

## S-대역 4×1 광대역 위상배열안테나에 관한 연구

### 4×1 Wideband Phase Array Antenna at S-Band

윤 나 내 · 하 반 남 · 서 철 현

Nanae Yoon · Nam Ha-van · Chulhun Seo

#### 요 약

본 논문에서는 S-대역에서 동작하는 광대역 특성을 가지는 aperture coupled feed patch 구조를 설계하고, 4×1로 배열하였다. 설계한 배열안테나는 다른 layer 기판의 커플링을 통하여 광대역 특성을 갖는다. 제안한 안테나는 2개의 층으로 이루어져 있고, 위층은 4개의 방사패치, 아래층은 aperture와 접지 면으로 이루어져 있다. 제안한 배열안테나를 측정 결과, 3.2 GHz를 중심으로 약 15 %의 광대역 특성을 갖는 것을 확인하였다. 빔 조향을 위해, 제안한 배열 안테나에 위상 천이기를 적용하였다. 제안한 위상배열안테나는 제작 및 측정하였다. 측정결과, 위상차를 통하여 약 35°까지 빔 조향이 가능한 것을 확인하였다.

#### Abstract

In this work, an aperture-coupled patch array antenna with wideband characteristics was designed and arrayed in a 4×1 S-band. The designed antenna structure consists of two layers, and it possesses wideband characteristics achieved using coupling between the two layers. The first layer is comprised of four radiation patches and the second layer has an aperture and a ground plane. The antenna structure possesses 15 % wideband characteristics and the center frequency is at 3.2 GHz. A phase shifter was added to the array antenna to enable beam steering. The proposed phase array antenna was fabricated and measured. Our proposed design enables beam steering up to 35°.

Key words: Antenna, Phase Array Antenna, S-band.

#### I. 서 론

무선 통신 응용 기술이 다양한 형태로 적용됨에 따라 각종 시스템에 적용할 수 있는 광대역 안테나에 대한 연구에 많은 관심이 집중되고 있다. 마이크로스트립 패치안테나는 제조가 용이하고, 가격이 싸고 가볍기 때문에 여러 응용분야에서 사용되고 있다. 하지만 일반적인 마이크로스트립 패치안테나는 본질적으로 1~5 %의 좁은 대역

의 특성을 갖고 있다. 이러한 단점은 광범위한 마이크로스트립 패치안테나의 활용에 제약을 준다. 만약 안테나의 주파수 대역폭이 넓어진다면, 다양한 어플리케이션에 유용하게 사용될 수 있다<sup>[1][2]</sup>.

대역폭의 단점을 해결하기 위한 방법으로 낮은 유전율과 두꺼운 기판을 이용하는 방법, 여러 모양의 층이나 다중 평면 구조를 이용하는 방법, 다양한 슬롯을 이용하는 방법 등이 연구되어 왔다<sup>[1]~[5]</sup>. 그 중 Aperture Coupling

「This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korean government (MSIP)(NRF-2017R1A5A1015596).」  
승실대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Soongsil University)

· Manuscript received November, 17 2017 ; Revised January, 3, 2018 ; Accepted January, 10, 2018. (ID No. 20171117-02S)

· Corresponding Author: Chulhun Seo (e-mail: chulhun@ssu.ac.kr)

Feed Patch Antenna(ACFPA) 구조는 공진 패치에 급전을 간접적으로 하는 방식이다. Aperture의 크기를 포함한 다양한 매개 변수를 최적화 하는 것으로, 넓은 대역폭을 넓힐 수 있다.<sup>[6]</sup>.

안테나를 배열하여 빔 조향이 가능하도록 설계한 위상 배열안테나는 다수의 안테나를 평면 또는 공간상에 배열한 후 각 안테나 급전 전류의 위상을 전기적으로 제어함에 따라 합성된 빔의 방향을 제어할 수 있는 안테나이다. 항공기나 미사일 등의 추적 시스템 및 통신 기술에도 적용되어 통신시스템에서 전자기 에너지를 송수신기 쪽으로 집중시킴으로써 효율을 높이는 스마트 안테나 시스템으로도 활용되고 있다<sup>[7-9]</sup>.

