

180도 방위 빔 커버리지 특성을 갖는 UNII대역 소형 전자 빔 조향 기생 배열 안테나[†]

(Small ESPAR Antenna with 180 Degree Azimuth Beam Coverage)

최 익 권*, 주 상 호**
(Ikguen Choi and Sangho Ju)

요 약 본 논문에서는 180도 방위 빔 커버리지 특성을 갖는 소형의 고이득 빔 조향 기생 배열 안테나를 제안한다. 이 안테나는 단일면 야기 다이폴 급전소자와 리액턴스가 장하된 인접한 두 기생 다이폴 소자로 구성되며 제작된 안테나는 기생소자의 리액턴스를 전자적으로 변화시킴으로써 UNII 대역에서 (5.725GHz~5.825GHz) 방위각 -90° 에서 90° 범위에서 5.2dB~6.7dB 이득 특성을 가지며, 반사손실은 -10dB이하임을 측정을 통해 확인하였다.

핵심주제어 : 빔 조향, 야기 다이폴, 리액턴스 장하, 기생 배열 방사체

Abstract In this paper, we have proposed a small electronically steerable parasitic array radiator with 180 degree azimuth beam coverage and high gain characteristics. The proposed antenna is composed of a uniplanar Yagi dipole as a feeding element and two dipoles as parasitic elements. The fabricated antenna is tested by electronically changing the reactance loaded on the parasitic dipoles and the results show that it has 5.2dB~6.7dB gain in $-90^\circ \sim 90^\circ$ wide azimuth range and -10dB return loss characteristics within 5.725GHz~5.825GHz UNII band.

Key Words : Beam-Steering, Yagi-dipole, Reactive Loading, Parasitic array radiator

1. 서 론

최근 모바일 통신 및 근거리 통신 네트워크 시스템의 수요의 급증으로 인하여 제한된 스펙트럼을 분할하여 이용하는 문제가 제기되고 있다. TDMA나 CDMA 방식과 같은 셀룰러대역의 통신기술이 이러한 문제를 해결하였지만 그 수요의 급증과 다양한 인플레이션의 발달로 한계에 도달하고 있고, 이러한 문제

의 대안으로 스마트안테나가 연구되고 있다[1].

스마트 안테나의 하나인 적응형 배열 안테나는 다양한 방사패턴을 형성할 수 있기 때문에 다중 경로 간섭에 의한 페이딩 현상에 유리하며 Ad hoc 기반의 프로토콜을 이용한 근간 거리 통신 및 각종 레이더 등에 많은 장점을 가지고 있다. 그러나 일반적인 적응형 배열 안테나인 디지털 빔 형성 배열 안테나(DBF : Digital Beam-forming Array Antenna)의 경우에는 배열 소자마다 저잡음 증폭기, 주파수 하향기, D/A 변환기, A/D 변환기 등이 필요하기 때문에 크기가 커지며, 전력소모도 많고 또한 고속의 디지털 신호 처리기

[†] 이 논문은 2008년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

* 충북대학교 전자정보대학 교수, 제1저자

** 충북대학교 전자정보대학 석사과정, 교신저자

가 필요하기 때문에 가격이 비싸서 군사적인 목적등 적용범위가 제한되어왔다[2],[3].

최근 무선 랜이나 무선 Ad hoc등의 상업적인 목적의 필요성이 부각됨에 따라 디지털 빔 형성 배열 안테나의 이러한 단점을 극복하는 저가의 다양한 아날로그 빔 형성 안테나(ABF : Analog Beamforming Antenna)가 연구되고 있다[4]~[7]. 대표적인 아날로그 빔 형성 안테나중의 하나인 ESPAR (Electrically steerable parastic array radiator) 안테나는 하나의 급전 소자와 가변용량 다이오드가 장착된 다수의 기생 소자로 구성되는 것으로 각 기생소자에 장착된 가변용량 다이오드에 인가전압을 변화시키므로 전자적으로 빔 조향을 구현한다.

본 논문에서는 급전소자로 단일면 야기 다이폴과 그와 인접해서 임의의 리액턴스를 인가하기 위한 집중소자를 장착한 두 개의 기생 다이폴로 구성된 전자 빔 조향 기생 배열 안테나 기법을 이용하여 UNII (Unlicense National Information Infrastructure)대역에서 $-90^{\circ} \sim +90^{\circ}$ 의 넓은 빔 커버리지를 갖는 소형 안테나를 설계 제작한다.

