

논문 2009-46TC-10-9

기판 두께에 따른 핀 배열을 가지는 패치 안테나의 방사 특성 (Radiation Characteristics of Patch Antennas with an Array of Pins for Various Substrate Thicknesses)

조 명 기*, 김 태 영*, 김 부 균**

(Myung-Ki Cho, Tae-Young Kim, and Boo-Gyoun Kim)

요 약

여러 가지 기판 두께에서 동작 주파수를 일정하게 유지하면서 좋은 방사 특성을 가지는 핀 배열을 가지는 패치 안테나에 대해 연구하였다. 수평방향으로의 방사를 최대로 억제시키는 핀 배열 패치 안테나의 패치 길이가 기판 두께가 증가함에 따라 작아짐을 볼 수 있었다. 핀 배열 패치 안테나는 기본 패치 안테나보다 수평방향으로의 방사가 크게 억제되고 전방방사 이득이 증가하며 후방방사는 감소함을 볼 수 있다. 또한 핀 배열 패치 안테나의 E-plane 방사 패턴의 Half-power beamwidth가 기본 패치 안테나보다 작아져 안테나의 지향성이 향상됨을 볼 수 있다.

Abstract

The patch antennas with an array of pins with excellent radiation characteristics are investigated for several substrate thicknesses. The patch length of a pin array patch antenna for the maximum suppression of radiation in the horizontal plane decreases as the substrate thickness increases. The radiation in the horizontal plane of a pin array patch antenna is very small compared to that of a conventional patch antenna. The increase of forward radiation and the decrease of backward radiation of a pin array patch are obtained compared to those of a conventional patch antenna. The half-power beamwidth of E-plane radiation pattern of a pin array patch antenna is narrow compared to that of a conventional patch antenna so that the directivity is improved.

Keywords : Suppressed radiation in horizontal directions, Microstrip patch antennas, Antenna arrays, Mutual coupling, Antenna radiation patterns.

I. 서 론

마이크로스트립 패치 안테나는 두께가 얇고 (low-profile) 무게가 가벼우며 면 구조를 가진다. 또한 프린트 회로기술을 이용하면 제작이 간편하고 저렴하게 제작할 수 있기 때문에 많이 사용되고 있다^[1]. 마이크로 스트립 패치 안테나의 단점중 하나는 주파수 대역폭이

좁다는 것이다^[2]. 기판 두께를 크게 하면 대역폭은 증가하지만 표면파가 증가하여 배열 안테나에서 인접 안테나 사이의 상호결합을 증가시켜 배열 안테나의 특성을 저하시키는 주요 원인이 된다^[3]. 또한 패치 안테나에서 패치 밑에 존재하는 수직방향의 편파전류에 의한 수평방향으로의 방사도 배열 안테나에서 인접 안테나 사이의 상호결합을 증가시켜 배열 안테나의 특성을 저하시키는 주요 원인이다^[4].

최근 패치와 접지면 사이를 연결하는 금속 핀을 패치에 배열시켜 패치 밑에 존재하는 수직방향의 편파전류에 의한 수평방향으로의 방사를 억제시키는 방법이 보고되었다^[4]. 이와 같은 방법은 높은 유전상수를 가지는 기판 위에 제작된 패치 안테나의 수평방향의 방사를 억제시키므로 인접한 안테나간의 상호결합 현상이 억제되

* 학생회원, ** 평생회원, 송실대학교 정보통신전자공학부 (School of Electronic Engineering, Soongsil University)

※ 이 논문은 지식경제부의 산업기술개발사업(핵심기반기술개발사업 丙 시스템집적반도체기반기술개발사업, 과제번호: 10030554-2008-02)의 지원으로 수행된 연구임.

접수일자: 2009년7월21일, 수정완료일: 2009년10월14일

어 배열 안테나의 특성을 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다. 또한 최근에 핀 반경을 변화시키면 수평방향의 방사를 최대로 억제하는 핀 반경이 존재한다는 보고가 있었다^[5]. 그러나 기판 두께가 같은 핀 배열 패치 안테나에서 패치의 단위 셀 면적이 같은 경우 핀 반경을 변화시키면 동작 주파수가 달라지는 문제가 있었다.

본 논문에서는 동작 주파수를 일정하게 유지하면서 수평방향으로의 방사가 억제되는 패치와 접지면 사이에 핀 배열을 가지는 패치 안테나의 설계 방법을 제시한다. HFSS (High Frequency Structure Simulator)를 사용하여 여러 가지 기판 두께에 대하여 패치의 길이를 변화시키며 전산모의한 안테나 특성 결과를 제시한다. 본 논문에서 전산모의에 사용된 기판은 Taconic 사의 CER-10 으로 유전상수가 10이고 loss tangent 는 0.0035 이다. 또한 동작 주파수는 5 GHz 이고 기판 크기는 $1 \times \lambda_0$ (60 mm)이다.

