

순차 회전 배열 마이크로스트립 안테나

Sequentially Rotated Array Microstrip Antenna

한정세 · 이현성* · 서동국* · 박병우*

Jeonng-Se Han · Hyun-Sung Lee* · Dong-Kug Seo* · Byoung-Woo Park*

요 약

본 논문에서는 4-소자 순차 회전 배열, 8-소자 순차 회전 배열, 4-소자 순차 회전 배열 기준 2x2 평면 배열, 3중(4+8+4)-소자 순차 회전 배열 등 4종류의 순차 회전 배열 안테나를 분석하였다. 본 순차 회전 배열 안테나는 중심 주파수 11.85 GHz인 좌원 편파(LHCP), 프로브 급전 트렁 케이티드 마이크로스트립 안테나를 사용하였다. 각 안테나 소자들에는 등 진폭, 정격 위상을 급전할 수 있도록 마이크로스트립 선로에 의한 공동 급전 회로를 설계하였다. 4종류의 순차 회전 배열 안테나에 대한 모의 실험 및 측정 결과들을 비교했을 때, 제안된 3중(4+8+4)-소자 순차 배열 안테나가 집적도, 교차 편파 준위 및 이득 특성 측면에서 가장 우수함을 보였다.

Abstract

In this paper, The four types SRA(Sequentially Rotated Array) antennas has been analyzed. Those are consisted of a 4-elements SRA, a 8-elements SRA, the 2x2 planer array SRA and the triple (4+8+4)-elements SRA. These LHCP SRA antennas are used a probe feeding multi-layer truncated microstrip antenna whose center frequency is 11.85 GHz. The cooperated feeding circuits are designed for feeding to each elements with equal amplitude and regular phase. Comparing with the each simulation results and experiment results of this 4-type SRA antennas, the triple (4+8+4)-elements SRA showed the most electrical characteristics in the degree of integration, high gain and low cross polarization.

Key words : Sequentially Rotated Array, Antenna, Microstrip

I. 서 론

마이크로스트립 패치 안테나는 크기가 작고, 경량이며, 제작이 용이하고, 인쇄 회로 기술에 의한 대량 생산이 가능하기 때문에 위성 통신 및 이동 통신 시스템에 많이 사용되고 있다. 그러나 마이크로스트립 안테나 및 그 배열 안테나는 대역폭이 좁다는 단점이 있어 넓은 주파수 범위에 걸쳐 원형 편파이면서 교차 편파 특성을 만족해야 하는 위성 방송 수신 안테나를 설계하기가 어렵다^[1]. 단일 패치 안테나의 대역을 개선하기 위한 방법으로 적응 방식, 기생 소자

를 이용하는 방식 등이 연구되어 왔지만 이런 방법 등은 부피가 증가되고 물리적으로 패치가 커지는 단점이 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서 배열을 구성하는 각 소자들을 정의된 기준 각도의 배수가 되도록 물리적으로 회전시키고, 소자 개개의 물리적 회전 각도를 보상하는 위상과 동일한 진폭으로 여기하는 순차 회전 배열 안테나(sequentially rotated array antenna)를 사용한다^{[2] [3]}.

순차 회전 배열 안테나는 배열 면에 수직인 방향(boresight)으로 완전한 원형 편파를 방사하게 되며, 사용된 배열 안테나 소자의 편파에 의존하지 않는

한국폴리텍IV청주대학(Cheongju College of Korea Polytechnic IV)

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

· 논문 번호 : 20070321-038

· 수정완료일자 : 2007년 9월 5일

다. 그러나 순차 회전 구조는 다중 반사, 급전 회로 망 반사, 급전 위상 오차가 발생할 수가 있으며, 이 경우에 축비 대역폭이 감소되는 단점도 있다^[1].

본 논문에서는 위성 방송 수신 대역에서 사용할 수 있도록 넓은 사용 주파수 대역폭, 광대역 축비 특성 및 고 이득 특성을 동시에 만족시킬 수 있는 안테나를 설계하기 위하여 단일 급전 구조를 갖는 프로브 소스 급전 방식을 사용한 4-소자 안테나, 8-소자 안테나, 4-소자 기준 2x2 평면 배열 안테나, 3중 (4+8+4)-소자 순차 회전 배열 안테나에 대한 시뮬레이션과 실제 제작 측정하여 각 안테나들의 특성을 비교 분석하였다. 특히 안테나의 작은 크기이면서 고 이득을 실현하기 위하여 고집적 순차 회전 배열 안테나인 3중(4+8+4)-소자 순차 회전 배열 안테나를 제안하였다.

II. 순차 회전 배열 안테나 설계 및 특성

2-1 순차 회전 배열

순차 회전 배열은 급전점에서 각 방사 소자까지의 길이 차이에 따른 순차적 위상 지연을 물리적으로 회전시켜 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].

