

## 60 GHz 개구면 결합 패치 안테나의 기판 위치에 따른 이득 변화 및 주기적 특성

### Gain Variation of 60 GHz Aperture-Coupled Patch Antenna Dependent on the Position on the Ground Plane and Periodic Characteristic

서 해 교 · 홍 원 빈 · 감 동 군\*

Haekyo Seo · Wonbin Hong · Dong Gun Kam\*

#### 요 약

본 논문에서는 60 GHz 개구면 결합 패치 안테나의 기판 위치에 따른 이득 변화를 살펴보았다. 안테나 구조가 같음에도 불구하고 일정한 크기의 기판에서 안테나의 위치에 따라 안테나의 이득이 변화하였다. 이때 이득이  $0.9\lambda$ 의 주기성과 5 dB 진폭을 가지고 변화되는 것을 관찰하였다. 이를 검증하기 위하여 일정한 크기의 기판에 안테나의 위치에 따라 총 20개의 시료를 제작 및 측정하였으며, HFSS 소프트웨어를 이용한 모의실험과 측정결과가 일치함을 확인하였다. 다른 모의실험을 통하여 이득의 일정한 주기 변화는 기판의 유전율과 굽기에 영향이 크다는 것을 확인하였다.

#### Abstract

In this paper, the gain variation of a 60 GHz aperture-coupled patch antenna that is dependent on the position on the ground plane is investigated. Despite using the same antenna, the antenna gain is varied as a function of the antenna position on the ground plane with a constant size. The period of gain variation is approximately  $0.9\lambda$  and the amplitude is fixed with approximately 5 dB. Twenty fabricated test vehicles were measured and compared with simulation results using HFSS software; the measurement and simulation results show adequate agreement. The printed circuit board (PCB) thickness and dielectric constant strongly affect the period of the gain variation.

Key words: Phased Arrays, Gain Variation

#### I. 서 론

위상 배열 안테나는 밀리미터 대역의 관심이 증가함에 따라 많은 연구가 진행되고 있다. 대표적으로 WiGig 및 5세대 이동통신에서 위상배열 안테나는 핵심 부품으로 그 중요성이 매우 높다. 위상 배열 안테나의 각 안테나 소자들의 이득 편차는 잘 알려진 문제로 많은 연구 또한 진

행되고 있지만, 뚜렷한 해결책은 제시되지 않고 있다.

예전 출판된 논문들<sup>[1]~[6]</sup>에 따르면 위상배열 안테나에서 각 소자 안테나들의 이득 편차의 원인은 기판의 끝에서 회절에 의한 2차 방사가 원인이라고도 하며, 기판에서 생성되는 기판모드에 의한 2차 방사가 원인이라고도 한다. 하지만 아직 뚜렷한 해결책은 제시되지 않고 있으며, 기판의 바깥쪽에 사용되지 않는 안테나 소자를 추가<sup>[7]</sup>하

포항공과대학교 전자공학과(Department of Electrical Engineering, Pohang University of Science and Technology)

\*아주대학교 전자공학과(Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou University)

· Manuscript received May 15, 2019 ; Revised June 26, 2019 ; Accepted October 22, 2019. (ID No. 20190515-050)

· Corresponding Author: Dong Gun Kam (e-mail: kam@ajou.ac.kr)

여 이를 극복하려는 방법이나 기판모양을 변형시키는 방법<sup>[8]</sup>이 제시되었다.

본 논문에서는 60 GHz의 안테나를 사용하여 일정한 크기의 기판에서 안테나의 위치에 따라 안테나의 이득이 변화하는 것을 확인하였으며, 이때 이득변화는 일정한 주기와 진폭을 가지는 사인곡선의 형태를 가지는 것을 확인한다. 이러한 이득변화를 기반으로 안테나 위치를 변경함으로 이득의 극대화 가능성을 확인하였다. 측정 검증된 자료를 바탕으로 기판 위치에 따른 이득변화를 분석하였으며, 기판의 영향에 따른 이득변화의 모델을 제시하였다. 유전체의 유전율과 굽기를 변화시켰을 때 주기성이 변화하는 것을 관찰하였으며, 이를 통하여 제시된 모델의 신뢰성을 높였다.

## II. 기판 위치에 따른 안테나 이득 변화

그림 1은 60 GHz 개구면 결합 패치 안테나의 구조이다<sup>[1]</sup>. 기본적으로 FR-4 기판( $\epsilon_r=4.4$ ,  $\tan \delta=0.02$ )과 구리(두께=18  $\mu\text{m}$ )를 사용하였다. 3층 기판을 사용하였으며, 아래층은 200  $\mu\text{m}$  두께, 위층은 400  $\mu\text{m}$  두께를 사용하였다. 안테나를 기준으로  $L_1$ 은 왼쪽 기판의 크기를 나타내며  $L_2$ 는 오른쪽 기판의 크기를 나타낸다.