II. 기본적인 핀 배열 패치 안테나

패치 안테나에서 발생하는 수평방향으로의 방사는 패치와 접지면 사이에 존재하는 유전체에 흐르는 수직방향의 편파전류(polarization current)에 의하여 발생한다^[4]. 패치와 접지면 사이에 금속 핀을 삽입하여 금속 핀을 따라 흐르는 도전전류에 의하여 이러한 수직방향의 편파전류에 의한 효과를 상쇄시켜 수평방향으로의 방사를 억제할 수 있다^[4]. 핀 배열을 가지는 패치 안테나는 유전상수가 1인 기판에 설계된 패치안테나와 비슷한 방사특성을 가지게 된다. 따라서 5 GHz에서 동작하는 유

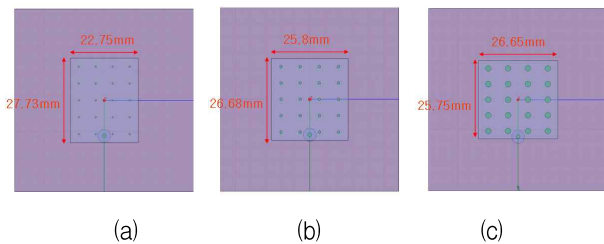


그림 1. 유전상수가 1인 기판을 가지는 패치 안테나의 여러 가지 기판 두께에서 패치 길이와 폭
(a) 기판 두께 0.8 mm, (b) 기판 두께 1.6 mm, (c) 기판 두께 3.2 mm

Fig. 1. The Length and width of a patch antenna for various substrate thicknesses with the relative dielectric constant of 1. (a) substrate thickness of 0.8 mm, (b) substrate thickness of 1.6 mm, and (c) substrate thickness of 3.2 mm.

전상수가 1인 기판에 설계된 패치 안테나의 패치 크기를 핀 배열 패치 안테나의 패치 크기로 결정한다. 유전상수가 10인 기판에서 위와 같은 패치 크기를 가지는 패치 안테나가 5 GHz에서 동작하도록 핀을 패치에 길이 방향으로 5 주기, 폭 방향으로 4 주기 배열하고 핀 반경을 변화시키면서 5 GHz에서 동작하는 핀 배열 패치 안테나를 설계한다.

그림 1(a), (b), (c)는 각각 기판 두께가 0.8 mm, 1.6 mm, 3.2 mm인 경우 핀 배열을 가지는 패치 안테나의 패치 길이와 폭을 나타내고 있다. 유전상수가 1인 기판에서 5 GHz에 동작하는 패치 안테나의 패치 크기는 기판 두께가 0.8 mm, 1.6 mm, 3.2 mm인 경우 패치 길이와 폭은 각각 27.73 mm와 22.75 mm, 26.68 mm와 25.8 mm, 25.75 mm와 26.65 mm이다. 5 GHz에서 동작하는 핀 배열 패치 안테나를 설계하기 위해 핀 반경 변화에 따른 S11 스펙트럼을 살펴보았다.

그림 2(a), (b), (c)는 각각 기판 두께가 0.8 mm, 1.6 mm, 3.2 mm인 경우 핀 반경에 따른 S11 스펙트럼을 보여준다. 기판 두께가 0.8 mm인 경우 핀 반경이 0.275

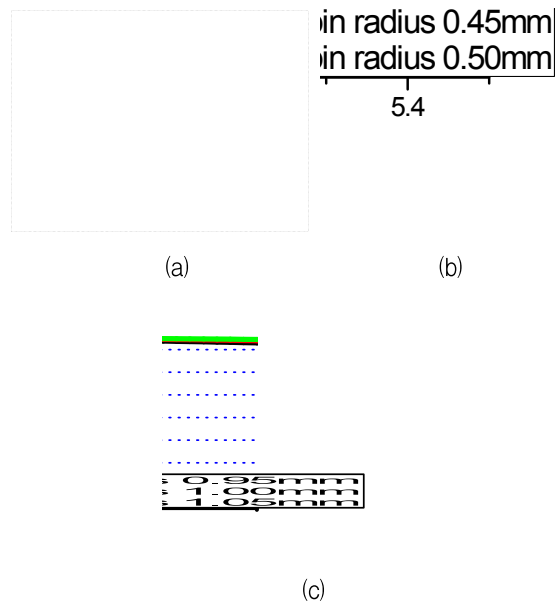


그림 2. 유전상수 10을 가지는 여러 가지 기판 두께에서 핀 반경에 따른 핀 배열 패치 안테나의 S11 스펙트럼 (a) 기판 두께 0.8 mm, (b) 기판 두께 1.6 mm, (c) 기판 두께 3.2 mm

Fig. 2. S11 spectrum of a pin array patch antenna for various pin radiuses for several substrate thicknesses with the relative dielectric constant of 10. (a) substrate thickness of 0.8 mm, (b) substrate thickness of 1.6 mm, and (c) substrate thickness of 3.2 mm.

mm일 때 5 GHz에 동작하며 S_{11} 은 -25.40 dB이다. 기판 두께가 1.6 mm인 경우 핀 반경이 0.45 mm일 때 4.99 GHz에 동작하며 S_{11} 은 -27.86 dB이다. 기판 두께가 3.2 mm인 경우는 핀 반경이 0.95 mm일 때 4.98 GHz에 동작하며 S_{11} 은 -7.14 dB를 가진다. 기판 두께가 3.2 mm인 경우 임피던스 매칭이 좋지 않음을 볼 수 있다. 또한 동작 주파수를 일정하게 유지하기 위하여 기판 두께가 증가하면 핀 반경이 커져야 하는 것을 알 수 있다.

