

무선 LAN용 원형편파 패치안테나에 이중 적층 상부덮개를 적용한 이득 향상

이 상 록*

Gain Enhancement of a Circularly-Polarized Patch Antenna with a Double-Layered Superstrate for Wireless LAN

Sangrok Lee*

요 약

무선 LAN 대역에서 동작하는 이중 적층 상부덮개를 적용한 고이득 원형편파 패치 안테나를 제안한다. 상부덮개는 단위 셀을 주기적으로 배열하는 구조를 갖고, 패치안테나 위에 일정한 높이의 공기층을 두고 배치된다. 제안된 안테나는 최대 9.59dBi의 안테나 이득을 얻을 수 있는데 이는 패치안테나만 있는 경우에 비해 6.48dB 향상된 결과이다. 또한, 제안된 안테나는 높은 안테나 이득을 유지하면서 3dB 이하의 낮은 축비를 갖는데 이는 패치안테나의 원형 편파 특성이 잘 유지됨을 의미한다. 4x4 배열구조를 갖는 상부덮개와 패치안테나 간의 공기층 높이는 25mm에서 최적이고, 이는 2.45GHz 주파수에서 대략 0.2λ 에 해당된다. 결과적으로 상부덮개를 이중으로 적층함으로써 유효 개구면 크기가 증가되고, 이에 따라 패치안테나의 이득이 향상됨을 확인하였다.

Key Words : Gain enhancement, Double-layered superstrate, Patch antenna, Circular polarization, Wireless LAN

ABSTRACT

A high-gain circularly-polarized patch antenna with a double-layered superstrate is proposed operating at a wireless LAN frequency. A superstrate has an array of metallic periodic unit cells and is located above the patch antenna with an air-gap. The designed antenna has a high gain of over 9.59dBi, which is the gain enhancement of 6.48dB compared to the patch antenna without superstrate. And it has a low axial ratio of under 3dB, so that it maintains the circular polarization of the patch antenna. The optimum air-gap height at the superstrate of 4x4 arrays is 25mm, which is equivalent to about 0.2λ at the frequency of 2.45GHz. We confirmed that the double-layered stacking of a superstrate increases the effective aperture size and hence it leads to enhance a gain of the patch antenna.

I. 서 론

무선 LAN 대역에서 패치안테나는 소형화, 경량화, 그리고 제작의 용이성 등의 다양한 특성을 갖고 있어 널리 활용되고 있다^[1]. 그러나, 안테나 이득이 낮고

대역폭이 좁아 활용에 제한요소로 작용하여 이를 극복하기 위한 다양한 기술들이 제시되었다. 특히, 높은 유전율이나 높은 투자율을 갖는 상부덮개(superstrate)에 메타물질(metamaterial)을 추가하여 안테나 이득을 향상시킬 수 있는 다양한 방식들이 연구되었다^[2-12].

* First Author : Shinhan University Department of IT Convergence Engineering, srlee@shinhan.ac.kr, 중신회원
논문번호 : KICS2015-09-314, Received September 17, 2015; Revised November 30, 2015; Accepted November 30, 2015

논문[2]는 GPS(Global Positioning System) 대역에서 동작하는 원형편파 패치안테나에 FLC(Four- Leaf Clover) 형상의 메타물질 구조를 갖는 상부덮개를 적용하여 안테나 이득이 향상됨을 시뮬레이션과 실험을 통해 확인하였다. 결과적으로 원형편파 특성이 잘 유지되면서도 안테나 이득이 약 1.3dB 향상되었다. 또한, 저자는 논문[3]에서 GPS 대역에서 동작하는 원형편파 패치안테나에 JC(Jerusalem- Cross) 구조를 갖는 상부덮개를 다중 적층함으로써 안테나 이득에 미치는 영향을 분석하였다. 상부덮개를 여러 층으로 적층할수록 안테나 이득은 향상되지만 안테나 축비가 나빠지면서 원형편파 특성이 유지되지 못함을 확인하였다.

