

단일면 야기 다이폴과 두 기생 다이폴로 구성된 전자 빔 조향 기생 배열 안테나

ESPAR(Electronically Steerable Parasitic Array Radiator) Antenna Composed of Uniplanar Yagi Dipole and Two Parasitic Dipoles

주 상 호 · 최 익 권

Sang-Ho Ju · Ik-Guen Choi

요 약

본 논문에서는 단일면 야기 다이폴 급전 소자와 리액턴스가 장하된 인접한 두 기생 다이폴 소자를 이용한 UNII 대역에서 동작하는 소형 빔 조향 평면형 다이폴 배열 안테나를 제안한다. 제작된 안테나는 기생 소자의 리액턴스를 전자적으로 변화시킴으로써 UNII 대역에서(5.725~5.825 GHz) 다이폴 수직면 -100° 에서 100° 범위에서 3.3~4.3 dB 이득 특성을 갖고, -10 dB 이하 반사 손실 대역폭은 5.4~5.9 GHz로 UNII 대역을 포함함을 측정을 통해 확인하였다.

Abstract

This paper proposes an small electronically steerable parasitic array radiator composed of a uniplanar dipole as a feeding element and two dipoles as parasitic elements. The fabricated antenna shows by measurement the 3.3~4.3 dB gain between $-100\sim 100^\circ$ azimuth range in the dipole vertical plane and -10 dB return loss within 5.4~5.9 GHz, which includes 5.725~5.825 GHz UNII band.

Key words : Beam-Steering, Yagi-Uda, Reactive Loading, Variable Capacitance Circuit

I. 서 론

적응형 배열 안테나는 다양한 방사 패턴을 형성할 수 있기 때문에 다중 경로 간섭에 의한 페이딩 현상에 유리하며, Ad hoc 기반의 프로토콜을 이용한 근간 거리 통신 및 각종 장거리용 레이다 등에 강력한 기능성을 가지고 있다. 그러나 일반적인 적응형 배열 안테나인 디지털 빔 형성 안테나(DBF: Digital Beamforming Antenna)의 경우에는 배열 소자마다 저잡음 증폭기, 주파수 하향기, D/A 변환기, A/D 변환기 등이 필요하기 때문에 크기가 커지며, 전력 소모가 커지고 가격이 비싸지게 된다^{[1],[2]}.

최근 무선 랜이나 무선 Ad hoc 등의 상업적인 목적의 필요성이 부각됨에 따라 몇몇 군사적인 목적으로만 이용되던 적응형 배열 안테나의 이러한 단점을 극복하는 다양한 아날로그 빔 형성 안테나(ABF: Analog Beamforming Antenna)가 연구되었다^{[3]~[5]}. 대표적인 아날로그 빔 형성 안테나는 하나의 급전 소자와 다수의 가변 리액턴스를 가지고 있는 기생 소자로 구성되며, 이때 가변 리액턴스는 가변 용량 다이오드에 인가 전압을 전자적으로 변화시켜 구현하고 있다.

본 논문에서는 단일면 야기 다이폴과 그와 인접해서 가변 용량 다이오드를 장하한 두 개의 기생 다

「본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력 양성 사업으로 수행된 연구 결과임.」
충북대학교 전자공학과(Department of Radio Engineering, Graduate School, Chungbuk National University)

· 논문 번호 : 20081022-132

· 수정완료일자 : 2008년 12월 9일

이폴로 구성된 빔 조향 안테나를 이용하여 UNII 대역에서 $-100 \sim +100^\circ$ 의 넓은 빔 커버리지를 갖는 소형 기생 배열 안테나를 설계 제작한다.

