

논문 2007-44TC-5-10

버섯모양 EBG를 이용하여 두 포트 사이의 고립도를 향상시킨 이중대역 이중편파 안테나

(A dual-frequency and dual-polarization antenna with enhanced
isolation between two ports using mushroom-like EBGs)

이동현*, 김재희*, 장종훈*, 박위상**

(Dong Hyun Lee, Jae Hee Kim, Jong Hoon Jang, and Wee Sang Park)

요약

본 논문에서는 버섯모양 전자기 밴드 갭 (EBG) 구조를 급전선로 아래에 집적하여 두 포트 사이의 고립도를 향상시킨 이중대역 이중편파 안테나를 제안하였다. 전송선로 아래에 2×1 EBG 단위셀이 집적된 구조의 등가회로 모델을 소개하고, 등가회로로부터 구한 수치해석 결과와 측정을 통한 실험 결과를 분석하였다. 이로부터 집적된 EBG 구조가 우수한 지지대역 특성과 거의 0 dB 가까운 낮은 삽입손실을 갖는 것을 확인하였다. 이 EBG를 안테나의 급전선로 아래 집적하여 고립도가 향상된 이중대역 이중편파 안테나를 설계하였으며, 두 포트사이의 고립도가 일반적인 이중대역 이중편파 안테나에 비해 20 dB 이상 향상됨을 관찰하였다. 제안된 안테나를 제작 및 측정하였으며, 시뮬레이션 결과와 측정 결과는 매우 잘 일치한다. 측정된 편파 분리도와 이득은 각각 낮은 대역에서 25 dB, 5.77 dBi, 높은 대역에서 35 dB 7.13 dBi이다.

Abstract

A dual-frequency dual-polarization (DFDP) antenna with high isolation between two ports by embedding 2×1 mushroom-like electromagnetic bandgap (EBG) cells is proposed. The equivalent circuit of a suspended microstrip line over 2×1 EBG cells is introduced. The numerical analysis from the equivalent circuit and measured results show that the microstrip line with embedded EBG cells has a distinctive and sharp rejection band and provides near 0 dB insertion loss outside the rejection band. By embedding the EBG cells under feedlines of a conventional DFDP antenna, the isolation between two ports of the antenna is enhanced more than 20 dB, as compared to that of a conventional DFDP antenna. The proposed DFDP antenna is fabricated and measured. The simulated and measured results show a good agreement. The measured polarization purity and gain of the antenna are 25 dB and 5.77 dBi at lower band, and 35 dB and 7.13 dBi at higher band, respectively.

Keywords : Dual-Frequency Dual-Polarization (DFDP) antenna, Electromagnetic Bandgap (EBG), Isolation Enhancement.

I. 서론

이중대역 이중편파(Dual-Frequency Dual-Polarization, DFDP) 안테나는 통신 시스템, 합성 개구면 레이더(synthetic aperture radar, SAR), 능동위상 레이더와 같

은 안테나간의 높은 고립도와 이중 편파특성을 요구하는 곳에 사용되고 있다. 가장 간단한 DFDP 안테나 구조는 두 포트의 신호가 수직으로 급전되는 직사각형 패치 안테나이다. 이 안테나의 경우 쉽게 제작할 수 있고, 벽면이나 기체의 표면에 쉽게 부착할 수 있는 장점을 가지고 있어 다양한 분야에 적용이 가능하지만, 두 포트 간 고립도 약 -20 dB 정도로 낮기 때문에 상대 포트 신호가 누설되어 통신환경을 열악하게 만들 수 있다. 동일한 평면형 구조이면서, 포트 간 고립도를 향상시키기 위하여 다층구조의 급전을 이용하거나 다층의

* 학생회원, ** 정회원 포항공과대학교

(Pohang University of Science and Technology)

※ 본 연구는 정통부 및 정보통신연구진흥원의 IT성장 동력기술개발사업의 연구결과로 수행되었습니다.

