

논문 2011-48TC-4-12

# Inductor Loaded 패치안테나를 이용한 2 소자 배열 안테나의 상호결합 특성

(Mutual Coupling Characteristics of a 2-element Array Antenna using Inductor Loaded Patch Antennas)

김 군 수\*, 김 태 영\*, 윤 영 민\* 김 부 균\*\*

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

## 요 약

Inductor loaded 패치안테나를 이용한 2 소자 배열 안테나의 기판 크기에 따른 상호결합 특성에 대하여 연구하였다. Inductor loaded 패치안테나를 각각 E-평면과 H-평면상에 배열하여 상호결합 특성을 비교하였다. Inductor loaded 패치안테나를 이용한 배열 안테나는 배열 방향에 상관없이 두 안테나 소자 간의 상호결합 크기가 매우 작았고 상호결합이 작게 발생하는 패치안테나의 중심과 E-평면방향의 기판 가장자리까지의 거리가 유사한 값을 가짐을 알 수 있었다.

## Abstract

Effect of a finite grounded substrate on mutual coupling characteristics of a 2-element array antenna using inductor loaded patch antennas is investigated. The mutual coupling characteristics of a 2-element array antenna using inductor loaded patch antennas positioned along the E-plane are compared with those positioned along the H-plane. The magnitude of mutual coupling is very small and the distance between the center of element and the substrate edge on the E-plane for the minimum mutual coupling is similar regardless of the direction at which antenna elements are positioned in the case of a 2-element array antenna using inductor loaded patch antennas.

**Keywords :** Microstrip patch antenna, Inductor loaded patch antenna, Finite grounded substrate, Mutual coupling, Surface wave.

## I. 서 론

배열 안테나의 성능을 향상시키기 위해서는 인접 안테나 소자 간에 발생하는 상호결합을 최소화해야 한다. 패치안테나간의 상호결합 현상을 발생시키는 주요 원인은 패치안테나의 패치 밑에서 발생하여 기판을 따라 전달되는 표면파와 패치안테나의 패치 밑에 존재하는 수

직방향의 편파전류에 의한 수평방향으로의 방사이다. 기판을 따라 전달되는 표면파와 수직방향의 편파전류에 의한 수평방향으로의 방사를 억제하기 위하여 많은 연구가 진행되었다<sup>[1~3]</sup>. 또한 유한한 기판 크기에서 표면파 성분들을 서로 상쇄시켜 상호결합을 최소화하는 연구와 수평방향으로의 방사를 억제시킨 inductor loaded 패치안테나를 이용한 선형 위상 배열 안테나에 관한 연구가 진행되었다<sup>[4~6]</sup>.

본 논문에서는 유한한 기판 가장자리에서 회절되어 들어오는 표면파가 각각 E-평면과 H-평면상에 배열된 두 개의 inductor loaded 패치안테나간의 상호결합에 미치는 영향을 전산모의를 통하여 연구하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 단일

\* 학생회원, \*\* 평생회원-교신저자, 송실대학교 정보통신전자공학부

(School of Electronic Engineering, Soongsil University)

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0023144)

접수일자: 2011년1월14일, 수정완료일: 2011년4월14일

패치안테나의 방사특성을 살펴보고 제 III장에서는 두 개의 패치안테나가 각각 E-평면과 H-평면상에 배열된 경우 패치안테나 중심으로부터 기판 가장자리까지의 거리가 상호결합에 미치는 영향에 대하여 알아보았다. 끝으로 제 IV장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 단일 패치안테나의 방사특성

기판 크기가 inductor loaded 패치안테나간의 상호결합에 미치는 영향을 알아보기에 앞서 단위 안테나를 설계하여 방사특성을 살펴보았다. 우선 inductor loaded 패치안테나의 특성을 비교하기 위한 기준 안테나로 일반적인 사각 패치안테나를 설계하였다. 그리고 버섯 (mushroom) 구조의 단위 셀을 길이방향으로 5 주기, 폭 방향으로 각각 2 주기와 4 주기 배열한 5×2와 5×4 inductor loaded 패치안테나를 설계하였다.

그림 1에는 설계한 여러 가지 단일 패치안테나의 구조도를 보인다. 각각의 패치 안테나는 5 GHz의 동작주파수를 갖도록 설계되었으며 사용된 기판은 Taconic 사의 CER-10 으로 두께는 3.2 mm, 유전상수는 10.2, loss tangent 는 0.0035 이다. 그림 1(a), (b), (c)에서 패치안테나의 패치 크기는 각각 7.6 mm × 6.1 mm, 27.5 mm × 12.2 mm, 27.5 mm × 19.78 mm 이다. 그림 1(b)와 그림 1(c)의 inductor loaded 패치안테나에서 패치와 접지면 사이의 핀 반경은 각각 1.0 mm 와 0.7 mm 로 설계되었다. 그림 1(a), (b), (c)의 패치안테나들은 모두 coaxial 피딩 방법으로 급전되며 피딩 위치는 패치의 중심으로부터 E-평면 방향으로 각각 1.15 mm, 12.0 mm, 12.75 mm 떨어진 곳이다.