II. 기생 배열 안테나의 설계

2-1 기생 배열 안테나 구조

그림 1은 본 논문에서 제안하는 단일 급전의 빔 조향 다이폴 배열 안테나의 구조를 보이고 있다. 이 안테나는 한 개의 급전 소자와 일정한 간격 T_S 를 두고 각각 위 아래에 놓여 있는 두 개의 기생 소자로 구성된다. 그림 1(a)은 이 배열 안테나의 정면도이며, 그림 1(b)는 측면도이다. 여기서 jX_1 , jX_2 는 기생 소자에 인가되는 리액턴스를 의미한다. 기생 소자들은 급전 회로가 없는 다이폴 구조를 가지고 있으며, 급전 소자는 그림 2에서 보듯이 단일 평면 구조의 야기 다이폴 안테나를 채택하였는데, 이 안테나는 크기가 작으면서 광대역 특성을 가지고 있기 때문이다^[7]. 이 단일면 야기 다이폴의 급전부는 180° 위상차가 나는 두 개의 스트립 선로와 3 dB 전력 결합기 그리고 $\lambda_g/4$ 임피던스 변환기(λ_g : guided wavelength)로 구성된 스트립 라인 - 동일면 스트립 라인 전이부를 가지고 있다^[3].

2-2 단일 급전 안테나의 설계

안테나는 유전율 4.4, 두께 1 mm인 FR4 기판을 이용하여 설계하였다. 설계는 Ansoft사의 상용 시뮬레이터인 HFSS를 이용하였다.

그림 2에 보이는 단일면 야기 다이폴의 급전부에서 동일면 스트립 라인의 특성 임피던스는 100 Ω 으로 폭은 1 mm, 사이 간격은 0.2 mm이다. 그리고 스트립 선로의 특성 임피던스는 50 Ω 으로 S_1 , S_2 의 길이는 각각 11.9 mm, 5.8 mm이며, 폭은 0.9 mm, 1.6 mm이다. 또한 S_3 , S_4 , S_5 의 길이는 각각 3 mm, 9.7 mm, 3.6 mm이며, 폭은 1 mm이다. 그리고 설계 변수인 L_1 , L_2 그리고 L_3 를 변화시켜가면서 최적의 안테나를 설계하였는데, L_1 은 안테나의 front-to-back ratio에, L_2 는 안테나의 임피던스 매칭에, 그리고 L_3 은 안테나의 공진 주파수에 큰 영향을 준다.

2-3 안테나의 방사 패턴 형성

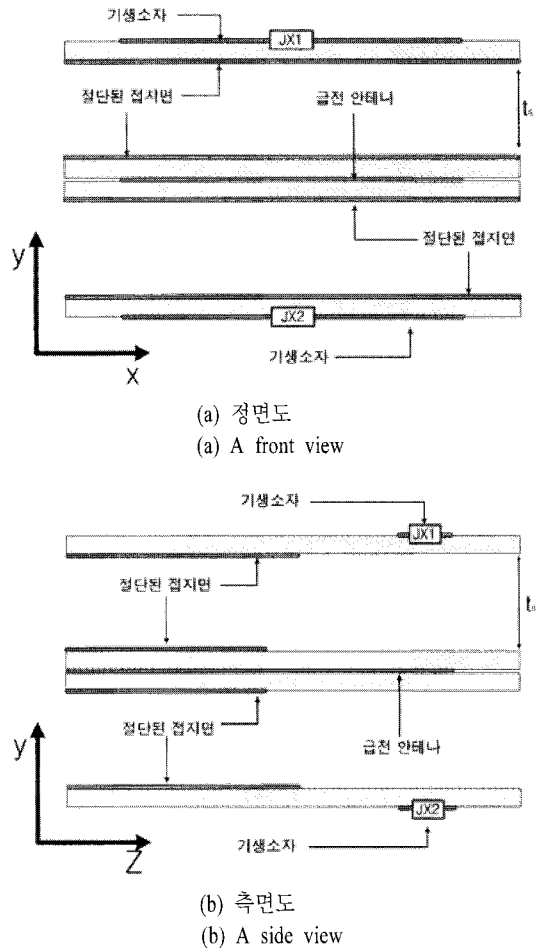


그림 1. 제안하는 안테나의 구조

Fig. 1. Configuration of proposed array antenna.

