

고 이득 순차 회전 배열 마이크로스트립 안테나의 설계

A Design of High Gain Sequentially Rotated Array Microstrip Antenna

박 병 우 · 한 정 세*

Byoung-Woo Park · Jeong-Se Han*

요 약

본 논문에서는 3중(4+8+4-소자) 순차 회전 배열을 기본 부 배열로 하는 256-소자 순차 회전 배열 안테나를 설계하였다. 본 3중(4+8+4-소자) 순차 회전 배열 안테나는 3개의 동심 각으로 구성되어 있으며, 내각과 외각에는 각각 4개의 소자가, 중간 각에는 8개의 소자가 배열되어 있다. 안테나 이득을 극대로 하기 위하여 내각과 외각의 배열인자를 $M=4, P=1$ 로, 중간 각에는 $M=8, P=1$ 로 하였다. 제안하는 3중(4+8+4)-소자 순차 배열 안테나와 256-소자 순차 회전 배열 안테나에 대한 모의분석 및 실험 결과들을 비교했을 때 집적도, 교차 편파준위 및 이득 특성 측면에서 모두 우수한 특성을 보였다.

Abstract

In this paper, the sequentially rotated array(SRA) antenna with 256 elements applicable for satellite broadcasting reception was designed by arraying this triple(4+8+4 element) SRA antenna as a sub-array antenna. The structure of a triple SRA antenna is a combination of three coaxial shells composed with 4 elements of inner shell and 8 elements of middle shell and 4 elements of outer shell. In accordance with the optimum design rules for realizing a high gain antenna, the sequential array factors(M, P) of inner shell and outer shell have been chosen $M=4$ and $P=1$ and that of middle shell has been chosen $M=8$ and $P=1$. The results of the simulation and the measurement for the proposed triple(4+8+4 element) SRA antenna and the SRA antenna with 256 elements show good characteristics on the integration, bandwidth of the axial ratio and the cross-polarization, the gain respectively.

Key words : Triple Sequentially Rotated Arraying Technique, Three Coaxial Shells, SRA Antenna with 256 Elements

I. 서 론

최근 위성 방송 수신용 안테나 시스템은 광대역 수신 대역폭에 걸쳐 고 이득이어야 할 뿐만 아니라 원형 편파 특성 및 넓은 축비 대역폭을 가져야 한다. 이러한 용도에 적합한 안테나로서는 P. S. Hall이 제안한 순차 회전 배열 안테나(sequentially rotated array antenna)가 있다.

순차 회전 배열 안테나는 정의된 기준 각도들로

각 배열 소자들을 물리적으로 회전시키고, 소자 개개의 물리적 회전 각도를 각각 보상할 수 있는 위상과 등 진폭으로 여기하는 방법으로서, 각 배열 안테나 소자에서 방사되는 전계는 동일 시간에 동일 방향이 된다. 따라서 원형 편파 특성과 축비 대역폭의 확장을 기할 수 있게 된다^{[2]~[6]}.

순차 회전 배열 안테나의 급전 선로는 급전점에서 각 방사 소자까지의 선로 길이 차이에 따른 위상 지연을 통해 물리적으로 순차 회전된 각 안테나 소

*이 논문은 2007학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

충북대학교 전자공학과(Dept. of Electronic Engineering, Chungbuk National University)

*한국폴리텍IV대학 청주캠퍼스 정보통신홈네트워크과(Dept. of Information Communication & Homenetwork, Cheongju Campus of Korea PolytechnicIV Colleges)

· 논문 번호 : 20080201-015

· 수정완료일자 : 2008년 7월 14일

자의 물리적 위상을 보상하는 배열 방법으로서, 각 배열 안테나 소자에서 방사되는 전계는 동일 시간에 동일 방향이 된다. 따라서 원형 편파 특성과 축비 대역폭의 확장을 기할 수 있게 된다^[6]. 그러나 순차 회전 구조는 다중 반사, 급전 회로망 반사, 급전 위상 오차가 발생할 수가 있으며, 이 경우에 축비 대역폭이 감소되는 단점도 있다^[3].

