

단축된 위상지연을 사용하는 시퀀셜 로테이션 광대역 원형편파 마이크로스트립 배열 안테나

Wideband Circularly Polarized Microstrip Array Antenna Adopting Sequential Rotation Method Using Shortened Phase Delay

양태식 · 이범선

Taisik Yang · Bomson Lee

요 약

본 논문에서는 중심주파수 11.85 GHz인 Ku 밴드용 광대역 좌원형편파 마이크로스트립 안테나를 2×2 방사소자를 기본으로 하는 시퀀셜 로테이션 배열 방법(0°, 45°, 90°, 135° 위상지연)을 이용하여 설계하고 1×2 방사소자를 기본으로 하는 시퀀셜로테이션 배열방법(0°, 90°, 180°, 270° 위상지연 이용)과 비교 분석하였다. 실험을 위하여 2×2 방사소자를 기본으로 하는 시퀀셜 로테이션 배열로 중심주파수 11.85 GHz를 갖는 좌원형 편파 8×8 마이크로스트립 배열 안테나를 제작하고 측정한 결과 1×2 시퀀셜 로테이션 배열방법에 비해서 10 dB 반사 대역폭은 1.57배 증가한 10.51~12.74 GHz(약 18.82%)이고, 3 dB 축비 대역폭(시뮬레이션 결과)은 1.25배 증가한 11.43~12.5 GHz(약 9.03%)이고 이득은 25.4 dB로 나타났으며, 이러한 측정결과는 시뮬레이션 결과와도 거의 일치하였다.

Abstract

At center frequency of 11.85 GHz, wideband left-handed circularly polarized microstrip array antenna is designed with the method of sequential rotation based on 2×2 radiation elements(0°, 45°, 90°, 135° phase delay). Its return loss, axial ratio bandwidth, radiation pattern, and gain are compared with those adopting sequential rotation based on 1×2 radiation elements(0°, 90°, 180°, 270° phase delay). The 8×8 array is manufactured and measured. The results show that 10 dB return loss bandwidth is 10.51~12.74 GHz(18.82%) which is 1.57 times wider than the case using 1×2 sequential rotation method, 3 dB axial ratio bandwidth is 11.43~12.5 GHz(9.03%) which is 1.25 times as wide as that using 1×2 sequential rotation method and the antenna gain is 25.4 dB. The results of measurements are almost similar to those of simulation.

I. 서 론

마이크로스트립 안테나의 단점인 협대역 특성을

개선하기 위해서 적층방식^[1], 기생소자^[2]를 이용하는 방식 등이 연구되어 왔다. 하지만 이런 방법 등은 부피가 증가하고 물리적으로 패치 크기가 커지는 단점이 있어 소형화에 걸림돌이 된다.

경희대학교 전자정보학부

· 논문 번호 : 990414-039

· 수정완료일자 : 1999년 5월 19일

시퀀셜 로테이션 배열 방법은 원형편파를 사용하는 안테나의 반사손실 대역폭특성과 편파특성을 동시에 개선시키는 방법으로 물리적 크기를 크게 하지 않아도 되는 장점을 가지고 있다^{[3]~[8]}.

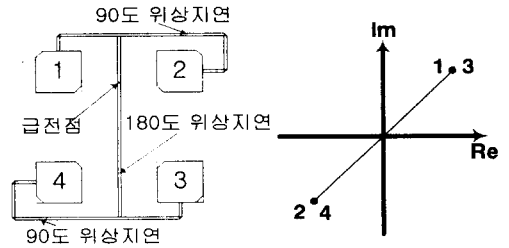
본 논문에서는 1×2와 2×2 방사소자를 기본으로 하는 시퀀셜 로테이션 배열 안테나의 특성을 비교, 분석하고 2×2 시퀀셜 로테이션 배열을 기본으로 하는 8×8 마이크로스트립 배열안테나를 앙상블을 이용해서 설계, 시뮬레이션하고 실제 제작하여 반사 특성과 방사특성을 측정하여 시뮬레이션 결과와 비교 분석하였다.