논문[4]는 무선 LAN 대역에서 동작하는 원형편파 패치안테나에 CSSRR (Coupled Square-Shaped Split Ring Resonator) 구조를 5x5 배열로 적용한 상부덮개를 추가하는 안테나 구조를 제시하였다. 결과적으로 7.1dBi의 안테나 이득을 갖고, 상부덮개를 통해 3.1dB의 이득 향상 효과를 얻을 수 있었다. 이같은 성능은 대략 0.1λ의 공기층 높이에서 구해진 값이다. 한편, 논문[5]는 원형편파를 지원하지 않는 NCP 패치안테나에 메타물질 기반의 DSR (Double Split-ring Resonator)구조와 DCR(Double Closed-ring Resonator)구조를 갖는 상부덮개를 추가하여 안테나 이득향상을 확인하였다. 제안된 안테나는 9.0dBi의 높은 이득을 갖고, 최적의 공기층 높이는 대략 0.05λ이다.

본 논문에서는 무선 LAN 대역에서 동작하는 원형편파 패치안테나에 FLC 형상의 단위셀을 배열구조로 적용한 상부덮개를 적층하는 안테나 구조를 제안하고 성능을 분석한다. 2장에서는 제안된 안테나의 구조를 상세히 설명하고, 3장에서는 EM-3D 시뮬레이션을 통해 제안된 안테나의 성능을 해석하여 기존 방식과 비교 분석한다.

II. 안테나 구조

본 장은 원형편파 패치안테나에 상부덮개를 이중으로 적층한 안테나 구조를 제안한다. 그림 1은 제안된 안테나의 단면 구조이고, 원형편파 패치안테나 위에 일정한 공기층 높이(Air_h)를 유지하면서 상부덮개가 2단으로 적층된다. 상부덮개의 하단 면에는 FLC(Four Leaf Clover) 형상의 단위 셀(unit cell)을 3x3 배열과 4x4 배열 구조로 적용하였다.

그림 2는 원형편파 패치안테나(a)와 상부덮개(b)의 세부 구조를 보이고 있다. 원형편파 패치안테나는 안

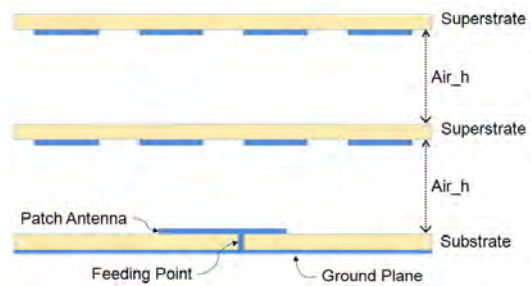


그림 1. 이중 적층 상부덮개를 적용한 안테나 구조
Fig. 1. Configuration of the proposed antenna with double-layered superstrate

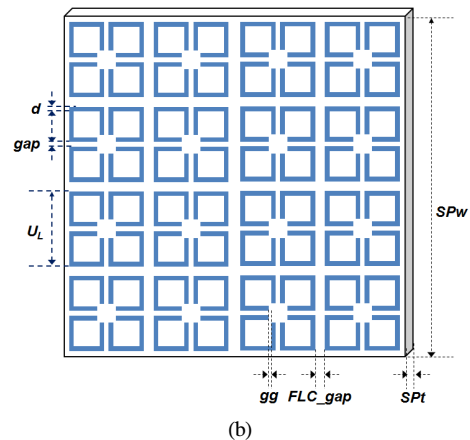
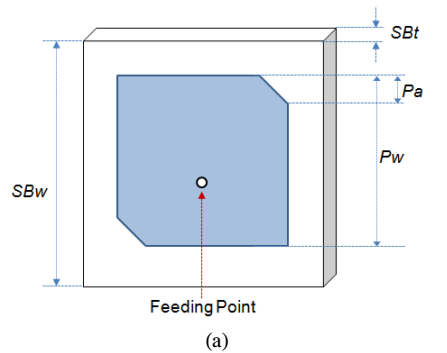


그림 2. 제안된 안테나의 구조. (a) 패치안테나, (b) FLC 구조의 4x4 배열을 갖는 상부덮개
Fig. 2. Geometry of the proposed antenna. (a) Patch antenna, (b) superstrate with 4x4 arrays of FLC structure