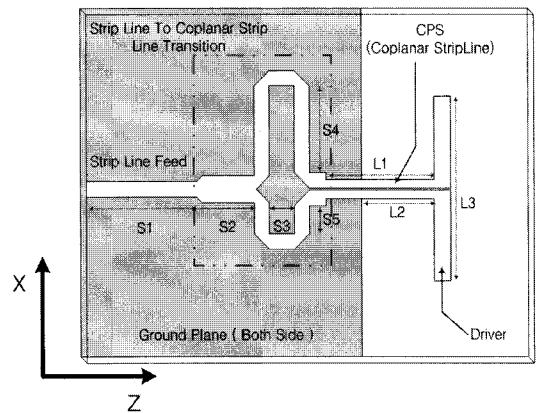


그림 2. 제안되는 급전 동일면 야기 다이폴의 구조

Fig. 2. Structure of the proposed main feed uniplanar yagi dipole.

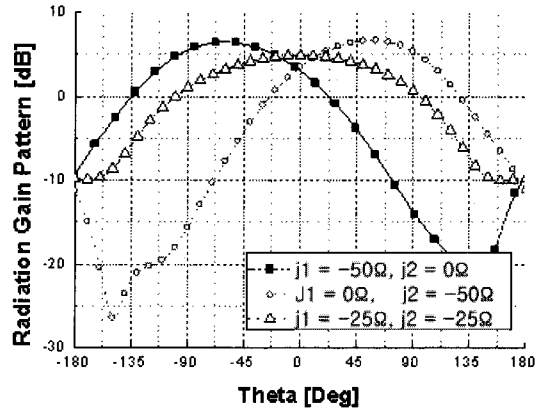
일반적으로 리액턴스가 장하된 기생 소자를 갖는 기생 배열 안테나의 최대 이득과 방사 패턴은 소자 간 상호 결합과 기생 소자에 장하되는 리액턴스 값에 의해 조절될 수 있다^{[4]~[7]}. 따라서 급전 소자와 기생 소자 간 간격 그리고 기생 소자의 리액턴스 값을 변화시킴으로써 원하는 빔 조향을 구현할 수 있다.

그림 3은 앞에서 설계된 급전 안테나와 두 기생 소자간 거리(t_s)와 기생 소자에 장착되는 리액턴스 값에 따른 상용 시뮬레이터인 Ansoft HFSS를 이용하여 안테나의 방사 패턴의 변화를 계산한 결과이다. 이때 t_s 을 $\lambda_g/8$ 에서 $\lambda_g/2$ 까지 변화시키면서 Y-Z 평면에서의 방사 패턴을 확인하였다. 방사 패턴을 위한 시뮬레이션 결과, 먼저 $t_s = \lambda_g/8$ 일 경우 작은 리액턴스의 변화로 최대 이득 방향을 가장 크게 변화할 수 있지만 최대 이득의 크기는 가장 작고 3 dB 빔 폭이 넓어진다. $t_s = \lambda_g/2$ 일 경우 소자간의 약한 상호 결합으로 인하여 기생 소자에 흐르는 전류가 작아지므로 기생 소자에 인가되는 리액턴스는 그 크기가 커야 하며, 빔을 조정할 수 있는 범위도 좁아지게 된다.

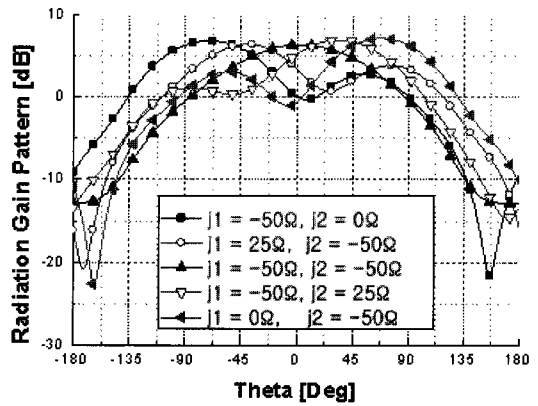
III. 제작 및 측정 결과

그림 4는 기생 소자가 존재하지 않는 경우에 급전 소자의 반사 손실 특성을 나타내며 측정된 안테나의 -10 dB 대역폭은 5.7~7 GHz로 매우 광대역이다. 그림 5는 중심 주파수인 5.77 GHz에서의 안테나의 방사 패턴을 나타낸다. 방사 패턴은 시뮬레이션 값과 측정값이 매우 근사함을 보이고 있으며, 측정된 안테나의 최대 이득은 5.2 dB이며, 3 dB 빔 폭은 Y-Z 평면에서 150°이고, X-Z 평면에서 60°이다.

