

논문 2010-47TC-4-4

고 이득 메타매터리얼 패치안테나를 위한 새로운 메타매터리얼 구조

(New Metamaterial Structure for High Gain Metamaterial Patch Antenna)

이 남 기*, 양 승 인**

(Namki Lee and Seung-In Yang)

요 약

새로운 메타매터리얼 구조 패치안테나는 기존 메타매터리얼 패치안테나의 이득을 개선하였다. 새로운 메타매터리얼 커버의 구조는 9×9 격자 중에서 중심을 기준으로 7×7격자를 제거하는 구조로 만들었다. 또한 그 메타매터리얼 커버는 보통 기판을 사용하여 쉽게 제작이 가능하다. 패치안테나, 메타매터리얼 패치안테나, 제안된 메타매터리얼 패치안테나의 결과를 비교해 보았으며, 비교한 결과 제안된 메타매터리얼 패치안테나는 보통 메타매터리얼 패치안테나보다 약 3dB 더 좋은 결과를 보였다.

Abstract

Our new metamaterial structure patch antenna improves the gain of ordinary metamaterial patch antenna. The structure of new metamaterial cover is made by removing central 7×7 lattices out of 9×9 lattices. Also, the metamaterial covers can be easily fabricated using ordinary substrates. Measurement results of a patch antenna, a metamaterial patch antenna and our proposed metamaterial patch antenna show that the gain of the proposed metamaterial patch antenna is about 3dB higher than that of the ordinary metamaterial patch antenna.

Keywords : New metamaterial structure, Metamaterial cover, Patch antenna, High gain.

I. 서 론

고 이득 메타매터리얼 패치안테나는 2.4GHz대의 ISM(Industrial, Scientific, and Medical) 대역을 사용하고 있는 소 출력 무선기기인 무선랜이나 블루투스 등이 장거리에 통신 할 때에 많은 사용 될 것이며 특히 손쉽게 제작이 가능하며, 가격도 저렴하다. 이렇게 고 이득

의 안테나를 만들 수 있는 것은 일반적인 현상에서 볼 수 없는 특수한 전자기적 성질이 나타나고 있으며 이는 러시아 물리학자인 Veselago에 의해 시작되었다^[1]. 이러한 물질을 우리는 Doubly Negative Material(DNG), Negative Refractive Index(NRI), Left Handed Material(LHM)등으로 불리우며 일반적으로 Metamaterial이라고 한다. 최근에는 Metamaterial의 이론적인 연구에서 다양한 응용에 까지 매우 활발하게 연구되어지고 있다^[2-5]. 특히 고 이득은 메타매터리얼 커버를 이용한 패치안테나의 형태로 가능하게 되었다^[6-7].

본 논문에서는 2.4GHz대 패치안테나를 기본으로 그 위에 사각형 어레이 메타매터리얼 커버를 이중 구조로 설계하여 메타매터리얼 패치안테나를 보다 더 높은 고 이득 안테나를 만들고자 연구해 왔으며 우리는

* 정회원, ** 평생회원, 숭실대학교 정보통신전자공학부 (School of Electronic Engineering, Soongsil University)

* This work was supported by the IT R&D program of MKE/IITA. [2009-F-033-01, Study of technologies for improving the RF spectrum characteristics by using the meta-electromagnetic structure]

접수일자: 2010년2월25일, 수정완료일: 2010년4월13일

E-Plane에서 포인팅벡터의 분포를^[8] 확인하고 메타물질 구조를 변경하여 전산모의와 측정을 통해 더 높은 이득을 확인하였다.

II. 패치안테나 설계

패치안테나의 크기는 319.5mm×319.5mm이고, 패치는 중심을 기준으로 38.55mm×46.95mm에 위치하고 있다. 기판의 파라메타는 유전율 2.33, 보드의 두께 1.524mm, 동판의 두께 0.035mm이다.