접수일자: 2007년3월5일, 수정완료일: 2007년5월14일

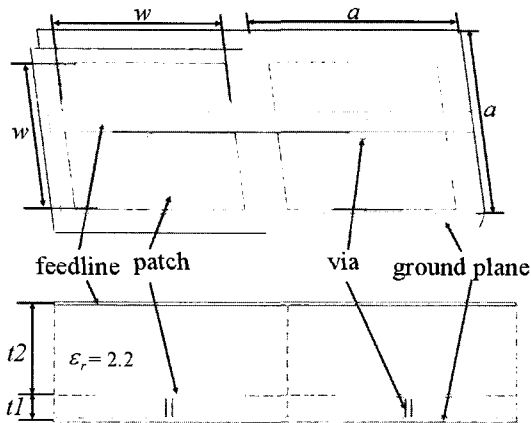


그림 1. 전송선로에 집적된 2×1 버섯모양 EBG 구조 (mm) a = 9, via 반경 = 0.15, t1 = 0.254, t2 = 0.762, 전송선로 폭 = 3.17, w = 7.2 (EBG-1), w = 5.67 (EBG-2)

Fig. 1. The geometry of the suspended stripline over the 2×1 mushroom-like EBGs (in mm): 3-D view and side view: a = 9, via radius = 0.15, t1 = 0.254, t2 = 0.762, feedline width = 3.17, w = 7.2 (EBG-1), w = 5.67 (EBG-2).

패치안테나에 슬롯 커플링을 사용한 마이크로 스트립 안테나가 제안되었다^[1~2]. 이런 구조는 포트 간 격리도가 -40 dB 이상으로 서로간의 영향이 작아 DFDP 안테나로 적합한 성능을 가진다. 하지만 구조가 복잡하여 제작이 힘들 뿐만 아니라 제작비용이 증가되는 단점이 있다. 복잡성을 개선하기 위해 기존의 DFDP 패치안테나의 접지면에 평면형 포토닉 밴드갭 (Uniplanar Compact Photonic Bandgap, UC-PBG) 구조를 사용하여 두 포트 간 고립도를 향상시킨 구조가 소개 되었다^[3]. 이 구조의 포트 간 격리도 역시 -40 dB 이상이다. 하지만 간단한 구조로 고립도를 향상시키기는 하였으나 접지면에 만들어진 PBG 구조에 의해 안테나의 접지면 반대방향으로 에너지의 손실이 생겨 후엽이 증가하고 PBG 접지면으로 인해 안테나의 동작 주파수가 변하는 단점을 가진다.

전자기 밴드 갭 (Electromagnetic Bandgap, EBG) 구조는 표면과 역제를 통한 안테나 이득 증가, 효율 증가, 후엽 감소 등의 특성을 얻기 위해 많이 사용되며 최근에는 배열안테나의 상호간의 커플링을 억제하기 위한 EBG 구조도 소개되고 있다^[4]. 그러나 대부분의 EBG 구조는 좋은 저지대역 특성을 얻기 위해 다수의 단위 셀의 개수가 필요하며 저지대역의 대역폭을 조절하기 힘든 단점이 있다. Sievenpiper에 의해 처음 소개된 버섯모양의 EBG 구조^[5]는 소수의 단위 셀로 훌륭한 저지대역 특성을 가지며, 저지대역 이외의 대역에서 거의 0

dB에 가까운 삽입손실을 가지는 장점이 있다. 또한 단위 셀의 크기가 작아 쉽게 회로에 집적화 할 수 있다^[6]. 따라서 이와 같은 구조는 전송선로의 아래에 집적화 하여 두 포트 간 고립도를 향상시키는 DFDP 안테나의 응용에 적합하다.

본 논문에서는 급전선로 아래에 버섯모양의 EBG 셀을 삽입하여 두 포트간 높은 고립도(-48 dB 이상)를 가지는 새로운 DFDP 안테나를 제안하였다. 이 DFDP 안테나를 설계하기 위해 2×1 EBG 셀이 집적된 전송선로의 등가회로를 제시하고, 제시한 등가회로를 검증하였다. 다른 저지대역을 가지는 두 EBG 구조를 설계 및 측정하였다. 이 EBG 구조를 집적한 제안된 안테나를 제작 및 측정하였으며, 일반적인 DFDP 안테나의 특성과 비교 분석하여 제안된 안테나의 우수한 고립도 향상 정도를 검증하였다.