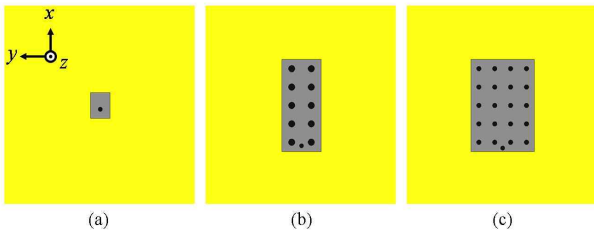


그림 1. 여러 가지 패치안테나의 구조도  
 (a) 일반적인 패치안테나,  
 (b) 5×2 inductor loaded 패치안테나,  
 (c) 5×4 inductor loaded 패치안테나  
 Fig. 1. Geometry of various patch antennas.  
 (a) conventional patch antenna,  
 (b) 5×2 inductor loaded patch antenna,  
 (c) 5×4 inductor loaded patch antenna.

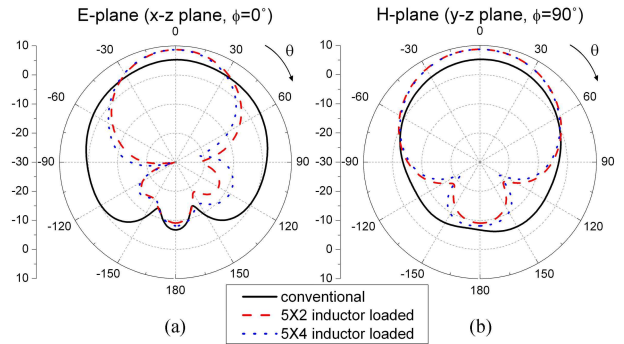


그림 2. 그림 1의 세 가지 단일 패치안테나들의 방사특성 비교 (a) E-평면 방사패턴, (b) H-평면 방사패턴

Fig. 2. Comparison of radiation characteristics among three different patch antennas in Fig. 1. (a) E-plane radiation pattern, (b) H-plane radiation pattern.

표 1. 그림 1의 세 가지 단일 패치안테나들의 방사패턴 특성

Table 1. Radiation Characteristics of three different patch antennas in Fig. 1.

안테나 종류	전방 방사 [dBi]	후방 방사 [dBi]	E-평면 수평방사 [dBi]		H-평면 수평방사 [dBi]	
			$\theta = -90^\circ$	$\theta = 90^\circ$	$\theta = -90^\circ$	$\theta = 90^\circ$
Conventional	5.23	-6.72	0.56	1.42	-3.53	-2.93
5×2 inductor loaded	8.67	-9.10	-19.77	-21.04	-5.20	-5.16
5×4 inductor loaded	8.64	-8.14	-14.49	-13.50	-5.84	-5.95

그림 2에는 그림 1의 세 가지 단일 패치안테나들의 방사패턴을 비교한 결과를 보인다. Inductor loaded 패치안테나는 일반적인 패치안테나보다 전방방사 이득이 크고 후방방사 이득은 다소 감소하며, E-평면상의 수평방향 방사가 크게 억제되고 H-평면상에서의 수평방향 방사는 다소 억제되는 것을 볼 수 있다. 표 1에 세 가지 단일 패치안테나들의 방사패턴 특성을 요약하였다.

## III. 2 소자 배열 안테나의 상호결합 특성

본 장에서는 그림 1의 세 가지 종류의 단위 안테나를 각각 E-평면과 H-평면에 2 개씩 배열한 후 기판 크기에 따른 2 소자 배열 안테나의 상호결합 특성을 전산모의 하였다. 논문 기술의 편의를 위해 패치안테나 소자의 중심에서 E-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거

리를,  $d_E$ , H-평면과 만나는 기관 가장자리까지의 거리를,  $d_H$ , 배열된 단위 안테나의 중심 간의 거리를,  $d$ , 로 표현한다. 기관 크기에 따른 상호결합 특성은  $d_E$  와  $d_H$  를 각각 변화시켜가며 전산모의 하였다. 전산모의에는 Ansoft 사의 HFSS를 사용하였다.

3.1. E-평면상에 배열된 2 소자 배열 안테나

그림 3은 그림 1의 세 가지 형태의 단위 안테나를 2 개씩 E-평면상에 배열한 안테나의 구조도와 전계 분포를 나타낸다. 이 때 E-평면상에 배열된 단위 안테나 중심 간의 거리는  $0.7\lambda_0$  로 고정하였다. 그림 3 (a), (b), (c) 의 전계 분포는 각 단위 안테나의 동작 주파수인 5 GHz 에서 전산모의한 결과이다. 반파장 공진을 이용하기 때문에 E-평면상의 패치 가장자리에서 전계의 크기가 큰 것을 볼 수 있다. 전계분포의 비대칭성은 급전 위치에 기인한 것이다. E-평면 방향으로의 패치 가장자리에서의 전계 분포가 H-평면 방향의 전계분포 보다 크므로 프린징 필드에 의한 상호결합이 E-평면 방향으로 보다 더 크게 발생할 것으로 예상된다.