단위 사각형격자는 일반적으로 $P \approx \lambda / 4$, $L \approx \lambda / 5$ 에서 최대 이득을 가지며 그림 1과 같다.

보통 메타물질 커버는 9×9의 단위사각형격자^[8]로 구성되어 있으며 그림 2와 같다.

제안된 메타물질 커버는 보통 메타물질 커버에서 중심을 기준으로 7×7 격자를 제거한 구조로 만들어져 있으며 그림 3^[10]과 같이 가장자리에 단위 사각형 격자만 남아 있는 형태를 갖는다.

보통 메타물질 패치안테나의 구조는 상단 층과 중간층은 보통 메타물질 커버이고, 하단 층은 패치

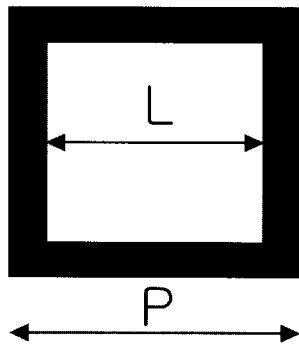


그림 1. 단위 사각형 격자.
Fig. 1. Unit square lattice.

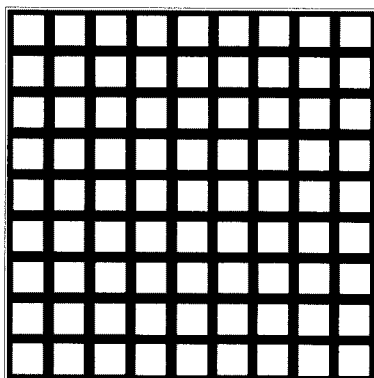


그림 2. 보통 메타물질 커버.
Fig. 2. Ordinary metamaterial cover.

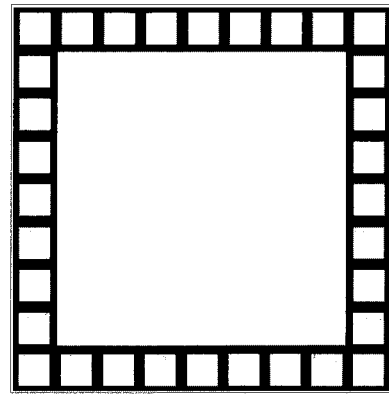


그림 3. 제안된 메타물질 커버.
Fig. 3. Proposed metamaterial cover.

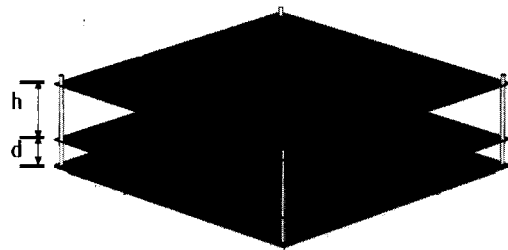


그림 4. 제안된 메타물질 패치안테나 설계.
Fig. 4. The proposed metamaterial patch antenna design.

안테나로 구성되어 있다. 그림 4는 제안된 메타물질 패치안테나는 상단 층에 보통 메타물질 커버, 중간 층에 제안된 메타물질 커버, 하단 층에 패치안테나로 구성되어 있으며, 두 개의 메타물질 커버는 유전율 2.22, 보드의 두께 0.5mm, 동판의 두께 0.018mm인 기판으로 전산모의 하였다.