순차 회전 배열 방법에서 m번째 패치의 위상은 기준축의 물리적인 회전 ψ_{pm} 과 급전점의 위상 ψ_{em} 으로 표현할 수 있다. 각 소자의 방사 특성이 ψ 방향으로 $2\pi/n$ 의 각도 주기를 갖는다면 ψ_{em} 과 ψ_{pm} 은 아래 식과 같다^[2].

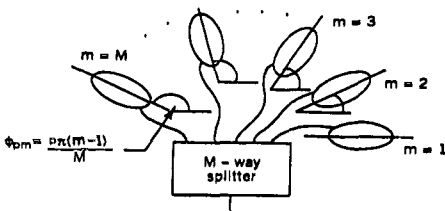
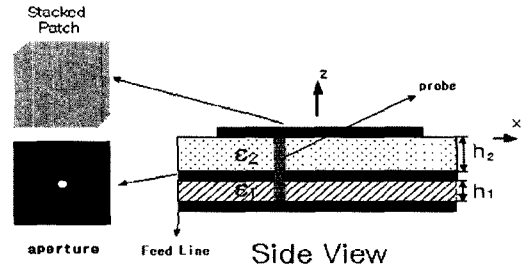


그림 1. m개 소자의 순차 회전 배열
Fig. 1. Sequentially-rotated array of m segment.



ϵ_1	ϵ_2	h_1	h_2
2.5	2.5	0.254 mm	0.7874 mm

기판 종류[ϵ_1, ϵ_2 : TLX-9]

그림 2. 프로브 급전형 안테나 구조
Fig. 2. The structure of probe feeder.

$$\psi_{em} = \pm(m-1) \frac{P\pi}{M}$$

$$\psi_{pm} = \pm(m-1) \frac{P\pi}{nM}, \quad 1 \leq m \leq M \quad (1)$$

여기서 P는 정수(0<P<M), M은 방사 소자 총수, n은 마이크로스트립 디스크 소자에 대한 모드의 수이다. '+'는 LHCP, '-'는 RHCP를 나타낸다.

그림 2는 본 논문에서 제작된 단일 급전형 프로브 소스 방식을 적용한 적층 구조를 나타내었다.

본 논문에서는 위성 방송 수신 대역인 11.85 GHz에서 유전율이 2.5인 테프론 적층 기판에, 안테나 소자간 중심 간격을 $0.78 \lambda_0$ 인 조건에서 단일 급전 프로브 소스 급전 방법을 적용하여 M=4, P=1인 안테나를 제작하였으며, 넓은 사용 주파수 대역폭, 광대역 축비 특성 및 고 이득 특성을 동시에 만족시키는 안테나를 설계하기 위한 고집적 순차 회전 배열로써 M=8, P=1인 안테나를 기본으로 하는 3중(4+8+4)-소자 순차 회전 배열 안테나를 제작하여 특성을 비교하였다.

2-2 4-소자 안테나

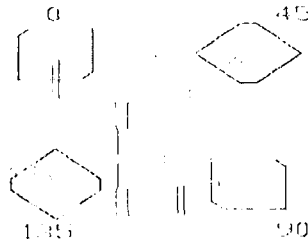
본 논문의 안테나를 설계하기 위해 Ensemble8.0을 이용하여 시뮬레이션 하였고, M=4, P=1(0°, 45°, 90°, 135°)인 LHCP 4-소자 배열 안테나를 제작, 반사 특성, 축비, 편파, 이득을 측정하였다. 그림 3(a)는 M=4, P=1인 순차 회전 안테나의 급전부로 표 1과 같이 (0°, 45°, 90°, 135°)에서 등 진폭 및 정격 위상 특성을 보이며, 시뮬레이션 특성으로써 반사 손실이 10 dB

표 1. 4-소자 안테나 급전(진폭 및 위상)
Table 1. Feed of 4-elements antenna(amp. & phase).

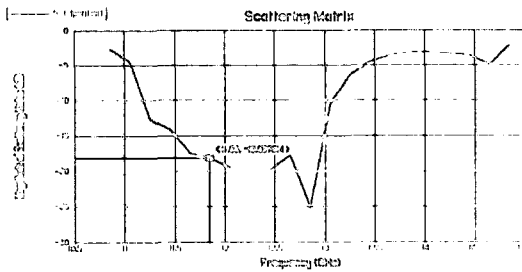
이론값		시뮬레이션 급전값	
진폭(dB)	위상(°)	진폭(dB)	위상(°)
-6	0	-5.93	0
-6	45	-5.76	46.5
-6	90	-5.92	87.05
-6	135	-6.08	134

이하인 주파수는 11.25~13.15 GHz(약 16%)이고, 원형 편파 특성인 축비의 3dB 대역폭은 11.25~12.65 GHz(약 11.81%) 광대역 특성을 보이고, 이득은 13.33 dB, 교차 편파는 0° 평면, 90° 평면에서 -40 dB 이하를 보였다.