II. 2×1 버섯모양 EBG 구조와 등가회로

그림 1은 전송선로에 집적된 2×1 버섯모양 EBG 구조를 나타낸다. EBG 단위셀은 정사각 패치와 접지면과 패치를 연결하는 via로 구성된다. EBG의 높이 (t1)는 접지면과 전송선로사이 높이 (t1+t2)의 1/4에 해당하며 이와 같은 디자인을 통해 전송선로의 폭을 EBG 구조가 없을 때 50 Ω이 되는 폭으로 결정할 수 있다. 그림 1의 구조에서 50 Ω이 되는 전송선로의 폭은 3.17 mm이다. 이 폭은 EBG 구조가 없는 기존의 마이크로 스트립 전송선로의 특성 임피던스가 50 Ω이 되는 선로 폭과 동일하다.

그림 2는 2개의 EBG 셀이 집적된 전송선로의 등가회로 모델을 보여준다. EBG 단위셀은 병렬 어드미턴스 Y를 가지는 하나의 소자로 생각할 수 있고, 단위 셀 사이의 거리 d는 전송선로로 생각할 수 있다. 따라서 전체구조는 2개의 병렬 어드미턴스 Y를 가지고 그사이에 위상차가 βd 만큼나는 전송선로가 있는 회로로 모델링된다. 병렬 어드미턴스 Y는 하나의 EBG 셀에 의해 구성되므로 전송선과 EBG의 패치에 형성되는 커패시턴스 C1, 패치와 접지면에 형성되는 커패시턴스 C2, via에 의해 형성되는 인덕턴스 L로 구성되는 등가회로가 된다. 따라서 어드미턴스 Y는 다음과 같다^[6].

$$Y = \frac{j\omega C_1(1 - \omega^2 LC_2)}{1 - \omega^2 L(C_1 + C_2)} \quad (1)$$

EBG 셀 사이에 생기는 전송선로는 특성임피던스가 Z0이고 위상상수가 β이므로 그림 2 등가회로의 전체

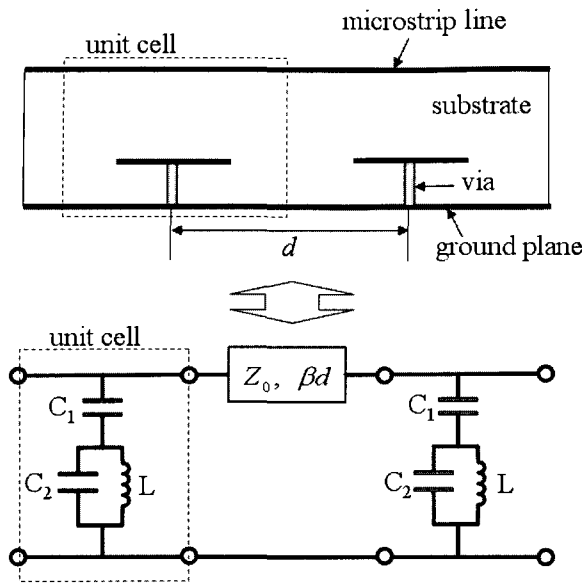


그림 2. 전송선로에 집적된 2×1 EBG 구조의 등가회로
 Fig. 2. Equivalent circuit of the suspended microstrip line with embedded 2×1 EBG cells.

ABCD-파라미터는 병렬 어드미턴스 Y , 거리 d 의 전송선로, 병렬 어드미턴스 Y 의 직렬연결에 의해 구해진다.

