

논문 2010-47TC-10-9

# 유한한 기판 크기가 H-평면상에 배열된 두 개의 패치안테나간의 상호결합에 미치는 영향

(Effect of a Finite Substrate on the Mutual Coupling of a Pair of  
Microstrip Patch Antennas along the H-plane)

김 군 수\*, 김 태 영\*, 김 부 균\*\*

(Gun-Su Kim, Tae-Young Kim, and Boo-Gyoun Kim)

## 요 약

유한한 기판 크기가 H-평면상에 배열된 두 개의 패치안테나간의 상호결합 특성에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 표면파의 여러 가지 이동경로에 따른 위상차에 의한 간섭 효과를 이용하여 표면파를 서로 상쇄시켜 상호결합을 작게 할 수 있다. 유전상수가 10 이고 기판 두께가 3.2 mm 인 경우 패치안테나 중심 간의 거리가  $0.5 \lambda_0$  에서  $1.0 \lambda_0$  로 두 배 증가할 때, 상호결합이 큰 기판 크기에서는 상호결합이 4.85 dB 감소하나 최적화된 기판 크기에서는 상호결합이 34.28 dB 감소한다. 최적화된 기판 크기에서 패치안테나 중심 간의 거리 증가에 따른 상호결합 감소율이 매우 큼을 볼 수 있었다. 이미지 방법으로 계산한 최적화된 기판 크기와 전산모의 결과로 얻어진 최적화된 기판 크기가 잘 일치하였다.

## Abstract

In this paper, the effect of a finite substrate on the mutual coupling of a pair of microstrip patch antennas along the H-plane is investigated. The mutual coupling of a pair of microstrip patch antennas can be reduced using the interference effect due to the phase difference by a variety of routes of the surface wave. In the case of the substrate with  $\epsilon_r=10$  and thickness of 3.2 mm, the mutual coupling is reduced by 4.85 dB on the substrate size with the strong mutual coupling, while the mutual coupling is reduced by 34.28 dB on the substrate size with the weak mutual coupling when the distance between the antenna centers is varied from  $0.5 \lambda_0$  to  $1.0 \lambda_0$ . In the case of optimization substrate size, the decreasing rate of the mutual coupling with the increase of the distance between the antenna centers is very large. Good agreements between the image method and full wave simulation results are obtained.

**Keywords:** Microstrip patch antennas, Phased array antenna, Mutual coupling, Image method, Finite grounded substrate.

## I. 서 론

배열 안테나는 개별 안테나 소자들을 선형 또는 2차

원 면상에 배열하여 구성한다. 이러한 배열 안테나의 개별 안테나 소자로 tapered slot 안테나, 선형 다이폴 안테나, 마이크로스트립 패치안테나등과 같은 여러 형태의 안테나 소자들이 사용되고 있다<sup>[1]</sup>. 마이크로스트립 패치안테나는 가볍고 높이가 작으며 저렴한 가격으로 제작할 수 있기 때문에 많은 연구가 진행되고 있다<sup>[2]</sup>.

배열 안테나의 성능을 향상시키기 위해서는 개별 안테나 소자 간에 발생하는 상호결합(Mutual Coupling)을 최소화해야 한다. 패치안테나간의 상호결합은 수평방향으로 방사되는 필드와 패치 밑에서 발생하여 기판을 따

\* 학생회원, \*\* 평생회원-교신저자, 송실대학교  
(Soongsil University)

※ 본 연구는 지식경제부, 방송통신위원회 및 한국산업  
기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)  
의 일환으로 수행하였음 [KI001673, 지능형안테나  
기술개발]

접수일자: 2010년6월28일, 수정완료일: 2010년10월15일

라 전달되는 표면파에 의해 발생된다. 기판의 크기가 유한한 경우 표면파는 기판 가장자리로부터 회절되어 방사특성에 큰 영향을 미친다. 또한 표면파는 패치에서 방사되는 필드보다 거리에 따른 감소 비율이 작기 때문에 배열 안테나에서 패치안테나간의 상호결합에 영향을 미치는 주요 원인이 된다. 마이크로스트립 패치안테나의 표면파는 주로 E-평면상으로 진행하기 때문에 E-평면상에 배열된 패치안테나간의 표면파를 억제하기 위한 방법들에 대하여 많은 연구가 진행되었다<sup>3~5)</sup>.

