

논문 2012-49TC-6-6

# 패치의 길이와 비아의 반경이 Inductive Loaded Patch Antenna의 방사 특성에 미치는 영향

## (Effect of the Patch Length and Via Radius on the Radiation Characteristics of an Inductive Loaded Patch Antenna)

곽은혁\*, 윤영민\*, 김부균\*\*

(Eun-Hyuk Kwak, Young-Min Yoon, and Boo-Gyoun Kim)

### 요약

서로 다른 유전 상수를 가지는 기판에서 반 파장 길이 공진 모드를 이용한 ILPA (Inductive Loaded Patch Antenna)와 일반적인 패치 안테나를 설계하여 방사 특성에 대하여 연구하였다. 설계한 ILPA는 일반적인 패치 안테나보다 수평 방향으로의 방사가 억제되고 전방 이득이 향상되는 특성을 가진다. 수평 방향으로의 방사가 가장 크게 억제되며 전방 이득이 가장 큰 ILPA의 방사 패치의 길이와 via 반경이 존재함을 보인다.

### Abstract

Radiation characteristics of inductive loaded patch antennas (ILPAs) and conventional patch antennas using a half wavelength resonance mode for substrates with various dielectric constants are investigated. ILPAs have the good radiation characteristics such as high broadside gain and suppressed radiation along the horizontal plane compared to those of conventional patch antennas. We show that ILPAs with the appropriate patch length and via radius have the optimum radiation characteristics such as the highest broadside gain and the most suppressed horizontal radiation.

**Keywords** : inductive loaded patch antenna, optimum radiation characteristics, fringing effect.

## I. 서론

마이크로스트립 패치 안테나는 두께가 얇고 (low-profile) 무게가 가벼우며 면 구조를 가지는 장점을 가진다. 또한 프린트 회로 기술을 이용하면 제작이 간편하고 저렴하게 제작할 수 있기 때문에 많

이 사용되고 있다<sup>[1]</sup>. 마이크로스트립 패치 안테나의 단점 중 하나는 주파수 대역폭이 좁다는 것이다. 대역폭을 증가시키기 위해 기판의 두께를 증가시키거나 유전 상수를 감소시키는 방법이 있다. 기판의 두께가 증가하거나 유전 상수가 증가하는 경우 안테나의 기판을 따라 진행되는 표면파가 증가하고 방사패치와 접지면 사이에 존재하는 수직 방향의 편파 진류에 의한 수평 방향으로의 방사가 증가하게 된다<sup>[2]</sup>.

표면파는 기판의 가장 자리에서 회절 되어 원하지 않는 후방 방사를 일으키고 안테나의 이득 감소를 발생시킨다. 이러한 표면파와 수평 방향으로의 방사는 배열 안테나에서 안테나 소자 간의 상호 결합을 발생시켜 안테나의 특성을 변화시킨다. 따라서 이와 같은 영향을

\* 학생회원, \*\* 평생회원, 송실대학교 정보통신 전자공학부 (School of Electronic Engineering, Soongsil University)

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

접수일자: 2012년 3월 16일, 수정완료일: 2012년 6월 12일

줄이기 위한 연구가 활발하다. 표면파의 영향을 줄이기 위한 방법으로 EBG (Electromagnetic Band-Gap) 구조를 안테나의 패치 주변에 집적시키는 방법이 대표적이다[3]. EBG 구조가 방사 패치와 인접해 있을 경우 방사 패치와 EBG 구조 간에 상호 결합이 발생하여 안테나의 입력 임피던스에 영향을 미친다. 따라서 방사 패치와 EBG 구조 사이에 일정한 간격이 필요하고 이것은 안테나의 전체적인 크기를 증가시키는 단점을 가진다[4].

최근 inductive loaded 전송 선로를 이용하여 수평 방향으로의 방사를 억제시키는 동시에 전방 방사 이득을 향상시키는 반 파장 공진 안테나의 특성이 연구되었다[5~6]. 이러한 특성을 이용하면 인접한 안테나 간의 상호 결합이 최소화된 안테나를 설계할 수 있다. ILPA (Inductive Loaded Patch Antenna)는 inductive loaded 전송 선로의 ENG (Epsilon Negative) 메타 물질 특성을 이용한 안테나로 버섯 구조의 단위 셀로 구성된다[7]. ILPA를 구성하는 단위 셀의 크기와 접지면 사이를 연결하는 via 반경을 변화시키면 패치 밑 유효 유전 상수가 변화된다[8]. 이 때, ILPA의 반 파장 길이 공진 주파수에서 패치 밑 유효 유전 상수가 1 근처의 값을 가질 때 안테나의 수평 방향 방사가 억제되고 전방 방사 이득이 향상된다[5~6].