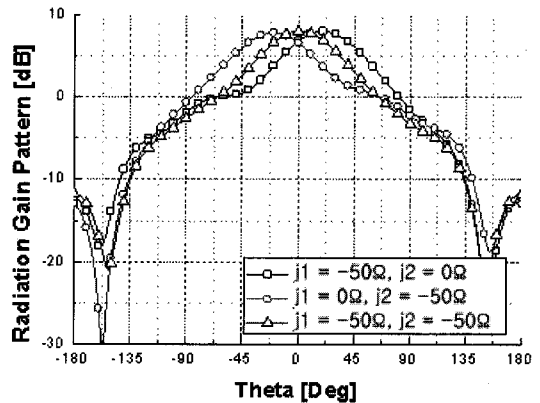
제작된 배열 안테나의 전자적인 빔 조향을 구현하기 위해 우선 기생 소자에 특정 용량의 커패시터를 인가하여 원하는 빔 조향을 얻을 수 있음을 확인한 후 가변 용량 다이오드에 특정 전압을 인가하여 원하는 빔 조향이 구현됨을 확인하였다. 사용된 커패시터는 Murata사의 상용 칩 커패시터 GRM18을 이용하였으며, 5.8 GHz에서 기생 인덕턴스 값인 0.7 nH를 고려하여 계산된 리액턴스 값은 0.5 pF의 경우 -20 Ω이고, 6 pF의 경우 20 Ω이다. 그리고 가변 용량 다이오드는 Toshiba사의 JDV2S71E를 이용하였으



(a) $t_s = \lambda_g/8$



(b) $t_s = \lambda_g/4$



(c) $t_s = \lambda_g/2$

그림 3. 거리 t_s 와 가변 리액턴스에 따른 방사 패턴
Fig. 3. Radiation pattern versus t_s and variable reactance.

며, 다이오드의 최대 가변 커패시턴스의 범위는 바이어스 전압 30 V에서 0.5 pF, 0 V에서 6 pF이다. 5.8

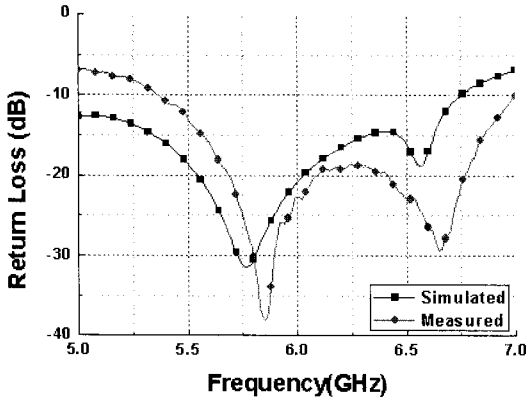


그림 4. 급전 소자의 반사 손실
Fig. 4. Return loss of feed element antenna.