본 논문에서는 유한한 기판 가장자리에서 회절되어 들어오는 표면파가 H-평면상에 배열된 두 개의 패치안테나간의 상호결합에 미치는 영향을 이미지 방법과 전산모의를 통하여 연구하였다. 이미지 방법을 사용하여 계산된 상호결합이 최소화 되는 최적화된 크기와 Ansoft사의 HFSS(High Frequency Structure Simulator)로 전산모의한 상호결합이 최소화 되는 최적화된 기판 크기는 비교적 잘 일치함을 볼 수 있었다.

제 II장에서는 여러 가지 기판 두께에서 두 개의 패치안테나 중심 간의 거리에 따른 상호결합 특성에 대하여 알아보았다. 제 III장에서는 패치안테나의 중심과 기판 가장자리까지의 거리가 상호결합에 미치는 영향에 대하여 살펴보았고 제 IV장에서는 최적화된 기판 크기에서 패치안테나 중심 간의 거리에 따른 상호결합 특성에 대하여 살펴보았다. 끝으로 제 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 두 개의 패치안테나 중심 간의 거리에 따른 상호결합

패치안테나간의 상호결합은 기판을 따라 진행하는 표면파에 의한 결합과 패치에서 방사되는 필드에 의한 상호결합으로 생각할 수 있다. 표면파에 의한 패치안테나간의 상호결합은 패치안테나간의 거리가 2배 증가할 때 약 3 dB 감소하고 패치안테나에서 방사되는 필드에 의한 상호결합은 패치안테나간의 거리가 2배 증가할 때 H-평면상으로 배열된 경우는 주로 near field에 의한 상호결합이 발생하여 약 12 dB 감소한다<sup>6)</sup>.

그림 1은 H-평면상으로 배열된 두 개의 패치안테나와 이미지 방법을 사용하여 회절장의 효과를 계산하기 위한 구조도를 나타낸다. H-평면상으로 배열된 두 개의 패치안테나간의 상호결합에 영향을 주는 표면파의 주요 성분은 다음 3가지로 생각할 수 있다. (1) 패치안테나간

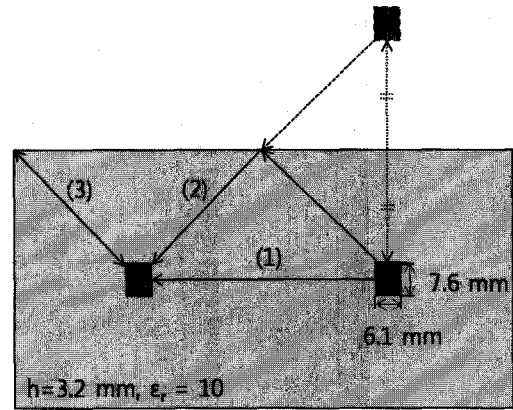


그림 1. H-평면상으로 배열된 두 개의 패치안테나와 이미지 방법을 사용하여 회절장의 효과를 계산하기 위한 구조도

Fig. 1. Schematic diagram of a pair of patch antennas along the H-plane and for the calculation of the effect of the diffracted fields using the image method.

의 직접적인 표면파의 결합, (2) 패치안테나의 배열 방향에 수직인 가장자리에서 회절되어 들어오는 표면파의 결합, (3) 패치안테나의 길이 방향으로 진행하여 기판 가장자리에서 회절되어 들어오는 표면파의 결합이다. 표면파는 패치안테나의 E-평면 방향으로 주로 진행하기 때문에 (2)성분과 (3)성분의 표면파가 상호결합 특성에 크게 영향을 미친다.

여러 가지 기판 두께에서 두 개의 패치안테나 중심 간의 거리에 따른 상호결합 특성을 살펴보기 위하여 5 GHz 로 동작하는 패치안테나를 H-평면상에 배열하고 패치안테나 중심 간의 거리에 따른 상호결합 특성을 살펴보았다. 전산모의에 사용된 기판은 Taconic 사의 CER-10 으로 유전상수가 10 이고 loss tangent 는 0.0035 이다. 패치안테나 중심 간의 거리를  $0.5 \lambda_0$  부터  $1.0 \lambda_0$  까지  $0.05 \lambda_0$  간격으로 증가시켜가며 상호결합 특성을 전산모의 하였다. 이때 패치안테나 중심으로부터 E(H)-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리는  $0.8 \lambda_0(0.5 \lambda_0)$  로 비교적 상호결합이 크게 발생하는 거리로 고정하였다<sup>4)</sup>.

