

저고도각 고이득 특성을 이용한 3 소자 CRPA 배열 안테나 설계

류성준*, 변강일**, 이준용***, 추호성*

Design of Three-elements CRPA Arrays Using Improved Low-elevation Gain

Sungjun Yoo*, Gangil Byun**, Jun-yong Lee**, Hosung Choo*

요 약

본 논문에서는 저고도각 고이득 특성을 이용한 3 소자 CRPA 배열 안테나 설계를 제안하였다. 제안된 안테나는 급전패치와 방사패치로 구성되어 있으며, 급전패치에 동축케이블을 통해 급전부가 직접 연결되고 방사패치에 전자기적으로 간접급전되어 저고도각 이득 특성이 개선되는 구조를 가진다. 제안된 배열안테나의 성능 측정을 전파무반사실에서 수행하였으며, 전면 방향 이득은 2.8 dBic, 축비 특성은 2.7 dB, 75°의 저고도각 평균 이득이 -1.4 dBic를 나타내어 항재밍 성능을 갖는 CRPA 안테나로 적합함을 확인하였다.

Key Words : GPS antenna; controlled reception pattern antenna array; microstrip patch antennas; low-elevation gain antenna; antenna array

ABSTRACT

In this paper, we propose a three-element CRPA array with improved low-elevation gain. The proposed antenna consists of a feed patch and a radiating patch, and the feed patch is connected by a coaxial cable. The radiating patch is electromagnetically coupled to the feed patch, which allows to improve the low-elevation gain of the antenna. To demonstrate the suitability of the proposed antenna, the antenna characteristics are measured in a full anechoic chamber. The resulting bore-sight gain is 2.8 dBic with an axial ratio of 2.7 dB, and the average gain at the low-elevation direction of 75° is -1.4 dBic. The results verify that the proposed antenna is suitable for CRPA arrays with anti-jamming capability.

I. 서 론

정확한 위치 정보를 제공하는 위성 위치 확인 시스템(GPS)은 선박, 항공기, 미사일과 같은 다양한 군수분야에서 타격 정밀도를 향상시키기 위한 무기체계에서 필수요소로 자리 잡고 있다[1,2]. 재밍 신호와 같은 GPS 전파교란은 GPS 시스템의 심각한 성능 열화를 초래할 수 있으며, 이러한 재밍 신호에 대한 해결책으로 배열안테나의 합성패턴을 위성 신호 방향으로 조향하고, 원하지 않는 신호방향에 널을 생성하는 CRPA(Controlled Reception Pattern Antenna) 기술에 대한 연구가 주목 받고 있는 추세이다[3]. CRPA에서 효과적으로 간섭신호원에 널을 생성하기 위해서는 배열안테나의 개별소자는 균일한 패턴, 원형편파 특성, 저고각에서 높은 이득 특성을 가져야 한다[4]. CRPA 안테나는 합성패턴을 이용하여 위성신호를 수신하는 동시에 저고각에서 자주 발

생하는 재밍신호에 대해서 널을 생성해야 하므로 저고도각에서 안테나의 이득 특성은 매우 중요하다. 하지만 대부분의 연구는 안테나의 전면방향에서 이득 특성을 개선시키는 부분에 집중되어 있다[5-7]. 그 예로서 안테나의 추가적인 구조물을 삽입하여 안테나의 지향성을 극대화한 연구로 유전체와 같은 물질을 렌즈로 사용한 연구[8, 9], 반사판을 이용하여 안테나의 이득 특성을 극대화 시킨 연구가 제안되었다[10]. CRPA의 최적 성능을 도출하기 위해 저고도각에서의 이득특성 개선을 위한 연구가 진행되나 있으나[11], 개별안테나에 대한 설계로 제한되어 있어 배열 형상 및 배열 특성에 대한 연구는 미흡하다. 개별소자를 이용하여 제한된 공간에 배열 할 경우, 개별소자 간 발생하는 상호결합과 같은 간섭으로 인해 합성패턴의 왜곡이 발생하게 되므로 안테나의 배열 특성에 대한 심도 있는 연구가 요구 된다.

본 논문에서는 방사패치와 급전패치를 이용하여 저고도

* 본 연구는 방위사업청 및 국방과학연구소의 재원에 의해 설립된 신호정보 특화연구센터 사업의 지원을 받아 수행하였음.