2. 기생 배열 안테나의 설계

2.1 기생 배열 안테나 구조

본 논문에서 제안하는 단일 급전의 빔 조향 다이폴 배열 안테나는 그림 1에서 보듯이 한 개의 급전 소자와 일정한 간격 TS를 두고 각각 위아래에 놓여있는 두 개의 기생소자로 구성된다. 여기서 jX_1 , jX_2 는 각 기생소자에 인가되는 리액턴스를 의미한다. 기생소자들은 급전회로가 없는 다이폴 구조를 가지고 있으며 급전소자는 그림 2에서 보듯이 크기가 작으면서 광대역 특성을 가지고 있는 단일 평면구조의 다이폴 안테나를 채택한다.

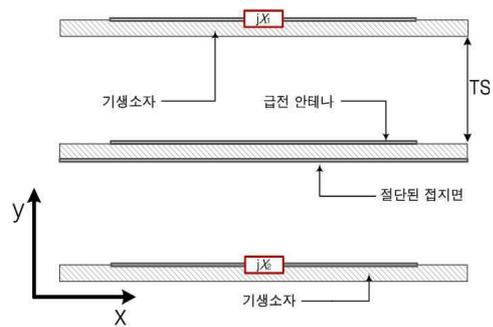
2.2 단일 급전 안테나의 설계

안테나는 유전율 4.4, 두께 1 mm인 FR4기판을 이용하여 설계하였다. 그림 1에 보이는 급전 안테나는 방사소자의 길이를 8.5mm, 폭을 3mm로 설계하여 동축선을 이용하여 급전하였다. 변수인 GH는 접지면과

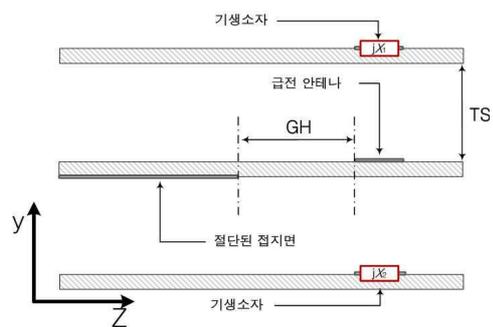
방사소자간의 커패시턴스를 통하여 50Ω 동축선과 임피던스 매칭을 하였다. 또한 GH는 접지면의 위치를 결정하므로 단일 급전 안테나의 Front-to-back ratio를 결정한다.

2.3 기생 배열 안테나의 방사패턴

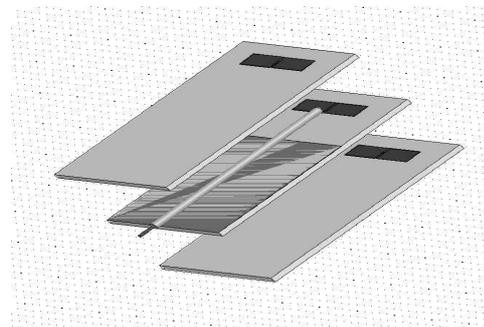
일반적으로 리액턴스가 장하된 기생 소자를 갖는 기생 배열 안테나의 최대 이득과 방사 패턴은 소자간 상호결합과 기생 소자에 장하되는 리액턴스 값에 의해 조절될 수 있다[3]. 따라서 급전 소자와 기생 소



(a) 정면도



(b) 측면도



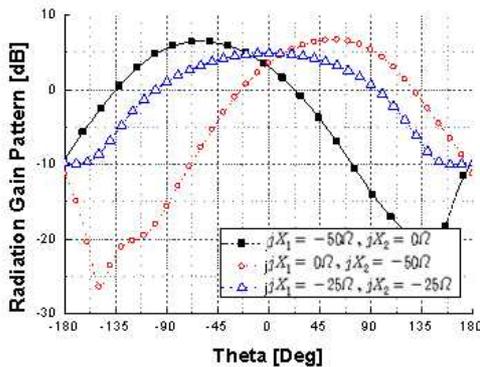
(c) 3D 구조

<그림 1> 제안하는 안테나의 구조

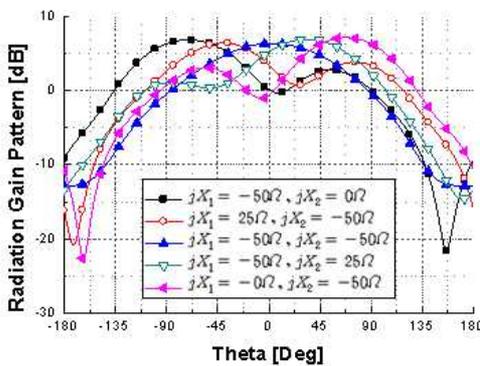
자 간 간격 그리고 기생소자의 리액턴스 값을 변화시킴으로써 원하는 빔 조향을 구현할 수 있다.