테나의 중심주파수를 1차적으로 결정한다. 그림 2(a)에서 패치안테나의 재질은 유전율이 $\epsilon_r = 10.2$ 인 Rogers사의 RT-6010^[13]을 사용하였고, 모서리 제거방법을 통해 원형편파 특성을 구현하였다^[14]. 패치안테나의 유전체는 정사각형 구조이고, 한 변의 크기는 SB_w 이고, 두께는 SB_t 이다. 또한, 정사각형 패치의 한 변의 크기는 P_w , 모서리 크기는 P_a , 그리고 패치안테

나의 급전위치(feeding point)는 (P_x, P_y) 로 정의된다.

그림 2(b)는 FLC 형상의 단위 셀을 4x4 배열로 적용한 상부덮개의 구조이다. 상부덮개의 재질은 유전율이 $\epsilon_r = 10.2$ 인 Rogers사의 RT-6010을 사용하였고, 유전체의 크기와 두께는 각각 SP_w 와 SP_t 이다. FLC 구조에서 U_L 은 단위 셀의 크기, d 는 단위 셀에서 도체의 두께, gap 은 단위 셀 내에서 도체간 간격, gg 는 단위 셀 내에서 중앙 공극의 크기, 그리고 FLC_{gap} 은 배열구조에서 단위 셀간 간격이다.

III. 제안된 안테나의 성능 분석

본 장은 제안된 안테나의 성능을 분석하였다. 특히, 원형편파 패치안테나에 상부덮개를 이중 적층함으로써 안테나 이득향상에 미치는 영향을 분석하였다. 성능분석은 EM-3D 시뮬레이터인 CST Studio 2010을 활용하여 실시하였다. 표 1은 상부덮개가 3x3 배열일 경우와 4x4 배열일 때 시뮬레이션에서 사용된 안테나 구조의 값이고, G 는 접지면의 크기이다.

그림 3은 상부덮개없이 패치안테나만 있는 경우에 반사손실(return loss) 특성이고, 무선 LAN 대역인 2.45GHz에서 공진함을 확인할 수 있다. 논문 [15]에서 패치안테나에 상부덮개를 추가하면 안테나의 공진 주파수가 낮은 쪽으로 천이함을 확인하였다. 본 논문에서는 상부덮개의 추가에 의해 주파수 천이가 없는

표 1. 제안된 안테나의 안테나 구조 값
Table 1. The geometrical parameters of the proposed antenna

Symbol	3x3 array	4x4 array
G	100mmx100mm	100mmx100mm
SB_w	23mm	23mm
SB_t	0.635mm	0.635mm
P_w	19mm	19mm
P_a	1.4mm	1.4mm
(P_x, P_y)	(-3.5mm, -0.3mm)	(-3.5mm, -0.3mm)
SP_w	90mm	120mm
SP_t	0.254mm	0.254mm
Air_h	28mm	25mm
FLC_{gap}	5.4mm	4.7mm
U_L	23.1mm	23.1mm
d	1.0mm	1.0mm
gap	1.1mm	1.1mm
gg	1.4mm	1.3mm

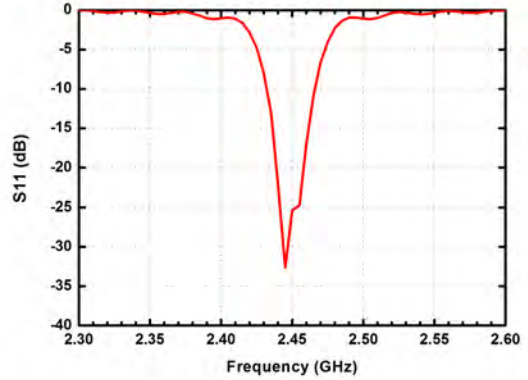


그림 3. 상부덮개없는 패치안테나의 반사손실
Fig. 3. Return loss of patch antenna without superstrate

경우를 고려하였다. 따라서 그림 4에서는 상부덮개를 추가할 경우 공기층 높이 변화에 따른 안테나의 공진 주파수 변화를 보이고 있다. 그림 4(a)는 3x3 배열구