II. 시퀀셜 로테이션 배열

시퀀셜 로테이션 배열의 기본 원리는 급전 점에서 각 방사 소자까지의 거리를 조절하여 반사 전압이 급전 점에서 상쇄되도록 하는 반면 급전선의 길이 차에 따른 각 방사 소자의 순차적 위상 지연을 보상하기 위해 패치를 물리적으로 회전시켜 결국 각 패치에서 방사되는 전계는 동일시간에 동일 방향이 되도록 하는 것이다. 이때 패치의 회전방향을 안테나에서 사용하는 원형편파 방향으로 회전 시킴으로써 중심주파수를 벗어나 선형편파가 되더라도 이 선형편파를 이용해서 원형편파를 발생시켜서 축비대역폭도 넓일 수 있다^[9].

시퀀셜 로테이션 배열방법으로 그림 1과 같이 1×2 시퀀셜 로테이션 배열 방법을 기본으로 하는 구조가 널리 사용되고 있다. 이 구조는 기본 패치가 0°, 90°의 위상 차를 갖도록 하고 위, 아래 패치 사이에 180° 위상 차를 줌으로써 1, 3번패치와 2, 4번 패치의 위상이 서로 역위상이 되도록 해서 반사손실대역폭이 증가하게 된다. 이러한 점은 급전 점에서의 반사파가 그림 1과 같이 주어진다

것을 알면 쉽게 이해된다. 그림 2와 같은 구조의 4개의 방사소자를 기본으로 하는 시퀀셜 로테이션 배열 방법은 각 패치에 위상차를 0°, 45°, 90°, 135°로 하여 급전점에서

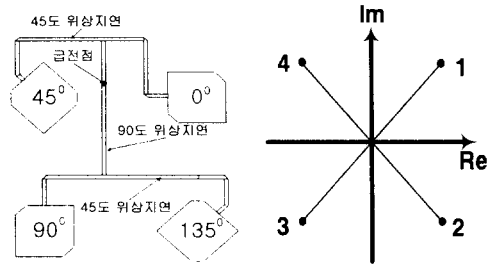


$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

$$= 2(V_1 + V_2) \approx 0$$

그림 1. 1×2 기본소자로 이루어진 시퀀셜 로테이션 배열 2×2 안테나 및 반사파 phasor 도

Fig. 1. Sequentially rotated 2×2 array antenna based on 1×2 array element and graph of phasors for reflected voltage wave.



$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \approx 0$$

그림 2. 2×2 기본소자로 이루어진 시퀀셜 로테이션 배열 2×2 안테나 및 반사파 phasor 도

Fig. 2. Sequentially rotated 2×2 array antenna based on 2×2 array element and graph of phasors for reflected voltage wave.

각 패치에 방사되어 돌아오는 전압의 위상이 0°, 90°, 180°, 270°로 되어 급전점에서 그 전압이 상쇄된다. 그림 2의 방법은 그림 1의 구조보다 반사파의 상쇄성이 우수하여 좀더 개선된 광대역 특성을 얻을 수 있다.

그리고 패치를 45°씩 좌원형편파 방향으로 물리적으로 회전시킴으로써 편파특성을 개선함과 동시에 전송선의 거리 차에 따른 위상차를 상쇄시켜서 동일 시간에 동일 방향으로 전계가 방사된다.

본 논문에서는 2×2 시퀀셜 로테이션 배열을 기본으로 해서 8×8 마이크로 스트립 배열 안테나를 설계, 제작하였다.

Ⅲ. 설계, 제작 및 측정

2×2 시퀀셜로테이션 배열방법을 이용한 8×8 마이크로스트립 배열 안테나를 설계하기 위해서 유전율이 2.5, 손실성분이 4.75000e-03 이고 두께가 0.7874 mm인 기판을 사용하였다.