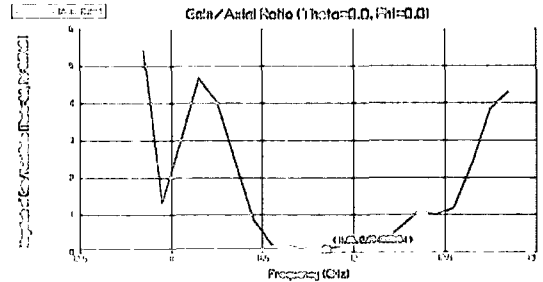
그림 4는 $M=4, P=1(0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ)$ 인 4-소자 배열 안테나를 제작하여 반사 특성, 축비, 편파, 이득을 측정하였다. 그림 4(a)는 $M=4, P=1$ 인 제작된



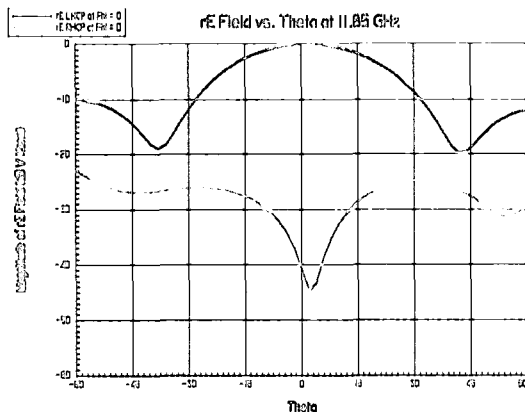
(a) 4-소자 순차 회전 안테나 모델
(a) Model of 4-elements SRA antenna



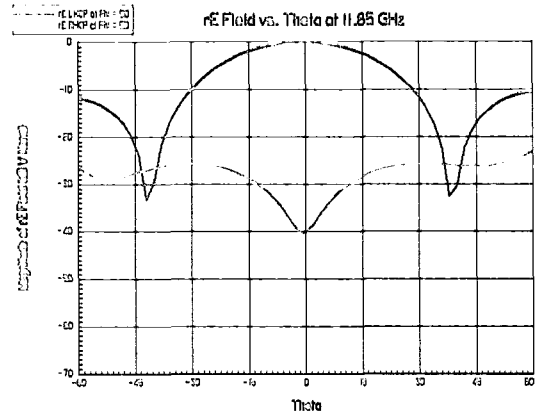
(b) 반사 손실
(b) Return loss



(c) 축비
(c) Axial ratio

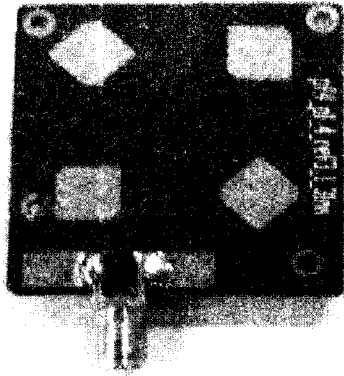


(d) 0°-방사 패턴
(d) 0°-radiation pattern

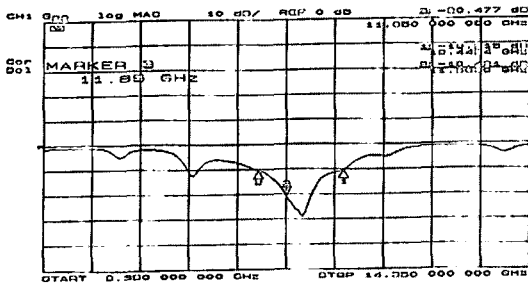


(e) 90°-방사 패턴
(e) 90°-radiation pattern

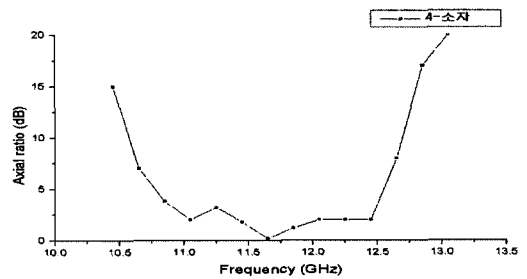
그림 3. 4-소자 안테나 시뮬레이션 결과
Fig. 3. Simulation result of 4-elements antenna.