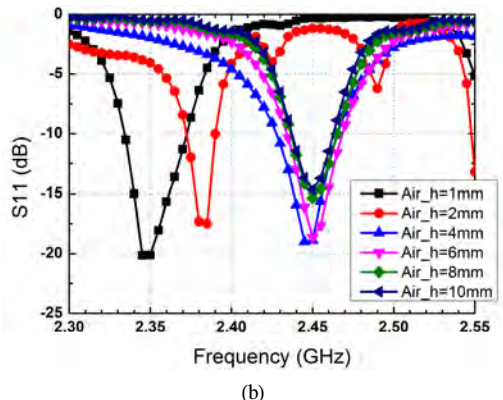
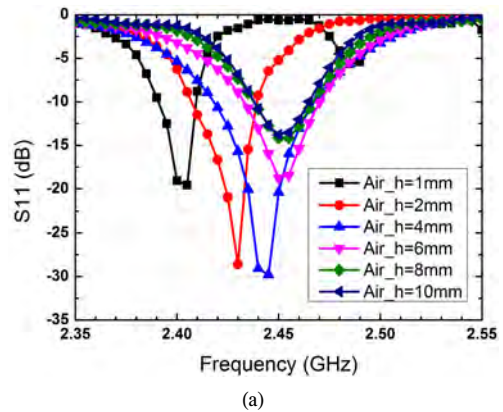


그림 4. 공기층 높이 변화에 따른 반사손실. (a) 3x3 배열구조의 상부덮개를 갖는 안테나, (b) 4x4 배열구조의 상부덮개를 갖는 안테나
Fig. 4. Return loss in accordance with the variation of the air-gap height (a) in case of the superstrate with 3x3 array (b) in case of the superstrate with 4x4 array

조의 상부덮개, 그림 4(b)는 4x4 배열구조의 상부덮개 일 때 공기층 높이를 1mm에서 10mm까지 변화하면서 반사손실을 구하였다. 공기층 높이가 1mm 일 때 3x3 배열구조에서는 약 2%의 주파수 천이가 발생하고, 4x4 배열구조에서는 약 4%의 주파수 천이가 발생한다. 논문[15]와 같이 공기층 높이가 높아질수록 주파수 천이가 적어지다가 공기층 높이가 6mm 보다 커지면 주파수 천이없이 패치안테나의 공진주파수와 동일한 2.45GHz에서 공진함을 확인할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 공기층 높이를 6mm 이상으로 설정하고 우선적으로 원형편파 패치안테나의 안테나 축비를 3dB 이내로 유지하면서 최대의 이득을 얻을 수 있는 공기층 높이를 도출하였다.

그림 5는 공기층 높이를 6mm부터 40mm까지 2mm씩 증가하면 안테나의 이득과 축비를 구한 결과이다. 그림에서 심볼 ■는 안테나 이득이고, 심볼 ●는 안테나 축비를 나타낸다. 상부덮개가 3x3 배열구

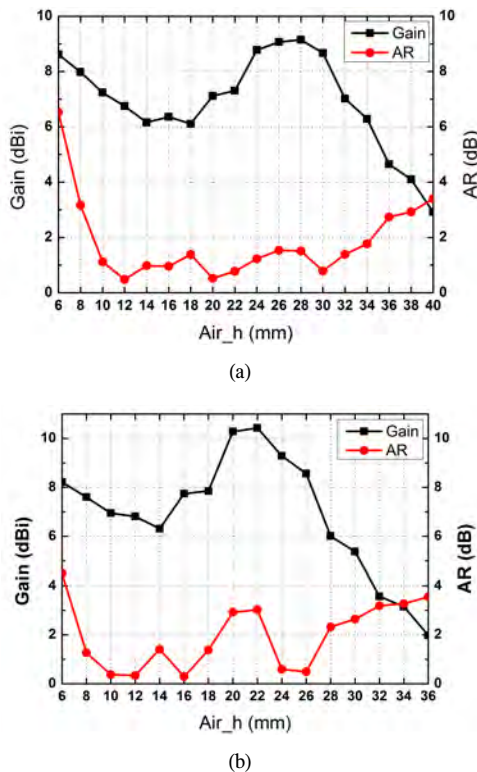


그림 5. 공기층 높이 변화에 따른 안테나 이득 및 축비. (a) 3x3 배열구조의 상부덮개를 갖는 안테나, (b) 4x4 배열구조의 상부덮개를 갖는 안테나
 Fig. 5. Antenna gain and axial ratio in accordance with the variation of the air-gap height (a) in case of the superstrate with 3x3 array (b) in case of the superstrate with 4x4 array