본 논문에서는 위성 방송 수신용 평면 안테나를 설계하기 위하여 첫째, 넓은 사용 주파수 대역폭, 광대역 축비 특성을 만족시키기 위하여 자체적으로 원형 편파 특성을 갖는 단일 프로브 급전 방식을 사용한 모 절삭 적층형 마이크로스트립 안테나를 기본 소자로 사용한다. 둘째, 안테나의 면적은 작으면서도 고 이득을 실현할 수 있는 고 집적 안테나를 설계하기 위하여 3중(4+8+4) 소자 순차 회전 배열 안테나를 제안하고, 제안된 3중(4+8+4) 소자 순차 회전 배열 안테나를 4x4 평면 배열함으로써 256 소자 순차 회전 배열 안테나를 설계하였다.

이들에 대한 시뮬레이션 결과와 실제 제작 측정 한 결과들을 분석하였다.

II. 256 소자 순차 회전 배열 안테나 설계 및 특성

2-1 3중(4+8+4 소자) 순차 회전 배열 안테나

본 논문에서는 고 집적, 고 이득 특성을 동시에 만족시키는 안테나를 설계하기 위해 3중(4+8+4) 순차 배열 안테나를 제안하였다. 그 구조는 내원에 4개 소자, 중간원에는 8개 소자 그리고 외원에 4개 소자로 구성된다. 여기서 기본 안테나 소자로는 중심 주파수가 11.85 GHz 위성 방송 수신 대역에서 동작하며, 자체적으로 좌원 편파(LHCP) 특성을 갖는 단일 프로브 급전 모 절삭 적층형 마이크로스트립 안테나를 사용하였다. 그리고 각 기본 소자들에는 등 진폭, 정격 위상을 급전할 수 있도록 마이크로스트립 선로에 의한 공동 급전 회로를 설계하였다. 여기서 그림 1(a)의 3중 순차 회전 배열에 사용된 16개 소자들을 4개 소자씩 4사분면으로 나눈 다음, 급전 단자에서 각 사분면까지는 T형 분배기를 사용하여 동일한 길이이며, 대칭으로 설계하였으며, 해당 사분면 내에서

는 길이를 조정하여 정격 급전 위상에 맞추어 주었다.

고 집적 3중 16 소자 순차 회전 배열 안테나를 설계하기 위하여 배열 정수 변화에 따른 단일 SRA 안테나 특성을 Ensemble#8.0으로 시뮬레이션한 결과를 사용하였다.

단일 SRA 안테나 특성을 시뮬레이션한 결과, 소자수가 4개인 $M=4, P=1(0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ)$ 인 경우에는 이득 13.31 dBi, 소자수가 8개인 $M=8, P=1(0^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ, 67.5^\circ, 112.5^\circ, 135^\circ, 157^\circ)$ 인 경우에는 16.44 dBi로 $P=1$ 이 아닌 다른 값일 때보다 고 이득 특성을 나타내었다.

표 1은 3중(4+8+4) 순차 회전 안테나에 실제 급전한 진폭 및 위상 특성이며, 그림 1은 3중(4+8+4) 소자 순차 배열 안테나의 구조와 실물 사진이다.

표 2는 중간 각 배열 $M=8, P=1$, 내각 배열 그리고 외각 배열을 $M=4, P=1$ 인 배열 정수를 선택한 3중 순차 배열 안테나의 시뮬레이션 및 측정 결과이다.

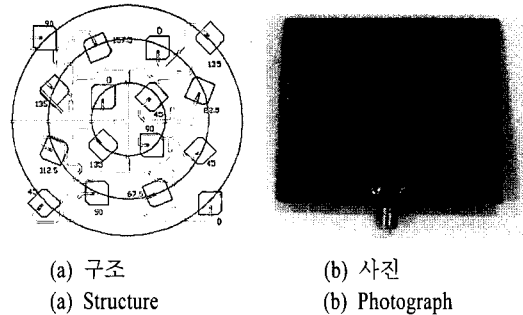


그림 1. 3중 순차 배열 안테나
Fig. 1. Triple(4+8+4) SRA antenna.

표 1. 3중 순차 회전 안테나에 급전한 진폭 및 위상
Table 1. Feed of triple(4+8+4) SRA(Amp. & Phase).

사분면	이론값		실 급전값		사분면	이론값		실 급전값	
	진폭 (dB)	위상 (°)	진폭 (dB)	위상 (°)		진폭 (dB)	위상 (°)	진폭 (dB)	위상 (°)
1면	-12	22.5	-13.31	23.2	2면	-12	0	-12.47	1.3
	-12	45	-12.28	43.3		-12	135	-12.23	134.2
	-12	0	-12.12	2.2		-12	90	-11.68	89.2
	-12	135	-12.05	137.3		-12	157.5	-12.40	158.3
3면	-12	90	-12.38	91.8	4면	-12	0	-12.87	0
	-12	45	-12.07	45.8		-12	67.5	-13.45	68.02
	-12	112.5	-11.75	112.9		-12	90	-12.84	92.3
	-12	135	-11.68	136.5		-12	45	-12.73	46.7

표 2. 3중 순차 배열 안테나의 시뮬레이션 및 측정 결과

Table 2. Simulation & measured results of triple SRA.

