

2.4 GHz ISM대역용 소형 0차 공진 안테나

Compact 0th Order Antenna for 2.4 GHz ISM Band

도상인·유진하·이영순*
금오공과대학교 전자공학과

Sang-In Do · Jin-Ha Yoo · Young-soon Lee *

Department of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongsangbuk-do 730-701, Korea

[요 약]

본 논문에서는 2.4 GHz ISM대역에서 사용가능한 0차 공진 안테나를 새롭게 제안하였다. 2.4 GHz ISM대역을 사용하는 Wi-fi, Bluetooth 및 Zigbee와 같은 무선통신 시스템의 경우, 방향에 따른 수신 전계강도의 변화가 없는 전방향 방사 패턴을 가진 안테나의 사용을 필요로 한다. 0차 공진 안테나의 경우 안테나의 공진길이에 무관하게 소형화에 유리할 뿐만 아니라 전방향성의 방사패턴을 가지는 장점이 있다. 제안된 안테나는 단위 요소셀의 크기를 모노폴 안테나의 공진길이인 $\lambda/4$ 이하로 정하고 이를 2소자로 배열한 형태이다. 설계에 이용된 PCB의 크기는 $50 \times 50 \text{ mm}^2$ 이고 제안된 안테나는 PCB의 중상부에 $8 \times 5 \text{ mm}^2$ 의 제한된 크기로 설계 및 제작되었다. 제작된 안테나의 특성측정결과, 임피던스 대역폭($S_{11} \leq -10 \text{ dB}$)이 100 MHz (2.4~2.5 GHz)로 크기에 비해 꽤 넓은 대역폭을 얻을 수 있었으며, 해당 대역에서 3 dBi 이상의 높은 이득을 얻을 수 있었다.

[Abstract]

In the present study, compact 0th order resonant antenna for 2.4 GHz ISM frequency band is newly proposed. In case of wireless communication systems such as wi-fi, bluetooth and Zigbee, antennas with omni-directional radiation pattern are necessary because of the demands for uniformly received electric field strength without variation for direction. It is well-known that 0th order resonant antennas are not only advantageous for miniaturization but also have advantage of maintaining omni-directional radiation pattern. The proposed antenna is composed of two-element array in which the size of unit element should be smaller than $\lambda/4$ correspondent to the resonant length of typical monopole antennas. The proposed antenna which is placed at middle and upper side of PCB with $50 \times 50 \text{ mm}^2$ size is designed and fabricated within limited space of $8 \times 5 \text{ mm}^2$. The measured impedance bandwidth ($S_{11} \leq -10 \text{ dB}$) is about 100 MHz (2.4~2.5 GHz) which corresponds to quite wide bandwidth in comparison with the antenna size, and also the measured peak gain over the passband is more than 3 dBi which is thought to be slightly wider than the other 0th order resonant antenna.

Key word : Compact, 0th order resonant, 2.4 GHz ISM band, Miniaturization, Omni-directional radiation pattern.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2015.19.1.60>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 4 February 2015; Revised 12 February 2015
Accepted (Publication) 17 February 2015 (28 February 2015)

*Corresponding Author; Young-soon Lee

Tel: +82-54-478-7501

E-mail: yslee@kumoh.ac.kr

I. 서론

무선통신의 급속한 발전에 따라 관련된 수많은 제품들이 개발되었고 국내 스마트폰 가입자수가 4000만이 넘으며 일반 가정이나 기관에서 무선 인터넷망을 쉽게 접할 수 있을 만큼 각종 무선기기들은 생활 전반으로 보급되어 있다. 우리는 이러한 무선기기들을 이용하여 Bluetooth, Wi-fi, Zigbee, RFID 등과 같은 서비스를 이용하고 있는데 주로 ISM대역을 사용하는 무선기기들이다. ISM대역은 산업, 과학, 의료용으로 별도의 허가가 필요치 않은 주파수 대역을 의미하며 900 MHz, 2.4 GHz, 5.7 GHz 등의 대역이 이에 속한다. 최근에는 이러한 서비스들이 스마트폰에 추가로 적용되기도 한다. 최근에는 이러한 무선기기들을 통해 제공되는 기능들은 수준이 날로 높아지고 있다. 하나의 기기에 여러 기능이 탑재되고, 멀티미디어 서비스들의 용량은 날로 증가하며, 기기들의 디자인은 점점 다양해지고 있다. 이처럼 다양하게 증가하는 요구에 맞춘 설계 기술의 필요성은 점점 커지고 있는 실정이며 이러한 기기들에 적용되는 안테나에도 적절한 기능과 그를 위한 설계 기술이 요구된다. 앞서 언급한 다기능, 고속 통신 등을 위해서 여러 개의 안테나를 용도별로 사용하거나 MIMO 시스템을 적용하는 방법이 있으며, 더불어 하나의 안테나를 다중대역, 광대역, 소형화하여 적용하기도 한다. 이를 위해 최근 다중대역[1],[2], 광대역[3],[4], MIMO 안테나[5],[6]에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 안테나의 소형화에 초점을 맞추어 CRLH 전송선로 이론을 적용한 0차 공진 안테나 [7],[8]에 대한 설계가 최근 부각되고 있다.