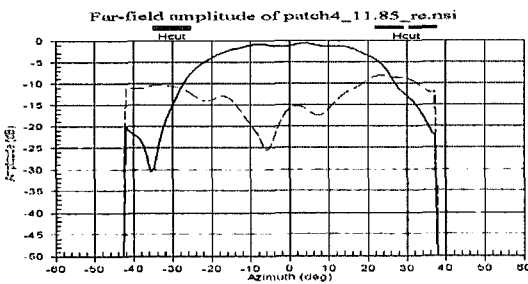
(a) 제작된 4-소자 순차 회전 안테나
(a) Fabricated 4-elements SRA antenna



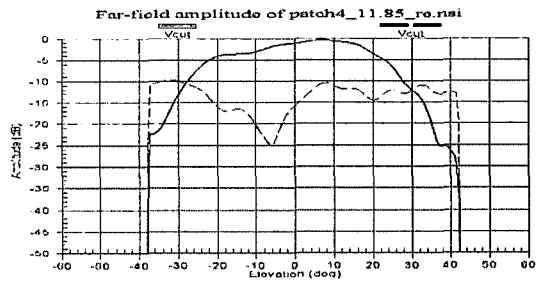
(b) 반사 손실
(b) Return loss



(c) 축비
(c) Axial ratio



(d) 0°-방사 패턴
(d) 0°-radiation pattern



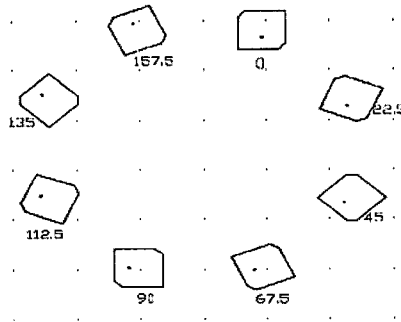
(e) 90°-방사 패턴
(e) 90°-radiation pattern

그림 4. 4-소자 순차 회전 안테나 측정 결과
Fig. 4. Measured results of 4-elements antenna.

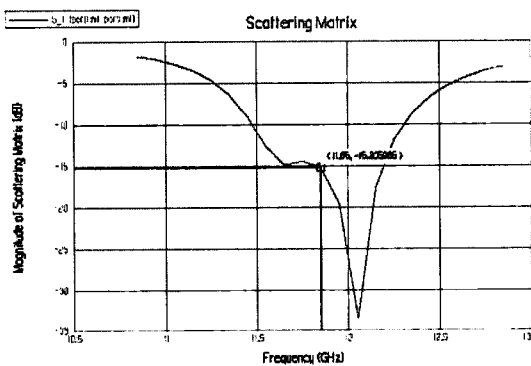
순차 회전 안테나이며, 반사 손실이 10 dB 이하인 주 파수는 11.56~12.44 GHz(약 7.4 %)이고, 원형 편파 특성인 축비의 3 dB 대역폭은 10.85~12.25 GHz(약 11.81 %) 광대역 특성을 보이고, 교차 편파는 0°-평면, 90°-평면에서 -25 dB 이하를 보였다. 이득은 그림 9와 같이 11.85 GHz에서 13.4 dB로 시뮬레이션 특성과 비슷한 성능을 보였다.

2-3 8-소자 안테나

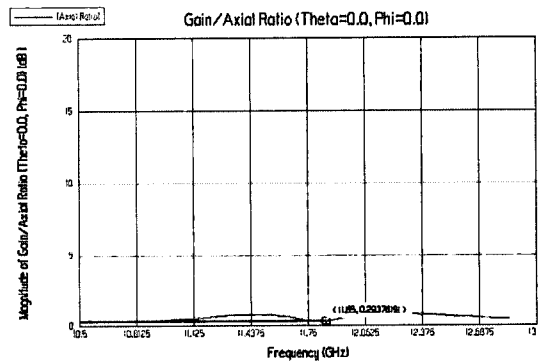
그림 5는 $M=8, P=1(0^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ, 67.5^\circ, 90^\circ, 112.5^\circ, 135^\circ, 157.5^\circ)$ 인 LHCP 8-소자 배열 안테나 시뮬레이션 특성으로써 반사 손실이 10 dB 이하인 주 파수는 11.45~12.3 GHz(약 7.2 %)이고, 원형 편파 특성인 축비의 3 dB 대역폭은 11.25~12.68 GHz(약 12.06 %)로 광대역 특성을 보이고, 이득은 16.59 dB,



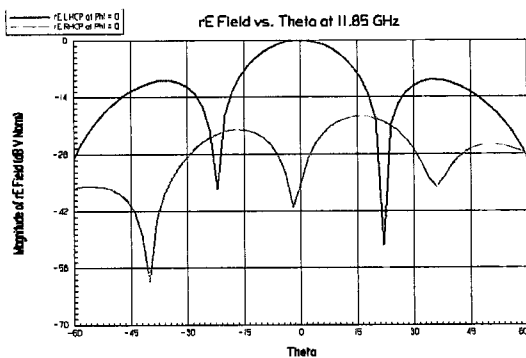
(a) 8-소자 순차 회전 안테나 모델
(a) Model of 8-elements SRA antenna