단위 사각형 격자는 바깥쪽의 길이는 P, 안쪽의 길이는 L로 이루어져 있고, h는 중간 층에서 상단 층까지의 거리이고 d는 패치안테나에서 중간 층까지의 거리를 나타낸다. 파라메타는 보통 $P \approx \lambda / 4$, $L \approx \lambda / 5$, $h \approx \lambda / 4$, $d \approx \lambda / 4 \sim \lambda / 3$ ^[9]이며, λ 는 운영주파수의 파장이다. 이론적인 연구와 실험적인 연구는 플라즈마 주파수에 의해서 특성인 구조를 갖는 것을 보여 준다^[9]. 동등한 유전율은 마이크로파 도메인에서 플라즈마 주파수에 의해서 반응이 결정된다는 것을 대략적인 분석 이론과 정밀한 균일 이론 둘 다 보여 준다.

$$\epsilon_{eff}(w) = 1 - w_p^2/w^2 \tag{1}$$

여기서 w_p 는 플라즈마 각주파수이고 w 는 전자기파 각주파수이다^[2]. 유전율은 영에 가깝거나 음의 값을 가

질 때 일반적인 현상에서 볼 수 없는 특수한 전자기적 성질이 나타남을 알 수 있다.

III. 전산모의 결과

전산모의는 CST Microwave Studio로 계산되었다. 최대 이득을 얻기 위하여 전산모의를 통하여 2.4GHz에서 $P=35.5\text{mm}$, $L=30.32\text{mm}$ 를 구하였다. 보통 메타매터리얼 안테나는 간격 h 와 d 를 변경하면서 이득을 얻은 결과 $h=d=48\text{mm}$ 일 때 최대 이득이 나타났으며, 제안된 메타매터리얼 안테나는 $h=45\text{mm}$, $d=16\text{mm}$ 일 때 최대의 이득이 나타남을 알 수 있었다.

S_{11} 의 전산모의는 그림 5에서 볼 수 있는 것처럼 패치안테나(Ordinary Patch Antenna; OPA)는 주파수가 2.4GHz, 보통 메타매터리얼 패치안테나(Ordinary Metamaterial Patch Antenna; OMPA)는 주파수가 2.39GHz, 제안된 메타매터리얼 패치안테나(Proposed Metamaterial Patch Antenna; PMPA)는 주파수가 2.43GHz에서 S_{11} 이 최소로 됨을 볼 수 가 있다.

고 이득 안테나를 만들고자 공통으로 정합되는 주파수 중 2.41GHz를 전산모의를 통하여 E-Plane에서 파워 플루의 분포를 확인했고 안테나를 중심으로 파워플루는 좌우 대칭이다. 그림 6(a)는 보통 패치안테나로 파워 플루가 공간상으로 진행방향과 옆으로 퍼져가는 것을 볼 수 있다. 그림 6(b)는 보통 메타매터리얼 패치안테나로 파워 플루가 패치안테나와 중간층, 중간층과 상단층 사이에서 일부가 옆으로 퍼져가는 것을 확인했고, 상단층에 메타매터리얼 부분에서는 보통의 패치안테나에서 볼 수 없는 많은 부분이 진행방향으로 굴절되어 가는 것을 확

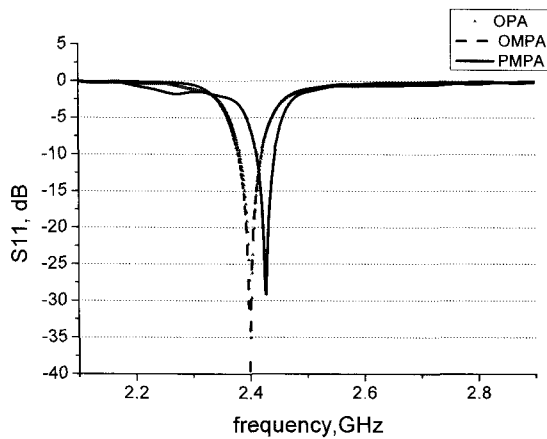


그림 5. S-파라메타의 전산모의 결과.
Fig. 5. Simulation results of S-parameter.