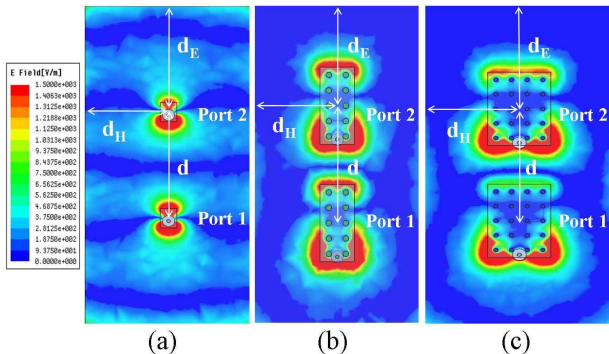


그림 3. 세 가지 형태의 패치 안테나를 2 개씩 E-평면상에 배열한 안테나의 구조도와 전계 분포 (a) 일반적인 패치안테나, (b)  $5 \times 2$  inductor loaded 패치안테나, (c)  $5 \times 4$  inductor loaded 패치안테나

Fig. 3. Geometry and electric field distribution of a 2-element array antenna positioned along the E-plane using three different types of patch antennas. (a) conventional patch antenna, (b)  $5 \times 2$  inductor loaded patch antenna, (c)  $5 \times 4$  inductor loaded patch antenna.

가. 패치안테나 중심으로부터 E-평면과 만나는 기관 가장자리까지의 거리에 따른 두 개의 패치안테나 간의 상호결합

그림 3 (a), (b), (c) 에서  $d_H$  를  $0.5\lambda_0$  로 고정하고  $d_E$  를  $0.35\lambda_0$  부터  $1.0\lambda_0$  까지  $0.05\lambda_0$  간격으로 증가시키면서 E-평면 배열 2소자 안테나의 상호결합 특성을 전산모의 하였다.

그림 4는 그림 3의 세 가지 형태의 2소자 배열 안테나에서 거리  $d_E$  에 따른 안테나 소자 간의 상호결합 특성을 비교한 결과를 보인다.  $d_E$  를  $0.35\lambda_0$  부터  $1.0\lambda_0$  까지 변화시킬 때 상호결합 크기의 변화폭은 일반적인 패치안테나,  $5 \times 2$  inductor loaded,  $5 \times 4$  inductor loaded 패치안테나의 경우 각각 11.71 dB, 3.39 dB, 5.24 dB 로 일반적인 패치 안테나의 변화폭이 가장 크게 나타났다. 상호결합이 가장 작게 발생한 거리  $d_E$  는 각각  $0.7\lambda_0$ ,  $0.6\lambda_0$ ,  $0.65\lambda_0$  이며, 상호결합이 가장 크게 발생한 거리  $d_E$  는 각각  $0.5\lambda_0$ ,  $0.35\lambda_0$ ,  $0.35\lambda_0$  로 나타났다.

일반적인 패치안테나는 inductor loaded 패치안테나보다 기관 크기에 따른 상호결합 변화폭이 크게 발생하므로 기관 가장자리에서 회절되어 들어오는 표면파에 의한 영향이 큰 것을 알 수 있다.  $d_E = 0.7\lambda_0$  일 때 기관을 따라 전달되는 표면파 성분들이 서로 상쇄되어 상호결합이 가장 작게 발생하였다<sup>[4]</sup>. Inductor loaded 패치안테나는 일반적인 패치안테나보다 상호결합 변화폭이 작게 발생하므로 표면파에 의한 영향이 작은 것을 알 수 있었다.  $5 \times 4$  inductor loaded 패치안테나는  $5 \times 2$

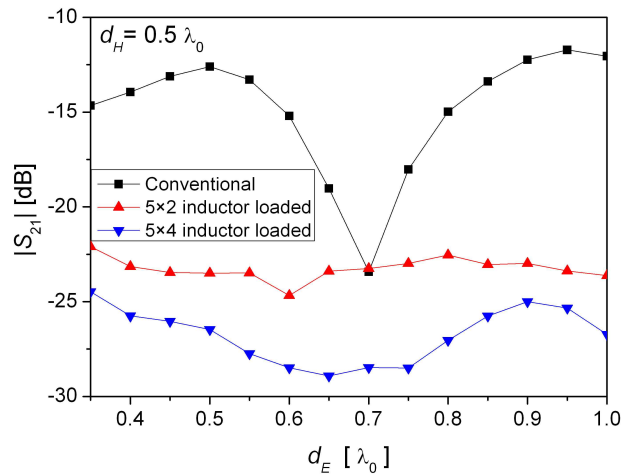


그림 4. 그림 3의 세 가지 형태의 E-평면 배열 2 소자 안테나에서 거리  $d_E$  에 따른 안테나 소자 간의 상호결합 특성 비교

Fig. 4. Comparison of mutual coupling characteristics between two elements positioned along the E-plane versus  $d_E$  for three different types of array antennas in Fig. 3.

inductor loaded 패치안테나보다 인접 안테나간의 프링징 필드에 의한 효과가 작으므로 상호결합이 더 작게 발생하였다.