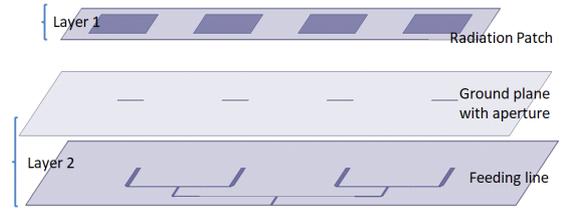
본 논문에서는 광대역 특성을 갖는 ACFPA 구조를 이용하여 S-대역에서 동작하는 광대역 안테나를 연구한다. 또한 안테나의 빔 조향을 가능하게 하기 위해 설계한 배열 안테나에 위상 천이기를 적용하여 빔 조향이 가능한 위상배열안테나를 연구하였다.

## II. 광대역 배열안테나

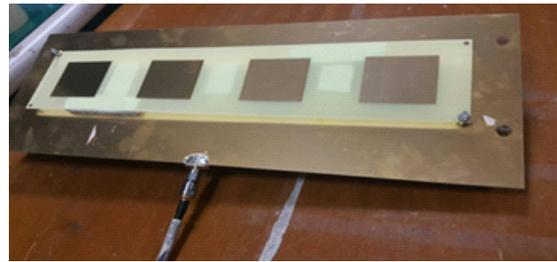
일반적인 마이크로스트립 패치안테나의 좁은 대역폭의 단점을 개선하기 위해 광대역 특성을 갖는 안테나 구조 중 Aperture Coupled Feed Patch Antenna(ACFPA) 구조는 다른 층 기판을 이용하고, 이러한 층들 사이에 공기 또는 물질이 대역폭을 증가시킬 수 있다<sup>[6]</sup>. 본 논문에서는 ACFPA 구조를 설계 및 배열하고, 위상천이기를 적용하여 광대역 특성을 갖는 위상배열안테나를 설계하였다.

### 2.1 광대역 안테나 구조 설계

광대역 특성을 갖는 ACFPA 구조를 설계 및 배열을 하였고, 제안한 안테나 구조는 그림 1에 나타내었다. 기판은 FR4( $\epsilon_r$ : 4.4)를 사용하여 설계하였고, 전체 구조는 2개의 layer로 이루어져 있다. 이 구조의 layer 2는 0.5 mm 두께의 기판으로 설계하였고, 아랫면은 급전선로, 윗면은 aperture와 접지 면으로 이루어져 있고, layer 1은 0.2 mm 두께의 기판 윗면에 4개의 방사패치로 이루어져 있다. 방사패치의 크기는 40 mm×36 mm로 설계되었다. 또한 layer 1과 layer 2사이의 간격은 5 mm이며, 안테나의 이득 향상과 빔 조향 설계를 위하여 안테나를 4×1로 배열하였다. 안테



(a) 제안한 안테나 구조  
(a) The proposed antenna structure



(b) 제작한 안테나 구조  
(b) Fabrication of the antenna structure

그림 1. 제안한 4×1 ACFPA 배열안테나 구조  
Fig. 1. The proposed 4×1 ACFPA array antenna structure.

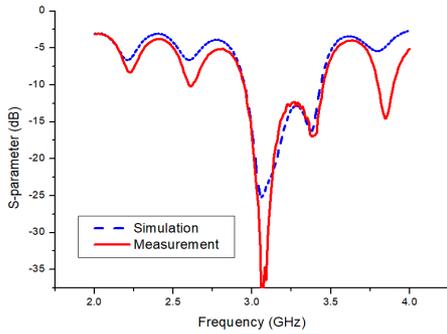
나의 전체 크기는 122.6 mm×342.8 mm×5.7 mm이다.

### 2.2 광대역 안테나 모의실험 및 측정

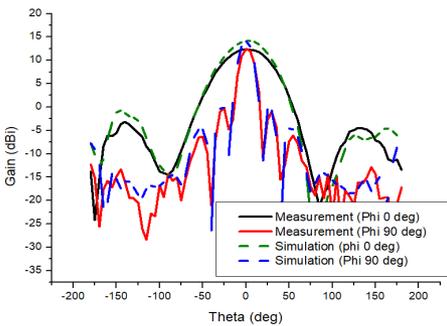
설계한 ACFPA 배열 구조를 모의실험 및 측정하였다. 그림 2(a)는 S-parameter 특성을 나타내었고, 이 결과를 통해 동작 대역을 확인할 수 있다. 중심주파수는 3.2 GHz이고, 이때의 대역폭은 -10 dB 이하로 동작하는 주파수를 확인하였다. 측정결과 2.95~3.45 GHz에서 동작하고, 계산한 결과 모의실험 및 측정결과, 모두 약 15%의 대역폭을 갖는다. 그림 2(b)는 이득 특성을 나타내며, 3.2 GHz에서 모의실험 결과 약 14.1 dBi, 측정결과 약 12.6 dBi의 이득을 가지며 모의실험 결과와 비교하여 약 1.5 dB 감소된 결과를 나타낸다. 이러한 이득의 감소는 안테나 제작 시 안테나 layer 사이에 간격을 두어 결합 시 고정을 하는데 오차를 가지며, 또한 모의실험 환경설정과 측정 시 환경의 차이에 의한 이득 감소로 보인다.