본 논문에서는 CRLH (composite right/left handed) 전송선로 이론을 안테나에 적용하여 2.4 GHz ISM 대역에서 사용 가능한 평판형 소형안테나의 설계 결과를 제시하고 있다. CRLH는 RH 전송선로와 LH 전송선로의 특성을 적절히 조합하여 전파상수 $\beta = 0$ 이 되는 공진기를 만들 수 있게 되는 것으로 이때 발생하는 공진을 0차 공진이라고 한다. 이 특성을 이용하면 이론적으로 크기를 고려하지 않고 안테나를 설계할 수 있게 되며 현실적으로는 안테나의 임피던스 대역폭을 유지하면서 크기를 크게 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점을 2.4 GHz ISM대역을 사용하는 무선 리모컨에 적용하고자 하였으며 이를 통해 크기가 작고, 대역폭은 점유공간에 비해 넓으며, 기판의 임의의 위치에 서도 특성에 변화가 적은 안테나를 설계하고자 하였다. 본 논문에서 안테나의 모의실험 설계는 CST사의 MWS를 사용하였다.

II. 안테나 구조 및 설계

그림 1은 RH 전송선로와 LH 전송선로를 조합하여 전체 위상속도를 0으로 낮추어 설계 시 크기를 초소형으로 축소할 수 있는 장점을 가진 CRLH 전송선로의 등가회로이다. 이를 안테나에 적용하여 일반적인 1차 공진과는 다른 형태로 공진이 발생하도록 새로운 구조를 고안하였다.

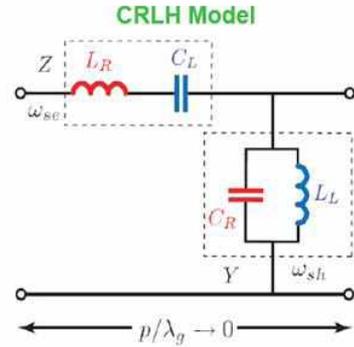
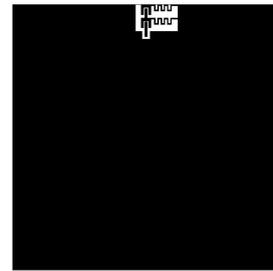
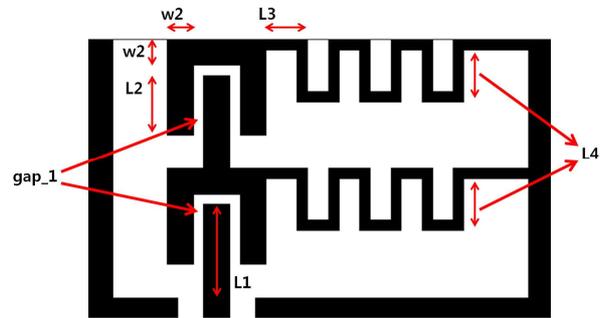


그림 1. CRLH 전송선로
Fig. 1. The CRLH transmission line.



(a) General view



(b) Detail view

그림 2. 제안된 안테나
Fig. 2. The proposed antenna.

본 논문에서 제안 하고자하는 0차 공진 안테나를 그림 2에 제시하였다. 그림 2 (a)에서 보는바와 같이 제안된 안테나는 기판 접지면의 중/상단부에 $8 \times 5 \text{ mm}^2$ 의 제한된 크기로 위치하고 있으며, 안테나를 제외한 기판의 모든 부분은 접지면으로 처리되어있다. 일반적인 모노폴 안테나에 비해 기판에서 접지면을 제거하여야 하는 부분이 적어 안테나로 할당되는 실제적인 공간을 최소화 할 수 있고, 이를 통해 회로파트로 더 많은 부분을 할애할 수 있는 장점이 있다. 더불어 기판의 top면만을 이용하여 설계하였으므로 공정과 비용면에서 추가적인 이점이 존재한다.