이 안테나를 설계하기 위해서 Ensemble 5.1을 이용하여 시뮬레이션하였고 실제 제작해서 반사파 특성, 방사특성 및 무궁화위성 신호의 수신 여부를 측정하였다.

3-1 단일 패치 설계

본 논문에서는 커팅된 사각 패치를 이용하였지만 일반적으로 다른 형태의 패치를 사용하여도 무방하다^[10].

그림 4는 시뮬레이션한 단일 패치의 특성이다. 아래의 결과에서 보면 반사손실 10 dB 이하인 주파수대역이 11.56~12.21 GHz(약 5.485%)로 협대역이고 축비가 3 dB 이하 되는 주파수는 11.69~12.01 GHz(약 2.7%)로 대역폭과 편파특성에 한계가 있음을 알 수 있다.

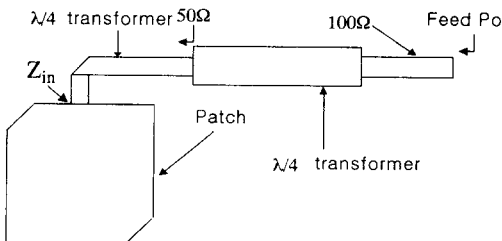


그림 3. 기본 소자로 이용된 단일 패치
Fig. 3. Single patch used for basic element.

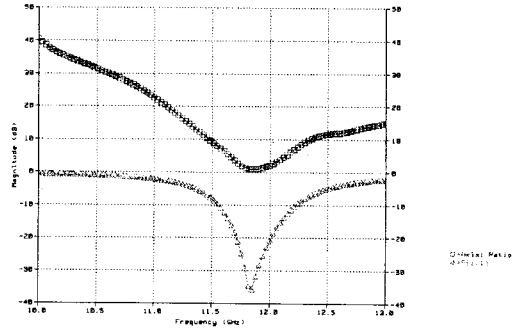
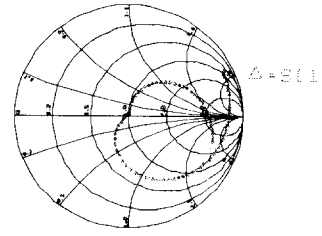


그림 4. 단일 패치의 시뮬레이션 결과
Fig. 4. Simulation result for single patch.

3-2 2×2 시퀀셜 로테이션 배열 안테나 설계

그림 5는 패치 4개를 기본소자로 하는 시퀀셜 배열

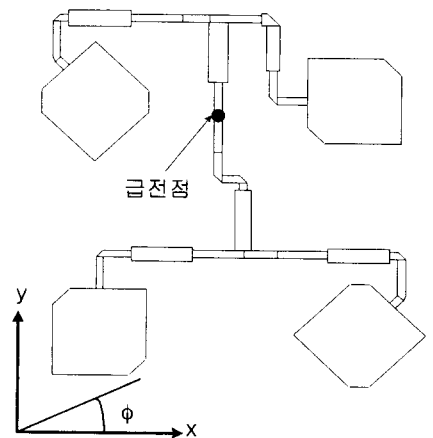


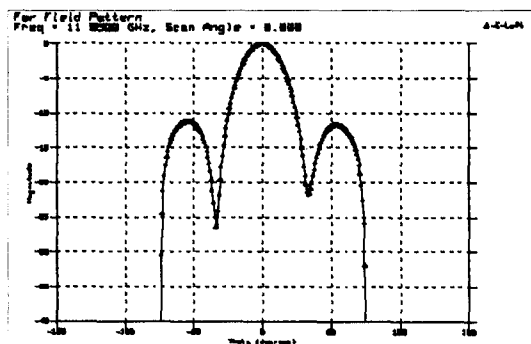
그림 5. 2×2 방사소자를 기본으로 하는 시퀀셜 배열 안테나
Fig. 5. Sequentially rotated array antenna based on 2×2 array element.