나. 패치안테나 중심으로부터 H-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리에 따른 두 개의 패치안테나간의 상호결합

그림 3의 세 가지 형태의 배열 안테나에서 그림 4의 결과에 기초하여  $d_E$  를 상호결합이 가장 작게 발생하는 거리와 가장 크게 발생하는 거리로 각각 고정하고  $d_H$  를  $0.3\lambda_0$  부터  $1.0\lambda_0$  까지  $0.05\lambda_0$  간격으로 증가시키면서 상호결합 크기의 변화를 살펴보았다. 일반적인 패치안테나의 경우  $d_E$  를  $0.7\lambda_0$  와  $0.5\lambda_0$ ,  $5 \times 2$  inductor loaded 패치안테나의 경우  $0.6\lambda_0$  와  $0.35\lambda_0$ ,  $5 \times 4$  inductor loaded 패치안테나의 경우  $0.65\lambda_0$  와  $0.35\lambda_0$  로 각각 고정하였다.

그림 5에는 세 가지 종류의 E-평면 2 소자 배열 안테나에 대하여  $d_H = 0.5\lambda_0$  일 때 상호결합이 최소와 최대가 되는  $d_E$  에서  $d_H$  에 따른 안테나 소자 간 상호결합 크기를 비교한 결과를 보인다. 그림 5 (a)에서 일반

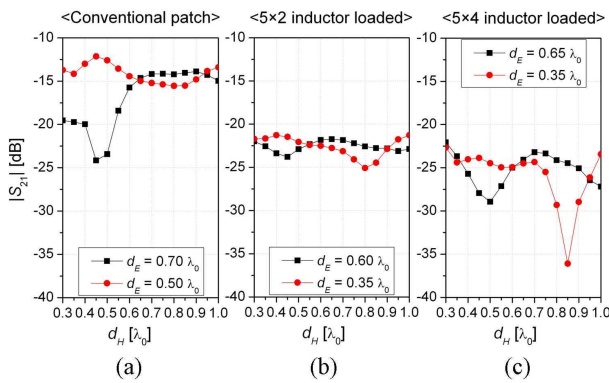


그림 5.  $d_H = 0.5\lambda_0$  일 때 상호결합이 최소와 최대가 되는  $d_E$  에서  $d_H$  에 따른 세 가지 형태의 E-평면 배열 안테나 소자 간의 상호결합 크기  
(a) 일반적인 패치안테나,  
(b)  $5 \times 2$  inductor loaded 패치안테나,  
(c)  $5 \times 4$  inductor loaded 패치안테나

Fig. 5. Mutual coupling between two elements positioned along the E-plane for three different types of array antennas versus  $d_H$  for  $d_E$  at which the minimum and maximum mutual coupling occurs for  $d_H = 0.5\lambda_0$ .

- (a) conventional patch antenna,
- (b)  $5 \times 2$  inductor loaded patch antenna,
- (c)  $5 \times 4$  inductor loaded patch antenna.

적인 패치안테나의 경우 상호결합이 최소 ( $d_E = 0.7\lambda_0$ ) 와 최대 ( $d_E = 0.5\lambda_0$ ) 가 되는 거리  $d_E$  에서  $d_H$  를  $0.3\lambda_0$  부터  $1.0\lambda_0$  까지 변화시킬 때 상호결합의 크기는 각각 10.28 dB 와 3.41 dB 변화하였다. 기판을 따라 전달되는 표면파 성분들이 서로 상쇄되어 상호결합이 가장 작게 발생하는 거리  $d_E = 0.7\lambda_0$  에서  $d_H$  에 따른 상호결합 변화폭은 상호결합이 가장 크게 발생하는 거리  $d_E = 0.5\lambda_0$  에 비하여 6.87 dB의 매우 큰 변화를 보였다. 이 결과로부터 표면파는 주로 E-평면 방향으로 전달되는 것을 확인할 수 있었다. 상호결합이 최소와 최대가 되는 거리  $d_E$  에서  $d_H$  에 따른 상호결합이 가장 작게 발생하는 거리는 각각  $0.45\lambda_0$  와  $0.8\lambda_0$  이고, 가장 크게 발생하는 거리는 각각  $0.9\lambda_0$  와  $0.45\lambda_0$  로 나타났다.

$5 \times 2$  inductor loaded 패치안테나의 경우인 그림 5 (b)에서 상호결합이 최소 ( $d_E = 0.6\lambda_0$ )와 최대 ( $d_E = 0.35\lambda_0$ ) 가 되는 거리  $d_E$  에서  $d_H$  에 따른 상호결합의 크기 변화폭은 각각 2.04 dB 와 3.8 dB, 상호결합이 가장 작게 발생하는 거리는 각각  $0.45\lambda_0$  와  $0.8\lambda_0$ , 상호결합이 가장 크게 발생하는 거리는 각각  $0.65\lambda_0$  와  $0.4\lambda_0$  이다.