	시뮬레이션 결과	측정 결과
반사 손실 (10 dB 이하)	11.3 ~ 12.7 GHz (약 11.8 %)	11.62 ~ 12.19 GHz (약 4.8 %)
축비 대역폭 (3 dB 이하)	11.3 ~ 12.65 GHz (약 11.3 %)	10.85 ~ 12.45 GHz (약 13.5 %)
이득 (11.85 GHz)	18.93 dBi	19.22 dBi
교차 편파	0° 평면: -42 dBc 이하	0° 평면: -27 dBc 이하
	90° 평면: -42 dBc 이하	90° 평면: -27 dBc 이하

2-2 256 소자 SRA 안테나 설계

위성 방송 수신 안테나는 주파수가 11.7~12.0 GHz에서 동작되므로 10 dB 반사 손실 대역폭은 중심 주파수(11.85 GHz)에서 약 2.53 % 이상이어야 하며, 원 편파 특성을 나타내는 3 dB 축비 대역폭도 약 2.53 % 이상, 좌원 편파(LHCP)와 우원 편파(RHCP)의 편파 분리도인 교차 편파 준위는 -20 dBc 이하, 그리고 방송용 위성에서 지구국으로 송신하는 EIRP (Effective Isotropic Radiation Power), 즉, 실효등방성 방사전력이 59.4 dBW이므로 위성 수신 안테나 이득이 최소 23 dBi 이상이 되어야 한다^[10].

본 연구에서는 위성 방송 수신용 안테나를 제작하기 위하여 3중(4+8+4) 소자 기본 부 배열로 하며, 이를 4×4 평면 배열한 256 소자 순차 회전 배열 마이크로스트립 안테나를 설계하였다.

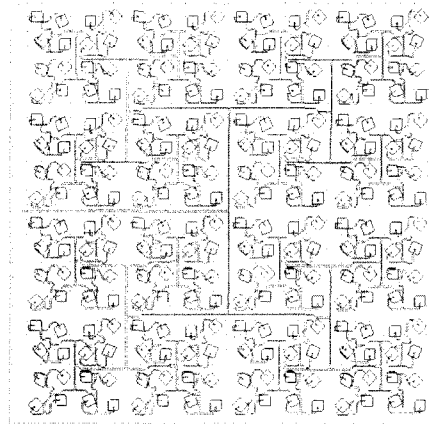
급전 회로는 4×4 평면 배열된 3중 SRA간의 상호 결합 효과를 줄이기 위하여 급전 단자에서 각 3중 SRA까지의 급전부는 윌킨슨 전력 분배기를 사용하여 설계하였다.

그림 2는 제작된 256 소자 SRA 안테나의 모습이다.

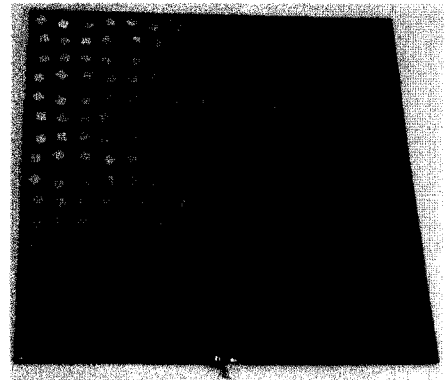
2-3 256 소자 SRA 안테나 시뮬레이션

3중 SRA 안테나를 기본 부 배열로 하는 256 소자 SRA 안테나의 시뮬레이션 결과는 그림 3과 같다.