그림 2(b)를 보면 안테나의 급전에는 CPW (coplanar waveguide) 전송선로를 이용하고 있으며 파라미터 'gap_1'만큼의 간격을 통해 신호가 전달되는 세로 직선모양의 패치와 n

형 패치 사이에서 캐패시턴스 C_L 이 발생한다. n형 패치로 전달된 신호는 n형 패치의 우측으로 가늘게 존재하는 미앤더 (meander) 선로를 통해 접지면으로 흐르게 되고, 이 좁은 미앤더 선로에서 인덕턴스 L_L 이 발생되고 미앤더 선로의 총 길이를 결정하는 파라미터 ‘L4’를 통해 인덕턴스의 크기가 조절된다.

제안된 안테나의 모의실험에는 두께 1.6 mm, 유전율 4.3인 FR-4기판을 사용하였으며 기판의 전체 크기는 $50 \times 50 \text{ mm}^2$ 이고 안테나의 위치는 기판의 중심단으로 하고 안테나 점유면적 크기를 $8 \times 5 \text{ mm}^2$ 으로 제한하였다.

이와 같이 제안된 안테나 구조에서 몇 가지 중요한 파라미터 변화에 따른 공진 주파수 및 반사계수의 변화를 분석하여 그 결과들을 그림 3에서 그림 6에 제시하였다.

먼저 그림 3에서는 파라미터 L1의 변화에 따른 경향을 나타내었다. 파라미터 L1은 급전점으로부터 세로로 길게 존재하는 패턴의 길이를 나타내는 파라미터이며 수치가 커질수록 안테나 전체 세로길이도 증가하게 된다. L1의 길이를 1.2 mm에서 1.8 mm까지 0.2 mm 간격으로 증가시키며 주파수 변화 및 반사계수의 크기를 비교하였을 때, 길이가 증가할수록 주파수가 감소하는 것을 볼 수 있다.

그림 4는 파라미터 gap_1의 변화에 따른 경향을 나타낸 것이다. 파라미터 gap_1은 길이가 L1으로 정해지는 세로패턴과 그보다 위에 모자처럼 씌어진 n형 패치 사이의 간격을 의미한다. 세로패턴과 n형 패치 사이에 존재하는 일종의 슬롯의 폭으로 볼 수도 있다. 슬롯의 폭 gap_1을 증가시키면 길이가 L1인 세로패턴으로부터 $\pm x$, $\pm y$ 방향으로 n형 패치가 조금씩 멀어지고 이에 따라 안테나 전체 크기가 증가한다. 슬롯의 폭을 0.2 mm에서 0.3 mm까지 미세하게 증가시키며 경향을 분석하였다. 그 결과 공진주파수가 증가하며 반사계수가 커지고 대역폭이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

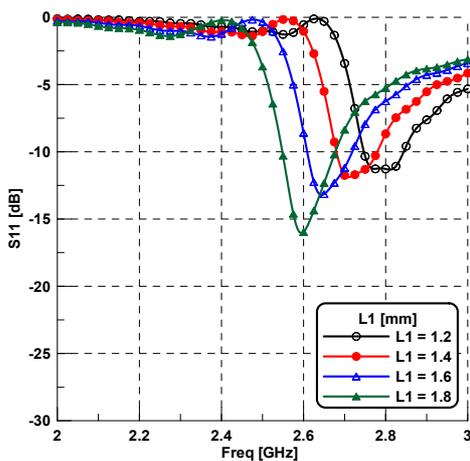


그림 3. L1의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수
Fig. 3. Simulated return losses for different values of parameter L1.

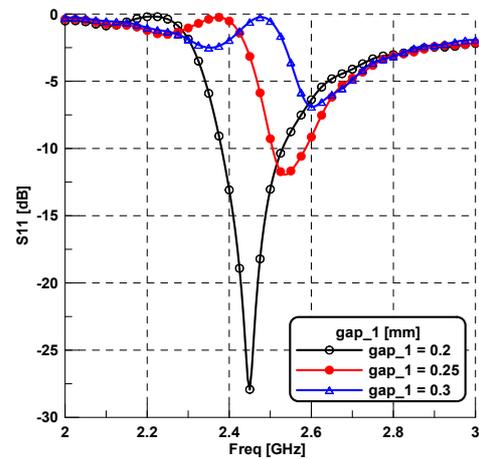


그림 4. gap_1의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수
Fig. 4. Simulated return losses for different values of parameter gap_1.