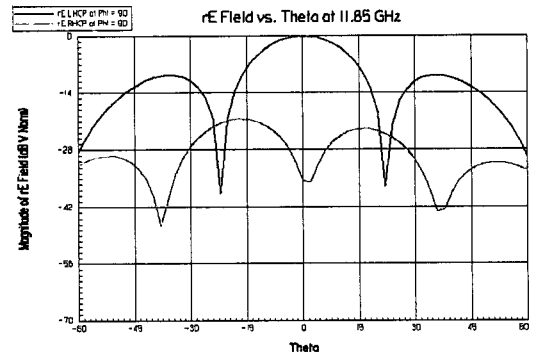
(b) 반사 손실
(b) Return loss



(c) 축비
(c) Axial ratio



(d) 0°-방사 패턴
(d) 0°-radiation pattern



(e) 90°-방사 패턴
(e) 90°-radiation pattern

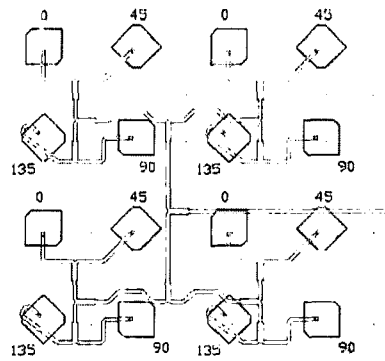
그림 5. 8-소자 순차 회전 안테나 시뮬레이션 결과
Fig. 5. Simulation results of 8-elements antenna.

교차 편파는 0°, 90° 평면에서 -40 dB 이하로 나타났다.

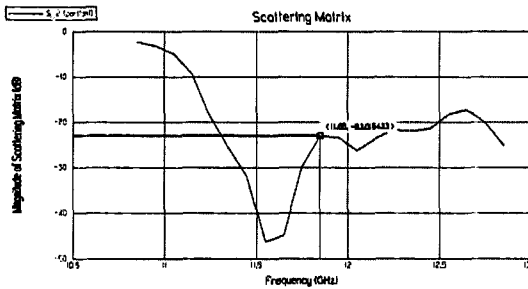
2-4 4-소자 기준 2x2 평면 배열 안테나

그림 6은 $M=4$, $P=1$ 인(0°, 45°, 90°, 135°)인 LHCP

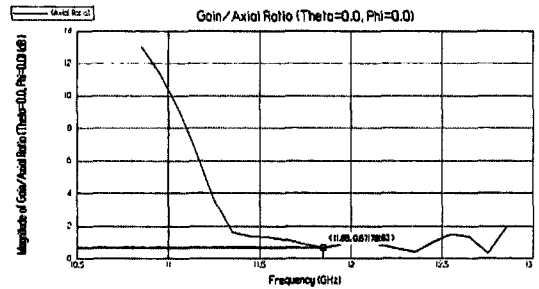
4-소자 기준 2x2 평면 배열 안테나의 시뮬레이션 특성으로써 반사 손실 특성으로써 반사 손실이 10 dB 이하인 주파수 범위는 11.15~12.65 GHz(약 12.65%) 특성을 보였으며, 원형 편파 특성인 축비의 3 dB 대역폭은 11.25~12.75 GHz(약 12.65%) 광대역 특성을



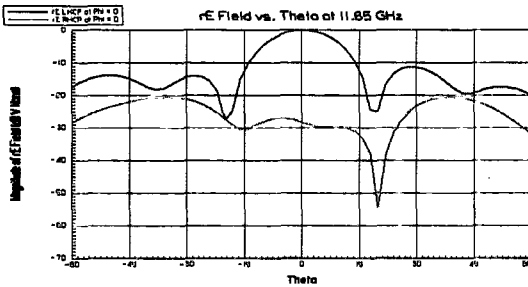
(a) 4-소자 기준 2x2 평면 배열 안테나 모델
(a) Model of 2x2 planar-array antenna based on 4-elements sub-SRA



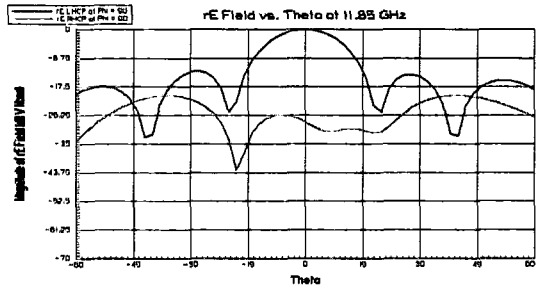
(b) 반사 손실
(b) Return loss



(c) 축비
(c) Axial ratio



(d) 0°-방사 패턴
(d) 0°-radiation pattern



(e) 90°-방사 패턴
(e) 90°-radiation pattern

그림 6. 4-소자 기준 2x2 평면 배열 안테나 시뮬레이션 결과
Fig. 6. Simulation result of 2x2 planar-array antenna based on 4-elements sub-SRA.

보이고, 이득은 20.01 dB, 교차 편파는 0°, 90° 평면에서 -28 dB 이하로 나타났다.