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \beta d & jZ_0 \sin \beta d \\ jY_0 \sin \beta d & \cos \beta d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

S-파라미터는 아래 수식의 ABCD-파라미터를 변환하여 구할 수 있다.

$$S_{11} = \frac{A + B/Z_0 - CZ_0 - D}{A + B/Z_0 + CZ_0 + D} \quad (3a)$$

$$S_{21} = \frac{2}{A + B/Z_0 + CZ_0 + D} \quad (3b)$$

등가회로를 검증하기 위해 수식 (3)으로부터 구한 S-파라미터와 3차원 전자기 시뮬레이션으로 구한 S-파라미터를 그림 3에 나타냈다. 이 때 3차원 전자기 시뮬레이션은 상용소프트웨어인 CST-MWS Ver. 2006을 사용하였다. 그림 3에서 점선은 등가회로로부터 구한 S-파라미터를 나타내며 실선은 시뮬레이션을 통해 구한 S-파라미터이다. 두 S-파라미터는 매우 잘 일치함을 볼 수 있다. 2개의 단위 셀만으로도 우수한 저지대역 특성($S_{21} \approx -50$ dB)을 가지며, 저지대역 밖에서는 거의 0 dB의 삽입손실 특성을 가짐을 확인할 수 있다. EBG 셀의 개수가 증가시키면, 저지대역 특성이 더욱 뾰족하

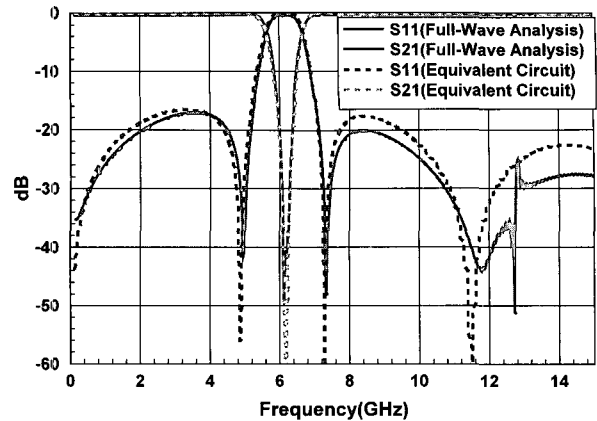


그림 3. 등가회로와 full wave 시뮬레이션에 의한 주파수 응답 비교
 Fig. 3. Comparison the frequency responses of full-wave analysis with those of equivalent circuit.

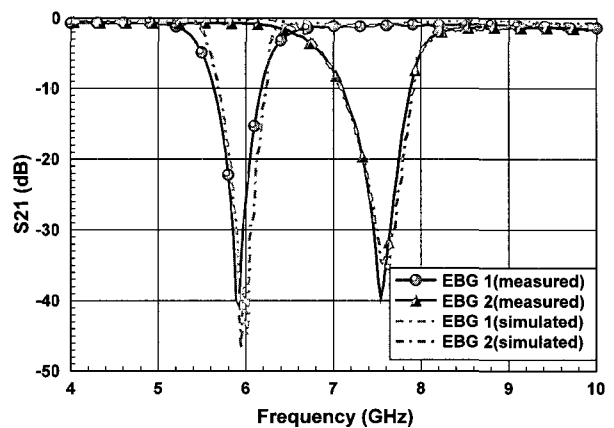


그림 4. EBG-1과 EBG-2의 시뮬레이션 및 측정된 S_{21}
 Fig. 4. Simulated and measured S_{21} of EBG-1 and EBG-2.

게 되어 저지대역과 통과대역의 구분이 더 명확해진다. 그러나 저지대역 밖의 삽입손실이 나빠지게 된다. 따라서 2개의 EBG 단위셀로 집적하는 것이 DFDP 안테나의 설계에 적합하다. 저지대역의 주파수와 대역폭은 인접한 단위셀의 주기(a)와 정 사각패치의 길이(w)로 조절 가능하다.