$5 \times 4$  inductor loaded 패치안테나의 경우인 그림 5 (c)에서 상호결합이 최소 ( $d_E = 0.65\lambda_0$ )와 최대 ( $d_E =$

표 2.  $d_H = 0.5\lambda_0$  일 때 상호결합이 최소와 최대가 되는  $d_E$  에서 세 가지 형태의 배열 안테나 소자 간 상호결합의 크기가 최소와 최대가 되는  $d_H$  와  $|S_{21}|$

Table 2.  $d_H$  and  $|S_{21}|$  when the magnitude of mutual coupling has the minimum and maximum values for three different types of array antennas for  $d_E$  at which the minimum and maximum mutual coupling occurs for  $d_H = 0.5\lambda_0$ .

E-평면 배열 안테나 소자의 형태	$d_E$ [ $\lambda_0$ ]	상호결합이 최소인 경우		상호결합이 최대인 경우	
		$d_H$ [ $\lambda_0$ ]	$ S_{21} $ [dB]	$d_H$ [ $\lambda_0$ ]	$ S_{21} $ [dB]
일반적인 패치안테나	0.70	0.45	-24.16	0.90	-13.88
	0.50	0.80	-15.55	0.45	-12.14
$5 \times 2$ inductor loaded	0.60	0.45	-23.78	0.65	-21.74
	0.35	0.80	-25.08	0.40	-21.28
$5 \times 4$ inductor loaded	0.65	0.50	-28.92	0.70	-23.20
	0.35	0.85	-36.09	0.45	-23.86

0.35λ<sub>0</sub>)가 되는 거리 d<sub>E</sub>에서 d<sub>H</sub>에 따른 상호결합의 크기 변화폭은 각각 6.87 dB와 13.43 dB, 상호결합이 가장 작게 발생하는 거리는 각각 0.5λ<sub>0</sub>와 0.85λ<sub>0</sub>, 상호결합이 가장 크게 발생하는 거리는 각각 0.7λ<sub>0</sub>와 0.45λ<sub>0</sub>이다.

그림 5 (b), (c)의 결과로부터 E-평면상에 배열된 두 개의 inductor loaded 패치안테나는 일반적인 패치안테나보다 발생하는 표면파의 크기가 작으므로 기판 크기에 따른 상호결합 크기도 작은 것을 볼 수 있다.

표 2에는 d<sub>H</sub>=0.5λ<sub>0</sub>일 때 상호결합이 최소와 최대가 되는 d<sub>E</sub>에서 세 가지 형태의 배열 안테나 소자 간 상호결합의 크기가 최소와 최대가 되는 d<sub>H</sub>와 상호결합 크기, |S<sub>21</sub>|,을 보인다.

3.2. H-평면상에 배열된 2 소자 배열 안테나

두 개의 패치안테나가 H-평면상에 배열된 경우 기판 가장자리에서 회절되어 들어오는 표면파가 패치안테나 간의 상호결합에 미치는 영향을 알아보기 위하여 패치안테나 중심으로부터 기판 가장자리까지의 거리를 변화시키며 상호결합 특성을 살펴보았다. 이 때 H-평면상에 배열된 패치안테나 중심 간의 거리는 0.5λ<sub>0</sub>로 고정하였다.

그림 6 (a), (b), (c)는 일반적인 패치안테나, 5×2

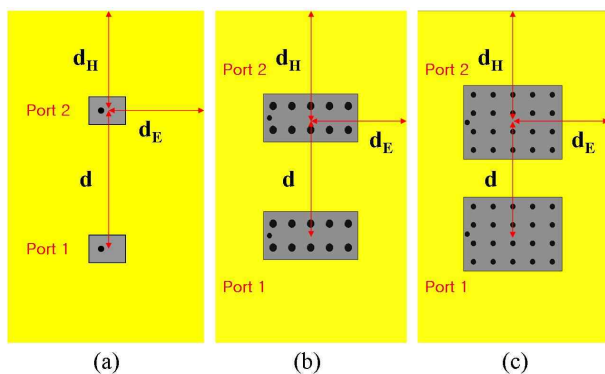


그림 6. 세 가지 형태의 패치 안테나를 2 개씩 H-평면상에 배열한 안테나의 구조도  
(a) 일반적인 패치안테나,  
(b) 5×2 inductor loaded 패치안테나,  
(c) 5×4 inductor loaded 패치안테나

Fig. 6. Geometry of a 2-element array antenna positioned along the H-plane using three different types of patch antennas.  
(a) conventional patch anyenna,  
(b) 5×2 inductor loaded patch anyenna,  
(c) 5×4 inductor loaded patch anyenna.

inductor loaded 패치안테나, 5×4 inductor loaded 패치안테나를 H-평면상에 2 개씩 배열한 안테나의 구조도이다.

가. 패치안테나 중심으로부터 E-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리에 따른 두 개의 패치안테나 간의 상호결합

그림 6 (a), (b), (c)에서 d<sub>H</sub>를 0.5λ<sub>0</sub>로 고정하고 d<sub>E</sub>를 0.35λ<sub>0</sub>부터 1.0λ<sub>0</sub>까지 0.05λ<sub>0</sub> 간격으로 증가시키면서 H-평면 배열 2 소자 안테나의 상호결합 특성을 전산모의 하였다.