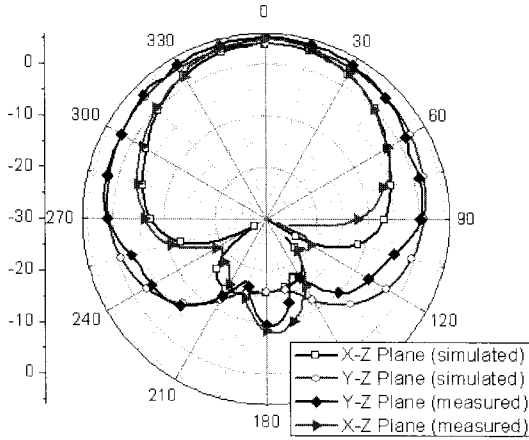
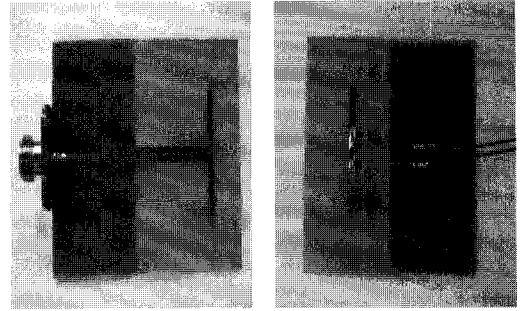


그림 5. 급전 소자의 방사 패턴
Fig. 5. Radiation pattern of feed element antenna.

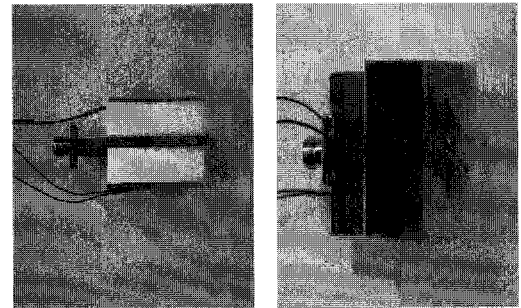
GHz에서 계산된 리액턴스 값의 범위는 -5Ω 에서 -50Ω 이다.

최종 제작된 기생 배열 안테나는 그림 6과 같으며, 제한된 리액턴스의 변화로 최대의 빔 조향 효과를 가지기 위하여 급전 소자와 기생 소자의 이격 거리 t_s 는 $\lambda_g/8$ 이다. 여기서 다이오드 인가 전압 회로는 그림 7과 같다. 여기서 $10 \text{ k}\Omega$ 은 소자에 인가되는 고주파 신호가 전원부에 전달되는 것을 차단하기 위한 것이며, 가변 용량 다이오드는 기생 소자인 다이폴의 중심에 위치하고 있다.

기생 소자의 리액턴스 값이 변하면 안테나 전체의 임피던스 값도 변하게 된다. 임피던스 변화는 반사 손실의 변화를 가져오며, 앞서 언급한 L_1 을 변화



(a) 단일 급전 안테나
(a) Single feed antenna
(b) 기생 소자
(b) Parasitic elements



(c) 측면도
(c) A side view
(d) 정면도
(d) A front view

그림 6. 제작된 안테나
Fig. 6. Fabricated antenna.

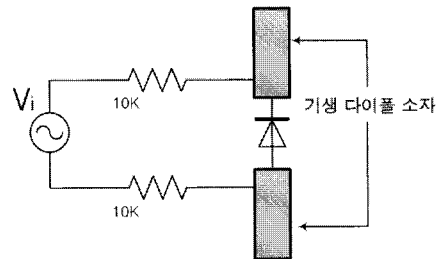


그림 7. 가변 커패시턴스 DC 바이어스 인가 회로
Fig. 7. Variable reactance DC bias circuit.

시켜 최적의 임피던스 매칭을 유도하였다. 그림 8은 HP사의 HP8720C 회로망 분석기를 이용하여 L_1 이 18 mm 일 경우 측정된 각각의 리액턴스 값에 따른 반사 손실을 나타낸다. 측정된 결과를 확인해 보면 측정된 모든 임피던스 변화에 대하여 대역폭 $5.4 \sim 5.9 \text{ GHz}$ 를 만족한다. 이때 $5.725 \sim 5.825 \text{ GHz}$ 의 UNII 대역의 중심 주파수 5.77 GHz 의 방사 패턴 변화를 그림 9에 나타내었다. 방사 패턴 측정 결과, 각각의 가