조인 그림 5(a)를 살펴보면, 공기층 높이가 10mm이하로 낮을 때는 안테나 축비를 만족하지 못하고, 10mm에서 22mm 구간은 안테나 축비를 만족하지만 이득이 낮다. 또한, 공기층 높이가 30mm이상에서는 공기층 높이에 비례하여 축비는 커지면서 반대로 안테나 이득은 감소한다. 따라서, 안테나 축비를 우선적으로 만족하면서 높은 안테나 이득을 얻을 수 있는 최적의 공기층 높이는 24mm와 30mm 사이에서 존재한다. 상부덮개가 4x4 배열구조인 그림 5(b)에서도 유사한 경향을 확인할 수 있고, 최적의 공기층 높이는 대략 20mm와 26mm 사이에서 존재한다.

그림 6은 제안된 안테나의 전계분포를 보이고 있다. 그림 6(a)는 상부덮개없이 패치안테나만 있는 경우이고, 그림 6(b)와 6(c)는 각각 3x3 배열과 4x4 배열의 상부덮개를 추가한 경우이다. 상부덮개가 없는 경우에는 에너지가 사방으로 넓게 퍼져나가지만 FLC

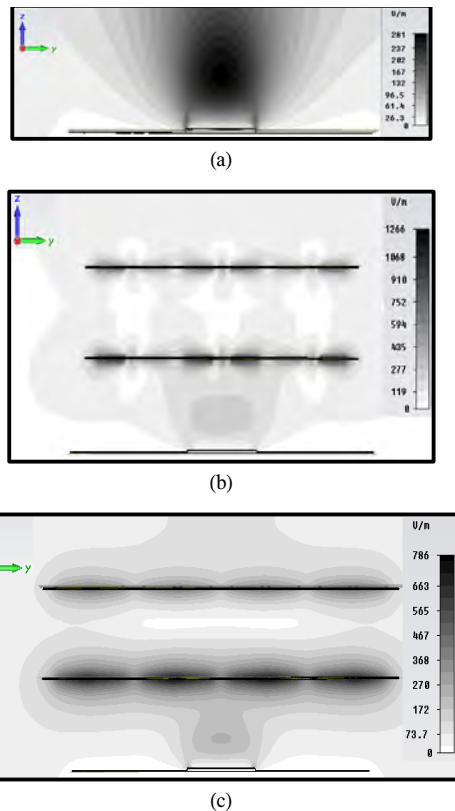


그림 6. 제안된 안테나의 전계 분포 (a) 상부덮개가 없는 패치안테나, (b) 3x3 배열구조의 상부덮개를 갖는 안테나, (c) 4x4 배열구조의 상부덮개를 갖는 안테나
 Fig. 6. E-field distribution of the proposed antenna (a) in case of patch antenna without the superstrate (b) in case of the superstrate with 3x3 array (b) in case of the superstrate with 4x4 array

형상의 메타물질 구조를 갖는 상부덮개가 렌즈 역할을 하여 유효개구면(effective aperture) 크기를 증가시킨다. 그림에서 보듯이 FLC 형상의 메타물질 구조에서 에너지가 진행방향으로 집중되는 것을 확인할 수 있고, 3x3 배열의 상부덮개보다 4x4 배열의 상부덮개에서 에너지가 진행방향으로 집중된다. 따라서 에너지가 진행방향으로 집중되므로 안테나의 지향성(directionality)이 향상되어 안테나 이득이 증가하게 된다.