*홍익대학교 전자전기공학과 안테나 시스템 및 응용 연구실 (ryoonet@naver.com, hschoo@hongik.ac.kr),

홍익대학교 과학기술연구소 (kylebyun@gmail.com), *홍익대학교 컴퓨터공학부 (jlee@hongik.ac.kr), 교신저자 : 이준용

접수일자 : 2017년 5월 25일, 최종게재확정일자 : 2017년 6월 15일

각에서 이득특성을 개선하기 위한 CRPA 배열 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 급전패치에 안테나의 급전부가 동축케이블을 통해 연결되어 있으며, 방사패치를 급전패치와 전자기적으로 간접 급전되도록 삼입함으로써 저고도각의 이득의 개선이 가능하도록 하였다. 안테나가 광대역 정합특성을 가지도록 안테나 기판은 비유전율 10의 낮은 유전율을 갖는 기판을 사용했으며, 9 mm 이상의 높은 기판의 두께를 이용하여 낮은 Q-factor를 유지하도록 하였다. 제안된 안테나의 성능을 검증하기 위해 제작된 안테나의 반사계수, 전면 방향이득, 축비특성, 방사패턴과 같은 안테나 성능을 전파무반사실에서 측정하였으며, 안테나는 전면 방향이득이 2.8 dBiC, 저고도각에서의 평균 이득이 -1.4 dBiC로 항재밍 성능을 갖는 CRPA 안테나로 적합함을 확인하였다.

II. 3 소자 CRPA 배열 안테나 설계

그림 1은 제안된 안테나의 형상을 보여준다. 제안된 안테나는 급전패치와 방사패치로 이루어져있으며, 급전패치의 한 변의 길이는 w_2 이며, 동작주파수를 고려하여 반 파장 길이로 설계하였다. 급전 핀의 위치는 (x_1, y_1) 이며, 급전패치에 동축케이블을 이용해 직접급전 된다. 원형편파를 도출하기 위해 급전패치의 두 개의 모서리를 w_3 만큼 잘라냈으며, 원형편파의 대역폭을 향상시키기 위해 급전패치와 그라운드 사이 (x_2, y_2) 에 합선 핀을 연결하였다. 방사패치는 급전패치와 전자기적으로 간접 급전 되도록 급전패치 상부에 위치시켰으며, 한 변의 길이는 w_1 이 되도록 설계했다. 유전체 기판은 한 변의 길이 w_4 , 높이 1.57 mm를 갖는 타코닉사에서 제조된 CER10 ($\epsilon_r = 10.0, \tan\delta = 0.035$)을 사용하였다. 안테나가 장착되는 그라운드 플랫폼에 3개의 슬롯을 추가하여 저고도각에서 이득특성을 개선하였으며, 안테나의 성능을 추가적으로 개선하기 위해 FEKO EM 시뮬레이터[12]와 유전자 알고리즘[13]을 연동하여 최적화하였으며, 최적화 된 안테나의 설계변수를 표 1에 정리하여 나타내었다.

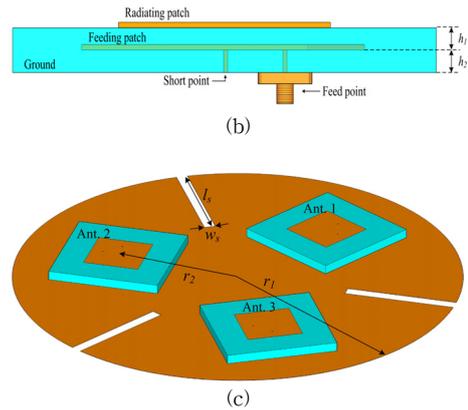
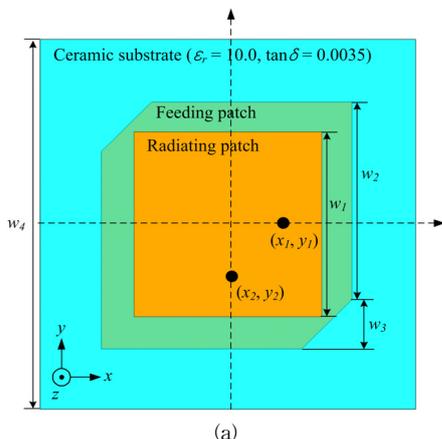