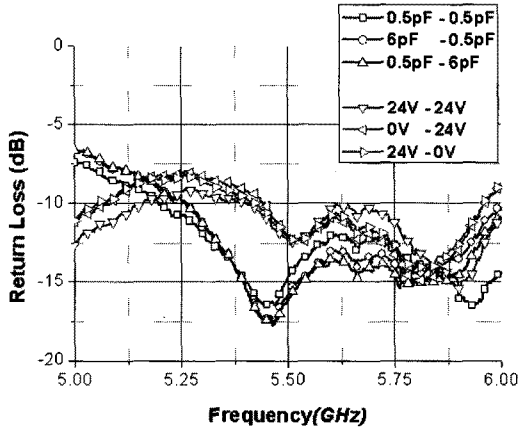


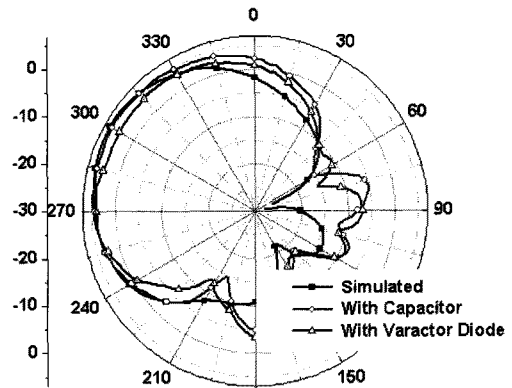
그림 8. 리액턴스 변화에 따른 안테나의 반사 손실
Fig. 8. Measured return loss of antenna versus reactance.

능한 빔 조향 각도에서 시뮬레이션과 유사한 방사 패턴을 보이며, 3 dB 빔 폭은 커패시터를 이용하였을 경우 주 빔 방향이 -60° , 0° , 60° 일 때 각각 110° , 100° , 110° 이며, 다이오드를 이용할 경우에는 각각 105° , 110° , 105° 였다. 결과적으로 커패시터를 이용한 경우 X-Z 평면상 -90° 에서 90° 범위에서 4.4~5.4 dB의 이득 특성을 가지며, 다이오드를 이용한 경우는 동일 평면상 -100° 에서 100° 범위에서 3.3~4.3 dB의 이득 특성을 가짐을 확인하였다.

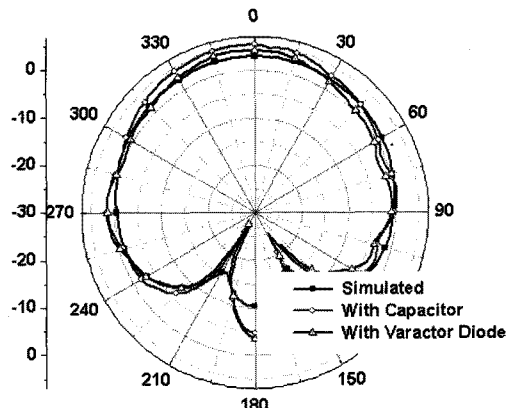
IV. 결 론

본 논문에서는 급전 소자와 임의의 리액턴스 값이 인가된 기생 소자 사이의 상호 결합을 이용한 빔 조향 안테나를 제안한다. 장하 리액턴스 변화에 따라 원하는 빔 조향을 얻기 위해 시뮬레이션을 통해 특정 커패시턴스를 구하였으며, 다음에는 상용 칩 커패시터를 장착하여 빔 조향을 확인하고 마지막으로 가변 용량 다이오드에 적절한 전압을 인가하여 빔 조향 가능성을 확인하였다.

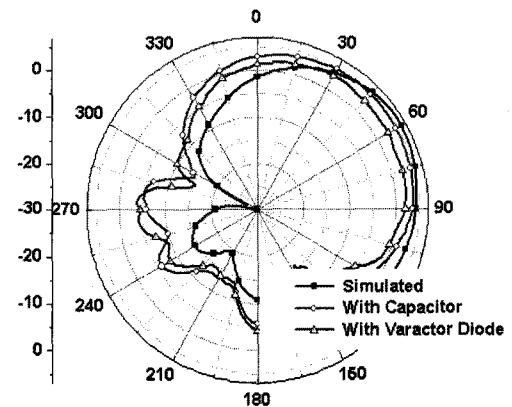
제작된 안테나는 전자적으로 다이오드에 인가되는 전압을 조정하여 주 빔 방향이 -60° , 0° , 60° 로 빔 조향이 가능하며, 각 빔의 3 dB 빔 폭은 커패시터를 이용한 경우 각각 110° , 100° , 100° 이며, 다이오드를 이용할 경우에는 각각 105° , 110° , 105° 였다. 안테나의 이득은 커패시터를 이용한 경우 X-Z 평면상 -90° 에서 90° 범위에서 4.4~5.4 dB의 이득 특성