인하였다. 그림 6(c)는 제안된 메타매터리얼 패치안테나로 패치안테나와 제안된 메타매터리얼 커버, 제안된 메

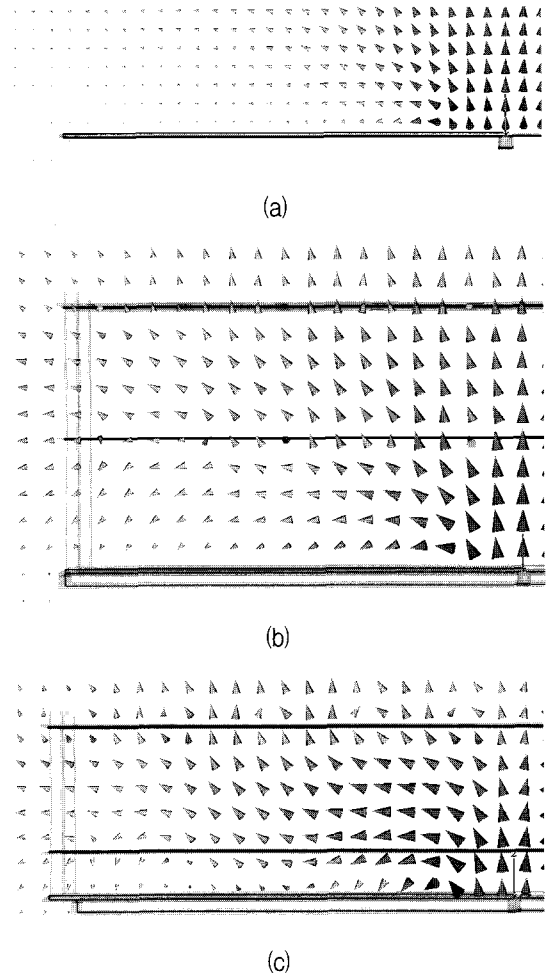


그림 6. 2D 파워 플루 (a) 보통 패치안테나 (b) 보통 메타매터리얼 패치안테나 (c) 제안된 메타매터리얼 패치안테나

Fig. 6. Power flow of 2D (a) Ordinary patch antenna (b) Ordinary metamaterial patch antenna (c) Proposed metamaterial patch antenna.

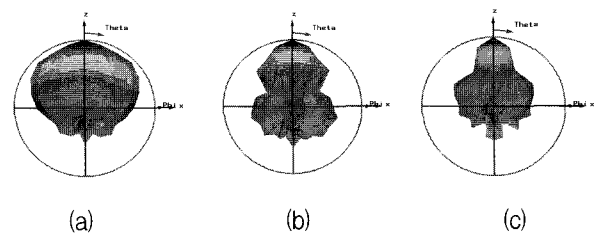


그림 7. 3D 전산모의 결과의 안테나 방사패턴 (a) 패치안테나 (b) 보통 메타매터리얼 패치안테나 (c) 제안된 메타매터리얼 패치안테나.

Fig. 7. Simulation results of antenna radiation pattern in 3D (a) Ordinary patch antenna (b) Ordinary metamaterial patch antenna (c) Proposed metamaterial patch antenna.

표 1. 전산모의 결과.

Table 1. Comparison of the simulation results.

	OPA	OMPA	PMPA
Resonant frequency(GHz)	2.41	2.41	2.41
S_{11} (dB)	-16.5	-11.5	-12.5
Half power beamwidth(deg)	66.3	28.0	25.5
Side lobe level(dB)	-18.9	-12.9	-13.9
Directivity(dBi)	8.3	13.9	16.4
Gain(dBi)	7.8	13.4	16.1

터매터리얼 커버와 상단층의 메타매터리얼 커버 사이에서 일부가 옆으로 퍼져가는 것을 확인했고, 상단층에서는 보통 메타매터리얼 패치안테나와 마찬가지로 진행방향으로 굴절하는 것을 확인되었다.

그림 7 (a), (b), (c)는 2.41GHz에서 전산모의 결과 3D의 방사 패턴을 보여 주었으며 제안된 메타매터리얼 안테나의 경우 더 좋은 이득을 얻을 수 있었다.