열 2×2 마이크로스트립 안테나이다. 각 패치간의 간격은 $0.8 \lambda_0$ 이다.

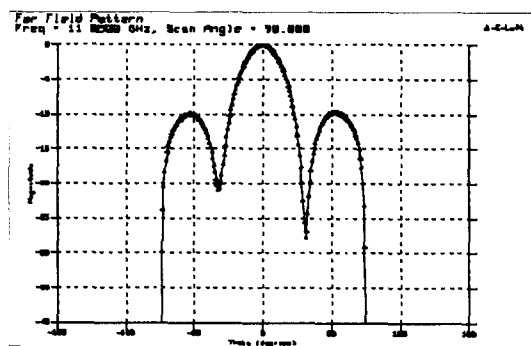
그림 6은 중심주파수 11.85 GHz에서 설계된 그림 5의 2×2 시퀀셜 로테이션 배열 안테나의 시뮬레이션 특성이다. 반사손실이 10 dB이하인 주파수 범위는 11.02~12.62 GHz(약 13.5%)이고, 원형 편파 특성인 축비가 3 dB이하인 주파수는 11.43~12.5 GHz(약 9.03%)의 대역폭을 보이고 있다.

그림 7은 2×2 방사소자를 이용한 시퀀셜 로테이션 배열 마이크로스트립 안테나를 시뮬레이션한 방사패턴이다. 이 안테나에서는 원형편파를 이용하므로 $\phi=0^\circ$ 인 평면과 $\phi=90^\circ$ 인 평면에서의 방사패턴이 거의 같음을 알 수 있다.

그림 7은 2×2 방사소자를 이용한 시퀀셜 로테이션 배열 마이크로스트립 안테나를 시뮬레이션한 방사패턴이다. 이 안테나에서는 원형편파를 이용하므로 $\phi=0^\circ$ 인 평면과 $\phi=90^\circ$ 인 평면에서의 방사패턴이 거의 같음을 알 수 있다.



(a) $y = 0$



(b) $x = 0$

그림 7. 2×2 시퀀셜 로테이션 배열 안테나의 방사패턴
Fig. 7. Radiation pattern of 2×2 sequential rotation array antenna.

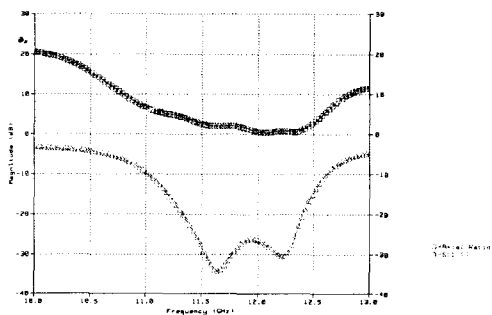
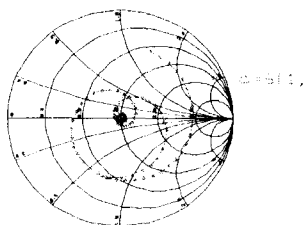
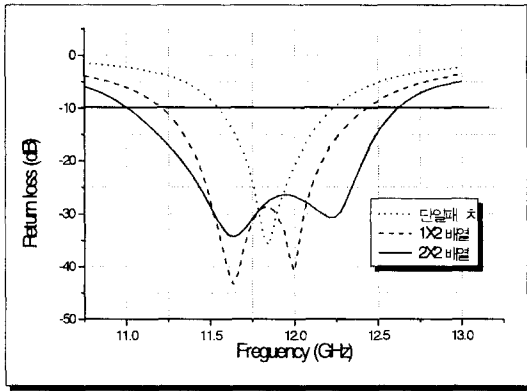


그림 6. 2×2 시퀀셜 로테이션 배열 안테나의 시뮬레이션 결과

Fig. 6. Simulation result for 2×2 sequentially rotated array antenna.