그림 2는 앞에서 설계된 급전 안테나와 두 기생 소자간 거리 TS와 기생 소자에 장착되는 리액턴스 값 jX_1 , jX_2 에 따른 안테나의 방사 패턴의 변화를 상용 시뮬레이터인 Ansoft HFSS를 이용하여 계산한 결과

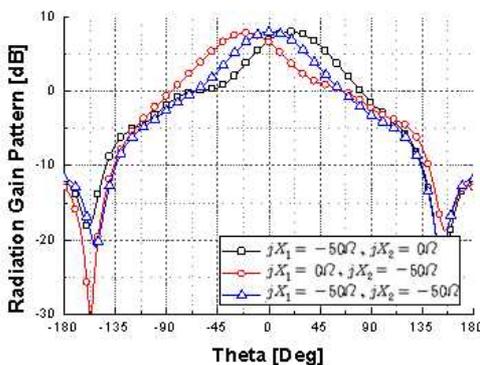
이며 이때 안테나의 설계주파수는 5.77GHz이다. 그림2로부터 $TS = \lambda_g/4$ 일 경우 안테나 최대이득은 가장 작지만 작은 리액턴스의 변화로 주빔 방향을 가장 크게 변화시킬 수 있을 뿐 아니라 3dB 빔 폭도 넓어지는 장점이 있다. 따라서 방위방향에서 $-90^\circ \sim +90^\circ$ 의 넓은 빔 커버리지를 갖는 안테나의 구현이 가능하다.



(a) $TS = \lambda_g/8$



(b) $TS = \lambda_g/4$



(c) $TS = \lambda_g/2$

<그림 2> 거리 TS와 가변 리액턴스에 따른 방사패턴

3. 제작 및 측정 결과

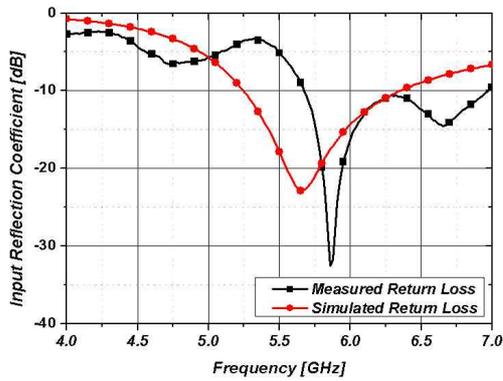
제작된 안테나는 유전율 4.4, 두께 1 mm인 FR4기판을 이용하였으며, 안테나의 전자적인 빔조향을 구현하기 위해 기생 소자에 특정 용량의 커패시턴스나 리액턴스를 가지는 집중소자를 장착하여 원하는 빔 조향을 구현하였다.

그림 3은 기생소자가 존재하지 않는 경우에 급전소자의 반사손실 특성을 나타내며 측정된 안테나의 -10dB 대역폭은 5.7~7GHz로 광대역이다. 동축선을 이용하여 급전을 하였기 때문에 계산 결과와 실제 측정결과의 차이가 발생하는 것으로 사료된다. 그림 4는 중심주파수인 5.77GHz에서의 안테나의 방사패턴을 나타낸다. 방사패턴은 시뮬레이션 값과 측정값이 매우 근사함을 보이고 있으며 측정된 안테나의 최대이득은 5.2dB이며 3dB 빔 폭은 Y-Z 평면에서 150° 이고 X-Z 평면에서 60° 이다. 커패시터는 Murata사의 고주파용 칩 커패시터 GRM18을 이용하였으며 5.8GHz에서 기생 인덕턴스 값인 0.7nH를 고려하여 계산된 리액턴스 값은 0.3pF의 경우 -75Ω 이고, 1.3nH의 경우 75Ω 이다. 최종 제작된 기생 배열 안테나는 그림 5와 같다.

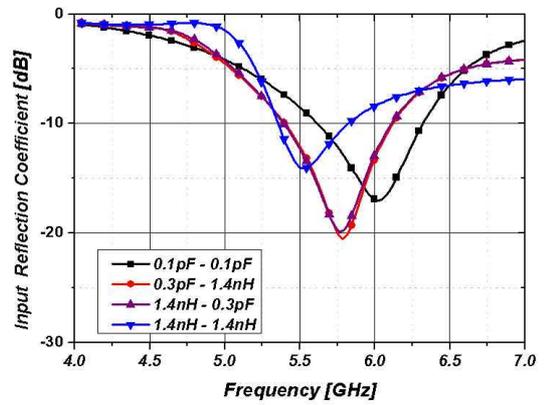
기생소자의 리액턴스 값이 변하면 안테나의 입력 임피던스 값도 변하게 된다. 따라서 앞서 언급한 GH를 변화시켜 최적의 임피던스 정합을 유도하였다. 그림 6은 HP사의 HP8720C 회로망 분석기를 이용하여 GH이 8mm일 경우 각 리액턴스값에 따른 반사 손실을 측정한 결과를 나타낸다.