표 1에서 전산모의 결과 3종류의 패치안테나 중에서 제안한 메타매터리얼 패치안테나는 보통 메타매터리얼 패치안테나보다 3dB정도 이득이 높은 것을 알 수 있다.

IV. 안테나 제작 및 측정 결과

그림 8은 메타매터리얼 커버와 패치안테나를 전산모의 결과에 의하여 유전율, 보드의 두께, 동판의 두께를 동일하게 제작하였다.

그림 8 (a)와 (b)는 메타매터리얼 커버의 사진이다. 그리고 (c), (d), (e)는 제작된 안테나의 사진이며, 그림 9는 3종류 패치안테나의 정재파비를 나타낸다.

제작된 패치안테나, 메타매터리얼 패치안테나는 전자파측정센터(<http://www.antenna.or.kr>)에서 측정하였으며 3종류의 안테나는 2.4GHz에서 2.5GHz까지 측정하였으며 2.43GHz에서 3종류 모두 가장 좋은 이득이 나타났으며 그림 10과 같다.

그림 11은 주파수별 이득이 가장 좋은 2.43GHz에서 OPA, OMPA 그리고 PMPA의 측정결과 이득은 설계한 주파수 2.41GHz 보다 0.02GHz 가 더 높은 2.43GHz에서 각각 7.54dBi, 12.07dBi 그리고 15.05dBi임을 알 수 있었다. 제안한 메타매터리얼 패치안테나는 보통 메타매터리얼 패치안테나 보다 약 3dB 높다. 이론적으로 개구 안테나의 최대 방향성은 $D_{max}=4\pi a/\lambda^2$ 이고, 최대 이득은 $G_{max}=kD_{max}$ 이다. 여기서 k는 효율이고, 이론적인 데이터의 최대 이득은 k=1이다.

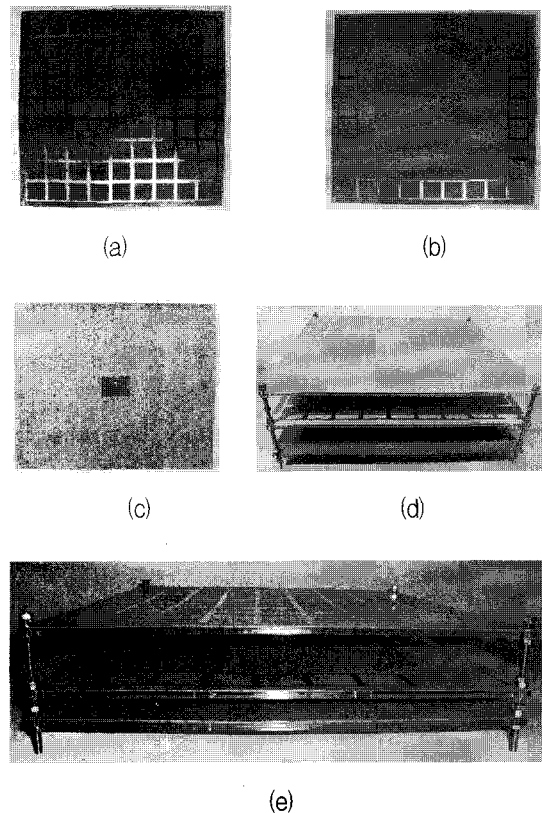


그림 8. 메타매터리얼 패치안테나의 사진 (a) 보통 메타매터리얼 커버 (b) 제안된 메타매터리얼 커버 (c) 패치안테나(d) 보통 메타매터리얼 패치안테나 (e) 제안된 메타매터리얼 패치안테나.

Fig. 8. Photograph of the proposed metamaterial patch antenna (a) Ordinary metamaterial cover (b) Proposed metamaterial cover (c) Patch antenna (d) Ordinary metamaterial patch antenna (e) proposed metamaterial patch antenna.