그림 1. 제안된 안테나의 형상 (a)Top view, (b)Side view, (c)Array antenna

표 1. 제안된 안테나의 설계 변수

Parameters	Value
w_1	25.9 mm
w_2	26.6 mm
w_3	4.9 mm
w_4	50.0 mm
h_1	3.14 mm
h_2	6.28 mm
(x_1, y_1)	(9.4 mm, 0 mm)
(x_2, y_2)	(1.0 mm, -9.0 mm)
r_1	70 mm
r_2	40 mm
l_s	37 mm
w_s	2.0 mm

III. 제작 및 측정

제안된 안테나의 성능을 검증하기 위해서 전파 무반사실에서 안테나의 반사계수, 전면방향이득, 축비특성, 방사패턴과 같은 안테나 특성을 측정하였다. 그림 2는 제안된 안테나의 반사계수 측정값과 시뮬레이션 값을 비교한 그래프이며 실선은 측정값 점선은 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 측정된 반사계수의 경우, 1.575 GHz에서 -15.4 dB, 10-dB 대역폭은 145 MHz ($S_{11} < -10$ dB, 1485-1630 MHz)의 성능을 보인다. 시뮬레이션 값의 경우, 1.575 GHz에서 -19.1 dB, 10-dB 대역폭은 96 MHz ($S_{11} < -10$ dB, 1623-1527 MHz)으로 측정값과 유사하게 나타남을 확인하였다.

그림 3은 제안된 배열안테나의 소자 간 상호결합 특성을 보여준다. 개별소자 간 거리는 70 mm (0.37λ)이며, 안테나 소자 1과 2의 상호결합 특성은 1.575 GHz에서 -13.4 dB, 개별소자 2와 3은 -14.3 dB, 개별소자 3과 1은 -13.5 dB의 값을 가진다. 그림 4는 제안된 안테나의 전면방향 이득에 대한 측정값과 시뮬레이션 값을 비교한 그래프이다.