본 논문에서는 서로 다른 유전 상수와 두께를 가지는 기판을 이용하여 ILPA를 설계하였다. 또한, 큰 전방 이득을 가지며 수평 방향으로의 방사가 가장 크게 억제된 ILPA를 구현하기 위한 방사 패치의 길이와 단위 셀의 via 반경이 존재함을 Ansys사의 HFSS (High Frequency Structure Simulator)를 사용한 전산모의를 통해 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서 유효 매질 이론(Effective Medium Theory)으로부터 유도된 유효 유전 상수를 이용하여 안테나의 패치 밑 유효 유전 상수가 1 근처의 값을 가지기 위한 ILPA의 단위 셀을 설계한다. 제 III장에서는 서로 다른 유전 상수를 가지는 기판에서 방사 패치의 길이와 via 반경에 따른 ILPA의 방사 특성과 일반적인 패치 안테나의 방사 특성에 대한 전산모의 결과를 비교한다. 마지막으로 제 IV장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. Inductive loaded patch antenna 설계

ILPA는 버섯 구조를 가지는 단위 셀로 구성되어 있다. 안테나의 반 파장 공진 주파수에서 ILPA를 구성하는 단위 셀의 내부에서의 전계는 접지면에 대하여 수직 방향으로 형성된다. 따라서 ILPA를 구성하는 단위 셀의 등가 회로는 기판의 유전체를 중심으로 단위 셀을 구성하는 상판의 패치와 하판의 접지면 사이에 형성된 커패시턴스와 두 금속 평판을 연결하는 via에 의해 형성된 인덕턴스의 병렬 구조로 모델링 된다. 이와 같은 단위 셀의 상판과 하판의 금속면은 PEC (Perfect Electric Conductor)로, 단위 셀의 유전체 경계면은 PMC (Perfect Magnetic Conductor)로 모델링할 수 있다. 이와 같은 단위 셀의 모델을 그림 1에 보인다.

ILPA를 구성하는 단위 셀의 유효 유전 상수는 유효 매질 이론을 통해 구할 수 있다[8]. 이러한 유효 매질 이론을 이용한 단위 셀의 유효 유전 상수는 단위 셀의 구조 및 물질 파라미터의 함수로 식 (1)과 같이 표현된다[8].

$$\epsilon_e = \epsilon_r - 1 / \left\{ \omega^2 \epsilon_0 \frac{\mu_r \mu_0 A}{4\pi(1-\alpha)^2} \left[ \ln\left(\frac{1}{\alpha}\right) + \alpha - 1 \right] \right\} \quad (1)$$

여기서  $\epsilon_r$  은 기판의 유전 상수, A는 단위 셀의 면적,  $\alpha$  는 via의 단면적과 단위 셀의 면적의 비이다.

$m \times n$  ILPA는 단위 셀이 각각 안테나의 길이 방향(x축)으로 m주기, 안테나의 폭 방향(y축)으로 n주기 배열된 ILPA를 나타낸다. 그림 2는  $5 \times 1$  ILPA의 구조도를 보인다.

본 논문에서는 기판의 유전 상수에 따라  $5 \times 1$  ILPA

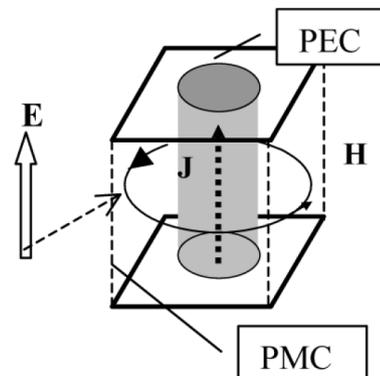


그림 1. ILPA를 구성하는 단위 셀의 모델.  
Fig. 1. A model for a unit cell of an ILPA.

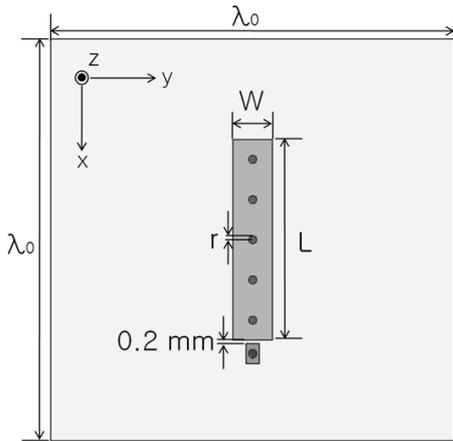


그림 2. 커패시티브 급전을 이용한 5×1 ILPA의 구조도.

Fig. 2. Schematic diagram of a 5×1 ILPA using a capacitive feeding technique.

와 5×2 ILPA를 설계하여 일반적인 패치 안테나의 방사 특성과 비교하였다. 그림 2에서 안테나의 방사 패치의 전체 길이, 단위 셀의 폭, via 반경을 각각 L, W, r로 나타내었다. 본 논문에서 방사 특성을 비교한 안테나의 설계 과정은 다음과 같다.

먼저 5×1 ILPA를 구성하는 단위 셀의 설계를 위해 W를  $\lambda_0/6$ 로 고정하였다. 다음으로 L을 기판의 유전 상수가 1인 경우를 가정한 안테나의 반 파장 공진 길이인  $\lambda_0/2$ 로 고정하고 식 (1)을 통해 동작 주파수에서 단위 셀의 유효 유전 상수가 1이 되도록 r의 값을 정하였다. 이러한 구조 파라미터를 가지는 ILPA의 r 값을 변화시켜 구한 전산모의 결과를 이용하여 5GHz의 공진 주파수를 가지는 r 값을 결정하였다. 다음으로 r 값을 0.1mm 간격으로 변화시켜가며 r에 따른 방사 특성을 비교하였다. 이 때 안테나의 공진 주파수가 5GHz가 되도록 L의 길이를 변화시켰다.

5×2 ILPA는 5×1 ILPA의 단위 셀이 폭(y축) 방향으로 2주기 배열된 구조이고 L과 r은 5×1 ILPA와 동일하게 설계하였다. 5×2 ILPA의 단위 셀의 폭 방향의 길이는 프린징 필드를 고려하여 설계하였다. 5×2 ILPA의 W를 5×1 ILPA와 동일하게 설계할 경우, 프린징 필드로 인한 유효 길이를 고려한 단위 셀의 폭의 길이는 5×2 ILPA가 5×1 ILPA보다 작은 값을 가진다. 그림 3은 이와 같은 현상을 개념적으로 나타낸 그림이다.