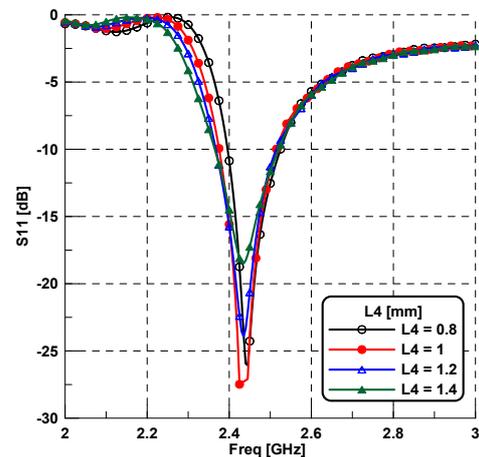


그림 5. L4의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수
Fig. 5. Simulated return losses for different values of parameter L4.

그림 5에는 안테나의 우편에서 +x축 방향으로 존재하며 끝이 접지면에 단락되는 미앤더 선로의 세로길이를 의미하는 파라미터 L4의 변화에 따른 경향을 나타내었다. 미앤더 선로는 가로패턴과 세로패턴의 주기구조로 이루어져 있으며 파라미터 L4는 모든 세로패턴의 길이를 의미한다. L4의 크기가 증가하여 미앤더 선로의 전체 길이가 증가하여도 안테나의 점유면적에는 변화가 없으나 안테나 반사계수의 크기와 대역폭이 다소나마 불규칙하게 변화하는 것을 알 수 있다.

그림 6은 파라미터 aa_L의 변화에 따른 경향을 나타낸 것이다. aa_L은 안테나 점유공간의 좌측면에서 급전점까지의 거리를 의미하는 파라미터이다. 급전점을 기준으로 파라미터가 증감하므로 파라미터 aa_L이 증가하면 안테나의 전체 점유면적이 -x축으로 증가한다. aa_L의 크기가 증가할수록 반사계수가 커지며 공진주파수가 증가하는 것을 볼 수 있다.

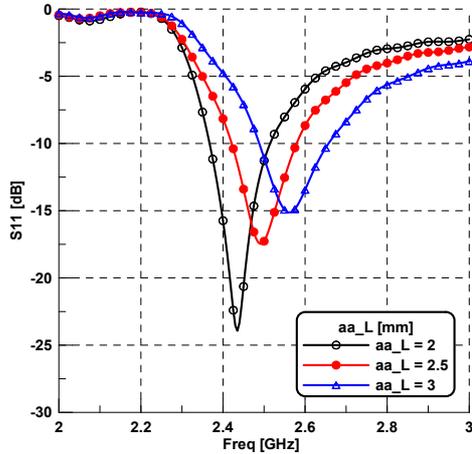


그림 6. aa_L의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수
 Fig. 6. Simulated return losses for different values of parameter aa_L.

표 1. 제안된 광대역 안테나의 최적화 파라미터
 Table 1. Optimization parameter of the proposed broadband antenna.

파라미터	값 [mm]	파라미터	값 [mm]
L1	1.8	w1	0.5
L2	1.15	w2	0.5
L3	0.8	w3	0.2
L4	1.2	gap_1	0.2

앞서 나타낸 그림 3~6에 제시된 각 파라미터의 변화에 따른 경향을 토대로 모의실험결과 최적의 안테나 구조 세부 파라미터 수치를 표 1에 제시하였다.

III. 제작 및 측정결과



그림 7. 제작된 안테나
 Fig. 7. Fabricated antenna.

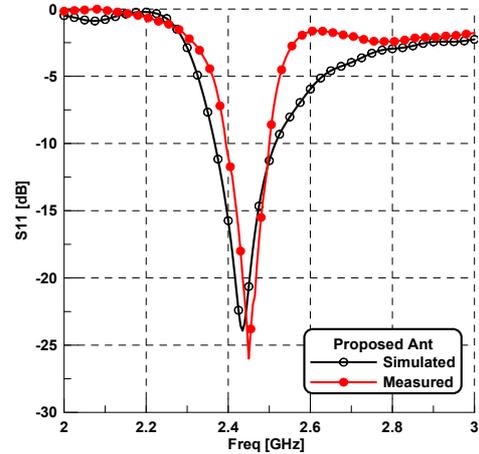


그림 8. 제작된 안테나의 반사계수
 Fig. 8. Measured return losses of fabricated antenna.