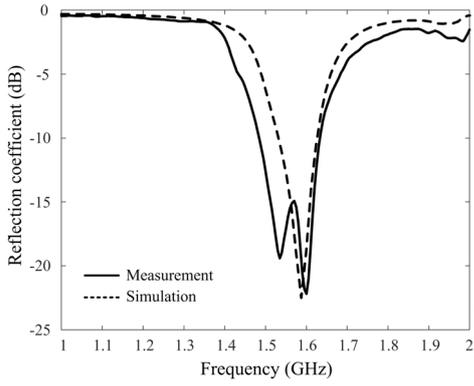


그림 2. 제안된 안테나의 반사 계수

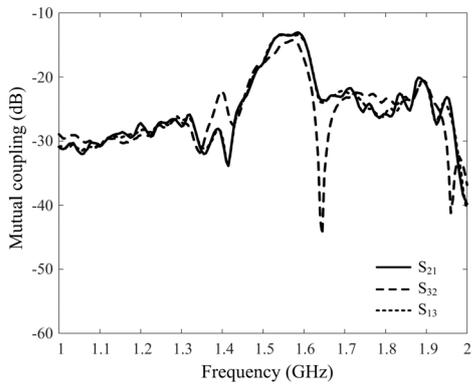


그림 3. 제안된 안테나의 상호결합 특성

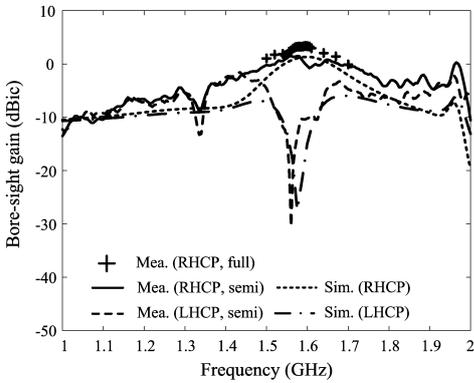


그림 4. 제안된 안테나의 전면방향 이득

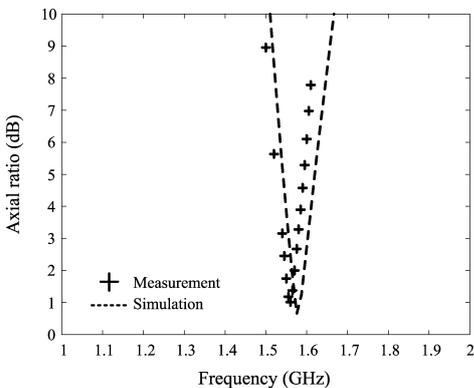


그림 5. 제안된 안테나의 축비 특성

점선은 시뮬레이션값을 의미하며, ‘+’로 표시된 것은 전파 무반사실의 측정값을 나타낸다. 1.575 GHz에서 측정값은 2.8 dBic, 시뮬레이션값은 1.1 dBic의 성능을 보이며, 측정값과 시뮬레이션 값이 매우 유사하게 나타남을 확인하였다. 그림 5는 제안된 안테나의 축비성능에 대한 결과를 보여주며, 1.575 GHz에서 측정값과 시뮬레이션 값은 각각 2.7 dB, 0.65 dB로 안테나가 원형편파 특성을 가짐을 확인하였다. 그림 6(a)와 (b)는 제안된 안테나의 방사패턴에 대한 시뮬레이션 값과 측정값을 비교하여 나타낸 그림이다. 1.575 GHz에서 zx -평면의 경우, 반전력 빔폭(Half Power Beam Width)의 측정값은 95° , zy -평면의 경우, 측정값은 100° 의 값을 가짐을 확인하였다. cross polarization level의 경우 zx -평면에서 최대 -40 dB, 상반구 평균 -22.3 dB의 값을 가지며, zy -평면에서 최대 -33.2 dB, 상반구 평균 -16.9 dB의 값을 나타낸다.

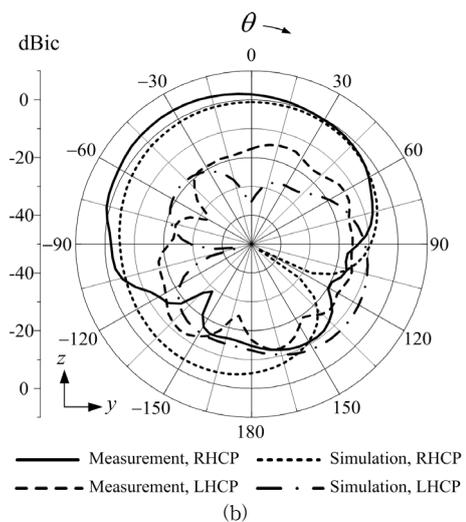
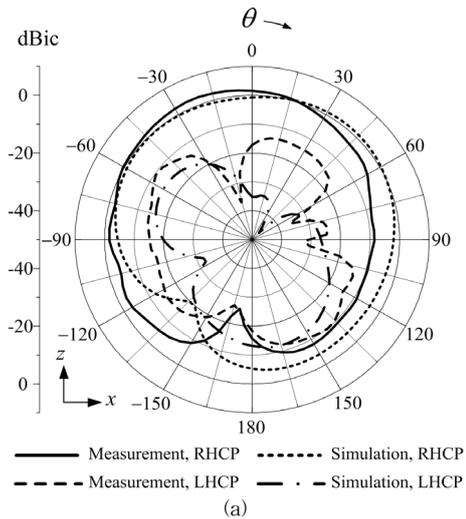


그림 6. 제안된 안테나의 2-D 방사패턴 (a) zx -plane, (b) zy -plane

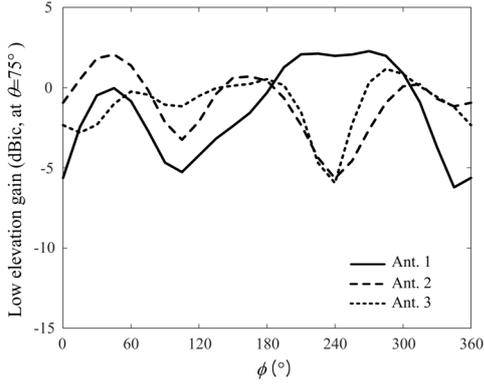
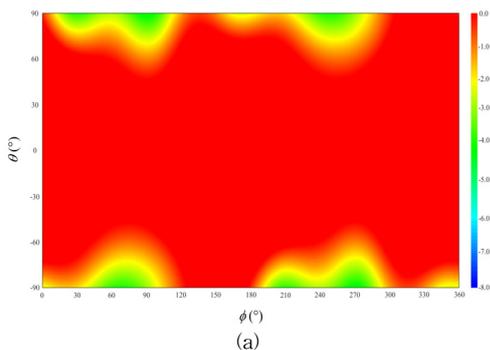