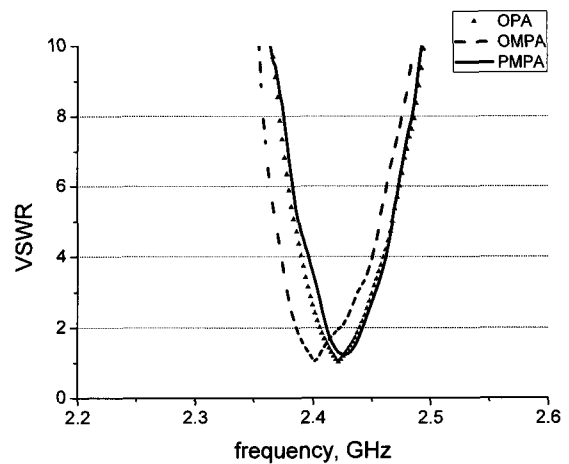


그림 9. 정재파비 측정 결과.

Fig. 9. Measurement results of VSWR.

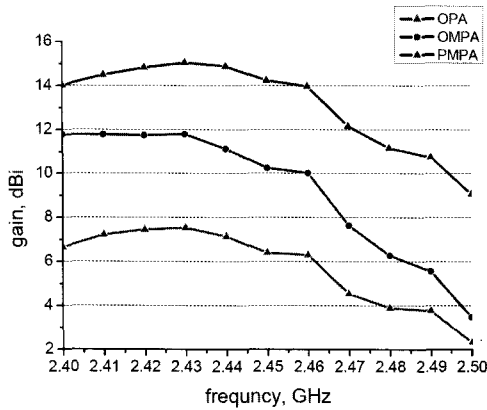
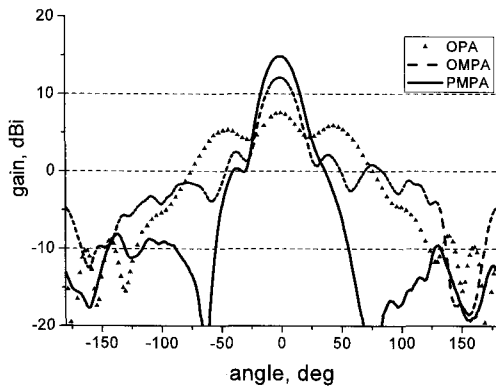
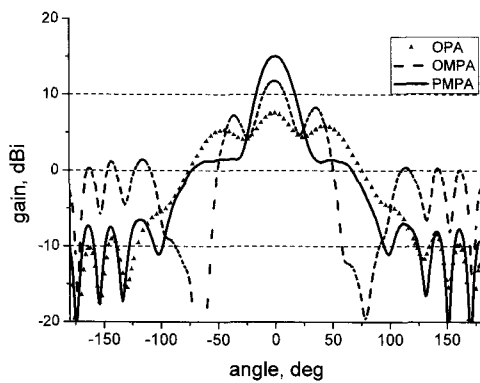


그림 10. 주파수별 이득.
Fig. 10. Gain vs. frequency.



(a)



(b)

그림 11. 이득 패턴의 측정 결과 (a) H-평면 (b) E-평면.
Fig. 11. Measurement results of gain pattern.
(a) H-plane (b) E-plane.

안테나의 H-평면과 E-평면의 이득 패턴이다.

$$G_{\max} = 10 \log(4\pi A/\lambda^2) \quad (2)$$

$$A = 319.5 \times 319.5 = 102080.25 [mm^2]$$

$$\lambda = c/f = \frac{3 \times 10^{11}}{2.43 \times 10^9} = 123.46 [mm]$$

$$G_{\max} = 10 \log(4\pi A/\lambda^2) = 10 \log(84.7) = 19.25 dBi$$

제한된 메타매터리얼 패치안테나의 이득은 크기, 운영주파수와 함께 이론적인 최대값과 아주 밀접하다.