앞서 분석된 결과를 토대로 최적화된 구조를 적용하여 제작한 안테나를 그림 7에 제시하였다. 제작에는 모의실험에서와 같이 두께 1.6 mm, 유전율 4.3인 FR-4기판이 사용되었다.

그림 8은 모의실험 결과와 실제 제작된 안테나의 반사손실 측정결과를 비교하여 나타낸 그림이다. 모의실험 결과 약 140 MHz (2.37 ~ 2.51 GHz)의 대역폭을 가지는 것을 알 수 있으며, 실제 제작된 안테나의 측정결과 약 100 MHz (2.4 ~ 2.5 GHz)로 다소 감소한 대역폭을 가지는 것을 확인 할 수 있다.

그림 9에는 각 주파수 별로 모의실험 한 2D 방사패턴 결과 값과 실제 측정한 2D 방사패턴 결과값을 비교하여 나타내었다. 그림 9 (a)의 X-Z 평면에서는 220°와 330°에서 null점이 발생하는 것을 볼 수 있는데 이는 안테나의 좌우와 아래쪽을 감싸고 있는 접지면의 영향으로 볼 수 있다. 그림 9 (b)의 Y-Z 평면에서는 전체적으로 등방성 특성이 나타나는 것을 볼 수 있다. 그림 9 (c)의 X-Z 평면을 보면 두드러지는 null점 없이 등방성에 가까운 모양의 보이지만 30 ~ 150°방향(+x방향)으로의 방사세기가 210 ~ 330°방향 (-x방향)으로의 방사세기에 비해 전체적으로 약함을 볼 수 있는데 이는 안테나의 구조가 좌우 비대칭형인 것에서 오는 현상으로 볼 수 있다. RF리모컨의 경우 설계 시 안테나의 위치가 IR 센서와 함께 전방에 위치하므로 전방으로의 방사세기가 상대적으로 중요하데, 그림 9 (a)의 90°방향과 그림 9 (b)의 90°방향이 이에 해당하고 지향성이 큰 편이며 null 점이 반대방향인 후면 쪽에 위치하므로 적용에 적합하다고 볼 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 CRLH 전송전로를 이용하여 2.4 GHz ISM대역에 적용 가능한 0차공진 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 50 × 50 mm²의 PCB기판 중상부에 8 × 5 mm²의 제한된 크기로 설계되었으며 각각의 중요한 파라미터에 대한 경향분

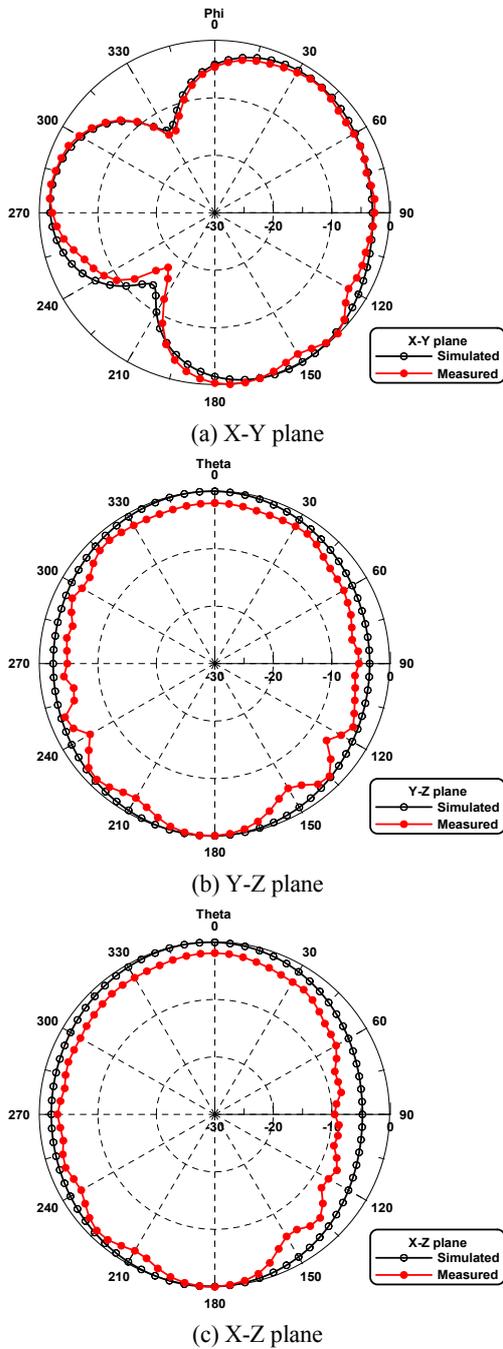


그림 9. 제작된 안테나의 2D 방사패턴
 Fig. 9. Measured 2D radiation patterns of fabricated antenna.