10 dB 반사 손실 대역폭은 10.95 ~ 12.85 GHz (약 16 %)이고, 원 편파 특성인 3 dB 축비 대역폭은 11.45 ~ 12.55 GHz(약 9.2 %)로 광대역 특성을 나타내



(a) 256 소자 SRA 안테나의 구조
(a) Structure of SRA antenna with 256 elements

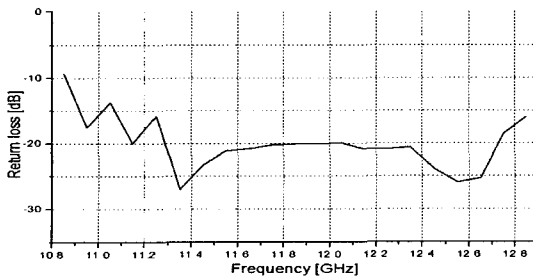


(b) 256 소자 SRA 안테나의 사진
(b) Photograph of SRA antenna with 256 elements

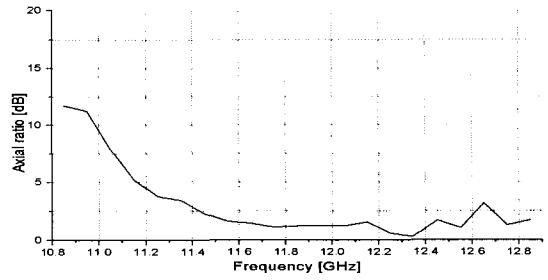
그림 2. 256 소자 순차 배열 안테나
Fig. 2. SRA antenna with 256 elements.

고 있다. 그리고 교차 편파는 0° 평면, 90° 평면에서 -25 dBc, -26 dBc 이하를 보였다. 이득은 11.85 GHz에서 30.07 dBi로 좋은 특성을 확인하였다. 반사 손실 대역폭은 약 16 %로 위성 방송 수신 안테나 최소 대역폭 2.53 %를 만족하며 사용 주파수 대역에서 넓은 광대역 특성을 보였으며, 원 편파 특성인 축비 대역폭은 약 9.2 %로 위성 방송 수신 안테나 최소 대역폭 2.53 %를 만족하며 광대역 축비 특성을 얻었다.

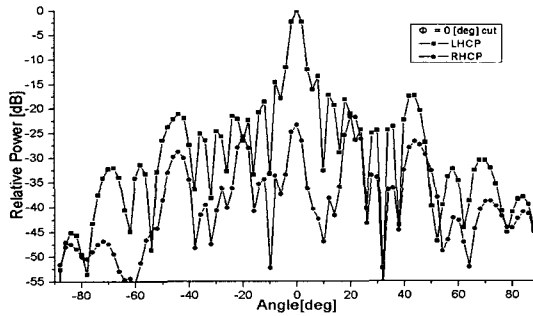
교차 편파는 -25 dBc로 위성 방송 수신 안테나 최소 교차 편파 -20 dBc 이하를 충족하고, 이득은 30.7 dBi로 위성 방송 수신 안테나 최소 이득 23 dBi를 만족하며, 고 이득 특성을 지니므로 사용 주



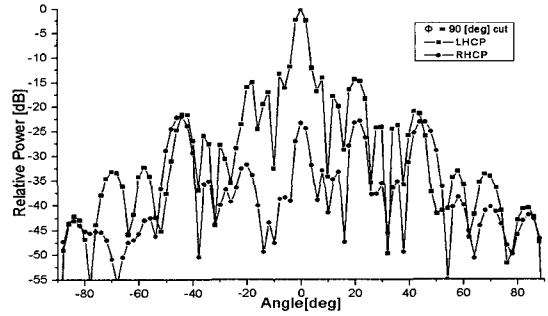
(a) 반사 손실
(a) Return loss



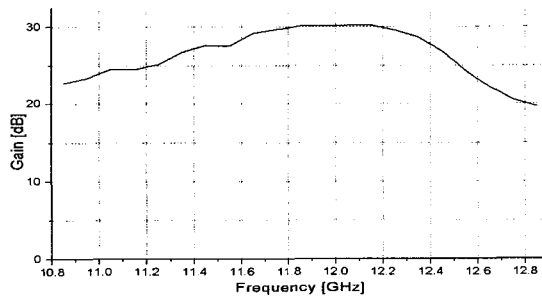
(b) 축비
(b) Axial ratio



(c) 0°-평면 방사 패턴
(c) 0° plane radiation pattern



(d) 90°-평면 방사 패턴
(d) 90° plane radiation pattern



(e) 이득
(e) Gain

그림 3. 256 소자 SRA 안테나의 시뮬레이션 결과
Fig. 3. Simulation results of SRA antenna with 256 elements.

파수가 11.7~12.0 GHz인 위성 방송 수신 안테나로 적합함을 확인하였다.