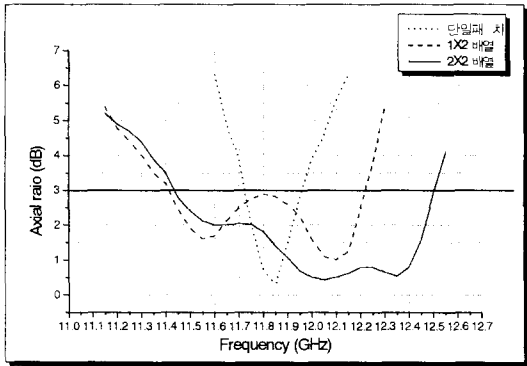
2×2 방사소자를 기본으로 하는 시퀀셜 로테이션 배열 안테나의 개선 정도를 알아보기 위해서 단일 패치, 1×2 방사소자를 기본으로 하는 시퀀셜 로테이션 배열 2×2 마이크로스트립 안테나(그림 1)와 반사손실 대역폭과 축비 대역폭을 그림 8에서 비교하였으며, 비교 분석한 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1에서와 같이 1×2 방사소자를 기본으로 하는 시퀀셜 로테이션 배열방법에 비해서 2×2 방사소자를 기본으로 하는 시퀀셜 로테이션 배열방법으로 설계한 마이크로스트립 안테나의 대역폭이 약 1.43배 증가하고 축비대역폭의 경우에는 약 1.25배 증가하였으며 이득은 거의 차이가 없음을 알 수



(a) 반사손실 특성

(a) Return loss characteristics



(b) 축비 특성

(b) Axial ratio characteristics

그림 8. 반사손실특성과 축비특성

Fig. 8. Characteristics of return loss and axial ratio.

있다.

표 1. 2x2 배열 안테나의 특성 비교

Table 1. Comparison of 2x2 array antennas characteristics

항 목	1x2 방사소자를 기본소자로 하는 시퀀셜 배열	2x2방사소자를 기본소자로 하는 시퀀셜 배열	비 교
S_{11} (10 dB 대역폭)	11.16~12.28 GHz (9.5 %)	11.02~12.62 GHz(13.5 %)	약 1.43배 증가
Axial ratio(3 dB 대역폭)	11.39~12.25 GHz (7.3 %)	11.43~12.5 GHz(9.03 %)	약 1.25배 증가
Gain(max)	13.2 dB	13.03 dB	약 0.17 dB 감소

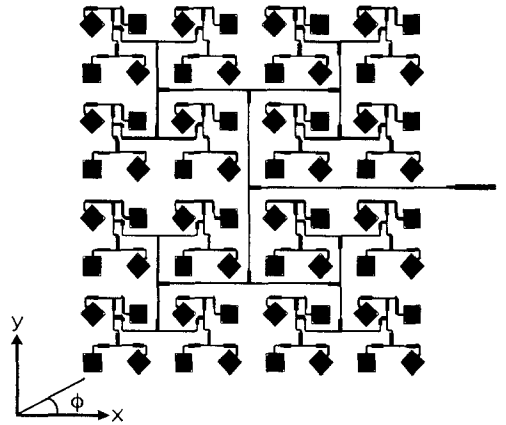


그림 9. 2x2 시퀀셜로테이션 배열을 기본으로 하는 8x8 배열 안테나

Fig 9. 8x8 array antenna based on 2x2 sequentially rotated array.

3-3 2x2 시퀀셜로테이션 배열을 이용한 8x8 배열 안테나 설계 및 제작

그림 9는 실제로 제작된 2x2 시퀀셜로테이션 배열 방법을 기본으로 하는 8x8 배열 안테나이다.

그림 10은 그림 9의 8x8 배열 안테나의 반사손실특성의 시뮬레이션 값과 측정값을 나타낸 그림이다. 10 dB 반사손실 대역폭이 시뮬레이션결과는 10.99~12.705 GHz(약 14.47 %)이고 측정결과는 좀 더 넓어진 10.51~12.74 GHz(약 18.82 %)이다.