그림 3 (a)는 5×1 ILPA에서 방사 패치의 폭 방향의 유효 길이를  $\Delta W$ 와 함께 나타내었다. 여기서  $\Delta W$ 는 방

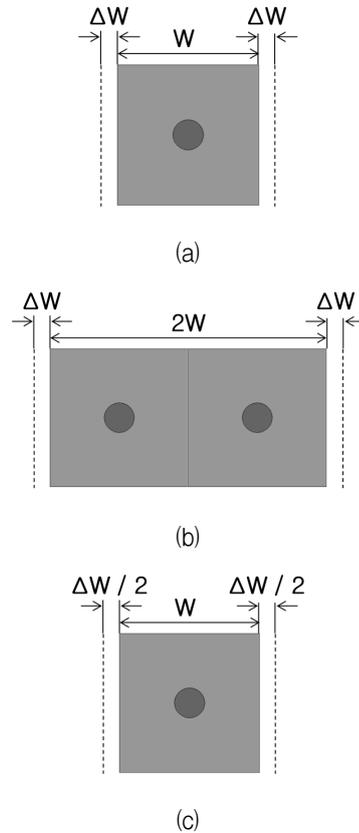


그림 3. 프린징 필드를 고려한 ILPA의 폭 방향으로의 유효 길이에 대한 개념도. (a) 5×1 ILPA, (b) 5×2 ILPA, (c) 5×2 ILPA의 단위 셀.

Fig. 3. Schematic diagram of the effective width of ILPAs considering fringing fields. (a) a 5×1 ILPA, (b) a 5×2 ILPA, (c) a unit cell of a 5×2 ILPA.

사 패치의 폭 방향으로 발생한 한쪽 방향의 프린징 필드의 유효 길이를 나타낸다. 그림 3 (b)는 5×2 ILPA에서 방사 패치의 폭 방향의 유효 길이를  $\Delta W$ 와 함께 나타내었다. 이 경우, 단위 셀의 폭 방향으로의 유효 길이를 그림 3 (c)에 나타내었다. 그림 3 (a)와 (c)의 비교를 통해 5×1 ILPA의 단위 셀의 폭 방향의 유효 길이가 5×2 ILPA의 단위 셀의 폭 방향의 유효 길이보다  $\Delta W$ 만큼 더 길다는 것을 알 수 있다. 따라서 5×2 ILPA의 단위 셀의 폭 방향의 길이를  $\Delta W$ 만큼 더 길게 설계하여 단위 셀의 폭 방향으로의 유효 길이가 5×1 ILPA와 동일하게 설계하였다.

일반적인 패치 안테나는 각각 5×1 ILPA, 5×2 ILPA와 동일한 폭을 가지도록 설계하였고 ILPA와 동일한 주파수에서 공진이 일어나도록 L의 값을 조절하였다.

본 논문에서 설계한 모든 안테나는 기본 모드인 반파장 길이 공진을 이용하였고 모두  $5(\pm 0.01)$  GHz에서 동작한다. 또한, L과 r의 변화에 따른 ILPA의 방사 특성을 일반적인 패치 안테나의 방사 특성과 비교하기 위해 r의 변화에 따라 동일한 주파수에서 동작하도록  $\lambda_0/2$ 를 중심으로 L을 조절하였다. 이 때 r은 0.1mm의 배수로 조절하였다. 급전 패치와 방사 패치 간의 간격은 0.2mm 이고 서로 다른 유전 상수를 가지는 기판에서 안테나의 입력 임피던스의 정합을 위해 급전 패치의 길이와 폭을 조절하였다.

안테나에 사용한 기판은 Taconic 사의 TRF45 ( $\epsilon_r = 4.5$ ,  $\tan\delta = 0.0035$ )와 RF60A ( $\epsilon_r = 6.15$ ,  $\tan\delta = 0.0028$ )이고 두께는 각각 1.63 mm와 1.52 mm이다. 모든 안테나의 기판 크기는  $\lambda_0 \times \lambda_0$ 로 고정하였다.

### III. 방사 패치의 길이와 via 반경에 따른 $5 \times 1$ 과 $5 \times 2$ ILPA의 방사 특성

본 장에서는 서로 다른 유전 상수를 가지는 기판에서 5GHz에서 동작하는  $5 \times 1$ 과  $5 \times 2$  ILPA의 방사 특성을 일반적인 패치 안테나의 방사 특성과 각각 비교한다. 또한 큰 전방 이득을 가지며 수평 방향으로의 방사가 가장 크게 억제된 방사 특성을 가지는 ILPA의 L과 r이 존재함을 보인다.

#### 1. 유전 상수가 4.5인기판을 이용한 ILPA와 일반적인 패치 안테나의 방사 특성 비교

유전 상수가 4.5이고 두께가 1.63 mm인 TRF45 기판을 이용하여  $5 \times 1$  ILPA와 일반적인 패치 안테나를 설계하여 방사 특성을 전산모의 하였다. 여러 가지 L과 r을 가지는  $5 \times 1$  ILPA와 일반적인 패치 안테나의 방사 패턴을 그림 4에 보인다.