V. 결 론

기존 사각형 격자 메타매터리얼 구조를 이용한 패치안테나의 연구되고 있지만, 이번에 제안된 메타매터리얼 패치안테나에서는 더 많이 이득이 개선되었다. 제안된 메타매터리얼 패치안테나의 방사 특성 전산모의 결과와 안테나를 제작하여 측정된 결과를 비교하여 보았다. 보통 패치안테나, 보통 메타매터리얼 패치안테나, 그리고 제안된 메타매터리얼 패치안테나는 이득이 각각 7.54dBi, 12.07dBi, 15.05dBi를 얻을 수 있었다. 따라서 제안된 메타매터리얼 패치안테나는 보통 메타매터리얼 패치안테나 보다 전산모의와 실험에서 이득이 약 3dB 만큼 개선되었다.

참 고 문 헌

- [1] Veselago, V. G., "The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ ", *Soviet Physics USPEKI*, vol. 10, no. 4, pp. 509-514, 1968.
- [2] Li B., Wu B., and Liang C.-H., "Study on high gain circular waveguide array antenna with metamaterial structure", *PIER60*, pp. 207-219, 2006.
- [3] Huiliang Xu, Zeyu Zhao, Yueguang Lv, Chunlei Du, and Xiangang Luo., "Metamaterial superstrate and electromagnetic band-gap substrate for high directive antenna", *Int. J. Infrared Milli. Wave*, vol. 29, pp. 493-498, 2008.
- [4] Zi-bin Weng, Nai-biao Wang, Yong-chang Jiao, and Fu-shun Zhang. "A directive patch antenna with metamaterial structure", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 49, no. 2, pp. 456-459, 2006.
- [5] Iftekhhar O. Mirza, Shouyuan Shi, Chris Fazi, and Dennis W. Prather, "Stacked patch antenna miniaturization using metamaterials", *AS-S2008, IEEE*, pp. 1-4, 2008.
- [6] Jaewon Kim, and Anand Gopinth, "Simulations

and experiments with metamaterial flat antenna lens using cubic high dielectric resonators”, *IWAT 2009, IEEE*, pp. 1-4, 2009.

[7] A. Vallecchi, M. Albani, and F. Capolino, “Planar metamaterial transverse equivalent network and its application to low-profile antenna designs”, *EuCAP 2009, IEEE*, pp. 861-865, 2009.

[8] HU Jun, YAN Chen-sheng, and LIN Qing-chun., “A new patch antenna with metamaterial cover”, *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, vol. 7, no. 1, pp. 89-94, 2006.

[9] Richard W. Ziolkowski, and Ehud Heyman, “Wave propagation in media having negative permittivity and permeability”, *Physical Rev. E*, vol. 64, pp. 056625-1-15, 2001.

[10] 이남기, 양승인, “메타 전자파구조를 이용한 안테나 이득 향상”, *한국전자과학회, 2009년도 전자파 기술 하계학술대회*, 제13권, 제1호, pp. 136, 2009년, 7월.

저 자 소 개



이 남 기(정회원)
1992년 숭실대학교 전자공학과 학사
2005년 숭실대학교 전자 및 컴퓨터공학과 석사
2007년 숭실대학교 전자공학과 박사 수료

1992년~현재 제아정보통신(주) 연구소장
<주관심분야 : Metamaterial Antennas, Phase Array Antennas, Radar System>



양 승 인(평생회원)
1974년 서울대학교 전기공학과 학사
1976년 한국과학기술원 전기공학과 석사
1987년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사

1978년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수
1996년~1999년 한국전자과학회 학술이사
2000년~2003년 한국전자과학회 부회장
2004년~2005년 한국전자과학회 회장
2006년~현재 한국전자과학회 명예회장
2004년~2005년 숭실대학교 공과대학장
<주관심분야 : M/W전송망과 위성성망과의 간섭 분석, 위상 잡음 최소화 연구,MMIC 설계>