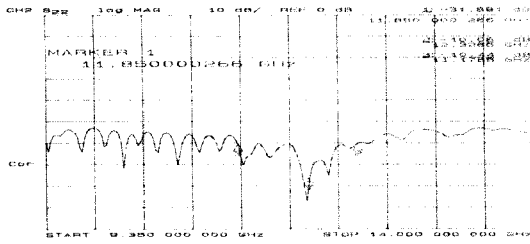
2-4 256 소자 SRA 안테나 측정

3중(4+8+4 소자) SRA 안테나를 기본 부 배열로 하는 256 소자 SRA 안테나의 측정 결과는 그림 4와 같다.

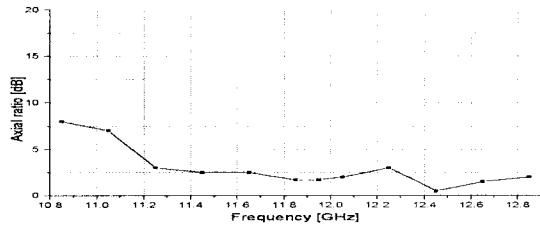
256 소자 SRA 안테나를 제작하여 측정한 결과, 반사 손실 대역폭은 약 9.7 %로서 광대역 사용 주파

수 대역 특성을 얻었다. 그리고 원 편파 특성인 축비 대역폭은 약 13.5 %로서, 위성 방송 수신 안테나 최소 대역폭 2.53 %를 만족하며 넓은 광대역 축비 특성을 보였다.

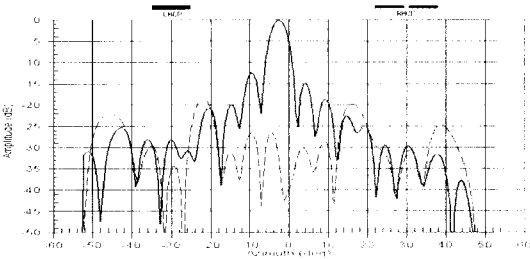
교차 편파는 -40 dBc, -37 dBc로 위성 방송 수신 안테나 최소 교차 편파 -20 dBc 이하를 충족하고 낮은 교차 편파 준위를 나타냈으며, 이득은 11.85 GHz에서 29.31 dBi로 위성 방송 수신 안테나 최소 이득 23 dBi를 충족한다. 그리고 기존 상용화된 파라



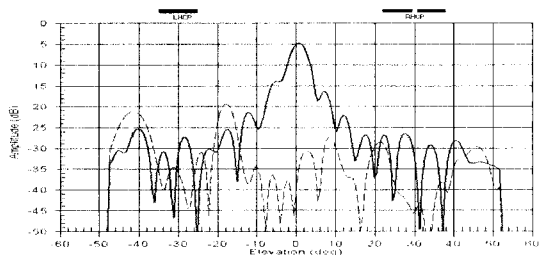
(a) 반사 손실
(a) Return loss



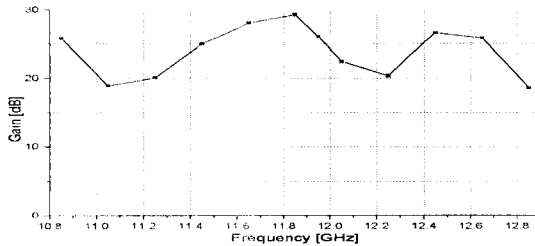
(b) 축비
(b) Axial ratio



(c) 0°-평면 방사 패턴
(c) 0° plane radiation pattern



(d) 90°-평면 방사 패턴
(d) 90° plane radiation pattern



(e) 이득
(e) Gain

그림 4. 256 소자 SRA 안테나의 측정 결과
Fig. 4. Measured results of SRA antenna with 256 elements.

볼라 안테나 이득 30~35 dBi, 국내에서 기 개발된 위성 수신 안테나인 256 소자 SRA 안테나 이득 28.9 dBi보다 높은 고 이득 특성을 확인하였다.

또한, 파라볼라 안테나 크기(직경 45 cm, 70 cm)와 국내에서 기 개발된 2×2 순차 회전 배열 안테나를 기본 부 배열로 하는 256 소자 순차 회전 배열 평면 안테나(38×38 cm)에 비해 본 논문의 256 소자 SRA 안테나(27.84×27.95 cm)는 평면 면적은 54 % 작아지고 집적화가 실현되었으며, 3 dB 축비 대역폭은 4.2 배, 이득은 7.41 dB 증가하였다.