그림 4 (a)와 (b)는 각각 여러 가지 L과 r을 가지는  $5 \times 1$  ILPA와 일반적인 패치 안테나의 E-평면 방사 패턴과 H-평면 방사 패턴을 보인다.  $5 \times 1$  ILPA가 안테나의 기본 모드를 방사하기 때문에 방사 패턴이 일반적인 패치 안테나의 방사 패턴을 가진다. 그림 4 (a)에서  $5 \times 1$  ILPA의 E-평면 방사 패턴은 일반적인 패치 안테나에 비해 수평 방향으로의 방사가 억제된 특성을 보인다. 이 때 L과 r이 각각 30.1 mm와 0.45 mm인 경우  $5 \times 1$  ILPA의 수평 방향으로의 방사가 가장 크게 억제됨을

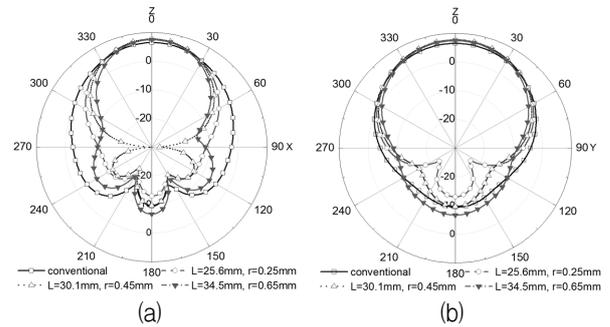


그림 4. 유전상수가 4.5이고 두께가 1.63 mm인 TRF45 기판에서 여러 가지 방사 패치의 길이와 via 반경에 따른  $5 \times 1$  ILPA와 일반적인 패치 안테나의 방사 패턴. (a) E-평면 방사 패턴, (b) H-평면 방사 패턴.

Fig. 4. Radiation patterns of a conventional patch antenna and  $5 \times 1$  ILPAs printed on 1.63 mm thick TRF45 substrates with a dielectric constant of 4.5 for various patch lengths and via radiuses. (a) E-plane radiation pattern, (b) H-plane radiation pattern.

표 1. 유전상수가 4.5이고 두께가 1.63 mm인 TRF45 기판에서 여러 가지 방사 패치의 길이와 via 반경에 따른  $5 \times 1$  ILPA와 일반적인 패치 안테나의 방사 특성

Table 1. Radiation characteristics of a conventional patch antenna and  $5 \times 1$  ILPAs printed on 1.63 mm thick TRF45 substrates with a dielectric constant of 4.5 for various patch lengths and via radiuses.

안테나	L (mm)	r (mm)	$\epsilon_{eff}$	전방 이득 (dBi)	후방 이득 (dBi)	방사 효율 (%)	수평 방향 방사 (dBi)			
							$\phi=0^\circ$	$\phi=90^\circ$	$\phi=180^\circ$	$\phi=270^\circ$
일반	13.02	-	4.11	6.48	-9.4	89.6	-2.3	-4.1	-2.7	-4.2
ILPA	25.6	0.25	1.23	7.44	-13.0	74.5	-11.1	-6.6	-11.6	-6.6
	27.9	0.35	1.05	7.68	-11.5	72.2	-16.3	-7.3	-17.5	-7.5
	30.1	0.45	0.91	7.75	-9.7	70.3	-27.3	-8.0	-38.5	-8.0
	32.3	0.55	0.79	7.62	-8.1	68.7	-19.0	-8.4	-17.6	-8.5
	34.5	0.65	0.70	7.51	-6.7	67.9	-11.4	-8.6	-11.2	-8.7

볼 수 있다. 그림 4 (b)에서  $5 \times 1$  ILPA와 일반적인 패치 안테나의 H-평면 방사 특성은 유사함을 볼 수 있다. 그림 4의 여러 가지 L과 r을 가지는  $5 \times 1$  ILPA와 일반적인 패치 안테나의 방사 특성을 전산모의한 결과를 표 1에 정리하였다.

표 1은 여러 가지 L과 r을 가지는 5가지 경우의  $5 \times 1$  ILPA와 일반적인 패치 안테나의 구조 파라미터, 유효 유전 상수, 방사 특성을 보인다. 표 1에서  $\epsilon_{eff}$ 는 설계한 안테나의 구조 파라미터를 통해 계산된 패치 밑 유

효 유효 상수로 안테나의 프린징 효과를 고려하여 식 (2)를 통해 계산하였다.

$$\epsilon_{eff} = \left( \frac{c}{2(L + 2\Delta L)f} \right)^2 \quad (2)$$

여기서  $c$ 는 공기 중에서 전자파의 속도,  $\Delta L$ 은 참고 논문 [9]를 통해 계산된 안테나의 한쪽 길이 방향으로 발생한 프린징 필드의 유효 길이,  $f$ 는 안테나의 공진 주파수이다.

일반적인 패치 안테나의  $\epsilon_{eff}$ 는 4.11이고 설계한  $5 \times 1$  ILPA의  $\epsilon_{eff}$ 는 1 근처의 값을 가진다. 따라서 동일한 주파수에서 동작하기 위한  $5 \times 1$  ILPA의  $L$ 은 일반적인 패치 안테나보다 더 길다. 이로 인해  $5 \times 1$  ILPA의 패치 밑의 유전체로 인한 손실이 일반적인 패치 안테나의 유전체 손실보다 크다. 또한  $5 \times 1$  ILPA는 방사 패치에 삽입된 via로 인해 도체 손실이 발생한다. 따라서  $5 \times 1$  ILPA는 일반적인 패치 안테나보다 방사 효율이 작고  $L$ 이 증가할수록 효율이 감소함을 볼 수 있다.