그림 7은 그림 6의 결과를 확인하기 위해 제안된 안테나의 방사패턴을 x-z면과 y-z면에서 보이고 있다. 그림 7에서 확인할 수 있듯이 상부덮개가 추가되면 진행방향으로 에너지가 집중됨을 확인할 수 있고, 3x3 배열보다는 4x4 배열의 지향성이 다소 우수하다. 즉, 에너지 집중도를 나타내는 3dB 방사각(radiation angle)은 패치안테나만 있는 경우에 81.9°이지만 3x3 배열 구조의 상부덮개를 추가하면 45.3°로 집중되고,

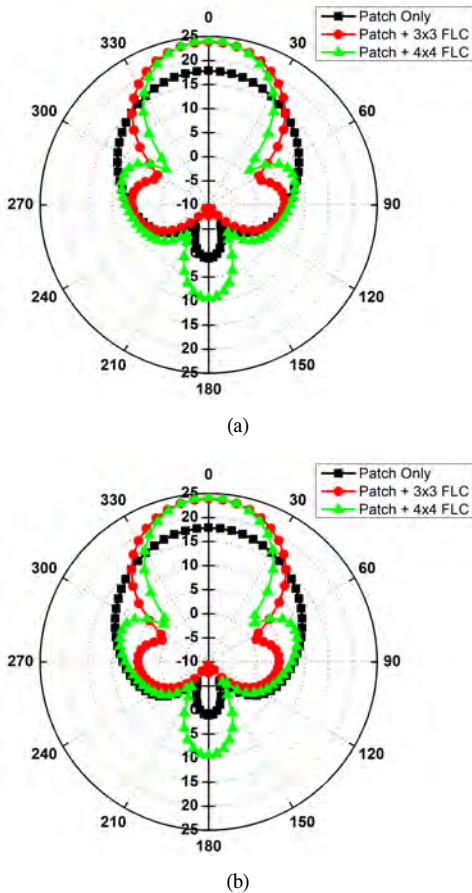


그림 7. 제안된 안테나의 방사패턴. (a) x-z plane, (b) y-z plane
 Fig. 7. Radiation pattern of the proposed antenna. (a) x-z plane, (b) y-z plane

4x4 배열구조의 상부덮개에서는 39.5°로 집중된다.

그림 8은 최적화된 공기층 높이에서 제안된 안테나의 이득과 축비에 대한 성능을 보이고 있다. 최적화된 공기층 높이는 그림 5에서 구해진 공기층 높이의 범위 내에서 3dB 이하의 안테나 축비를 만족하면서 안테나 이득을 비교하여 도출하였다. 그림 8(a)는 반사

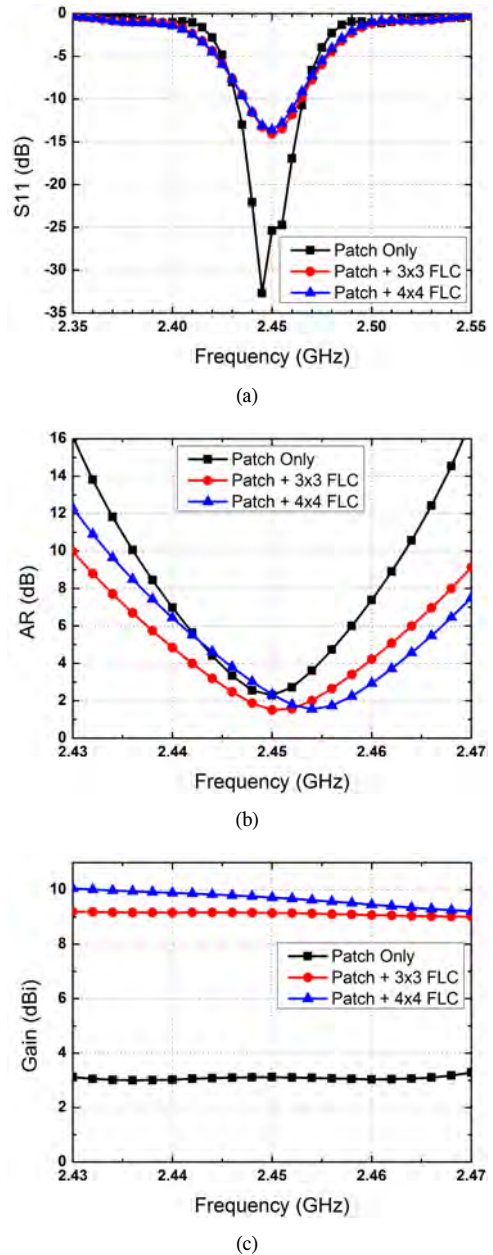


그림 8. 제안된 안테나의 성능. (a) 반사손실, (b) 안테나 축비, (c) 안테나 이득
 Fig. 8. Performance of the proposed antenna. (a) Return loss, (b) axial ratio, (c) antenna gain

