파수를 포함하고 있으며, 방사패턴의 결과 무지향성의 특성을 확인할 수 있었다. 또한 안테나의 주파수 대역을 측정된 결과 시뮬레이션 결과와 대체적으로 비슷한 특성을 나타내었고 안테나의 이득은 더 높게 나타났다.

다. 이는 시뮬레이션 과정에서는 완벽한 도체를 가정으로 설계하였으나 실제 제작 시 완전 도체가 존재하지 않는다는 것과 제작 시 여러 가지 변수로 인해 발생된 것으로 예상된다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 WLAN과 WiMax 통신을 가능케 하는 삼중대역 반원의 프랙탈 마이크로스트립 패치 안테나를 설계 및 구현하였다.

제안된 구조는 반원의 프랙탈 구조가 연속적으로 이루어져 있는 형태의 안테나로써 하나의 반원이 하나의 대역을 나타내고 있다. 광대역성을 나타내기 위해 부분 접지를 사용하였고 각각 반원의 반지름과 Y축 센터좌표를 조정하면서 대역을 조절하였다.

설계는 마이크로스트립 패치 안테나 이론에 근거하여 계산된 수치를 활용하여 EM시뮬레이션이 가능한 CST사의 Microwave studio 2008 프로그램을 이용하여 최적화하였고, 최적화된 설계치를 가지고 비유전율  $\epsilon_r = 4.9$ , 기판두께  $h=1.5[\text{mm}]$ 인 FR-4기판을 사용하여 예칭 기법을 이용하여 제작하였다.

제작된 안테나의 크기는  $106 \times 96\text{mm}$ , 동작 주파수 2.4, 3.5, 5.8[GHz]에서 입력대비손실이  $-10\text{dB}$ 이하이고 정재파비는 2:1을 만족하였다. 또한 기존의 마이크로스트립 패치 안테나와 다르게 각각의 반원들이 서로 독립적으로 구동되어 인접주파수간의 간섭을 최소화 하였으며, 간단한 제작 방식으로 소형화되고 무지향성의 특성을 보였습니다.

따라서 본 논문에서 제안한 삼중대역 안테나는 동작 주파수 대역에서 반사손실이나 삽입손실, 지향성이 설계하고자 하는 목표에 만족함으로써 W-LAN, WiMax 무선 통신을 위해 데스크탑 및 AP에 활용 가능할 것으로 사료되며, 하나의 안테나로 다중대역통신이 가능하여 설치비용 절감의 효과를 가져 올 것으로 사료된다. 또한 반원 패치를 추가적으로 삽입함으로써 더 많은 다중공진을 얻을 수 있도록 안테나의 성능 향상을 위한 연구가 필요할 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 이행렬, 김일권, 유종관, 방한규 “폭이 넓은 평면 슬롯 안테나의 광대역 특성” 한국전자과학회 논문지, 제14권, 제3호, pp, 260-277, 3. 2003.
- [2] 임태균, 조성식, 김갑기 “4-Bridge를 포함하는 이중대역 패치 안테나의 설계” 한국정보과학회 논문집, 제14권, pp 134, 2009. 6. 12.
- [3] Ramesh. Garg, Prakash. Blartia, Inder. Bahl, Apisak. Ittipiboon, Microstrip Antenna Design Handbook, Atrech House, pp. 2-3
- [4] 임태균, 조성식, 이진택, 김갑기 “UWB용 사각 패치 안테나의 설계” 한국항공학회 논문집, 제13권, No. 1 pp 208-211, 2009. 10.16.
- [5] C. T. P. Song, P. S. Hall, H. Ghafouri and I. Henning, "Fractal Antenna Research at University of Birmingham," 11th Int. Conf. on Antennas and Propagation, vol. 2, pp. 724-727, 2001.
- [6] Y. Mushiake, "Self-Complementary Antennas," IEEE Antennas and Propag. Mag., vol. 34, No. 6, pp. 23-29, Dec. 1992.
- [7] J. A. Kong, Y. Zhang, R. T. Shin, Fernando L. Texeira and Y. Eric Yang, Wideband Antenna Element in Electromagnetic Wave Theory and Applications, RLE Progress Report 143.
- [8] 문영길, “변형된 급전선로를 이용한 광대역마이크로스트립 슬롯 안테나 설계 및 제작”, 제주대학교 공학석사 논문, pp. 8-19, Dec., 2003.

#### 저자 소개

##### 김 갑 기(정회원)



- 1980년 : 광운대학교 통신공학과(공학사)
- 1984년 : 건국대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 1998년 : 건국대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 2001 ~ 2002년 : 뉴욕시립대학 전자공

학과 연구교수

• 현재 : 목포해양대학교 해양전자통신공학부 교수

<관심분야> : 마이크로파 통신, 초고주파 회로설계, 해상무선통신, 이동통신, 위성통신