$5 \times 1$  ILPA는 일반적인 패치 안테나에 비해  $x$ 축 방향으로의 수평 방향 방사가 억제되고 이로 인해 큰 전방 이득 특성을 가진다. 특히,  $L$ 과  $r$ 이 각각 30.1 mm와 0.45 mm이고  $\epsilon_{eff}$ 가 0.91인 경우 전방 이득이 가장 크고  $x$ 축 방향으로의 수평 방향 방사가 가장 크게 억제되

었다. 이 경우,  $5 \times 1$  ILPA의 전방 이득은 일반적인 패치 안테나보다 1.27 dB 증가하였고  $x$ 축 방향으로의 수평 방향 방사는  $\phi=0^\circ$ 와  $\phi=180^\circ$  방향에서 일반적인 패치 안테나보다 각각 25.0 dB와 35.8 dB 억제되었다.

동일한 기판에서  $5 \times 2$  ILPA와 일반적인 패치 안테나를 설계하여 방사 특성을 비교하였다. 설계한  $5 \times 2$  ILPA의  $L$ 과  $r$ 은  $5 \times 1$  ILPA와 동일하다.  $5 \times 2$  ILPA의 방사 패치의 폭은 그림 3에서 설명한  $\Delta W$ 를 고려하여 설계하였다.  $5 \times 1$  ILPA와 각각 동일한  $L$ 과  $r$ 을 가질 때 모두 5 GHz에서 동작하였다.

여러 가지  $L$ 과  $r$ 을 가지는  $5 \times 2$  ILPA와 동일한 안테나의 폭을 가지는 일반적인 패치 안테나의 방사 패턴을 그림 5에 보인다.

그림 5 (a)와 (b)는 각각 여러 가지  $L$ 과  $r$ 을 가지는  $5 \times 2$  ILPA와 일반적인 패치 안테나의 E-평면 방사 패턴과 H-평면 방사 패턴을 보인다.  $5 \times 2$  ILPA가 안테나의 기본 모드를 방사하기 때문에 방사 패턴이 일반적인 패치 안테나의 방사 패턴을 가진다. 그림 5(a)에서  $5 \times 2$  ILPA의 E-평면 방사 패턴은 일반적인 패치 안테나에 비해 수평 방향으로의 방사가 억제된 특성을 보인다. 이 때  $L$ 과  $r$ 이 각각 30.1 mm와 0.45 mm인 경우 전방 이득이 가장 크고 수평 방향으로의 방사가 가장 크게 억제됨을 볼 수 있다. 그림 5(b)에서  $5 \times 2$  ILPA와 일반적인 패치 안테나의 H-평면 방사 특성은 유사함을 볼 수 있다. 그림 5의 여러 가지  $L$ 과  $r$ 을 가지는  $5 \times 2$  ILPA와 일반적인 패치 안테나의 방사 특성을 전산모의

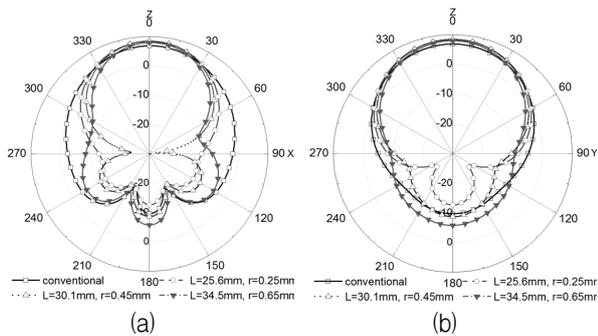


그림 5. 유전 상수가 4.5이고 두께가 1.63 mm인 TRF45 기판에서 여러 가지 방사 패치의 길이와 via 반경에 따른  $5 \times 2$  ILPA와 일반적인 패치 안테나의 방사 패턴. (a) E-평면 방사 패턴, (b) H-평면 방사 패턴.

Fig. 5. Radiation patterns of a conventional patch antenna and  $5 \times 2$  ILPAs printed on 1.63 mm thick TRF45 substrates with a dielectric constant of 4.5 for various patch lengths and via radiuses. (a) E-plane radiation pattern, (b) H-plane radiation pattern.

표 2. 유전상수가 4.5이고 두께가 1.63 mm인 TRF45 기판에서 여러 가지 방사 패치의 길이와 via 반경에 따른  $5 \times 2$  ILPA와 일반적인 패치 안테나의 방사 특성

Table 2. Radiation characteristics of a conventional patch antenna and  $5 \times 2$  ILPAs printed on 1.63 mm thick TRF45 substrates with a dielectric constant of 4.5 for various patch lengths and via radiuses.

안테나	L (mm)	r (mm)	$\epsilon_{eff}$	전방 이득 (dBi)	후방 이득 (dBi)	방사 효율 (%)	수평 방향 방사 (dBi)			
							$\phi=0^\circ$	$\phi=90^\circ$	$\phi=180^\circ$	$\phi=270^\circ$
일반	12.55	-	4.15	6.76	-9.69	93.0	-1.9	-5.0	-2.5	-5.0
ILPA	25.6	0.25	1.21	8.33	-12.67	80.6	-12.3	-8.4	-13.0	-8.4
	27.9	0.35	1.03	8.37	-11.01	78.8	-19.1	-9.4	-22.0	-9.5
	30.1	0.45	0.89	8.41	-8.68	78.2	-21.8	-10.4	-21.8	-10.5
	32.3	0.55	0.78	8.23	-6.97	77.8	-13.4	-10.3	-12.8	-10.3
	34.5	0.65	0.69	7.91	-5.77	78.0	-8.7	-9.1	-8.5	-9.1

한 결과를 표 2에 정리하였다.