손실 특성이고, 패치안테나에 3x3 배열 또는 4x4 배열을 갖는 상부덮개를 추가하여도 안테나의 공진주파수가 2.45GHz로 동일함을 확인할 수 있다. 그림 8(b)는 안테나 축비이고, 패치안테나의 원형편파 특성을 유지하는지를 판단할 수 있다. 그림에서 보듯이 패치안테나에 상부덮개를 추가하더라도 2.45GHz 대역에서 안테나 축비가 3dB 이내로 유지됨을 확인할 수 있다. 그림 8(c)는 안테나 이득이고, 2.45GHz에서 패치안테나만 있는 경우에 3.11dBi의 이득을 갖는다. 패치안테나에 3x3 배열의 상부덮개를 추가할 경우 최대 9.15dBi의 이득을 가지므로 6.04dB의 이득 향상을 얻을 수 있고, 4x4 배열의 상부덮개를 추가할 경우 최대 9.59dBi의 이득을 가지므로 6.48dB의 이득 향상을 얻을 수 있다. 이같은 결과를 2.45GHz 대역에서 CSSRR 구조를 갖는 상부덮개를 적용한 논문 [4]와 비교하면 다음과 같다. 논문 [4]에서는 패치안테나의 원형편파 특성을 유지하면서도 최대 3.1dB의 이득 향상을 얻지만, 제안된 구조는 6dB이상의 이득 향상을 얻을 수 있다. 논문 [4]에서는 최적의 공기층 높이로 대략 0.1λ 를 제시하고 있다. Fig. 5를 보면 본 논문에서 제안된 구조는 공기층 높이가 대략 0.1λ 인 12mm 일 때 가장 좋은 안테나 축비 특성을 유지하면서도 안테나 이득이 6.7dBi이상이므로 3.6dB의 이득향상을 얻을 수 있다. 이는 논문 [4]와 동일한 공기층 높이를 갖는다고 가정할 때 안테나 이득이 0.5dB 우수하다. 또한, 제안된 안테나는 3x3 배열과 4x4 배열에서 공기층 높이가 대략 0.2λ 인 28mm와 25mm 일 때 원형편파 특성을 유지하면서도 각각 6.04dB와 6.48dB의 이득향상을 얻을 수 있음을 확인하였다. 이는 논문 [4]에 비해 안테나 이득이 3dB이상 향상된 결과이다.

IV. 결 론

FLC 형상의 메타물질구조를 갖는 상부덮개를 이중으로 적층하여 높은 이득을 갖는 원형편파 패치안테나 구조를 제안하였다. 상부덮개는 FLC 형상의 단위셀을 3x3 배열 또는 4x4 배열 구조를 적용하였고, 패치안테나 위에 일정한 높이의 공기층을 두고 배치된다. 먼저 고이득의 안테나를 설계하기 위해 원형편파 패치안테나와 상부덮개 사이의 최적의 공기층 높이를 유출하였다. 이를 위해 상부덮개에 의한 주파수 천이가 없고, 원형편파 특성을 유지하면서도 고이득을 얻을 수 있는 공기층 높이는 3x3 배열과 4x4 배열에서 각각 28mm와 25mm를 도출하였다. 이는 2.45GHz 대역에서 대략 0.2λ 에 해당되므로 상대적으로 낮은