## III. 위상천이기를 적용한 위상배열안테나

배열안테나에서는 안테나의 방사소자에 위상차를 이



(a) S-parameter  
(a) S-parameter



(b) 방사패턴  
(b) Radiation pattern

그림 2. 제안한 안테나의 모의실험 결과  
Fig. 2. Simulation result of the proposed antenna.

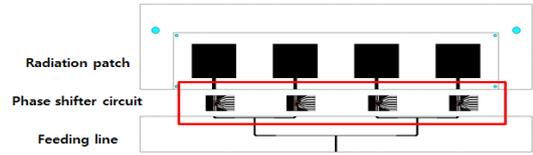
용하여 안테나의 빔의 조향이 가능하게 할 수 있다. 본 논문에서는 안테나에 위상천이기를 적용하여 소자 간 위상차를 주어 빔 조향이 가능하게 하였다.

### 3-1 제안한 위상배열안테나 구조

그림 3은 제안한 위상배열안테나의 구조 및 제작 사진이다. 제안한 위상배열안테나는 3개의 부분으로 이루어져 있다. 급전 선로, 위상천이기, 안테나 방사 패치로 이루어져 있고, 사용한 위상천이기는 MACOM사의 MAPS 010144 모델로 4개 비트에 전압을 통해 22.5°씩 위상을 변화시킬 수 있다. 따라서 해당주파수 3~3.4 GHz의 범위에서 위상차를 주어 빔 조향 특성을 측정하였다.

### 3-2 측정결과

그림 4는 위상배열안테나의 방사패턴 측정결과를 나타



(a) 제안한 안테나 구조  
(a) The proposed antenna structure



(b) 제작한 안테나 구조  
(b) Fabrication of the antenna structure

그림 3. 제안한 4×1 ACFPA 배열안테나 구조  
Fig. 3. The proposed 4×1 ACFPA array antenna structure.

표 1. 위상차에 따른 빔 조향 각도 및 이득  
Table 1. Beam steering angle with phase difference.

주파수 \ 위상차	0°	45°	90°	135°	180°	225°
3 GHz	1°/ 7.86 dBi	10°/ 7.59 dBi	20°/ 7.53 dBi	29°/ 6.56 dBi	39°/ 4.81 dBi	-28°/ 6.18 dBi
3.1 GHz	0°/ 8.57 dBi	9°/ 8.24 dBi	18°/ 7.57 dBi	26°/ 6.67 dBi	36°/ 4.84 dBi	-28°/ 6.36 dBi
3.2 GHz	0°/ 7.62 dBi	9°/ 7.66 dBi	17°/ 6.81 dBi	25°/ 6.12 dBi	36°/ 3.90 dBi	-27°/ 4.96 dBi
3.3 GHz	0°/ 8.18 dBi	8°/ 7.50 dBi	15°/ 7.87 dBi	27°/ 6.00 dBi	34°/ 4.60 dBi	-27°/ 5.06 dBi
3.4 GHz	-1°/ 7.67 dBi	8°/ 7.43 dBi	16°/ 7.50 dBi	25°/ 5.98 dBi	34°/ 4.62 dBi	-26°/ 5.07 dBi

내었다. 본 연구에서는 위상차를 0°에서 시작하여 45°간격을 선택하여 45°씩 늘리면서 위상차를 변경하여 측정하였다. 이때의 빔이 각각 다른 각도로 조향되는 것을 확인하였다. 3.2 GHz에서 0°, 9°, 17°, 25°로 빔 조향이 되고, 배열 안테나 간의 간격이 약 0.8 λ이므로 위상차가 180°일 때부터 ±35°에서 grating lobe가 발생한다. 또한 225°부터는 반대 각도에서 빔 조향 특성이 나온다. 이때 위상배열안테나는 위상차가 0°일 때 이득은 약 7.62 dBi이며 배열안테나와 비교하여 이득이 감소되었다. 위상천이기의