표 2는 여러 가지 L과 r을 가지는 5×2 ILPA와 일반적인 패치 안테나의 구조 파라미터, 유효 유전 상수, 방사 특성을 보인다. 5×2 ILPA는 일반적인 패치 안테나에 비해 x축 방향으로의 수평 방향 방사가 억제되고 이로 인해 큰 전방 이득 특성을 가진다. 특히, L과 r이 각각 30.1mm와 0.45mm이고  $\epsilon_{eff}$ 가 0.89인 경우 전방 이득이 가장 크고 x축 방향으로의 수평 방향 방사가 가장 크게 억제되었다. 이 경우, 5×2 ILPA의 전방 이득은 일반적인 패치 안테나보다 1.65 dB 증가하였고 x축 방향으로의 수평 방향 방사는  $\phi=0^\circ$ 와  $\phi=180^\circ$  방향에서 일반적인 패치 안테나보다 각각 19.9 dB와 19.3 dB 억제되었다. 표 1과 표 2를 통해 방사 패치의 폭의 증가는 방사 효율을 증가시키고 따라서 ILPA와 일반적인 패치 안테나의 이득이 증가함을 볼 수 있다.

## 2. 유전 상수가 6.15인 기판을 이용한 ILPA와 일반적인 패치 안테나의 방사 특성 비교

유전 상수가 6.15이고 두께가 1.52mm인 RF60A 기판을 이용하여 5×1 ILPA와 일반적인 패치 안테나를 설계하여 방사 특성을 전산모의 하였다. 여러 가지 L과 r을 가지는 5×1 ILPA와 일반적인 패치

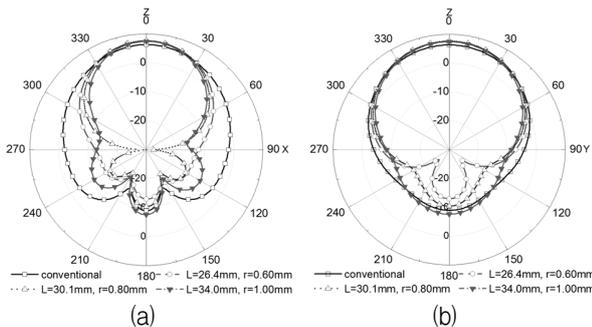


그림 6. 유전상수가 6.15이고 두께가 1.52 mm인 RF60A 기판에서 여러 가지 방사 패치의 길이와 via 반경에 따른 5×1 ILPA와 일반적인 패치 안테나의 방사 패턴. (a) E-평면 방사 패턴, (b) H-평면 방사 패턴.

Fig. 6. Radiation patterns of a conventional patch antenna and 5×1 ILPAs printed on 1.52 mm thick RF60A substrates with a dielectric constant of 6.15 for various patch lengths and via radiuses. (a) E-plane radiation pattern, (b) H-plane radiation pattern.

안테나의 방사 패턴을 그림 6에 보인다.

그림 6 (a)와 (b)는 각각 여러 가지 L과 r을 가지는 5×1 ILPA와 일반적인 패치 안테나의 E-평면 방사 패턴과 H-평면 방사 패턴을 보인다. 5×1 ILPA는 방사 패턴이 일반적인 패치 안테나의 방사 패턴을 가진다. 그림 6(a)에서 5×1 ILPA의 E-평면 방사 패턴은 일반적인 패치 안테나에 비해 수평 방향으로의 방사가 억제된 특성을 보인다. 이 때 L과 r이 각각 30.1mm와 0.80mm인 경우 전방 이득이 가장 크고 수평 방향으로의 방사가 가장 크게 억제됨을 볼 수 있다. 그림 6(b)에서 5×1 ILPA와 일반적인 패치 안테나의 H-평면 방사 특성은 유사함을 볼 수 있다. 그림 6의 여러 가지 L과 r을 가지는 5×1 ILPA와 일반적인 패치 안테나의 방사 특성을 전산모의한 결과를 표 3에 정리하였다.

표 3은 여러 가지 L과 r을 가지는 5가지 경우의 5×1 ILPA와 일반적인 패치 안테나의 구조 파라미터, 유효 유전 상수, 방사 특성을 보인다. 5×1 ILPA는 일반적인 패치 안테나에 비해 x축 방향으로의 수평 방향 방사가 억제되고 이로 인해 큰 전방 이득의 특성을 가진다. 특히, L과 r이 각각 30.1mm와 0.80mm이고  $\epsilon_{eff}$ 가 0.92인 경우 전방 이득이 가장 크고 x축 방향으로의 수평 방향 방사가 가장 크게 억제되었다. 이 경우, 5×1 ILPA의 전방 이득은 일반적인 패치 안테나보다 1.35 dB 증가하였고 x축 방향으로의 수평 방향 방사는  $\phi=0^\circ$ 와  $\phi=180^\circ$  방향에서 일반적인 패치 안테나보다 각각 25.7 dB와 30.6 dB 억제되었다.

표 3. 유전상수가 6.15이고 두께가 1.52 mm인 RF60A 기판에서 여러 가지 방사 패치의 길이와 via 반경에 따른 5×1 ILPA와 일반적인 패치 안테나의 방사 특성

Table 3. Radiation characteristics of a conventional patch antenna and 5×1 ILPAs printed on 1.52 mm thick RF60A substrates with a dielectric constant of 6.15 for various patch lengths and via radiuses.