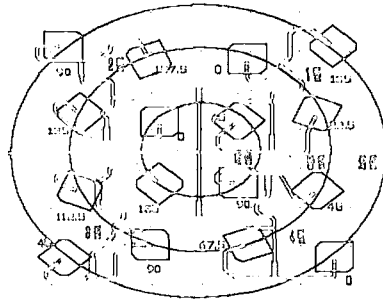
2-5 3중(4+8+4) 순차 회전 배열 안테나

본 논문에서는 고 집적도, 고 이득 특성을 동시에 만족시키는 안테나를 설계하기 위해 3중(4+8+4) 순차 배열 안테나를 제안하며, 그 형태는 내원에 4개 소자, 중원에는 8개 소자 그리고 외원에 다시 4개 소

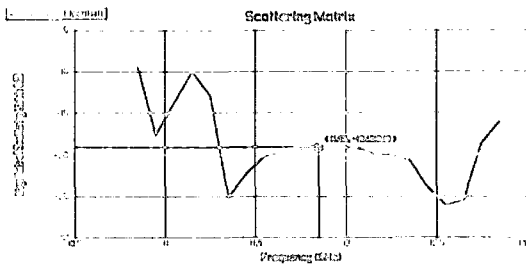
자로 설계하였다. 표 2는 3중(4+8+4)인 LHCP 순차 회전 안테나의 급전부 등 진폭 및 정격 위상 특성이다. 그림 7은 시뮬레이션 특성으로써 반사 손실이 10 dB 이하인 주파수 범위는 11.3~12.7 GHz(약 11.8%)이고, 원형 편파 특성인 축비의 3 dB 대역폭은 11.3~12.65 GHz(약 11.3%)로서 광대역 특성을 보이고 있으며, 이득은 18.93 dB, 교차 편파는 0° 평면, 90° 평면에서 -42 dB 이하로 나타났다.

표 2. 3중(4+8+4) 순차 회전 안테나 급전(진폭 및 위상)
 Table 2. Feed of triple(4+8+4) SRA(Amp. & phase).

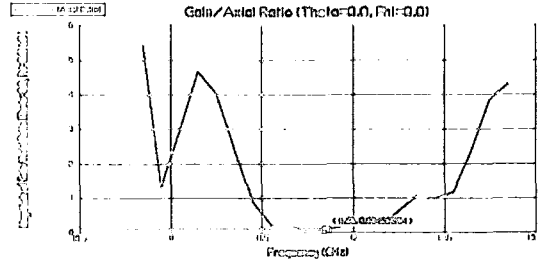
면	이른값		시뮬레이션 급전값		면	이른값		시뮬레이션 급전값	
	진폭 (dB)	위상 (°)	진폭 (dB)	위상 (°)		진폭 (dB)	위상 (°)	진폭 (dB)	위상 (°)
1면	-12	22.5	-13.31	23.2	2면	-12	0	-12.47	1.3
	-12	45	-12.28	43.3		-12	135	-12.23	134.2
	-12	0	-12.12	2.2		-12	90	-11.68	89.2
	-12	135	-12.05	137.3		-12	157.5	-12.40	158.3
3면	-12	90	-12.38	91.8	4면	-12	0	-12.87	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



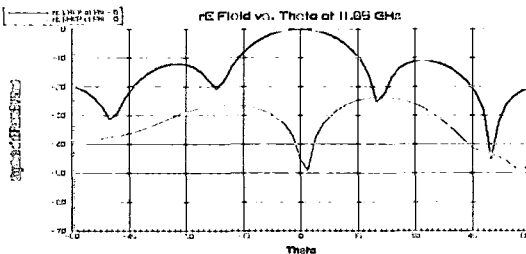
(a) 3중(4+8+4) 순차 회전 안테나 모델
 (a) Model of triple(4+8+4) SRA antenna



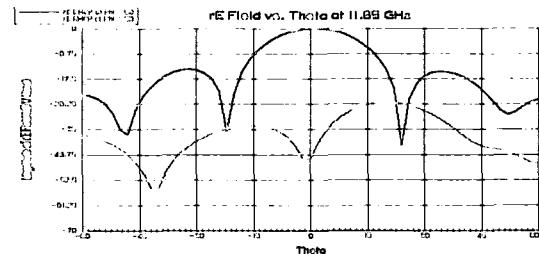
(b) 반사 손실
 (b) Return loss



(c) 축비
 (c) Axial ratio



(d) 0°-방사 패턴
 (d) 0°-radiation pattern



(e) 90°-방사 패턴
 (e) 90°-radiation pattern

그림 7. 3중(4+8+4) 순차 회전 안테나 시뮬레이션 결과
 Fig. 7. Simulation results of triple(4+8+4) SRA antenna.

그림 8은 3중(4+8+4) SRA 안테나 구조와 물리적으로 회전된 패치 안테나의 모습을 나타내었다. 내원은 $0.627 \lambda_0$, 중간원은 $0.78 \lambda_0$ 그리고 외원은 $2.14 \lambda_0$ 로 제작하였다.