이 측정된 결과로부터 모든 리액턴스 변화에 대하여 -10dB 반사손실 대역폭은 5.4~5.9GHz로 UNII대역 5.725~5.825GHz를 포함하고 있음을 알 수 있다.

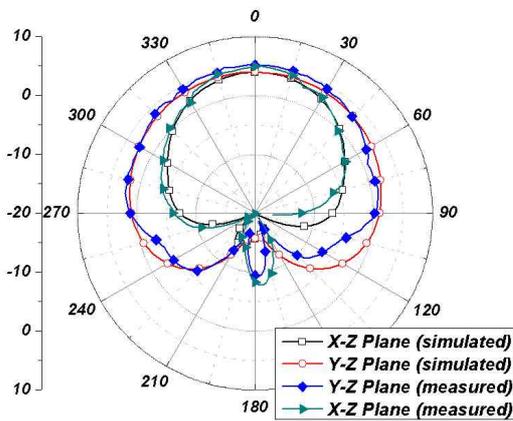
그림 7은 의 UNII 대역의 중심주파수 5.77GHz에서 각 리액턴스 값에 대한 방사패턴 변화를 상용 시뮬레이터인 Ansoft사의 HFSS를 가지고 계산한 결과와 전자파 무반사실에서 측정된 결과를 보이고 있다. 각