그림 2는 기판의 유전상수가 10이고 두께가 0.8 mm, 1.6 mm, 3.2 mm 인 경우 두 개의 패치안테나 중심 간의 거리에 따른 상호결합을 나타낸다. 기판 두께가 0.8 mm 인 경우 패치안테나의 크기는  $8.9 \text{ mm} \times 8.4 \text{ mm}$  이고 유효 유전상수는 1.01 이다. 패치안테나 중심 간의 거리가  $0.5 \lambda_0$  에서  $1.0 \lambda_0$  로 두 배 증가할 때 상호결합이 12.65 dB 감소하였다. 기판의 두께가 얇아 표면파

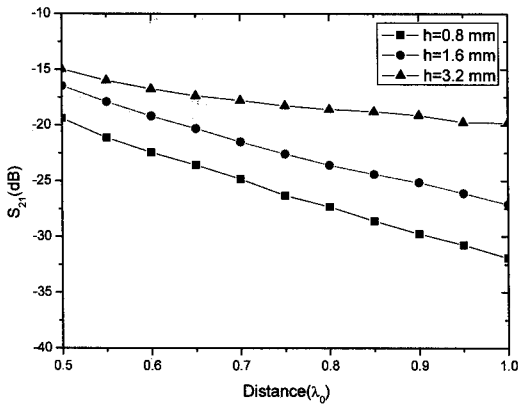


그림 2. 기판의 유전상수가 10이고 두께가 0.8 mm, 1.6 mm, 3.2 mm 인 경우 두 개의 패치안테나 중심 간의 거리에 따른 상호결합

Fig. 2. Mutual coupling between a pair of patch antennas versus the distance between the antenna centers with  $\epsilon_r=10$  and substrate thickness of 0.8 mm, 1.6 mm, and 3.2 mm, respectively.

가 거의 발생하지 않아 주로 near field에 의한 상호결합이 발생함을 볼 수 있다<sup>[6]</sup>.

기판 두께가 1.6 mm 인 경우 패치안테나의 크기는 8.5 mm × 8.1 mm 이고 유효 유전상수는 1.03이다. 패치안테나 중심 간의 거리가 0.5  $\lambda_0$  에서 1.0  $\lambda_0$  로 두 배 증가할 때 상호결합이 10.66 dB 감소하였다. 기판 두께가 3.2 mm 인 경우 패치안테나의 크기는 7.6 mm × 6.1 mm 이고 유효 유전상수는 1.21이다. 패치안테나 중심 간의 거리가 0.5  $\lambda_0$  에서 1.0  $\lambda_0$  로 두 배 증가할 때 상호결합이 4.85 dB 감소하였다. 기판의 두께가 두꺼워 표면파가 많이 발생하여 두 패치안테나 간의 상호결합이 주로 표면파에 의하여 발생됨을 알 수 있다.

기판 두께가 두꺼울수록 표면파가 상호결합에 미치는 영향이 크기 때문에 패치안테나 중심 간의 거리에 따른 상호결합의 감소가 작고 상호결합 크기 자체도 크을 볼 수 있었다. 두 개의 패치안테나가 H-평면상에 배열된 경우 유한한 기판의 가장자리에서 회절되어 들어오는 표면파가 패치안테나간의 상호결합에 미치는 영향을 알아보기 위하여 기판 두께가 3.2 mm 인 기판에서 패치안테나의 중심과 기판 가장자리까지의 거리를 변화시키며 상호결합 특성을 살펴보았다. 또한 기판의 유효 유전상수가 기판 가장자리에서 회절되어 들어오는 표면파에 의한 패치안테나간의 상호결합에 미치는 영향을 알아보기 위하여 유전상수가 4.6인 FR-4 기판에서 패

치안테나의 중심과 기판 가장자리까지의 거리를 변화시키며 상호결합 특성을 살펴보았다.

### III. 패치안테나 중심과 기판 가장자리까지의 거리가 상호결합에 미치는 영향

#### 3.1 패치안테나 중심으로부터 E-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리에 따른 두 개의 패치안테나간의 상호결합

전산모의에 사용된 기판은 유전상수가 10이고 기판 두께가 3.2 mm 이다. 패치안테나 중심 간의 거리를 각각 0.5  $\lambda_0$ , 0.7  $\lambda_0$ , 1.0  $\lambda_0$  로 고정하고 패치안테나의 중심으로부터 E-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리를 0.3  $\lambda_0$  부터 1.0  $\lambda_0$  까지 0.05  $\lambda_0$  간격으로 증가시키면서 상호결합 특성을 전산모의 하였다. 패치안테나의 중심으로부터 H-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리는 0.5  $\lambda_0$  로 고정하였다.