(a) 최대 이득의 방향 = -60°
(a) Direction of maximum gain = -60°



(b) 최대 이득의 방향 = 0°
(b) Direction of maximum gain = 0°



(c) 최대 이득의 방향 = 60°
(c) Direction of maximum gain = 60°

그림 9. 리액턴스 변화에 따른 안테나의 방사 패턴 (Y-Z 평면)
Fig. 9. Measured radiation pattern of antenna versus reactance (Y-Z plane).

을 가지며, 다이오드를 이용한 경우는 동일 평면상 -100° 에서 100° 범위에서 3.3~4.3 dB의 이득 특성을 가짐을 확인하였다. 다이오드를 이용한 경우 커패시터를 이용한 경우보다 약 1.1 dB 정도 작아짐을 확인하였는데, 이는 리액턴스 인가 회로에서의 고주파 전력 손실에 기인한다고 판단되며, 추후 개선될 예정이다. 또한 반사 손실 측정 결과로부터 안테나의 -10 dB 대역폭은 5.4~5.9 GHz로 UNII 대역 (5.725~5.825 GHz)에서 사용이 가능함을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] H. Steyskal, "Digital beamforming antennas: An introduction", *Microwave J.*, vol. 30, no. 1, pp. 107-124, Jan. 1987.
 [2] H. Steyskal, J. F. Rose, "Digital beamforming for radar systems", *Microwave J.*, vol. 32, no. 1, pp. 121-136, Jan. 1989.
 [3] Y. Qian, W. R. Deal, N. Kaneda, and T. Itoh, "Mi-

crostrip fed quasi-yagi antenna with broadband characteristics", *Electron Lett.*, vol. 34, no. 23, pp. 2194-2196, 1998.

[4] R. F. Harrington, "Reactively controlled directive arrays", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. AP-26, pp. 390-395, May 1978.
 [5] R. J. Dinger, "A planar version of a 4.0 GHz reactively steered adaptive array", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. AP-34, pp. 427-431, Mar. 1986.
 [6] R. Schlub, J. Lu, and T. Ohira, "Seven element ground skirt monopole ESPAR antenna design from a genetic algorithm and the finite element method", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 51, pp. 3033-3039, Nov. 2003.
 [7] J. R. Mautz, R. F. Harrington, "Modal analysis of loaded N -port scatterers", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. AP-21, no. 2, pp. 188-199, Mar. 1973.

주 상 호



2007년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학사)
 2007년 3월~현재: 충북대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 안테나, 초고주파 회로 설계

최 익 권



1974년 2월: 서울대학교 자원공학과 (공학사)
 1976년 2월: 서울대학교 자원공학과 (공학석사)
 1986년 9월: 미국 오하이오 주립대학교 전자공학과 (공학박사)
 1976년 3월~1979년 6월: 육군 제3사관학교 교수부 물리학 전임강사
 1981년 10월~1986년 8월: 미국 오하이오 주립대 Electro Science Lab. 연구조교
 1986년 9월~1987년 8월: 미국 메사추세츠 주립대 안테나 연구실 연구원
 1987년 9월~1993년 3월: 한국전자통신연구원 이동통신 연구소 전자공학연구실 실장
 1993년 9월~1994년 3월: 전북대학교 정보통신공학과 조교수
 1994년 3월~현재: 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부(전자공학전공) 교수
 [주 관심분야] 적응 배열 안테나, EMI/EMC, RF/MW 통신 소자