표 2는 1x2 시퀀셜 로테이션 배열 방법을 기본으로 하는 8x8 배열안테나와 2x2 시퀀셜 로테이션 배열방법을 기본으로 하는 8x8 배열안테나의

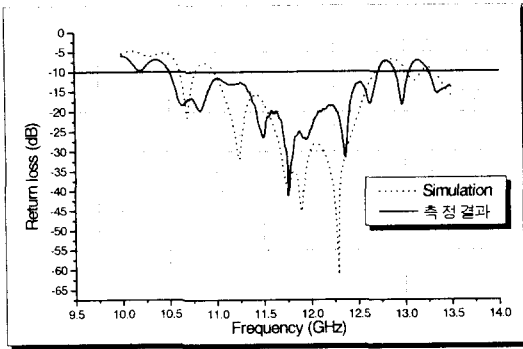


그림 10. 2×2 시퀀셜 로테이션 배열안테나를 기본으로 한 8×8 배열안테나의 반사손실 특성 비교
Fig 10. Return loss characteristics of 8×8 array antenna based on 2×2 sequentially rotated array.

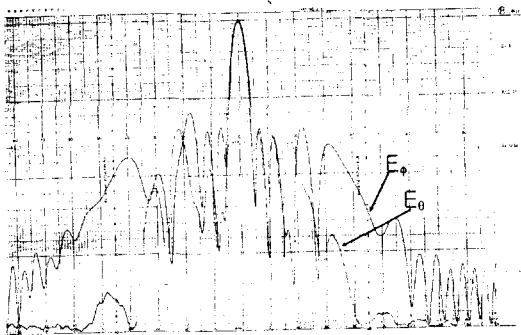


그림 11. 2×2 시퀀셜 로테이션 배열을 기본으로 한 8×8 배열 안테나의 방사패턴
Fig. 11. Radiation pattern of 8×8 array antennas based on 2×2 sequentially rotated array.

반사손실(10 dB 대역폭)특성을 비교한 것이다.

표 2. 8×8 배열 안테나의 S_{11} (10 dB 대역폭) 특성비교

Table 2. S_{11} characteristics of 8×8 array antennas.

항 목	시뮬레이션결과	측정결과
1×2 시퀀셜 배열을 이용한 8×8 배열안테나	11.11~12.48 GHz(11.6%)	10.915~12.34 GHz(12.1%)
2×2 시퀀셜 배열을 이용한 8×8 배열안테나	10.99~12.705 GHz(14.47%)	10.51~12.74 GHz(18.82%)
비 교	약 1.252배 증가	약 1.57배 증가

측정결과 1×2 시퀀셜 로테이션 배열방법을 기본으로 하는 8×8 배열 안테나는 10.915~12.34 GHz (약 12.1%)의 대역폭을 가졌고 2×2 시퀀셜로테이션 배열방법을 기본으로 하는 8×8 배열안테나는 10.51~12.74 GHz(약 18.82%)로 1×2 시퀀셜 배열을 이용한 8×8 배열안테나에 비해서 대역폭이 약 1.57배 증가함을 알 수 있다.

그림 11은 실제로 제작한 8×8 배열 안테나의 방사패턴이며 중심 주파수 11.7 GHz에서 측정되었다. E_θ 와 E_ϕ 는 $\theta=0$ (그림 8)인 평면에서 측정되었다.

실제 제작된 안테나가 원형 편파를 사용하므로 E_θ 와 E_ϕ 가 같은 값을 가져야 하는데 그림에서 보듯이 주빔을 이루는 각도에서 거의 완벽하게 일치함을 알 수 있다. 그리고 FNBW가 8×8 배열안테나인 경우 17.98°인데 실제로 측정된 결과 19.96°로 약 2°정도 커진 결과를 보였고^[11], 이득은 25.4 dB로 측정되었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 2×2 시퀀셜 로테이션 배열 방법(0°, 45°, 90°, 135° 위상지연)을 기본으로 하여 Ku 밴드 광대역 8×8 마이크로스트립 배열안테나를 설계, 제작 및 측정하고, 1×2 시퀀셜 로테이션 배열방법(0°, 90°, 180°, 270° 위상지연 이용)을 기본으로 하는 구조의 안테나와 비교, 분석하였다.