기판상의 안테나의 위치 변화는 그림 2에서 설명된다. 안테나는  $L_1=20\text{ mm}(4\lambda)$ 에서부터  $L_2=39\text{ mm}(7.6\lambda)$ 까지

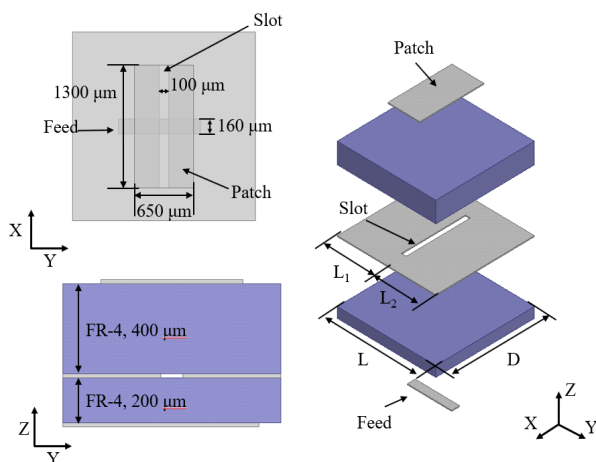


그림 1. 60 GHz 개구면 결합 패치 안테나 구조  
Fig. 1. 60 GHz aperture-coupled patch antenna structure.

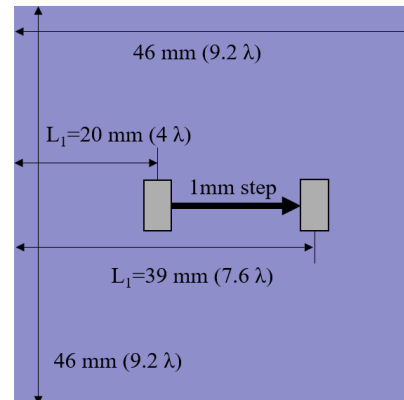


그림 2. 일정한 크기의 기판에서 안테나 위치 변화  
Fig. 2. Antenna position changing with the ground plane of fixed size.

1 mm ( $0.2\lambda$ )의 간격으로 안테나의 위치를 슬롯이 구성된 방향을 따라 오른쪽으로 옮겨가며 설계하였다.

그림 3은  $L_1$  크기에 따라 변화되는 안테나 이득( $\theta=0^\circ$ )의 그래프이다. 빨간색 점선은 HFSS 소프트웨어를 이용하여 모의실험결과이며 파란색 실선은 측정 결과를 나타낸다. 두 결과는 거의 일치하며, 이때 안테나가 기판 상에 놓인 위치에 따라 나타나는 이득 변화는 사인곡선의 형태를 가지는 것을 확인할 수 있다.

이득변화의 사인곡선은 약  $0.9\lambda$ 의 주기를 가지며, 약 5.3 dB의 진폭을 가진다. 즉, 일정한 크기의 기판에서 이득이 높은 위치와 낮은 위치가  $0.9\lambda$ 마다 번갈아가면서 반복되며, 이득이 높은 위치마다 안테나를 배치할 경우, 모두 높은 이득을 가지는 배열 안테나를 구성할 수 있다.

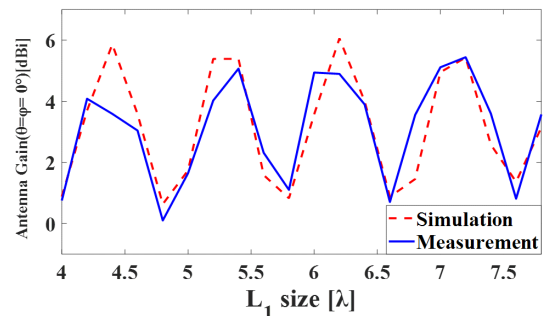
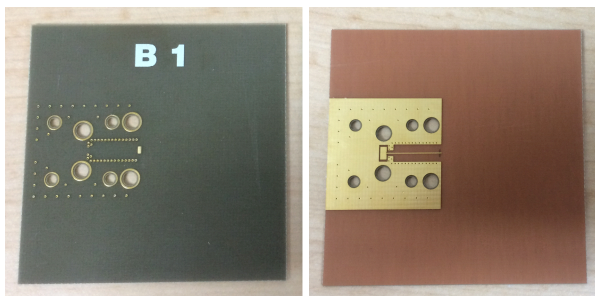


그림 3.  $L_1$  크기에 따른 안테나 이득 ( $\Theta=\phi=0^\circ$ ) 변화  
Fig. 3. Antenna gain variation ( $\Theta=\phi=0^\circ$ ) with  $L_1$  size.