그림 3은 기판의 유전상수가 10이고 기판 두께가 3.2

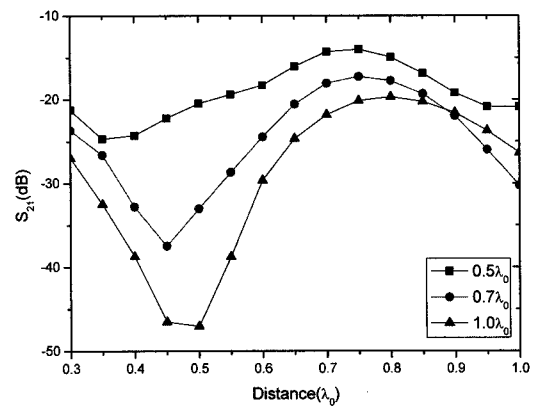


그림 3. 기판의 유전상수가 10이고 기판 두께가 3.2 mm 일 때 동작 주파수가 5 GHz 인 두 개의 패치안테나 중심 간의 거리가 각각 0.5  $\lambda_0$ , 0.7  $\lambda_0$ , 1.0  $\lambda_0$  에서 패치안테나의 중심으로부터 E-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리에 따른 상호결합

Fig. 3. Mutual coupling between a pair of patch antennas versus the distance between the antenna center and the substrate edge on the E-plane when the distances between the antenna centers are 0.5  $\lambda_0$ , 0.7  $\lambda_0$  and 1.0  $\lambda_0$ , respectively with  $\epsilon_r=10$ , the substrate thickness of 3.2 mm and the operating frequency at 5 GHz.

mm 일 때 두 개의 패치안테나 중심 간의 거리가 각각  $0.5 \lambda_0$ ,  $0.7 \lambda_0$ ,  $1.0 \lambda_0$  에서 패치안테나의 중심으로부터 E-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리에 따른 상호결합 특성을 나타낸다. 패치안테나의 중심으로부터 E-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리가  $0.3 \lambda_0$  에서  $1.0 \lambda_0$  까지 변화할 때 패치안테나 중심 간의 거리가  $0.5 \lambda_0$ ,  $0.7 \lambda_0$ ,  $1.0 \lambda_0$  일 때 상호결합의 크기는 각각 10.69 dB, 20.2 dB, 27.34 dB 변화하였다. 패치안테나 중심 간의 거리가  $0.5 \lambda_0$ ,  $0.7 \lambda_0$ ,  $1.0 \lambda_0$  일 때 패치안테나의 중심으로부터 E-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리가 각각  $0.35 \lambda_0$ ,  $0.45 \lambda_0$ ,  $0.5 \lambda_0$  에서 상호결합이 가장 작게 발생하였다.

이미지 방법을 사용하여 상호결합이 가장 작게 발생하는 E-평면과 만나는 가장자리까지의 거리를 계산하였다. 그림 1에서 표면파 (2)성분을 표면파 (1)성분으로 상쇄시키면 상호결합이 최소가 되기 때문에 표면파 (2)성분과 표면파 (1)성분의 위상차이가  $\pi$  만큼 발생되도록 하면 된다. 표면파 (2)성분과 표면파 (1)성분의 위상차이가  $\pi$  만큼 발생되기 위한 패치안테나의 중심으로부터 E-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리는 다음 수식으로 주어진다.

$$\frac{W_\pi}{\lambda_g} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{d}{\lambda_g} + \frac{1}{4}} \quad (1)$$

여기서  $W_\pi$  는 표면파 (2)성분과 표면파 (1)성분의 위상차이가  $\pi$  만큼 발생되기 위한 패치안테나의 중심으로부터 E-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리이고  $d$  는 패치안테나 중심 간의 거리이며  $\lambda_g$  는 접지된 기판을 따라 진행하는 표면파의 파장을 나타낸다.

식 (2)를 이용하여 계산한 표면파 (2)성분과 표면파 (1)성분의 위상차이가  $\pi$  만큼 발생하는 패치안테나의 중심으로부터 E-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리는 패치안테나 중심 간의 거리가  $0.5 \lambda_0$ ,  $0.7 \lambda_0$ ,  $1.0 \lambda_0$  일 때 각각  $0.45 \lambda_g$  ( $0.41 \lambda_0$ ),  $0.50 \lambda_g$  ( $0.45 \lambda_0$ ),  $0.58 \lambda_g$  ( $0.53 \lambda_0$ ) 로 전산모의 결과와 비슷함을 볼 수 있다.