6 GHz (EBG 1)와 7.5 GHz (EBG 2)에 저지대역 특성을 갖는 2×1 EBG가 집적된 마이크로스트립 선로를 설계 및 제작 하였다. 제작한 EBG 구조의 주기간격(a)은 9 mm, via 반경은 0.15 mm 이다. EBG-1의 패치길이(w)는 7.2 mm이며 EBG-2는 5.67 mm 이다. 전체 EBG 구조의 크기는 6 GHz에서 $0.36 \lambda_0 \times 0.18 \lambda_0$ 로 크기가 작으며 급전선로의 아래쪽에 쉽게 집적화 할 수 있다. 그림 4는 시뮬레이션 및 측정된 EBG-1과 EBG-2의 S_{21} 을 보여주고 있다. 시뮬레이션 및 측정 결과는 잘

일치하며 EBG-1의 삽입 손실은 6 GHz에서 -45 dB 이고, 7.5 GHz에서는 -0.75 dB이다. 반면 EBG-2의 경우, 7.5 GHz에서 -40 dB, 6 GHz에서 -0.62 dB의 삽입 손실 특성을 가진다. 따라서 EBG-1과 EBG-2를 일반적인 DFDP 안테나의 두 급전 선로 아래에 집적하면, 두 포트 간 고립도를 향상시킬 수 있게 된다.

III. 제안된 DFDP 안테나

앞 절에서 설계한 EBG-1과 EBG-2를 두 포트의 전송 선로 아래에 집적하여 DFDP 안테나를 설계하였으며, 이를 그림 5에 나타냈다. 이중대역 이중편파 특성을

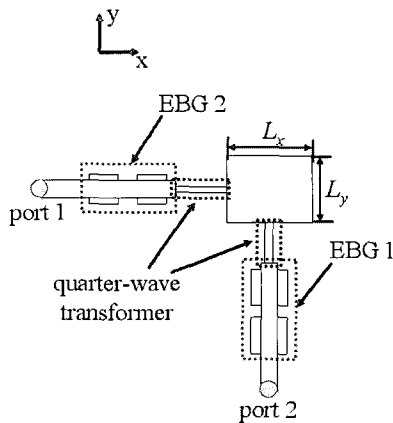


그림 5. x방향과 y방향으로 2×1 EBG 구조를 가지는 DFDP 안테나 구조(Lx = 16 mm, Ly = 12.3 mm)

Fig. 5. Geometry of the DFDP antenna with two different 2×1 EBGs along the x and y directions. (Lx = 16 mm, Ly = 12.3 mm)

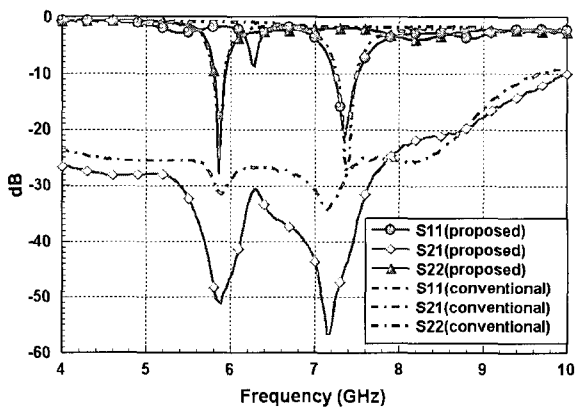
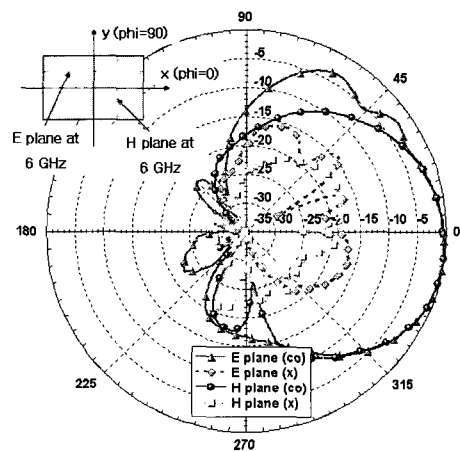