측정결과, 10 dB 반사손실 대역폭이 약 10.51~12.74 GHz(약 18.82%)로 나타났으며, 3 dB 축비대

역폭(시뮬레이션 결과)은 11.43~12.5 GHz(약 9.03%), 이득은 25.4 dB 였다.

2×2 시퀀셜 로테이션 배열방법이 1×2 시퀀셜 로테이션 배열방법에 비해서 반사특성이 1.57배 증가하고 축비특성이 1.25배 증가한 개선된 특성을 측정 결과로 확인할 수 있었으며 이러한 측정결과는 시뮬레이션 결과와도 잘 일치하였다.

참 고 문 헌

- [1] S. D. Targonski and R. B. Waterhouse, "An Aperture Coupled Stacked Patch Antenna with 50 % Bandwidth", *Proceedings of IEEE AP Symposium*, pp. 18-21, Baltimore, Maryland, July, 1996.
- [2] Girish Kumar, and Kuldip C. Gupta, "Non-radiation Edges and Four Edges Gap-Coupled Multiple Resonator BroadBand Microstrip Antenna", *IEEE Transactions on antennas and propagation*, vol. AP-33, February 1985
- [3] Hai Fong Lee and Wei Chen, "Advances in Microstrip and Printed Antennas"
- [4] T. Teshirogi, M. Tanaka, and W. Chujo, "Wideband circularly polarized array antenna with sequential rotations and and phase shift of elements." presented at Int. Symp. Antennas Propagat., ISAP '85, Tokyo, 1985.
- [5] Ulrich R. Kraft, "An Experimental Study on 2×2 Sequential-Rotation Arrays with Circularly Polarized Microstrip Radiators", *IEEE AP*, vol. 45, no. 10, October, 1997.
- [6] P. S. Holl, J. S. Dahele, and J. R. James, "Design principles of sequentially fed, wide bandwidth, circularly polarized microstrip antennas", *IEE Proc.*, Pt. H, vol. 136, no. 5, pp. 381-389, 1989.
- [7] P. S. Hall, "Application of Sequential Feeding to Wide Bandwidth, Circularly Polarized Microstrip Patch Arrays", *IEE Proc.*, Pt. H, vol. 5, October, 1989.
- [8] W. K. Lo, C. H. Chan and K. M. Luk, "Circularly polarised microstrip antenna array using proximity coupled feed", *Electronics Letters*, vol. 34, no. 23, 12th November, 1998.
- [9] 양태식, 이범선, "Ku 밴드 8×8 원형편파 마이크로스트립 배열 안테나 설계 및 제작", 1998년도 한국전자과학회 종합학술발표회 논문집, vol. 8, no 1, pp. 385-389, 98. 11. 28.
- [10] J. R. James and P. S. Hall, "Handbook of Microstrip Antennas".
- [11] A. Balanis, "Antenna theory analysis and design"

양 태 식



1999년 2월: 경희대학교 전파공학과
(공학사)
1999년 3월~현재: 경희대학교 전파
공학과 대학원 석사 과정
[주 관심분야] 안테나 설계 및 RF
회로

이 범 선



1982년 2월: 서울대학교 전기공학과
(공학사)
1991년 8월: 미국 네브래스카 주립
대 전자공학과(공학석사)
1995년 5월: 미국 네브래스카 주립
대 전자공학(공학박사)
1995년 5월~1995년 8월: 네브래스
카 주립대 포닥(Post Doctor)
1995년 9월~현재: 경희대학교 전자정보학부 조교수
[주 관심분야] 안테나 및 전파전파