접지된 유전체의 유효 유전상수가 상호결합에 미치는 영향을 알아보기 위하여 전산모의에 사용된 기판은 FR-4 로 유전상수가 4.6 이고 loss tangent 는 0.02 이며 기판 두께는 4.5 mm 이다. 패치안테나 중심 간의 거리를  $0.5 \lambda_0$ ,  $0.7 \lambda_0$ ,  $1.0 \lambda_0$  로 고정하고 패치안테나의 중심으로부터 E-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리를  $0.3 \lambda_0$  부터  $1.0 \lambda_0$  까지  $0.05 \lambda_0$  간격으로 증가

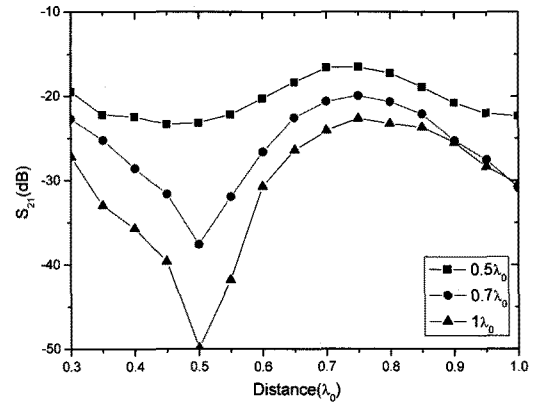


그림 4. 기판의 유전상수가 4.6이고 기판 두께가 4.5 mm 일 때 동작 주파수가 5 GHz 인 두 개의 패치안테나 중심 간의 거리가 각각  $0.5 \lambda_0$ ,  $0.7 \lambda_0$ ,  $1.0 \lambda_0$  에서 패치안테나의 중심으로부터 E-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리에 따른 상호결합

Fig. 4. Mutual coupling between a pair of patch antennas versus the distance between the antenna center and the substrate edge on the E-plane when the distances between the antenna centers are  $0.5 \lambda_0$ ,  $0.7 \lambda_0$  and  $1.0 \lambda_0$ , respectively with  $\epsilon_r=4.6$ , the substrate thickness of 4.5 mm and the operating frequency at 5 GHz.

시키면서 상호결합 특성을 전산모의 하였다. 이 때 패치안테나의 중심으로부터 H-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리는  $0.5 \lambda_0$  로 고정하였다.

그림 4는 기판의 유전상수가 4.6이고 기판 두께가 4.5 mm 일 때 두 개의 패치안테나 중심 간의 거리가  $0.5 \lambda_0$ ,  $0.7 \lambda_0$ ,  $1.0 \lambda_0$  에서 패치안테나의 중심으로부터 E-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리에 따른 상호결합 특성을 나타낸다. 동작주파수가 5 GHz 인 경우 접지된 유전체의 유효 유전상수는 1.22이고 패치안테나의 크기는  $12 \text{ mm} \times 9.3 \text{ mm}$  이다. 패치안테나의 중심으로부터 E-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리가  $0.3 \lambda_0$  에서  $1.0 \lambda_0$  까지 변화할 때 패치안테나 중심 간의 거리가  $0.5 \lambda_0$ ,  $0.7 \lambda_0$ ,  $1.0 \lambda_0$  일 때 상호결합의 크기는 6.81 dB, 17.63 dB, 27.27 dB 변화하였다. 패치안테나 중심 간의 거리가  $0.5 \lambda_0$ ,  $0.7 \lambda_0$ ,  $1.0 \lambda_0$  일 때 패치안테나의 중심으로부터 E-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리가 각각  $0.45 \lambda_0$ ,  $0.5 \lambda_0$ ,  $0.5 \lambda_0$  인 경우 상호결합이 가장 작게 발생하였다.

식 (2)를 이용하여 계산한 표면파 (2)성분과 표면파

(1)성분의 위상차이가  $\pi$  만큼 발생하는 패치안테나의 중심으로부터 E-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리는 패치안테나 중심 간의 거리가  $0.5 \lambda_0$ ,  $0.7 \lambda_0$ ,  $1.0 \lambda_0$  일 때 각각  $0.45 \lambda_g(0.41 \lambda_0)$ ,  $0.50 \lambda_g(0.45 \lambda_0)$ ,  $0.58 \lambda_g(0.53 \lambda_0)$  으로 전산모의 결과와 비슷함을 볼 수 있다. 또한 그림 3의 경우와 같은 유효 유전상수를 갖고 있어서 특성이 그림 3과 비슷한 것을 볼 수 있다.

접지된 유전체의 유효 유전상수가 상호결합에 미치는 영향을 더 자세히 알아보기 위하여 동작 주파수가 7 GHz 일 때 유효 유전상수가 1.22 인 기판을 사용하여 상호결합 특성을 전산모의 하였다. 전산모의에 사용된 기판은 FR-4 로 유전상수가 4.6 이고 기판 두께는 3.2 mm 이다. 기판의 유효 유전상수가 비슷한 경우 패치안테나의 중심과 기판 가장자리까지의 거리가 상호결합 특성에 미치는 영향이 비슷함을 확인 할 수 있었다.