### III. 측 정

그림 4는 제작된 안테나이다. 앞면에 안테나 패치 모양이 설계되었고, 뒷면에 도파관 연결을 위해서 전이구조가 설계되었다. 그림 5는 측정을 위하여 구성된 안테나 실험체의 전체 모습이다. 아래에 안테나 기판이 있으며, 그 뒤로 도파관 연결을 위한 전이 구조, 그리고 도파관이 연결된다.

그림 5는 안테나 측정을 위한 설정이다. 사용된 도파관과 전이구조, 그리고 PCB 아래층에 설계된 도파관으로부터 전송선로로 변환하기 위한 구조로 인하여 큰 손실이 발생한다. 손실은 약 5.7 dB로 모의실험을 통하여 예측하였으며, 그림 3의 모의실험과 보상을 해준 측정결과와 값



(a) 앞면  
(a) Top view  
(b) 뒷면  
(b) Bottom view

그림 4. 제작된 개구면 결합 패치 안테나  
Fig. 4. Fabricated aperture-coupled patch antenna.

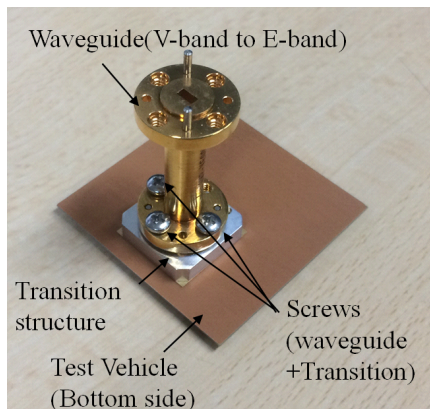


그림 5. 안테나 측정을 위한 설정(뒷면)  
Fig. 5. Setup for antenna measurement(bottom).

이 일치함으로써 예측된 손실이 정확함을 확인할 수 있다.

### IV. 결과 분석

출판된 논문<sup>[1]</sup>에 따르면, 안테나의 이득 변화는 편파방향의 기판 크기에 영향을 받는다. 이때, 기판크기는 안테나를 기준으로 오른쪽과 왼쪽의 기판 크기가 각각 독립적으로 영향을 준다.

일정한 기판의 크기에서 그림 2와 같이 안테나가 좌측에서 우측으로 이동하게 되면, 좌측의 기판 길이는 점점 길어지게 되며, 우측의 기판 길이는 짧아지게 된다. 각각의 기판 위치에 따라 나타나는 안테나의 이득 특성 곡선은 사인파형을 가지게 되므로 이는 두 개의 사인파형의 중첩으로 나타난다. 출판된 논문<sup>[1]</sup>에서 측정된  $1.8\lambda$ 의 주기를 가지는 결과와는 달리 결과적으로 그림 3과 같이  $0.9\lambda$ 의 주기를 가지는 사인파형으로 나타난다.

그림 6은 제시되는 기판 기반의 안테나 방사 모델이다. 기판 기반의 안테나는 전체를 안테나구조로 인식하는 것보다는 편파방향의 기판을 하나의 부가 구조로 인식하여야 한다. 안테나를 기준으로 우측과 좌측이 안테나의 영향으로 2차 방사를 일으키게 되며, 안테나에서 기판의 끝까지 길이를 함수로 주방사와 위상이 같거나 달라짐으로 안테나의 최종 이득이 결정되는 것이다.

표 1은 모의실험을 통하여 유전체의 굵기와 종류에 따른 이득변화를 나타낸 것이다. 그림 6의 제안된 기판을 기반으로 한 안테나의 방사모델에서 2차 방사는 유전체의 직접적인 영향을 받는다. 기판을 기반으로 안테나의

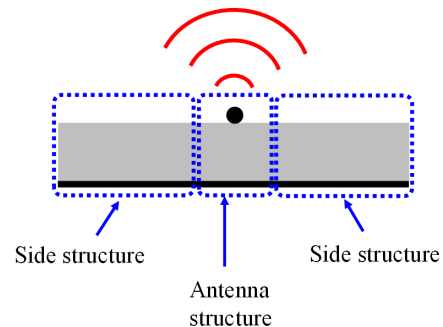


그림 6. 제안된 기판기반 안테나 방사 모델  
Fig. 6. Proposed antenna with PCB radiation model.