그림 7. 제안된 안테나의 저고도각 이득 특성

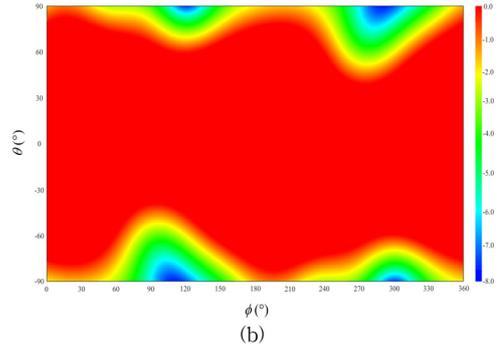
그림 7은 제안된 안테나의 저고도각에서 이득 특성을 확인하기 위해 θ 가 75° 에서 방위각에 따른 3개 소자의 이득 특성을 측정했다. 소자 1의 경우, 최대 이득은 2.3 dBic, 평균 -1.4 dBic 이고 소자 2의 경우 최대 이득은 2.1 dBic, 평균 -1.0 dBic, 소자 3의 경우, 최대 이득은 1.2 dBic, 평균 -1.1 dBic의 값을 나타낸다.

IV. CRPA 배열안테나 분석

그림 8은 배열안테나 그라운드 플랫폼의 슬롯의 유무에 따른 안테나의 상반구에서 방사패턴을 비교한 결과이다. 그라운드 플랫폼에 슬롯이 없는 경우, RHC 이득 특성은 θ 가 60° 이상으로 감에 따라 급격하게 감소하는 경향을 보이며, $\theta = 60^\circ$, $\phi = 285^\circ$ 에서 -6.6 dBic의 이득특성을 갖는 반면, 제안된 안테나의 경우 -1.5 dBic의 이득값으로 5.1 dB 개선 효과가 있음을 알 수 있다. 그림 9는 그라운드 플랫폼의 삽입되는 슬롯의 길이와 너비에 따른 안테나 이득특성에 대한 결과를 보여준다. $\theta = 90^\circ$ 일 때, 안테나의 평균이득 및 최소이득은 슬롯의 길이 l_s 가 37mm까지 증가함에 따라 높아지는 경향을 보인다. 그림 9(b)는 슬롯의 너비에 따른 안테나의 이득 특성 비교 결과이며, 슬롯의 너비 w_s 는 l_s 에 비해 저고도각 이득특성 개선에 대한 효과는 상대적으로 작지만 저고도각 이득특성 개선을 위한 최적의 슬롯 너비는 2.0 mm이다.

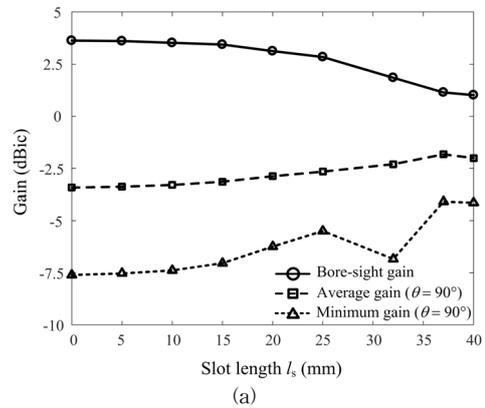


(a)

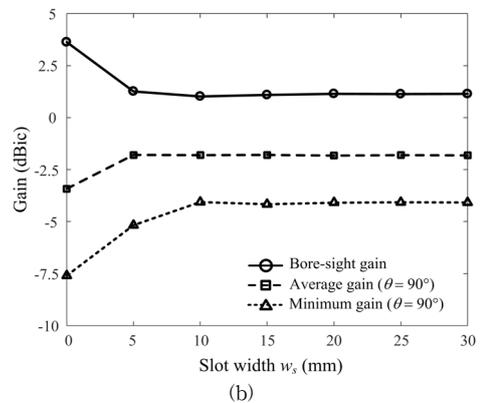


(b)