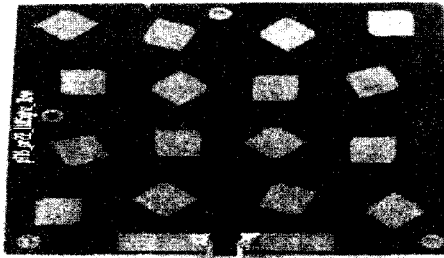
반사 손실이 10 dB 이하인 주파수는 11.62~12.19 GHz(약 4.8 %)이고, 원형 편파 특성인 축비의 3 dB 대역폭은 10.85~12.45 GHz(약 13.5 %)로서 광대역 특성을 보이고 있으며, 교차 편파는 0° 평면, 90° 평면에서 -27 dB 이하를 보였다. 이득은 그림 9와 같이 11.85 GHz에서 19.22 dB 시뮬레이션 결과보다

더 좋은 특성을 보였다.

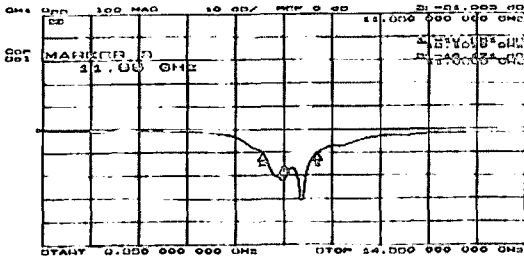
그림 9는 4-소자 순차 회전 안테나와 3중(4+8+4) 순차 회전 안테나의 이득 측정 결과를 상호 비교한 것이다.

III. 결과 및 고찰

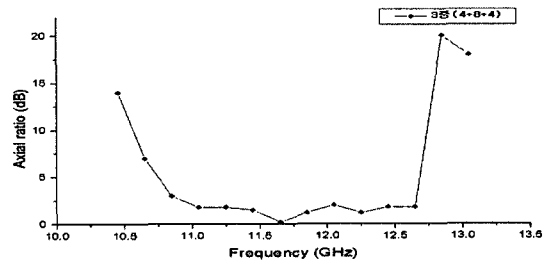
4-소자 순차 회전 배열, 8-소자 순차 회전 배열, 4-소자 기준 2×2 평면 배열, 3중(4+8+4) 순차 회전 배열 안테나를 시뮬레이션하고 측정하여 특성을 비



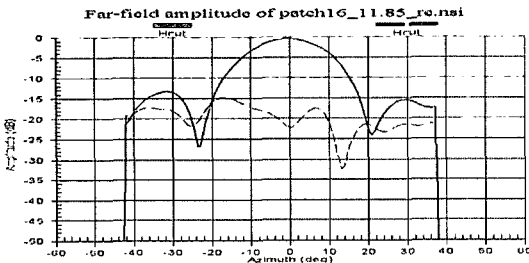
(a) 제작된 3중(4+8+4) 순차 회전 안테나
(a) Fabricated triple(4+8+4) SRA antenna



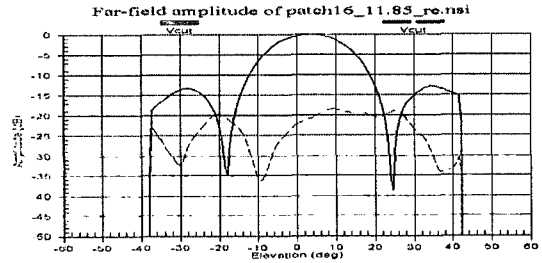
(b) 반사 손실
(b) Return loss



(c) 축비
(c) Axial ratio



(d) 0° -방사 패턴
(d) 0° -radiation pattern



(e) 90° -방사 패턴
(e) 90° -radiation pattern

그림 8. 3중(4+8+4) 순차 회전 안테나의 측정 결과
Fig. 8. Measured results of triple(4+8+4) SRA antenna.

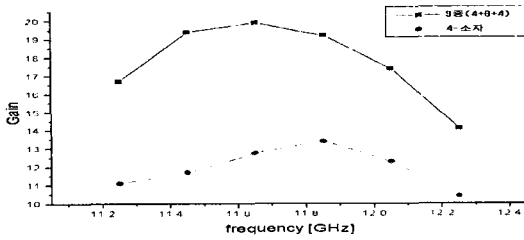


그림 9. 4-소자 및 3중(4+8+4) 순차 회전 안테나 측정 이득

Fig. 9. Measured gain of triple(4+8+4) SRA antenna and 4-elements SRA antenna.

표 3. 배열에 따른 집적도 및 이득 특성

Table 3. Integration and gain on 4-type SRA.

순차 회전 배열	소자 수	가로	세로	전체 면적 [mm ²]	이득	
					시뮬레이션	측정
4-소자	4	25.89	25.89	670.29	13.33	13.34
8-소자	8	55.88	57.88	3,234.3	16.59	
4-소자 기준 2×2 평면 배열	16	67.55	68.38	4,619.0	20.1	
3중(4+8+4) 배열	16	61.51	63.34	3,896.0	18.93	19.22

고 분석하였다. 각각의 소자들에는 등 진폭, 일정한 위상을 급전할 수 있도록 마이크로스트립 공동 급전 회로를 설계하였다.