그림 7에는 그림 6의 세 가지 형태의 H-평면 배열 안테나에서 거리 d<sub>E</sub>에 따른 안테나 소자 간의 상호결합 특성을 비교한 결과를 보인다. d<sub>E</sub>를 0.35λ<sub>0</sub>부터 1.0λ<sub>0</sub>까지 변화시킬 때 상호결합의 크기 변화폭은 일반적인 패치안테나, 5×2 inductor loaded, 5×4 inductor loaded 패치안테나의 경우 각각 10.69 dB, 2.33 dB, 7.8 dB로 일반적인 패치 안테나의 변화폭이 가장 크게 나타났다. 상호결합이 가장 작게 발생한 거리 d<sub>E</sub>는 각각 0.35λ<sub>0</sub>, 0.65λ<sub>0</sub>, 0.65λ<sub>0</sub>이며, 상호결합이 가장 크게 발생한 거리 d<sub>E</sub>는 각각 0.75λ<sub>0</sub>, 0.4λ<sub>0</sub>, 0.4λ<sub>0</sub>로 나타났다.

E-평면 배열 안테나의 경우와 마찬가지로 일반적인

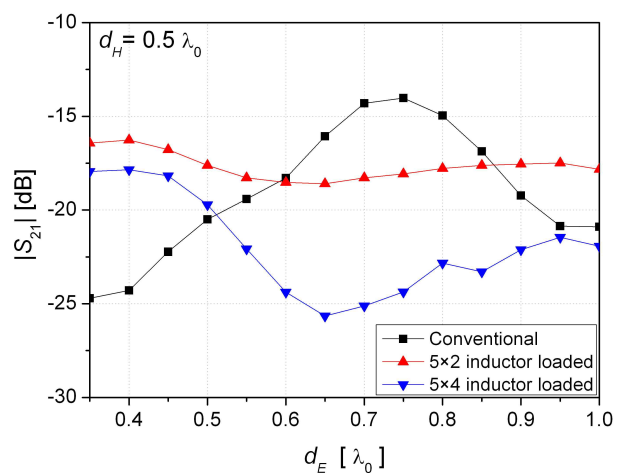


그림 7. 그림 6의 세 가지 형태의 H-평면 배열 안테나에서 거리 d<sub>E</sub>에 따른 안테나 소자 간의 상호결합 특성 비교

Fig. 7. Comparison of mutual coupling characteristics between two elements positioned along the H-plane versus d<sub>E</sub> for three different types of array antennas in Fig. 6.

패치안테나는 inductor loaded 패치안테나보다 기판 크기에 따른 상호결합 변화폭이 크게 발생하므로 기판 가장자리에서 회절되어 들어오는 표면파에 의한 영향이 큰 것을 알 수 있다.  $d_E$ 가  $0.35\lambda_0$ 일 때 기판을 따라 전달되는 표면파 성분들이 서로 상쇄되어 상호결합이 가장 작게 발생하였다<sup>[5]</sup>.

Inductor loaded 패치안테나는 일반적인 패치안테나보다 상호결합 변화폭이 작게 발생하므로 표면파에 의한 영향이 작은 것을 알 수 있다. H-평면상에 배열된 두 개의 inductor loaded 패치안테나간의 상호결합이 작거나 크게 발생하는  $d_E$ 는  $5 \times 2$ 와  $5 \times 4$ 의 두 경우 모두  $0.65\lambda_0$ 와  $0.4\lambda_0$ 로 나타났고, 그림 4에서 살펴봤던 E-평면상에 배열된 두 개의 inductor loaded 패치안테나의 상호결합이 작거나 크게 발생하는  $d_E$ 와 유사한 값을 알 수 있었다.

나. 패치안테나 중심으로부터 H-평면과 만나는 기판 가장자리까지의 거리에 따른 두 개의 패치안테나간의 상호결합

그림 6의 세 가지 형태의 배열 안테나에서 그림 7의 결과에 기초하여  $d_E$ 를 상호결합이 가장 작게 발생하는 거리와 가장 크게 발생하는 거리로 각각 고정하고  $d_H$ 를  $0.3\lambda_0$ 부터  $1.0\lambda_0$ 까지  $0.05\lambda_0$  간격으로 증가시키면서 상호결합 특성을 전산모의 하였다.

그림 8은 세 가지 종류의 H-평면 2 소자 배열 안테나에 대하여  $d_H = 0.5\lambda_0$ 일 때 상호결합이 최소와 최대가 되는  $d_E$ 에서  $d_H$ 에 따른 안테나 소자 간 상호결합 크기를 비교한 결과를 보인다. 그림 8 (a)에서 일반적인 패치안테나의 경우 상호결합이 최소 ( $d_E = 0.35\lambda_0$ )와 최대 ( $d_E = 0.75\lambda_0$ )가 되는 거리  $d_E$ 에서  $d_H$ 를  $0.3\lambda_0$ 부터  $1.0\lambda_0$ 까지 변화시킬 때 상호결합의 크기는 각각 9.82 dB와 8.13 dB 변화하였다. 표면파는 E-평면 방향으로 주로 진행하므로 기판 모서리에서 회절되어 들어오는 표면파의 영향으로  $d_H$ 에 따른 상호결합 변화폭이 크게 발생하며, 상호결합이 작게 발생하거나 크게 발생하는  $d_H$ 는 기판 모서리에서 회절되어 들어오는 표면파의 성분이 상쇄되거나 합쳐지는 거리임을 알 수 있다<sup>[5]</sup>. 상호결합이 최소와 최대가 되는 거리  $d_E$ 에서  $d_H$ 에 따른 상호결합이 가장 작게 발생하는 거리는 각각  $0.5\lambda_0$ 와  $0.85\lambda_0$ 이고, 가장 크게 발생하는 거리는 각