안테나	L (mm)	r (mm)	$\epsilon_{eff}$	전방 이득 (dBi)	후방 이득 (dBi)	방사 효율 (%)	수평 방향 방사 (dBi)			
							$\phi=0^\circ$	$\phi=90^\circ$	$\phi=180^\circ$	$\phi=270^\circ$
일반	11.15	-	5.73	6.29	-8.95	89.6	-1.8	-4.1	-2.0	-4.0
ILPA	26.4	0.60	1.18	7.47	-12.97	71.2	-12.1	-7.1	-12.6	-6.8
	28.2	0.70	1.04	7.59	-12.06	69.4	-16.3	-7.8	-17.5	-7.6
	30.1	0.80	0.92	7.64	-10.40	67.3	-27.5	-8.5	-32.6	-8.2
	32.0	0.90	0.82	7.59	-8.76	66.0	-23.6	-8.6	-20.0	-8.8
	34.0	1.00	0.73	7.40	-7.58	65.1	-14.4	-8.6	-13.0	-8.5

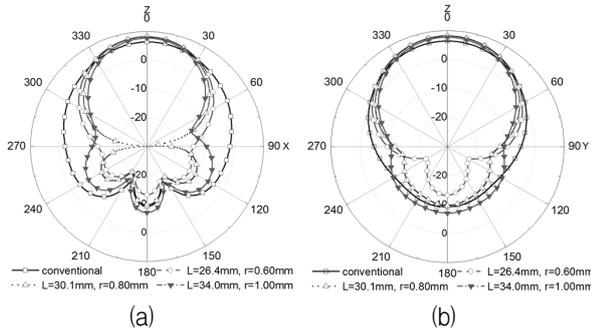


그림 7. 유전상수가 6.15이고 두께가 1.52 mm인 RF60A 기판에서 여러 가지 방사 패치의 길이와 via 반경에 따른 5 × 2 ILPA와 일반적인 패치 안테나의 방사 패턴. (a) E-평면 방사 패턴, (b) H-평면 방사 패턴.

Fig. 7. Radiation patterns of a conventional patch antenna and 5 × 2 ILPAs printed on 1.52 mm thick RF60A substrates with a dielectric constant of 6.15 for various patch lengths and via radiuses. (a) E-plane radiation pattern, (b) H-plane radiation pattern.

동일한 기판에서 5 × 2 ILPA와 일반적인 패치 안테나를 설계하여 방사 특성을 비교하였다. 설계한 5 × 2 ILPA의 L과 r은 5 × 1 ILPA와 동일하다. 5 × 2 ILPA의 방사 패치의 폭은 그림 3에서 설명한 ΔW를 고려하여 설계하였다.

여러 가지 L과 r을 가지는 5 × 2 ILPA와 동일한 안테나의 폭을 가지는 일반적인 패치 안테나의 방사 패턴을 그림 7에 보인다.

그림 7 (a)와 (b)는 각각 여러 가지 L과 r을 가지는 5 × 2 ILPA와 일반적인 패치 안테나의 E-평면 방사 패턴과 H-평면 방사 패턴을 보인다. 5 × 2 ILPA는 방사 패턴이 일반적인 패치 안테나의 방사 패턴을 가진다. 그림 7(a)에서 5 × 2 ILPA의 E-평면 방사 패턴은 일반적인 패치 안테나에 비해 수평 방향으로의 방사가 억제된 특성을 보인다. 그림 7(b)에서 5 × 2 ILPA와 일반적인 패치 안테나의 H-평면 방사 특성은 유사함을 볼 수 있다. 그림 7의 여러 가지 L과 r을 가지는 5 × 2 ILPA와 일반적인 패치 안테나의 방사 특성을 전산모의한 결과를 표 4에 정리하였다.

표 4는 여러 가지 L과 r을 가지는 5 × 2 ILPA와 일반적인 패치 안테나의 구조 파라미터, 유효 유전 상수, 방사 특성을 보인다. 표 3의 5 × 1 ILPA의 전산모의 결과와 마찬가지로 5 × 2 ILPA도 일반적인 패치 안테나에

표 4. 유전상수가 6.15이고 두께가 1.52 mm인 RF60A 기판에서 여러 가지 방사 패치의 길이와 via 반경에 따른 5 × 2 ILPA와 일반적인 패치 안테나의 방사 특성

Table 4. Radiation characteristics of a conventional patch antenna and 5 × 2 ILPAs printed on 1.52 mm thick RF60A substrates with a dielectric constant of 6.15 for various patch lengths and via radiuses.

안테나	L (mm)	r (mm)	$\epsilon_{eff}$	전방 이득 (dBi)	후방 이득 (dBi)	방사 효율 (%)	수평 방향 방사 (dBi)			
							$\phi=0^\circ$	$\phi=90^\circ$	$\phi=180^\circ$	$\phi=270^\circ$
일반	10.70	-	5.57	6.38	-9.21	93.3	-1.5	-4.7	-2.0	-4.8
ILPA	26.4	0.60	1.16	8.15	-13.21	78.0	-14.0	-9.5	-13.2	-9.5
	28.2	0.70	1.03	8.14	-11.76	76.6	-20.0	-10.7	-19.7	-10.7
	30.1	0.80	0.91	8.16	-9.73	75.5	-21.5	-12.0	-33.2	-11.9
	32.0	0.90	0.81	7.98	-8.23	75.3	-14.4	-11.6	-16.7	-11.6
	34.0	1.00	0.72	7.71	-7.05	75.5	-9.5	-10.6	-11.2	-10.6