표 1. 유전체 굵기와 유전율에 따른 이득변화 주기

Table 1. Period of gain variation with various dielectric thickness and dielectric constant.

Thickness \ $\epsilon_r$	3	4	5
0.5 mm	$1 \lambda$	$0.9 \lambda$	$0.9 \lambda$
1 mm	$0.95 \lambda$	$0.85 \lambda$	$0.8 \lambda$
1.5 mm	$0.85 \lambda$	$0.65 \lambda$	$0.5 \lambda$

이득변화는 기관의 유전율과 굵기에 따라 그 주기가 달라지는 것을 표 1을 통하여 확인할 수 있다. 주기는 사용된 유전체의 굵기가 굵어질수록, 유전체의 유전율이 높아질수록 짧아지는 것을 확인할 수 있다.

## V. 토론 및 결론

본 논문에서는 기관의 안테나 위치에 따른 이득변화를 살펴보고 이를 모의실험과 측정을 통하여 얻어진 값을 비교하였다. 일정한 크기의 기관에서 이득변화는  $0.9 \lambda$ 의 주기로 나타나는 것을 확인하였으며, 모의실험 결과와 측정 결과의 일치함을 확인하였다. 측정 결과로 안테나의 편파방향의 좌우 기관의 크기에 따라 이득이 결정되는 것을 확인하였다.

측정결과를 기반으로 기관을 기반으로 안테나의 방사 모델을 제시하였으며, 모의실험을 통한 여러 경우의 이득변화 주기를 확인함으로써 제시된 모델의 가능성을 뒷받침하였다.

## References

[1] H. Seo, W. Hong, and D. G. Kam, "Gain variation of 60-GHz patch antennas due to ground plane dimensions,"

*Microwave Optical Technology Letter*, vol. 58, no. 4 pp. 745-747, Feb. 2016.

- [2] D. G. Kam, D. Liu, A. Natarajan, S. K. Reynolds, and B. A. Floyd, "Organic packages with embedded phased-array antennas for 60-GHz wireless chipsets," *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, vol. 1, no. 11, pp. 1806-1814, Nov. 2011.
- [3] D. Liu, Y. P. Zhang, "Integration of array antennas in chip package for 60-GHz radios," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 100, no. 7, pp. 2364-2371, Mar. 2012.
- [4] D. Liu, S. Reynolds, "Package size effects on the gains of patch antennas and finite patch arrays," in *2013 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI)*, Orlando, FL, Jul. 2013, pp. 103-104.
- [5] Y. Wang, Z. Du, "Dual-polarized slot-coupled microstrip antenna array with stable active element pattern," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 63, no. 9, pp. 4239-4244, Jul. 2015.
- [6] D. Pozar, "Finite phased arrays of rectangular microstrip patches," *IEEE Transactions on Antennas Propagation*, vol. 34, no. 5, pp. 658-665, May 1986.
- [7] G. Siciliano, M. Pasian, L. Perregini, and P. Besso, "Effects of finite aperture and random phase errors for a space debris radar antenna array," in *2017 47th European Microwave Conference (EuMc)*, Nuremberg, pp. 1357-1360, Oct. 2017.
- [8] T. Namiki, Y. Murayama, and K. Ito, "Improving radiation-pattern distortion of a patch antenna having a finite ground plane," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 51, no. 3, pp. 478-482, Mar. 2003.

서 해 교 [아주대학교/석박통합과정]

<https://orcid.org/0000-0002-5615-5912>



2013년 2월: 아주대학교 전자공학 (공학사)  
2013년 3월~현재: 아주대학교 전자공학과 석박통합과정

감 동 근 [아주대학교/부교수]

<https://orcid.org/0000-0001-8882-567X>



2000년 2월: 한국과학기술원(KAIST) 물리학과 (이학사)  
2002년 2월: 한국과학기술원(KAIST) 전자공학과 (공학석사)  
2006년 8월: 한국과학기술원(KAIST) 전자공학과 (공학박사)  
2007년 5월~2008년 8월: IBM 왓슨연구소 박사후연구원

2008년 8월~2011년 7월: IBM 왓슨연구소 연구원

2011년 9월~현재: 아주대학교 전자공학과 교수

홍 원 빈 [포항공과대학교/부교수]

<https://orcid.org/0000-0002-0224-7280>



2004년: Purdue University 전자공학과 (공학사)  
2005년: University of Michigan 전자공학과 (공학석사)  
2009년: University of Michigan 전자공학과 (공학박사)  
2009년~2014년: 삼성전자 책임연구원

2014년~2016년: 삼성전자 수석연구원

2016년 2월~현재: 포항공과대학교 전자공학과 교수