안테나 프로파일을 유지할 수 있다. 4x4 배열구조를 갖는 상부덮개에 최적의 공기층 높이를 적용함으로써 제안된 안테나는 최대 9.59dBi의 안테나 이득을 갖는데 이는 상부덮개가 없는 패치안테나에 비해 안테나 이득이 6.48dB 향상된 결과이다. 또한, 제안된 안테나는 3dB 이하의 낮은 안테나 축비를 갖는데 이는 상부덮개를 추가하더라도 패치안테나의 원형편파 특성이 잘 유지됨을 의미한다. 결과적으로 상부덮개를 이중 적층함으로써 안테나의 유효 개구면 크기가 증가되어 안테나 이득향상 효과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

References

- [1] D. R. Jackson and N. G. Alexopoulos, "Gain enhancement methods for printed-circuit antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. AP-33, no. 9, pp. 976-987, Jan. 1985.
- [2] C. Kim, K.-H. Lee, S. Lee, K.-T. Kim, and Y.-K. Yoon, "A surface micromachined high directivity GPS patch antenna with a four-leaf clover shape metamaterial slab," *62nd Electronic Components & Technol. Conf. 2012*, pp. 942-947, Jun. 2012.
- [3] S. Lee, "Analysis of the effects by multi-stacking of superstrates on circular-polarized patch antenna," *J. IEIE*, vol. 51, no. 3, pp. 202-209, Mar. 2014.
- [4] T. N. Chang, M. C. Wu, and J.-M. Lin, "Gain enhancement for circularly polarized microstrip patch antenna," *Progress in Electromagnetics Research*, vol. 17, pp. 275-292, 2009.
- [5] S. Chaimool, K. L. Chhung, and P. Akkaraekthalin, "Bandwidth and gain enhancement of microstrip patch antennas using reflective metasurface," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E93-B, no. 10, Oct. 2010.
- [6] D. Zarifi, H. Oraizi, and M. Soleimani, "Improved performance of circularly polarized antenna using semi-planar chiral meta-material covers," *Progress in Electromagnetics Research*, vol. 123, pp. 337-354, 2012.
- [7] K. Chen, K. Lin, and H. Su, "Microstrip antenna gain enhancement by metamaterial radome with more subwavelength holes," *Microwave Conf. & APMC 2009*, pp. 790-792,

Dec. 2009.

- [8] A. P. Feresidis, G. Goussetis, S. Wang, and J. C. Vadamoglou, "Artificial magnetic conductor surface and their application to low-profile high-gain planar antenna," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, no. 1, pp. 209-215, Jan. 2005.
- [9] A. Alu, N. Engheta, A. Erentok, and R. W. Ziolkowski, "Single-negative, double-negative, and low-index metamaterials and their electromagnetic applications," *IEEE Antennas Propag. Mag.*, vol. 49, no. 1, pp. 23-26, Feb. 2007.
- [10] S. Lee, M.-H. Lee, S.-Y. Rhee, and N. Kim, "Embodiment of high impedance surface of meta-material characteristic using symmetrical AMC structure and its SAR," *J. KICS*, vol. 38B, no. 9, pp. 744-750, 2013.
- [11] S. H. Yoon, "Study on performance enhancement of microstrip antenna using EBG structure," *J. KICS*, vol. 39B, no. 1, pp. 44-52, 2014.
- [12] S. H. Yoon and J. K. Kim, "Performance analysis of the uni-directional radiation equiangular antenna over EBG surface," *J. KICS*, vol. 40, no. 8, pp. 1622-1630, 2015.
- [13] Rogers Corp, RT/duroid 6006/6010M High Frequency Laminates, 2011, from <http://www.rogerscorp.com>
- [14] C. A. Balanis, *Modern Antenna Handbook*, New York: Wiley, 2008.
- [15] M. Ramahi and Y. T. Lo, "Superstrate effect on the resonant frequency of microstrip antennas," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 5, no. 6, pp. 254-257, Jun. 1992.

이 상 록 (Sangrok Lee)



1991년 2월 : 고려대학교 전자
전산공학과 졸업

1993년 2월 : 고려대학교 전자
공학과 석사

1997년 8월 : 고려대학교 전자
공학과 박사

1997년 12월~2000년 4월 : 한
국전자통신연구원

2000년 5월~2002년 8월 : (주)텔리언

2002년 9월~현재 : 신한대학교 IT융합공학부 전자공
학전공 교수

<관심분야> 안테나 설계, 메타물질구조