비해 x축 방향으로의 수평 방향 방사가 억제되고 이로 인해 큰 전방 이득의 특성을 가진다. 5 × 1 ILPA의 전산모의 결과와 마찬가지로 L과 r이 각각 30.1 mm와 0.80 mm일 때 전방 이득이 가장 크고 x축 방향으로의 수평 방향 방사가 가장 크게 억제되었고 이 때  $\epsilon_{eff}$ 는 0.91이다. 이 경우, 5 × 2 ILPA의 전방 이득은 일반적인 패치 안테나보다 1.78 dB 증가하였고 x축 방향으로의 수평 방향 방사는  $\phi=0^\circ$ 와  $\phi=180^\circ$  방향에서 일반적인 패치 안테나보다 각각 20.0 dB와 31.2 dB 억제되었다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 유전 상수가 4.5와 6.15를 가지는 기판에서 각각 5 × 1 ILPA, 5 × 2 ILPA, 일반적인 패치 안테나를 설계하여 HFSS를 이용한 전산모의를 통해 안테나의 방사 특성을 비교하였다. ILPA의 단위 셀을 설계하기 위해 유효 매질 이론을 이용하여 패치 밑 유효 유전 상수가 1을 가지는 단위 셀을 모델링 하였다. 이러한 단위 셀로 구성된 ILPA는 HFSS를 이용한 전산모의를 통해 여러 가지 L과 r에 따라 5 GHz에서 동작하도록 설계하였다. ILPA는 일반적인 패치 안테나에 비해 x축 방향( $\phi=0^\circ, 180^\circ$ )에서 수평 방향 방사가 억제되고 큰 전방 이득을 가졌다. 안테나의 프린팅 필드를 고려한 ILPA의 패치 밑 유효 유전 상수 값이 약 0.9 근처의 값을 가질 때 ILPA의 수평 방향 방사가 가장 크게 억제되고 가장 큰 전방 이득을 가졌다. 이러한 방사 특성

을 가지는 ILPA의 구조 파라미터에서 L과 r 값이 멀어질수록 전방 이득이 감소하고 x축 방향에서 수평 방향 방사도가 증가하였다. 또한, ILPA의 L이 길어질수록 후방 이득이 증가하고 유전체 손실 증가로 인해 방사 효율이 감소하였다.  $5 \times 2$  ILPA의 경우, 단위 셀의 폭 방향의 유효 길이를 고려하여 설계하였을 때  $5 \times 1$  ILPA와 동일한 L과 r을 가지는 구조에서 동일한 공진 주파수를 가졌다.  $5 \times 2$  ILPA는  $5 \times 1$  ILPA보다 방사 패치의 폭이 증가함에 따라 방사 효율이 증가하였고  $5 \times 1$  ILPA보다 큰 전방 이득 특성을 가졌다.

Antennas”, IEEE Trans. on Antennas and Prop., vol. 51, no. 10, Oct. 2003.

- [9] Chattopadhyay S., Biswas M., Siddiqui J. Y., Guha D., “Rectangular Microstrips with Variable Air Gap and Varying Aspect Ratio: Improved Formulations and Experiments”, Microw. Opt. Technol. Lett., 2009, 51, (1), pp. 169-173.

### 참 고 문 헌

- [1] R. Grag et. al, “Microstrip Antenna Design Handbook”, 2nd edition, Boston, London, Artech House, 2000.
- [2] Marija M. Nikolic, Antonije R. Djordjevic, and Arye Nehorai, “Microstrip Antennas With Suppressed Radiation in Horizontal Directions and Reduced Coupling”, IEEE Trans. on Antennas Prop., vol. 53, no. 11, pp. 3469-3476, Nov. 2005.
- [3] Z. Iluz, R. Shavit, and R. Bauer, “Microstrip Antenna Phased Array With Electromagnetic Bandgap Substrate”, IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 52, no. 6, pp. 1446-1453, June. 2004.
- [4] 박은혁, 김태영, 김부균, “Mushroom 형태의 EBG 구조를 집적한 마이크로스트립 패치안테나의 방사 특성 해석”, 전자공학회 논문지-TC편, 제 46권, 제 8호, pp. 67-68, 2009년 8월.
- [5] 조명기, 김태영, 김부균, “기판 두께에 따른 핀 배열을 가지는 패치 안테나의 방사 특성”, 전자공학회 논문지-TC편, 제 46권, 제 10호, 63-71쪽, 2009년 10월.
- [6] 윤영민, 김태영, 조명기, 김부균, “패치의 폭이 핀 배열 패치 안테나의 방사 특성에 미치는 효과”, 전자공학회 논문지-TC편, 제 47권, 제 1호, 77-83쪽, 2010년 1월.
- [7] A. Lai, K. M.K.H. Leong, and T. Itoh, “Infinite Wavelength Resonant Antennas With Monopolar Radiation Pattern Based on Periodic Structures”, IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 55, no. 3, pp. 868-876, 2007.
- [8] S. Clavijo, R. E. Diaz, and W. E. McKinzie, III, “Design Methodology for Sievenpiper High-Impedance Surfaces : An Artificial Magnetic Conductor for Positive Gain Electrically Small

## 저 자 소 개



곽 은 혁(학생회원)  
2009년 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사 졸업.  
2011년 숭실대학교 전자공학화석사 졸업.  
2011년~현재 숭실대학교 전자공학화 박사 과정.

<주관심분야 : Microstrip Antennas, EBG, Metamaterial>



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 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>