### 3.2 패치안테나의 중심으로부터 H-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리에 따른 두 개의 패치안테나간의 상호결합

전산모의에 사용된 기판은 유전상수가 10 이고 기판 두께가 3.2 mm 이다. 패치안테나 중심 간의 거리를 각각  $0.5 \lambda_0$ ,  $0.7 \lambda_0$ ,  $1.0 \lambda_0$  로 고정하고 패치안테나의 중심으로부터 H-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리를  $0.3 \lambda_0$  부터  $1.0 \lambda_0$  까지  $0.05 \lambda_0$  간격으로 증가시키면서 상호결합 특성을 전산모의 하였다. 패치안테나 중심으로부터 E-평면(길이 방향)과 만나는 기판 가장자리까지의 거리는 그림 3에서 상호결합이 가장 작게 발생하는  $0.35 \lambda_0$ ,  $0.45 \lambda_0$ ,  $0.5 \lambda_0$  로 각각 고정하였다.

그림 5는 기판의 유전상수가 10이고 기판 두께가 3.2 mm 일 때 두 개의 패치안테나 중심 간의 거리가  $0.5 \lambda_0$ ,  $0.7 \lambda_0$ ,  $1.0 \lambda_0$  에서 패치안테나의 중심으로부터 H-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리에 따른 상호결합 특성을 나타낸다. 패치안테나의 중심으로부터 H-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리가  $0.3 \lambda_0$  에서  $1.0 \lambda_0$  까지 변화할 때 두 개의 패치안테나 중심 간의 거리가  $0.5 \lambda_0$ ,  $0.7 \lambda_0$ ,  $1.0 \lambda_0$ 에서 상호결합 크기는 각각 9.82 dB, 15.25 dB, 20.29 dB 변화하였다. 패치안테나 중심 간의 거리가  $0.5 \lambda_0$ ,  $0.7 \lambda_0$ ,  $1.0 \lambda_0$  일 때 패치안테나의 중심으로부터 H-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리가 각각  $0.5 \lambda_0$ ,  $0.5 \lambda_0$ ,  $0.5 \lambda_0$  와  $1.0 \lambda_0$ ,  $0.95 \lambda_0$ ,  $0.95 \lambda_0$ 에서 상호결합이 작게 발생하였다. 이미지 방법을 사용하면 상호결합이 최소가 되기 위해서는 표면과

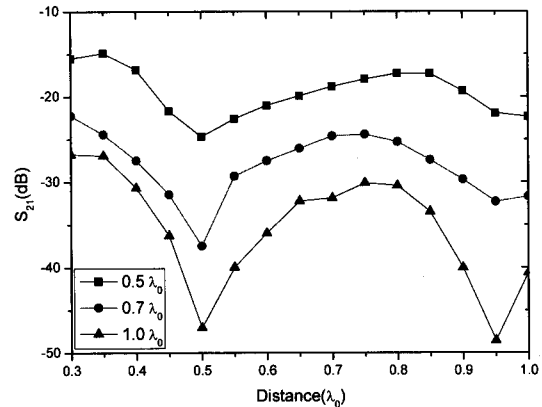


그림 5. 기판의 유전상수가 10이고 기판 두께가 3.2 mm 일 때 동작 주파수가 5 GHz 인 두 개의 패치안테나 중심 간의 거리가 각각  $0.5 \lambda_0$ ,  $0.7 \lambda_0$ ,  $1.0 \lambda_0$  에서 패치안테나의 중심으로부터 H-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리에 따른 상호결합

Fig. 5. Mutual coupling between a pair of patch antennas versus the distance between the antenna center and the substrate edge on the H-plane when the distances between the antenna centers are  $0.5 \lambda_0$ ,  $0.7 \lambda_0$  and  $1.0 \lambda_0$ , respectively with  $\epsilon_r=10$ , the substrate thickness of 3.2 mm and the operating frequency at 5 GHz.