III. 결 론

본 논문에서는 고 이득, 낮은 교차 편파 준위, 광대역 축비 특성을 갖는 위성 방송 수신용 평면 안테나를 제작하기 위하여 고 집적 3중 순차 회전 배열 방법을 제안하였으며, 이 3중 순차 회전 배열 안테나를 4×4 평면 배열한 256 소자 순차 회전 배열 안테나를 설계 제작하였다.

본 논문에서 제시한 256-소자 순차 회전 배열 안테나는 반사 손실, 축비 대역폭 관점에서 광대역 특성을 보였으며, 교차 편파는 0° 평면, 90° 평면에서 낮은 교차 편파 준위를 보였다. 이득은 중심 주파수 11.85 GHz에서 29.31 dBi로서 고 이득 특성을 보였다. 또한, 27.84×27.95 cm의 안테나 크기로서, 소형

경량이므로 실내용 위성 수신 안테나로 적합함을 확인하였다.

본 논문에서 제안한 3중 16 소자 순차 회전 안테나를 기본 부 배열로 하여 위성 방송 수신 안테나 또는 위성 통신용 안테나를 설계한다면 고 집적 및 고 이득 특성을 동시에 얻을 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] M. Haneishi, "Circularly polarized SHF planar array composed of microstrip pairs-element", in *Proc. Int. Sym. Antenn. Propagat., ISAP 85*, Tokyo, 1985.
- [2] P. S. Hall, J. S. Dahele, and J. R. James, "Design principle of sequentially fed wide bandwidth circularly polarized microstrip antennas", *IEE Proc. Pt. H*, vol. 136, no. 5, pp. 381-389, 1989.
- [3] P. S. Hall, "Application of sequential feeding to wide bandwidth circularly polarized microstrip patch array", *IEE Proc. H*, vol. 136, no. 5, pp. 390-398, 1989.
- [4] T. Teshirogi, M. Tanaka, and W. Chujo, "Wideband circularly polarized array antennas with sequential rotation and phase shift of elements", *Proc. Int. Symp. on Antennas & Propagat., Japan*, vol. 1, pp. 117-120, Aug. 1985.
- [5] J. Huang, "A technique for an array to generate circular polarization with linearly polarized elements", *IEEE Trans. on Antennas and Propagat.*, vol. AP-34, no. 9, Sep. 1986.
- [6] P. C. Sharma, K. C. Gupta, "Analysis and optimized design of single feed circularly polarized microstrip antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-31, no. 6, pp. 949-955. Nov. 1983.
- [7] P. S. Hal, C. M. Hall, "Coplanar corporate feed effects on microstrip patch array design", *IEE Proc. H*, vol. 135, no. 3, pp. 180-186, 1988.
- [8] 양태식, 이범선, "십자 슬롯을 이용한 광대역 원형 편파 적층 개구 결합 마이크로스트립 안테나", *한국전자과학회논문지*, 11(5), pp. 748-753, 2000년 8월.
- [9] 진경수, 정치현, 박병우, "삼각형 격자를 갖는 순차 회전 안테나의 설계", *한국전자과학회논문지*, 11(7), pp. 1282-1290, 2000년 11월.
- [10] 한정세, 이현성, 서동국, 박병우, "순차 회전 배열 마이크로스트립 안테나", *한국전자과학회논문지*, 19(9), pp. 1005-1014, 2007년 9월.
- [11] 한정세, 이현성, 서동국, 박병우, "순차 배열 정수에 따른 순차 회전 배열 안테나의 특성", *한국콘텐츠학회논문집*, 7(6), pp. 95-111, 2007년.

박 병 우



1977년: 한양대학교 전자통신공학과 (공학사)
 1983년: 한양대학교 전자통신공학과 (공학석사)
 1991년: 한양대학교 전자통신공학과 (공학박사)
 1989년~현재: 충북대학교 전자공

학과 교수

1995년~1996년: Univ. of Texas 방문교수

[주 관심분야] 안테나, 수치 해석, 고주파 회로 설계

한 정 세



1991년: 청주대학교 전자공학과 (공학사)
 1994년: 충북대학교 전자공학과 (공학석사)
 2008년: 충북대학교 전자공학과 (공학박사)
 1994년~2001년: LG전자 선임연구

원

2001년~현재: 한국폴리텍IV대학 청주캠퍼스 부교수

[주 관심분야] 안테나, RFID, 고주파 회로 설계