그림 8. 제안된 안테나의 3-D 방사패턴 (a)Proposed antenna (with slot), (b)Reference antenna (without slot)



(a)



(b)

그림 9. Slot 변수에 따른 안테나 이득특성 변화 (a) Slot length (l_s), (b) Slot width (w_s)

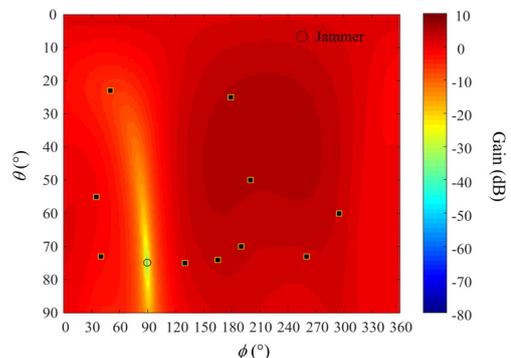


그림 10. 제안된 안테나의 null 조향 패턴 (재머의 위치: $\phi=90^\circ$, $\theta=75^\circ$)

그림 10은 간접 신호원인 재머가 $\phi = 90^\circ$, $\theta = 75^\circ$ 에 위치할 때, 상반구에서 조향 패턴의 널링 성능을 나타낸 결과를 보여준다. 재머가 위치한 곳에서 -53.2 dB의 널링 이득을 가지며, 다른 방향에서는 이득특성의 왜곡 없이 위성 신호를 수신하는 것을 확인하였다. 따라서 저고도각의 이득특성을 개선한 제안된 배열안테나가 재밍신호에 대해서 널을 생성함과 동시에 위성신호를 수신하기에 적합한 안테나임을 확인할 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 3 소자 CRPA 배열 안테나 설계를 위해 저고도각에서 고이득 특성을 갖는 마이크로스트립 패치안테나 소자를 제안하였다. 제안된 안테나는 급전패치와 방사패치로 구성되어 있으며, 급전패치의 한 변의 길이는 동작주파수를 고려하여 약 반 파장 길이가 되도록 설계하였다. 동축케이블을 이용하여 급전패치에 직접 급전하였으며, 방사패치는 급전패치에 의해 간접 급전되어 저고도각 이득 특성이 개선되는 형상을 가진다. 안테나의 기판은 타코닉사에서 제조된 CER10 ($\epsilon_r = 10.0$, $\tan\delta = 0.035$)을 사용하여 패치를 인쇄하였다. 추가적으로 안테나의 저고도각에서 이득특성을 개선하기 위해, 안테나가 장착되는 그라운드 플랫폼에 3개의 슬롯을 추가하였다. 제안된 안테나의 성능을 검증하기 위해 제작된 안테나의 반사계수, 전면방향이득, 축비특성, 방사패턴과 같은 안테나 성능을 전파무반사실에서 측정하였으며, 안테나는 전면 방향이득이 2.8 dBic, 축비특성은 2.7 dB, 저고도각에서의 평균 이득이 -1.4 dBic로 항재밍 성능을 갖는 CRPA 안테나로 적합함을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] Per Enge, Todd Walter, Sam Pullen, Changdon Kee, Yi-Chung Chao, and Yeou-jyh Tsai, "Wide area augmentation of the Global Positioning System," IEEE Proceedings, vol. 84, no. 8, pp. 1063-1088, 1996.
- [2] Seebany Datta-Barua, Jiyun Lee, Sam Pullen, Ming Luo, Alexandru Ene, Di Qiu, Godwin Zhang, and Per Enge, "Ionospheric threat parameterization for local area Global-Positioning-System-Based aircraft landing systems," Journal of Aircraft, vol. 47, no. 4, pp. 1141-1151, 2010.
- [3] G. Byun, H. Choo, and S. Kim, "Design of a small arc-shaped antenna array with high isolation for applications of controlled reception pattern antennas," IEEE transaction on antennas and propagation, vol. 64, no. 4, pp. 1542-1546, 2016.
- [4] Jeremy R. Lambert, Constantine A. Balanis, and Dennis

DeCarlo, "Spherical cap adaptive antennas for GPS," IEEE Antennas Propagation Magazine, vol. 57, no. 2, pp. 406-413, 2009.