(3)성분이 one-round trip 시 발생하는 위상 변화가  $(2n+1)\pi$  만큼 발생되어야 한다. 패치안테나 중심 간의 거리가 각각  $0.5 \lambda_0$ ,  $0.7 \lambda_0$ ,  $1.0 \lambda_0$  일 때 위상변화가  $3\pi$  만큼 발생되기 위한 패치안테나의 중심으로부터 H-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리는 각각  $0.64 \lambda_g(0.58 \lambda_0)$ ,  $0.56 \lambda_g(0.51 \lambda_0)$ ,  $0.51 \lambda_g(0.46 \lambda_0)$  이고 표면과 (3)성분이 one-round trip 시 발생하는 위상 변화가  $5\pi$  만큼 발생되기 위한 패치안테나의 중심으로부터 H-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리는 각각  $1.19 \lambda_g(1.08 \lambda_0)$ ,  $1.15 \lambda_g(1.04 \lambda_0)$ ,  $1.12 \lambda_g(1.02 \lambda_0)$ 이다. 전산모의 결과와 이미지 방법으로 계산한 결과가 거의 일치함을 볼 수 있었다.

접지된 유전체의 유효 유전상수가 상호결합에 미치는 영향을 알아보기 위하여 동작 주파수가 5 GHz 일 때 유효 유전상수가 1.22 인 기판을 사용하여 상호결합 특성을 전산모의 하였다. 전산모의에 사용된 기판은 FR-4 로 유전상수가 4.6 이고 기판 두께는 4.5 mm 이다. 기판의 유전상수와 두께가 같지 않아도 접지된 기판의 유효 유전상수가 비슷한 경우 패치안테나의 중심

과 기판 가장자리까지의 거리가 상호결합 특성에 미치는 영향이 비슷함을 확인 할 수 있었다.

#### IV. 상호결합이 작게 발생하는 기판 크기에서 패치안테나 중심 간의 거리에 따른 상호결합

기판의 유전상수가 10이고 기판 두께가 3.2 mm 일 때 패치안테나의 중심으로부터 H-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리는  $0.5 \lambda_0$  로 고정하였다. 패치안테나의 중심으로부터 E-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리는 각각 상호결합이 가장 크게 발생하는  $0.8 \lambda_0$  와 상호결합이 평균적으로 작게 발생하는  $0.45 \lambda_0$  로 고정하였다. 패치안테나의 중심 간의 거리를  $0.5 \lambda_0$  부터  $1.0 \lambda_0$  까지  $0.05 \lambda_0$  간격으로 증가시키면서 상호결합 특성을 비교하였다.

그림 6은 기판의 유전상수가 10이고 기판 두께가 3.2 mm 일 때 패치안테나의 중심으로부터 H-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리는  $0.5 \lambda_0$  이며, 패치안테

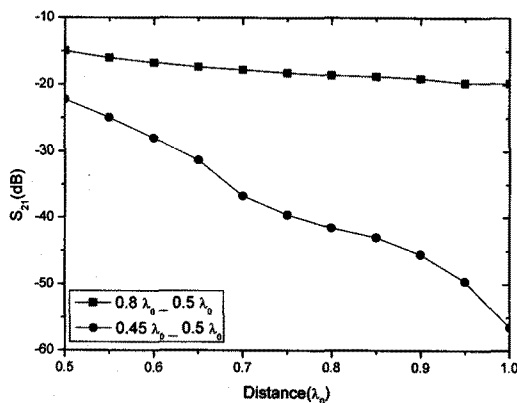


그림 6. 기판의 유전상수가 10이고 기판 두께가 3.2 mm 일 때 패치안테나의 중심으로부터 H-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리는  $0.5 \lambda_0$  이며, 패치안테나의 중심으로부터 E-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리가 각각  $0.8 \lambda_0$  와  $0.45 \lambda_0$  인 경우 두 개의 패치안테나 중심 간의 거리에 따른 상호결합

Fig. 6. Mutual coupling between a pair of patch antennas versus the distance between the antenna centers with  $\epsilon_r=10$ , the substrate thickness of 3.2 mm and the distance between the antenna center and the substrate edge on the H-plane of  $0.5 \lambda_0$  when the distances between the antenna center and the substrate edge on the E-plane are  $0.8 \lambda_0$  and  $0.45 \lambda_0$ , respectively.

나의 중심으로부터 E-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리가  $0.8 \lambda_0$  와  $0.45 \lambda_0$  인 경우 두 개의 패치안테나의 중심 간의 거리에 따른 상호결합 특성을 나타낸다. 패치안테나 중심으로부터 E-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리가  $0.8 \lambda_0$  인 경우 패치안테나 중심 간의 거리가  $0.5 \lambda_0$  에서  $1.0 \lambda_0$  로 두 배 증가할 때 상호결합이 4.85 dB 감소하였다. 패치안테나 중심으로부터 E-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리가  $0.45 \lambda_0$  인 경우 패치안테나 중심 간의 거리가 두 배 증가할 때 상호결합이 34.28 dB 감소하였다. 표면파 (3)성분이 one-round trip 시 발생하는 위상 변화가  $\pi$  만큼 발생하는 경우로 표면파에 의한 결합이 서로 상쇄되어 상호결합이 크게 감소하는 것을 볼 수 있다.