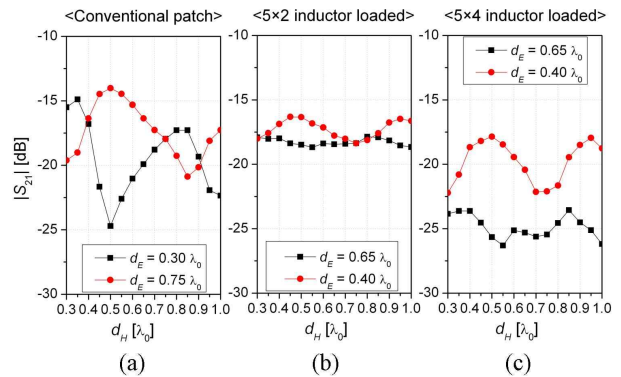


그림 8.  $d_H = 0.5\lambda_0$ 일 때 상호결합이 최소와 최대가 되는  $d_E$ 에서  $d_H$ 에 따른 세 가지 형태의 H-평면 배열 2 소자 안테나 소자 간의 상호결합 크기

- (a) 일반적인 패치안테나,
- (b)  $5 \times 2$  inductor loaded 패치안테나,
- (c)  $5 \times 4$  inductor loaded 패치안테나

Fig. 8. Mutual coupling between two elements positioned along the H-plane for three different types of array antennas versus  $d_H$  for  $d_E$  at which the minimum and maximum mutual coupling occurs for  $d_H = 0.5\lambda_0$ .

- (a) conventional patch antenna,
- (b)  $5 \times 2$  inductor loaded patch antenna,
- (c)  $5 \times 4$  inductor loaded patch antenna.

각  $0.35\lambda_0$ 와  $0.5\lambda_0$ 로 나타났다.

$5 \times 2$  inductor loaded 패치안테나의 경우인 그림 8 (b)에서 상호결합이 최소 ( $d_E = 0.65\lambda_0$ )와 최대 ( $d_E = 0.4\lambda_0$ )가 되는 거리  $d_E$ 에서  $d_H$ 에 따른 상호결합의 크기 변화폭은 각각 0.82 dB와 2.05 dB, 상호결합이 가장 작게 발생하는 거리  $d_H$ 는 각각  $0.55\lambda_0$ 와  $0.7\lambda_0$ , 상호결합이 가장 크게 발생하는 거리  $d_H$ 는 각각  $0.85\lambda_0$ 와  $0.45\lambda_0$ 이다.

$5 \times 4$  inductor loaded 패치안테나의 경우인 그림 8 (c)에서 상호결합이 최소 ( $d_E = 0.65\lambda_0$ )와 최대 ( $d_E = 0.4\lambda_0$ )가 되는 거리  $d_E$ 에서  $d_H$ 에 따른 상호결합의 크기 변화폭은 각각 2.75 dB와 4.37 dB, 상호결합이 가장 작게 발생하는 거리  $d_H$ 는 각각  $0.55\lambda_0$ 와  $0.7\lambda_0$ , 상호결합이 가장 크게 발생하는 거리  $d_H$ 는 각각  $0.85\lambda_0$ 와  $0.5\lambda_0$ 이다.

H-평면상에 배열된 두 개의 inductor loaded 패치안테나는 일반적인 패치안테나보다 표면파의 영향이 작으므로 기판 크기에 따른 상호결합 변화폭이 작은 것을

표 3.  $d_H = 0.5 \lambda_0$  일 때 상호결합이 최소와 최대가 되는  $d_E$  에서 세 가지 형태의 배열 안테나 소자 간 상호결합의 크기가 최소와 최대가 되는  $d_H$  와  $|S_{21}|$

Table 3.  $d_H$  and  $|S_{21}|$  when the magnitude of mutual coupling has the minimum and maximum values for three different types of array antennas for  $d_E$  at which the minimum and maximum mutual coupling occurs for  $d_H = 0.5 \lambda_0$ .