표 3은 배열에 따른 집적도 및 이득의 변화이다.

시뮬레이션 결과, 4-소자, 8-소자 순차 회전 배열 안테나는 13.33 dB, 15.59 dB로서 소자수가 증가함에 따라 이득과 전체 집적 면적이 증가됨을 보였다. 4-소자 기준 2×2 평면 배열 안테나의 경우, 시뮬레이션 이득이 제일 높게 나타나지만 집적도는 현저히 떨어진다. 이에 비해 3중(4+8+4) 순차 회전 배열 안테나는 집적도가 제일 높은 것으로 나타났으며, 높은 이득 특성을 보였다.

측정 결과, 제안된 3중(4+8+4) 순차 회전 배열 안테나는 11.85 GHz에서 시뮬레이션 이득은 18.93 dB이었으나, 측정 이득은 19.22 dB로 측정값이 조금 높게 나타났다. 이는 고 집적도로 인한 보강 간섭(additive mutual effect)이 작용하기 때문인 것으로 예측된다.

IV. 결론

본 논문에서는 위성 방송 대역에서 동작하는 좌원 편파(LHCP), 프로브 급전 트링 케이트드 다층 마이크로스트립 안테나를 기본 소자로 하는 4-소자, 8-소자, 4-소자 기준 2×2 평면 배열, 3중(4+8+4) 순차 회전 배열 마이크로스트립 안테나를 시뮬레이션하고 측정하여 상호 비교 분석하였다. 또한, 각 소자들에는 등 진폭, 정격 위상을 급전할 수 있도록 마이크로스트립 선로에 의한 공동 급전 회로를 설계하였다.

실험 결과는 표 3에 종합한 바와 같이 제안된 3중(4+8+4) 순차 회전 배열 안테나는 반사 손실이 10 dB 이하인 주파수 범위는 11.62~12.19 GHz로(약 4.8%), 원형 편파 특성인 축비의 3 dB 대역폭은 10.85~12.45 GHz(약 13.5%)로서 광대역 특성을 보이고 있으며, 교차 편파는 0° 평면, 90° 평면에서 -27 dB 이하로 나타났다. 또한, 고 집적도로 인한 상호 간섭(mutual effect)이 작용되는 것으로 생각된다.

향후 3중(4+8+4) 순차 회전 배열 안테나를 기준으로 크기는 극소화되며 이득은 높은 256 소자 위성 수신 안테나를 제작할 예정이다. 이때 상호 간섭이 상쇄적으로 작용할 수도 있기 때문에 대규모 배열에서는 고 집적도도 중요하지만 상호 간섭을 어떻게 줄일 수 있는지가 관건이 될 것이다.

참고 문헌

- [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] P. S. Hall, C. M. Hall, "Coplanar corporate feed effects on microstrip patch array design", *IEE Proc. H*, vol. 135, no. 3, pp. 180-186, 1988.
- [6] 양태식, 이범선, "십자 슬롯을 이용한 광대역 원형 편파 적층 개구 결합 마이크로스트립 안테나",

한국전자파학회논문지, 11(5), pp. 748-753, 2000년 8월.

- [7] 진경수, 정치현, 박병우, "삼각형 격자를 갖는 순차 회전 안테나의 설계", 한국전자파학회논문지, 11(7), pp. 1282-1290, 2000년 11월.

한 정 세



1991년 2월: 청주대학교 전자공학과 (공학사)
 1994년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학석사)
 2001년 2월: 충북대학교 전자공학과 박사수료
 1994년~2001년: LG전자 선임연구원

2001년 2월~현재: 한국폴리텍IV 청주대학 조교수
 [주 관심분야] 안테나, RFID, 고주파 회로 설계

서 동 국



1996년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학사)
 2001년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학석사)
 2004년 2월: 충북대학교 전자공학과 박사수료
 2005년 3월~현재: 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 초빙교수

[주 관심분야] 안테나, RFID, 수치해석, 고주파 회로 설계

이 현 성



1993년 2월: 한밭대학교 전자공학과 (공학사)
 1997년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학석사)
 2003년 2월: 충북대학교 전자공학과 박사수료
 2005년 2월~현재: (주)이시스 대표이사, 충북과학대학 의료전자과 겸임교수

[주 관심분야] 안테나, 전자시스템 설계

박 병 우



1977년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학사)
 1983년 8월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학석사)
 1991년 8월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학박사)
 1989년~현재: 충북대학교 전자공학과 교수

1995년 10월~1996년 2월: Univ. of Texas 방문교수
 [주 관심분야] 안테나, RFID, 수치해석, 고주파 회로 설계