그림 6. 기존의 DFDP 안테나와 제안한 DFDP 안테나의 측정된 주파수 응답

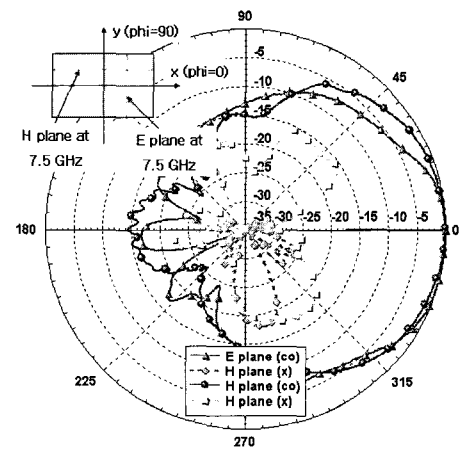
Fig. 6. Comparison the measured frequency responses of the proposed antenna with those of the conventional antenna.

얻기 위해 패치는 직사각형이다. x 방향으로 패치 길이(Lx)는 16 mm이고, y 방향으로 패치 길이(Ly)는 12.3 mm 이다. 이는 안테나가 x, y 방향에 따라 각각 6 GHz와 7.5 GHz에서 공진하도록 한다. 포트 1과 포트 2는 각각 x 방향 과 y 방향 신호를 급전한다. 따라서 두 포트 사이의 고립도를 향상시키기 위해 7.5 GHz에서 저지대역특성을 가지고 6 GHz에서 -0.62 dB의 삽입 손실이 나타나는 EBG-2를 포트 1의 급전 선로 아래쪽에 집적하고, 6 GHz에서 저지대역특성을 가지고 7.5 GHz에서 -0.75 dB의 삽입 손실을 갖는 EBG-1은 포트 2 아래에 집적시켰다. 안테나의 입력 임피던스 매칭을 위해 1/4 파장 트랜스포머를 이용했다.

그림 6에 기존의 DFDP 안테나와 제안된 DFDP 안테나의 측정된 주파수 응답을 도시하였다. $S_{11} \leq -10$



(a)



(b)

그림 7. E-평면과 H-평면에서 측정된 방사패턴 (a) 6 GHz, (b) 7.5 GHz

Fig. 7. Measured radiation patterns for E-plane and H-plane. (a) at 6 GHz, (b) at 7.5 GHz

dB인 안테나의 입력 임피던스 대역폭은 포트 1과 포트 2가 각각 5.81~5.93 GHz, 7.22~7.51 GHz 로 일반적인 DFDP 마이크로스트립 안테나와 유사하다. 반면 포트 1과 포트 2의 고립도 (S_{21})는 각각 -50 dB와 -48 dB로 기존의 안테나가 가지는 고립도 -30 dB와 -27dB 보다 약 20 dB정도 향상 되었다.

그림 7은 6 GHz와 7.5 GHz에서 각각 E-평면과 H-평면에서 측정된 제안된 안테나의 방사 패턴을 보여준다. 제안된 안테나의 방사 패턴은 일반적인 DFDP 안테나의 방사 패턴과 매우 유사하다. 6 GHz에서 co-편파와 cross-편파의 차이는 25 dB이고 7.5 GHz에서는 35 dB로 편파분리도가 강한 선형 편파특성을 보인다. 안테나의 이득은 6 GHz에서 5.77 dBi, 7.5 GHz에서 7.13 dBi로 관측되었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 마이크로스트립 급전선로 아래에 2×1 EBG를 집적화시켜 두 포트사이의 고립도를 향상시킨 DFDP 안테나를 제안하였다. EBG가 집적된 전송선로의 등가 회로를 제시하였으며, 이를 검증하였다. 이 전송선로는 저지대역에서 우수한 저지특성($S_{21} \approx -50$ dB)을 가지며, 저지대역 밖에서는 거의 0 dB의 삽입손실을 가진다. 다른 저지대역을 가지는 두 EBG 구조를 시뮬레이션 및 제작하였으며, 시뮬레이션 및 측정 결과는 매우 잘 일치하였다. 두 포트의 전송선로 아래에 이 EBG 구조를 집적화시켜 두 포트 사이의 고립도를 향상시킨 DFDP 안테나를 설계하였다. 두 포트사이의 고립도가 일반적인 이중대역 이중편파 안테나에 비해 20 dB 이상 향상됨을 시뮬레이션 및 측정 결과를 통해 확인하였다. 측정된 편파 분리도는 6 GHz에서 25 dB, 7.5 GHz에서 35 dB이다. 측정된 이득은 6 GHz에서 5.77 dBi, 7.5 GHz에서 7.13 dBi 이다.