석과 그 결과를 토대로 최종적인 구조의 안테나를 제작하였다. 최종 제작된 안테나는 임피던스 대역폭이 약 100 MHz (2.4 ~2.5 GHz)로 목표 주파수 대역을 충분히 포함하고 있다.

제안된 안테나의 특징으로는 PCB의 단면만을 사용하여 공정과 단가면에서 이점이 존재한다는 것과 방사패턴의 최대 지향방향이 전방(+y방향)으로 향한다는 점이다. 이는 RF리코컨으로의 적용을 우선으로 한 결과이나 그 지향성이 크지 않고

지평면과 나란한 X-Z 평면의 방사패턴이 전방향성에 가깝기 때문에 해당 대역을 사용하는 다양한 기기로 적용이 가능할 것으로 예상된다. 또한, 안테나 공간으로 제공된 8×5 mm²의 면적 이외의 접지면에서 안테나의 특성을 위해 손실되는 부분이 없기 때문에 안테나 이외의 회로들(증폭기, 위상 천이기, mixer 등)로 더 많은 부분을 할당할 수 있는 이점이 있다.

더불어 제안된 안테나의 점유공간이 작고 PCB의 모서리에 위치하는 장점을 이용하여 충분한 이격 거리를 두고 상하로 동일한 안테나를 배치하면 MIMO 안테나로도 활용이 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임.

참고 문헌

- [1] S. T. Fam, Y. Z. Yin, W. Hu, K. Song and B. Li, "Novel CPW-Fed printed monopole antenna with an n-shaped slot for dual-band operations," *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 54, No. 1, pp. 240-242, Jan. 2012.
- [2] Y. s. Koo and D. S. Im, "Design and manufacture of modified ring antenna with stub and ground slot for WLAN applications," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 1, No. 10, pp. 2265-2272, Oct. 2013.
- [3] S. I. Latif, L. Shafai and S. K. Sharma, "Bandwidth enhancement and size reduction of microstrip slot antenna," *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 53, No. 3, pp. 994-1003, Mar. 2005.
- [4] J. H. Yoo and Y. S. Lee, "Bandwidth enhancement and size reduction of microstrip-fed Folded-Slot Antenna," *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 55, No. 10, pp. 2248-2251, Oct. 2013.
- [5] M. Jusoh, M. F. Jamlos, M. R. Kamarudin and A. Erawan, "Correlation analysis on UWB MIMO tree-antenna orientations," *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 55, No. 3, pp. 688-692, Jan. 2013.
- [6] J. S. Park, J. Y. Park, J. H. Choi and Y. S. Kim, "Ground slot with capacitor for high isolation between MIMO antenna," *Mediterranean Microwave Symposium*, Vol. 11, pp. 197-200, Sep. 2011.
- [7] S. Yoo and S. Kahng, "CRLH ZOR Antenna of a circular microstrip patch capacitively coupled to a circular shorted

ring”, *Progress in Electromagnetics Research C*, Vol. 25, pp. 15-26, 2012.

- [8] C. J. Lee, K. M. K. H. Leong and T. Itoh, “Composite right/left-handed transmission line based compact resonant

antennas for RF module integration,” *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 54, pp. 2283-2291, Aug. 2006.



도 상 인 (Sang-In Do)

1987년 2월 : 호서대학교 전자공학과 (공학사)
2011년 8월 : 금오공과대학교 전자 및 전기공학과 (공학석사)
2012년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학과 박사과정
※ 관심분야 : RF 회로해석 및 설계, 마이크로프로세서 설계



유 진 하 (Jin-Ha Yoo)

2009년 2월 : 금오공과대학교 전자공학부 (공학사)
2011년 2월 : 금오공과대학교 전파통신공학과 (공학석사)
2011년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학과 박사과정
※ 관심분야 : 안테나 설계 및 해석, RF 회로설계



이 영 순 (Young-Soon Lee)

1979년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1981년 2월 : 한국과학기술원 전자공학과 (공학석사)
1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
1981년 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학부 교수
※ 관심분야 : 전자기이론, 안테나 산란문제, 도파관 불연속, 개구결합