#### V. 결론

유한한 기판 크기가 H-평면상에 배열된 두 개의 패치안테나간의 상호결합 특성에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 기판 가장자리에서 회절되어 들어오는 표면파에 의해 두 개의 패치안테나간의 상호결합 특성이 영향을 받는 것을 확인하였다. 표면파의 여러 가지 이동경로에 따른 위상차에 의한 간섭 효과를 이용하여 표면파를 서로 상쇄시키면 상호결합을 작게 할 수 있다. 두 개의 패치안테나간의 거리가 주어졌을 때 상호결합이 최소가 되는 패치안테나의 중심으로부터 E-평면(길이 방향)과 만나는 기판 가장자리까지의 거리와 H-평면(폭 방향)과 만나는 기판 가장자리까지의 거리는 접지된 기판의 유효 유전상수에 주로 결정됨을 알 수 있었다.

유전상수가 10 이고 기판 두께가 3.2 mm 인 경우 패치안테나 중심 간의 거리가  $0.5 \lambda_0$  에서  $1.0 \lambda_0$  로 두 배 증가할 때, 기판 가장자리에서 회절되어 들어오는 표면파 (3)성분이 one-round trip 시 발생하는 위상차이가 거의 없는 경우 상호결합이 4.85 dB 감소하였지만 위상차이가  $\pi$  만큼 발생하는 최적화된 기판 크기에서는 상호결합이 34.28 dB 감소함을 볼 수 있었다.

두 개의 패치안테나간의 거리가 주어진 경우 이미지 방법을 사용하여 상호결합을 최소화할 수 있는 패치안테나의 중심으로부터 E(H)-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리를 간단히 구할 수 있고 전산모의 결과와 잘 일치함을 확인하였다. 또한 이 결과는 기판의 특정 유전상수나 두께와 관계없이 접지된 기판의 유효 유전

상수에 의해 주로 결정됨을 알 수 있었다. 따라서 본 논문의 결과를 사용하면 두 개의 패치안테나 중심 간의 거리에 따른 상호결합 특성을 개선시켜 H-평면상에 배열된 위상 배열 안테나의 특성을 향상 시킬 수 있을 것이라 생각된다.

**참고 문헌**

[1] Robert J. Mailloux, "Phased Array Antenna Handbook," 2nd edition, Boston-London, Artech House, 2005.

[2] Salehi M, Motevasselian A, Tavakoli A, Heidari T, "Mutual Coupling Reduction of Microstrip Antennas using Defected Ground Structure," *IEEE Communication systems*, pp. 1-5, Oct. 2006.

[3] F. Yang and Y. Rahmat-Samii, "Microstrip Antennas Integrated With Electromagnetic Band-Gap(EBG) Structures: A Low Mutual Coupling Design for array Applications", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 51, no. 10, pp. 2936-2946. Oct. 2003.

[4] 김태영, 김군수, 김부균, "유한한 기판 크기가 E-평면상에 배열된 두 개의 패치안테나간의 상호결합에 미치는 영향", *대한전자공학회논문지*, 제47권 TC편, 제6호, 26쪽-34쪽, 2010년 6월.

[5] Marija M. Nikolić, Antonije R. Djordjević, and Arye Nehorai, "Microstrip Antennas With Suppressed Radiation in Horizontal Directions and Reduced Coupling," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, no. 11, pp. 3469-3476, Nov. 2005.

**저자 소개**



김 군 수(정회원)  
 2009년 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사 졸업.  
 2009년~현재 숭실대학교 전자공학과 석사 과정.  
 <주관심분야 : 위상 배열 안테나, EBG, DGS>



김 태 영(정회원)  
 2003년 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사 졸업.  
 2005년 숭실대학교 전자공학과 석사 졸업.  
 2010년 숭실대학교 전자공학과 박사 졸업.

<주관심분야 : Microstrip Antennas, EBG, THz signal generation>



김 부 균(평생회원)  
 1979년 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
 1981년 KAIST 전기및전자공학과 (공학석사)  
 1989년 University of Southern California, 전자공학과 (공학박사)

1993년 IBM Almaden 연구소 방문 연구원  
 1997년~1998년 Univ. of California at Santa Barbara 방문 부교수  
 2004년~2006년 산자부 산업기술발전심의회 위원  
 2008년~2010년 숭실대학교 IT대학 학장  
 1981년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수

<주관심분야 : 위상 배열 안테나, SiP, 광통신 및 광네트워크용 소자>