참 고 문 헌

- [1] Xian-Ling Liang, Shun-Shi Zhong, and Wei Wang, "Design of a high isolation dual-polarized slot-coupled microstrip antenna," *Microwave & Optical Technology Letters*, vol. 47, no. 3, pp. 212-215, Nov. 2005.
- [2] Georgios Ch. Michail and Nikolaos K. Uzunoglu, "Dual-frequency and dual-polarization multilayer microstrip antenna element," *Microwave &*

Optical Technology Letters, vol. 42, no. 4, pp. 311-315, Aug. 2004.

- [3] Y. Hao and C. G. Panni, "Isolation Enhancement of Anisotropic UC-PBG Microstrip Diplexer Antenna," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 1, no. 1, pp. 135-137 2002.
- [4] Li Yang, Mingyan Fan, Fanglu Chen, Jingzhao She, and Zhenghe Feng, "A Novel Compact Electromagnetic-Bandgap (EBG) Structure and Its Applications for Microwave Circuits," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 53, no. 1, pp. 183 - 190, Jan. 2005.
- [5] D. Sievenpiper, L. Zhang, R. F. J. Broas, N. G. Alexopolous, and E. Yablonovitch, "High-impedance electromagnetic surfaces with a forbidden frequency band," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 47, no. 11, pp. 2059 - 2074, Nov. 1999.
- [6] Yasushi Horii, "A Compact Band Elimination Filter Composed of a Mushroom Resonator Embedded in a Microstrip Line Substrate," *2005 Asian Pacific Microwave Conference*, Vol. 3, Suzhou, China, Dec. 2005.

— 저 자 소 개 —



이 동 현(학생회원)
 2003년 아주대학교 전자공학부
 학사 졸업.
 2003년~현재 포항공과대학교
 전자전기공학과 석·박사
 통합 과정.

2006년~2007년 Visiting Scholar, Wireless
 Communications Research Group(WiCR),
 Loughborough University (UK).

<주관심분야 : 안테나 이득 향상을 위한 주기구조
 설계 및 해석, Metamaterial 안테나, 마이크로
 스트립 패치 안테나 설계 및 해석, T-DMB 안테
 나, UWB 안테나, RFID 리더 및 태그 안테나>



장 종 훈(학생회원)
 2005년 포항공과 대학교 전자전기
 공학과 학사 졸업.
 2007년 포항공과대학교 전자전기
 공학과 석사 졸업.
 2007년~현재 LG전자 사원.

<주관심분야 : Metamaterial 안테나, 소형안테나,
 휴대폰 RF module>



김 재 희(학생회원)
 2004년 고려대학교 전기전자
 전파공학부 학사 졸업.
 2005년~현재 포항공과대학교
 전자전기공학과 석·박사
 통합과정.

<주관심분야 : 밀리미터파 빔 형성 안테나, 소형
 안테나, Metamaterials>



박 위 상(정회원)
 1974년 서울대학교 공과대학
 전자공학과 학사 졸업.
 1982년 University of Wisconsin
 Madison 전자공학과 석사
 졸업.
 1986년 University of Wisconsin
 Madison 전자공학과
 박사 졸업.

1976년~1978년 삼성전자 공업주식회사.
 1984년~1986년 8월 University of Wisconsin
 Madison, TA 및 RA.
 1986년~현재 포항공과대학교 전자전기공학과
 교수.

<주관심분야 : Design of Microstrip Antennas,
 Full-Wave Analysis of Microstrip Structures,
 Design of Passive Microstrip Devices by
 Network Modeling, Measurement and
 Simulation of EMI/EMC for Cellular Phones>