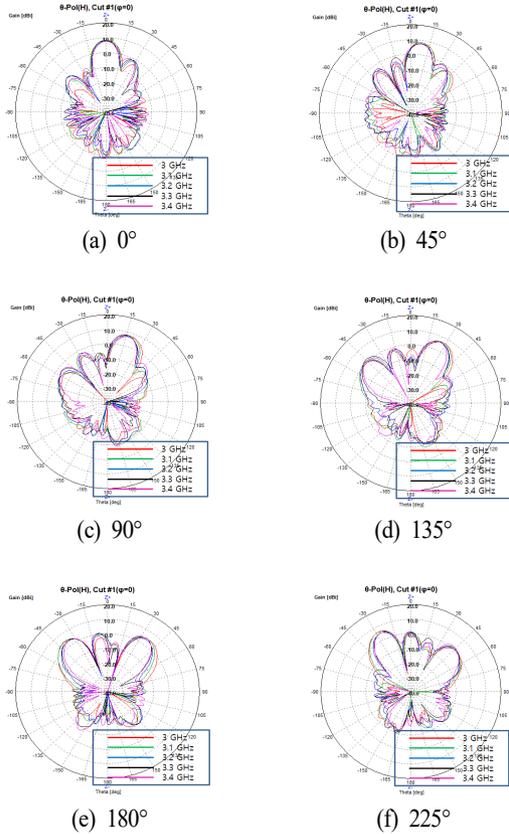


그림 4. 제안한 안테나의 측정결과  
Fig. 4. Measurement result of the proposed antenna.

손실 특성에 의해서 안테나의 이득이 감소되었지만 빔 조향 특성을 가지게 되었다.

표 1은 위상차에 따른 안테나의 방사패턴의 빔 조향 각도와 그 각도에서 최대 이득을 갖기 때문에 그때의 이득을 나타내었다. 측정 주파수와 위상차가 증가하면서 주빔의 빔 조향 각도의 차이가 발생한다. 이는 위상천이기의 오차가 3 GHz보다 3.8 GHz에서, 135° 이상에서 오차가 더 크기 때문에 차이가 발생하는 것으로 보인다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 광대역 특성을 갖는 ACFPA 배열 구조를 설계하였다. 또한 안테나 방사소자에 각각 위상천이기를 적용하여 위상차를 통한 빔 조향이 가능하도록 하였다. 위상배열안테나를 제작 및 측정된 결과, 동작 주파수

는 3.2 GHz를 중심으로 대역폭은 15 %의 광대역 특성을 가진다.

위상천이기를 적용한 위상배열안테나의 빔 조향은 3.2 GHz에서  $-35^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 까지 빔 조향이 가능한 것을 확인하였다. 또한 제안한 위상배열안테나는 3.2 GHz에서 주빔이 0°일 때의 이득은 약 7.62 dBi이다.

#### References

- [1] 이직렬, "슬롯 패치 안테나의 대역폭 확장에 관한 연구," 한국전자과학회논문지, 24(6), pp. 581-586, 2013년 6월.
- [2] 이진선, 강치운, 윤서용, 이봉석, 김우수, 이문수, "마이크로스트립 U 슬롯 패치 안테나의 설계," 한국정보통신학회논문지, 3(3), pp. 509-516. 1999년 9월.
- [3] W. Chen, K. F. Lee, and R. Q. Lee, "Input impedance of coaxially fed rectangular microstrip antenna on electrically thick substrate," *Microwave Opt. Technology Letters*, vol. 6, pp. 387-390, May 1993.
- [4] R. Q. Lee, K. F. Lee, and J. Bobinchak, "Characteristics of a two-layer electromagnetically coupled rectangular patch antenna," *Electronics Letters*, vol. 23, no. 20, pp. 1070-1072, Sep. 1987.
- [5] P. S. Hall, "Probe compensation in thick microstrip patches," *Electronics Letters*, vol. 23, no. 11, pp. 606-607, May 1987.
- [6] G. Kumar, K. P. Ray, *Broadband Microstrip Antennas*, Boston, London, Artech House, 2013.
- [7] 박순우, 김홍준, "LHTL 위상변위기를 이용한 4×4 광대역 위상배열안테나," 전기학회논문지, 66(2), pp. 379-382, 2017년 2월.
- [8] W. D. Wirth, *Radar Techniques Using Array Antennas*, vol. 10, IET, 2001.
- [9] M. E. Russell, "Future of RF technology and radars," in *2007 IEEE Radar Conference*, Boston, 2007, pp. 11-16.
- [10] G. Han, B. Du, W. Wu, and B. Yang, "A novel hybrid phased array antenna for satellite communication on-the-move in Ku-band," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 63, no. 4, pp. 1375-1383, Apr. 2015.