H-평면 배열 안테나 소자의 형태	$d_E$ [ $\lambda_0$ ]	상호결합이 최소인 경우		상호결합이 최대인 경우	
		$d_H$ [ $\lambda_0$ ]	$ S_{21} $ [dB]	$d_H$ [ $\lambda_0$ ]	$ S_{21} $ [dB]
일반적인 패치안테나	0.35	0.50	-24.71	0.35	-14.89
	0.75	0.85	-20.88	0.50	-14.02
5×2 inductor loaded	0.65	0.55	-18.68	0.80	-17.86
	0.40	0.75	-18.37	0.45	-16.32
5×4 inductor loaded	0.65	0.55	-26.30	0.85	-23.55
	0.40	0.70	-22.14	0.50	-17.85

알 수 있다. 또한 표면파의 크기가 작아 상호결합이 작게 나타났다. Inductor loaded 패치안테나의 E-평면 방향 패치 가장자리에서 전계가 크게 발생하기 때문에 상호결합이 가장 작게 발생하는  $d_H$  는 기관 모서리에서 회절되어 들어오는 표면파의 성분이 상쇄되는 거리임을 알 수 있었다.

표 3에는  $d_H = 0.5 \lambda_0$  일 때 상호결합이 최소와 최대가 발생하는  $d_E$  에서 세 가지 형태의 배열 안테나 소자 간 상호결합의 크기가 최소와 최대가 되는  $d_H$  와 상호결합 크기,  $|S_{21}|$ , 을 보인다.

#### IV. 결 론

패치안테나 중심 간의 거리가  $0.7 \lambda_0$  인 E-평면상에 배열된 두 개의 inductor loaded 패치안테나간의 상호결합 특성은 수평방향으로의 E-평면 방사 억제와 표면파 억제로 인하여  $d_E$  에 따른 상호결합 변화폭이 작고 상호결합 크기가 일반적인 패치안테나의 경우보다 작은 것을 확인할 수 있었다.  $d_H$  에 따른 상호결합도 표면파 억제로 인하여 작게 나타났다.  $d_H$  가  $0.5 \lambda_0$  일 때  $d_E$  의 변화에 따라 상호결합이 작게 발생하거나 크게 발생하는 거리는 각각  $0.65 \lambda_0$  와  $0.35 \lambda_0$  로 나타났다.

패치안테나 중심 간의 거리가  $0.5 \lambda_0$  인 H-평면상에 배열된 두 개의 inductor loaded 패치안테나간의 상호결합은  $d_E$  와  $d_H$  의 변화에 따른 상호결합 변화폭과 상호결합이 작게 발생하였다.  $d_H$  가  $0.5 \lambda_0$  일 때  $d_E$  의 변화에 따라 상호결합이 작게 발생하거나 크게 발생하는 거리는 각각  $0.65 \lambda_0$  와  $0.4 \lambda_0$  로 나타났다.

두 개의 일반적인 패치안테나가 E-평면상에 배열된 경우 기관을 따라 전달되는 표면파 성분들에 의해 상호결합이 작게 발생하거나 크게 발생하는  $d_E$  는 H-평면상에 배열된 경우와 다름을 알 수 있었다. 그러나 두 개의 inductor loaded 패치안테나를 E-평면상과 H-평면상에 각각 배열한 경우 상호결합이 작게 발생하거나 크게 발생하는  $d_E$  는 유사한 값을 가짐을 알 수 있었다. 따라서 inductor loaded 패치안테나를 사용하여 2 차원 위상 배열 안테나를 제작하는 경우 단위 안테나 소자를 E-평면 배열과 H-평면 배열 시 발생하는 상호결합의 크기를 동시에 최소화 시키는 기관 크기를 구할 수 있을 것으로 예상된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] M. Salehi, A. Motevasselian, A. Tavakoli, and T. Heidari, "Mutual Coupling Reduction of Microstrip Antennas Using Defected Gournd Structure", in *Proc. of IEEE International Conf on Communication systems 2006*, pp. 1-5, Singapore, Oct. 2006.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 김태영, 김군수, 김부균, "유한한 기관 크기가 E-평면상에 배열된 두 개의 패치안테나간의 상호결합에 미치는 영향", *전자공학회 논문지*, 제 47권 TC편, 제 6호, 26-34쪽, 2010년 6월.
- [5] 김군수, 김태영, 김부균, "유한한 기관 크기가 H-평면상에 배열된 두 개의 패치안테나간의 상호결합에 미치는 영향", *전자공학회 논문지*, 제 47권 TC편, 제 10호, 67-73쪽, 2010년 10월.

[6] Tae-Young Kim, Gun-Su Kim, and Boo-Gyoun Kim, "The radiation characteristics of a linear phased array antenna using inductor loaded patch antennas", *International Symposium on Antennas and Propagation 2010*, ID 137, Macao, China, Nov. 2010.

저 자 소 개



김 군 수(학생회원)  
2009년 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사 졸업.  
2011년 숭실대학교 전자공학과 석사 졸업.

<주관심분야 : 위상 배열 안테나, EBG, DGS>



김 태 영(학생회원)  
2003년 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사 졸업.  
2005년 숭실대학교 전자공학과 석사 졸업.  
2005년~현재 숭실대학교 전자공학과 박사 과정.

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



윤 영 민(학생회원)  
2003년 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사 졸업.  
2005년 숭실대학교 전자공학과 석사 졸업.  
2007년~현재 숭실대학교 전자공학과 박사 과정.

<주관심분야 : Microstrip Antennas, 위상 배열 안테나, EMI/EMC>



김 부 군(평생회원)-교신저자  
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>