- [5] Fa-Shian Chang, Kin-Lu Wong, and Tzung-Wern Chiou, "Low-cost broadband circularly polarized patch antenna," IEEE Antennas Propagation Magazine, vol. 51, no. 10, pp. 3006-3009, 2003.
- [6] The-Nan Chang and Jyun-Ming Lin, "Circularly polarized antenna having two linked slot-rings," IEEE Antennas Propagation Magazine, vol. 59, no. 8, pp. 3057-3060, 2011.
- [7] Hua-Ming Chen and Kin-Lu Wong, "On the circular polarization operation of annular-ring microstrip patch antennas," IEEE Antennas Propagation Magazine, vol. 47, no. 8, pp. 1289-1292, 1999.
- [8] Hristo D. Hristov and H. A. Herben, "Millimeter-wave fresnel-zone plate lens and antenna," IEEE Transaction on microwave theory and techniques, vol. 43, no. 12, pp. 2779-2785, 1995.
- [9] Lu Yang, Yong Zeng, and Rui Zhang, "In-band wireless information and power transfer with lens antenna array," IEEE Communications Letters, vol. 21, no. 1, pp. 100-103, 2017.
- [10] Amir. Galehdar, Paul J. Callus, Wayne S. T. Rowe, Chun H. Wang, Sabu John, and Kamran Ghorbani, "Capacitively fed cavity-backed slot antenna in carbon-fiber composite panels," IEEE antenna and wireless propagation Letters, vol. 11, pp. 1028-1031, 2012.
- [11] S. Yoo, G. Byun, and H. Choo, "Design of microstrip patch antennas with improved low-elevation gain for CRPA applications," Microwave and Optical Technology Letters, vol. 58, no. 1, pp. 1289-1292, 2015.
- [12] FEKO EM Simulation Software, Altair Engineering Inc., 2017. Available: <http://www.altair.co.kr>
- [13] Y. Rahmat-Samii and E. Michielssen, Electromagnetic optimization by genetic algorithms, New York, Wiley, 1st ed., 1999.

저자

류 성 준(Sungjun Yoo)



- 2014년 2월 : 홍익대학교 전자전기공학과 (공학사)
- 2016년 8월 : 홍익대학교 전자정보통신공학과 (공학석사)
- 2016년 9월~현재 : 홍익대학교 전자정보통신공학과 박사과정

<관심분야> : GPS 배열안테나, 안테나 설계 및 위치 최적화

변 강 일(Gangil Byun)



- 2010년 2월 : 홍익대학교 전자전기공학과 (공학사)
- 2012년 2월 : 홍익대학교 전자정보통신공학과 (공학석사)
- 2015년 8월 : 한양대학교 전자컴퓨터 통신공학과 (공학박사)

· 2015년 9월~현재 : 홍익대학교 과학기술연구소 연구교수
<관심분야> : 빔포밍 배열안테나 기술, 안테나설계 및 최적화, 차량 및 항공기용 안테나, 방향 탐지 및 항재밍 배열 안테나

이 준 용(Jun-yong Lee)



- 1986년 2월 : 서울대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
- 1988년 2월 : 미국 미네소타 주립대 EECS (공학석사)
- 1996년 5월 : 미국 미네소타 주립대 EECS (공학박사)

· 1996년 5월~1997년 2월 : 미국 IBM 연구원
· 1997년 3월~현재 : 홍익대학교 컴퓨터공학과 교수
<관심분야> : 컴퓨터시스템 응용, 임베디드 시스템, 실시간 프로세싱 등

추 호 성(Hosung Choo)



- 1998년 2월 : 한양대학교 전파공학과 (공학사)
- 2000년 8월 : 미국 University of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학석사)
- 2003년 5월 : 미국 University of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학박사)

· 2003년 6월~현재 : 홍익대학교 전자전기공학부 교수
<관심분야> : 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한 안테나 설계, RFID용 태그 및 리더안테나 등