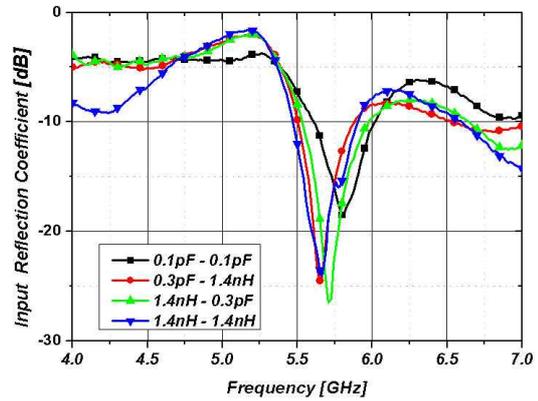
<그림 3> 급전소자의 반사손실



(a) 계산된 안테나 반사손실의 변화



<그림 4> 급전소자의 방사패턴



(b) 측정된 안테나 반사손실의 변화

<그림 6> 리액턴스 변화에 따른 안테나의 반사손실



(a) 단일 급전 안테나



(b) 기생소자



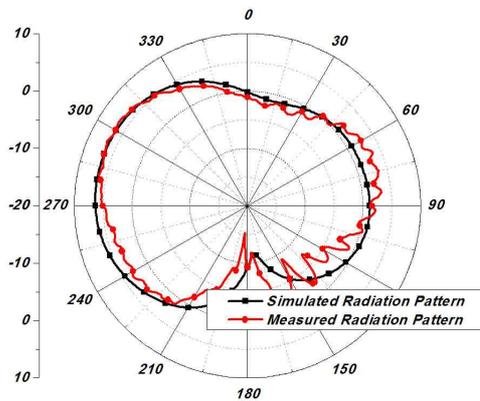
(c) 측면도



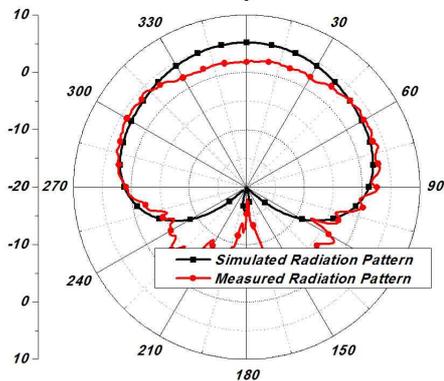
(d) 정면도

<그림 5> 제작된 안테나 사진

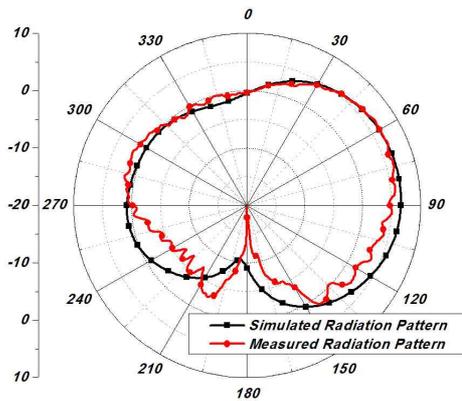
빔 조향 각도에서 방사패턴은 최대이득이 -90° 와 90° 방향일 때 매우 유사한 결과를 나타내며, 최대이득이 0° 일 때 나타나는 차이는 실제 제작시 각 기생소자를 지지하기 위하여 폼(Foam)을 이용함으로써 계산한 소자간의 상호결합과 실제의 상호결합의 차이로 발생한 차이라고 사료된다. 3dB 빔 폭은 커패시터를 이용하였을 경우 주 빔 방향이 -60° , 0° , 60° 일 때 각각 107° , 110° , 103° 으로 측정되었다. 그리고 커패시터를 이용한 경우 X-Z 평면상 -90° 에서 90° 방위각 범위에서 5.2dB~6.7dB의 이득 특성을 가짐을 확인하였다.



(a) 최대 이득의 방향이 -60° 일 경우
($jX_1 = 0.3\text{pF}$, $jX_2 = 1.4\text{nH}$)



(b) 최대 이득의 방향이 0° 일 경우
($jX_1 = 0.1\text{pF}$, $jX_2 = 0.1\text{pF}$)



(c) 최대 이득의 방향이 60° 일 경우
($jX_1 = 1.4\text{nH}$, $jX_2 = 0.3\text{pF}$)

<그림 7> 리액턴스 변화에 따른 안테나의 방사패턴
(Y-Z 평면)

4. 결론

본 논문에서는 급전소자와 임의의 리액턴스 값이 인가된 기생소자 사이의 상호 결합을 이용한 $-90^\circ \sim +90^\circ$ 의 넓은 빔 커버리지를 갖는 소형 빔 조향 기생 배열 안테나를 제안한다. 이 안테나는 동축선을 이용하여 급전하는 다이폴 급전소자와 다이폴 구조의 두 기생소자로 구성된다.

주 빔 방향이 $-60^\circ, 0^\circ, 60^\circ$ 로 빔 조향이 가능하며 각 빔의 3dB빔 폭은 각각 $107^\circ, 110^\circ, 103^\circ$ 이다. 따라서 이 안테나는 전자적으로 빔을 조향하므로써 $-90^\circ \sim +90^\circ$ 방위의 넓은 빔 커버리지 특성을 가지며, 또한 이 방위 범위 내에서 안테나 이득은 5.2dB~6.7dB로 전방위 방사특성을 가지는 다이폴 안테나와 비교하여 상대적으로 높은 이득 특성을 가지고 있음을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] A. O. Boukalov and S. G. Haggman, "System aspects of smart-antenna technology in cellular wireless communications - an overview," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 48, pp. 919-929, June 2000.
- [2] H. Steyskal, "Digital beamforming antennas: An introduction," *Microwave J.*, vol. 30, no. 1, pp. 107-124, Jan. 1987.
- [3] H. Steyskal and J. F. Rose, "Digital beamforming for radar systems," *Microwave J.*, vol. 32, no. 1, pp. 121-136, Jan. 1989.
- [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 and R. F. Harrington, "Modal analysis of loaded N-port scatterers," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-21, no. 2, pp. 188-199, Mar. 1973.



최익권 (Ikgyuen Choi)

- 정회원
- 1974년 2월 서울대학교 자원공학과 (공학사)
- 1976년 2월 서울대학교 자원공학과 (공학석사)
- 1986년 9월 미국 오하이오 주립대 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1976년 3월~1979년 6월 육군 제3 사관학교 교수부 물리학 전임강사
- 1981년 10월~1986년 8월 미국 오하이오 주립대 Electro Science Lab. 연구조교
- 1986년 9월~1987년 8월 미국 메사추세츠 주립대 안테나 연구실 연구원
- 9월~1993년 3월 한국 전자통신연구원 이동통신연구소 전파공학연구실 실장
- 1993년 9월~1994년 3월 전북대학교 정보통신공학과 조교수
- 1994년 3월~현재 충북대학교 전자정보대학 (전파공학전공) 교수
- 관심분야 : 적응 배열 안테나, EMI/EMC, RF/MW 통신소자



주상호 (Sangho Ju)

- 정회원
- 2007년 2월 : 충북대학교 전자공학과 (공학사)
- 2007년 3월 - 현재 : 충북대학교 전파공학과 석사과정
- 관심분야 : RF/안테나

논문 접수일 : 2010년 04월 23일

1차수정완료일 : 2010년 06월 03일

2차수정완료일 : 2010년 06월 08일

게재확정일 : 2010년 06월 08일