핀 배열을 가지는 패치 안테나의 특성은 패치를 핀을 중심으로 가지는 단위 패치들의 조합으로 생각하여 해석할 수 있다. 단위 패치의 면적을 S , 기판 두께를 h 라고 하면 유전체에 의한 캐패시턴스 성분 C_d 는 다음과 같이 표현된다.

$$C_d = (\epsilon_r - 1)\epsilon_0 S/h \quad (1)$$

인덕턴스 성분을 쉽게 계산하기 위하여 사각형 형태의 단위 패치를 동축케이블로 근사화 시킬 수 있다. 이러한 동축케이블의 외부 도체 반경 b 는 동축케이블의 단면적과 단위 패치의 면적이 같아지도록 설정하면 $b = \sqrt{S/\pi}$ 가 되며 내부 반경은 핀의 반경 a 가 된다. 단위 길이 당 인덕턴스 성분 L' 은 다음과 같이 표현된다.

$$L' = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\ln \frac{b}{a} \right) \quad (2)$$

단위 패치를 각각 식 (1)과 (2)에 의해 주어지는 캐패시턴스 C_d 와 인덕턴스 L' 이 병렬 연결된 등가회로로 생각하면 유전체 내 편파 전류에 의한 효과가 상쇄되는 주파수는 수식 (3)과 같이 주어진다.

$$\omega^2 L' (\epsilon_r - 1)\epsilon_0 \pi b^2 = 1 \quad (3)$$

식 (1), (2), (3) 으로부터 같은 기판을 사용하는 경우 동작 주파수는 단위 패치의 면적과 핀 반경에 의하여 결정되어짐을 알 수 있다. 동작 주파수를 일정하게 유지하기 위해서는 단위 패치의 면적이 증가(감소)하면 핀 반경이 증가(감소)해야 함을 알 수 있다.

기판 두께가 3.2 mm인 그림 2(c)의 경우 임피던스 매칭 문제가 발생하여 S_{11} 이 동작 주파수에서 작음을 볼 수 있다. 이러한 임피던스 매칭 문제는 핀 반경을 줄이므로 해결이 가능하다. 동작 주파수를 일정하게 유지



그림 3. 유전상수 10을 가지는 기판의 두께가 3.2 mm이며 패치 길이가 25.75 mm 일 때 서로 다른 패치 폭에서 여러 가지 핀 반경에 따른 핀 배열 패치 안테나의 S_{11} 스펙트럼 (a) 패치 폭 26.65 mm, (b) 패치 폭 22.00 mm

Fig. 3. S_{11} spectrum of a pin array patch antenna with a patch length of 25.75 mm for the substrate thickness of 3.2 mm with the relative dielectric constant of 10 for different patch widths. (a) patch width of 26.65 mm and (b) patch width of 22.00 mm.

하면서 핀 반경을 줄이기 위하여서는 단위 패치 면적을 줄여야 한다.

그림 3(a) 와 (b) 는 기판 두께가 3.2 mm인 경우 패치 길이가 25.75 mm 일 때 각각 패치 폭이 26.75 mm 와 22.00 mm 일 때 핀 반경에 따른 S_{11} 스펙트럼을 보인다. 그림 3(b)에서 보면 여러 가지 핀 반경에서 S_{11} 이 -10 dB보다 작은 값을 가지는 것을 확인 할 수 있다. 또한 약 5 GHz에서 동작하는 핀 반경이 0.95 mm에서 0.70 mm로 감소하는 것을 볼 수 있다.

III. 패치 길이 변화에 따른 핀 배열 패치 안테나의 특성

2절에서 설계된 기본 핀 배열 패치 안테나는 유전상수가 1인 패치 안테나의 패치 크기에 핀을 배열하여 설계하였다. 그러나 유전상수가 10인 기판에서 설계된 패치 안테나는 유전상수가 1인 기판에서 설계된 패치 안테나보다 fringing field에 의한 효과가 작기 때문에 전지적 패치 크기가 작아진다. 또한 동작 주파수를 일정하게 유지하기 위해서는 핀 반경이 고정된 경우 단위 패치의 면적이 고정되어야함을 알 수 있었다. 따라서 이번 절에서는 유전상수가 10인 기판에서 설계된 핀 배열 안테나의 패치 길이에 따른 특성을 살펴보기 위해 각 기판 두께에서 설계된 단위 패치 면적과 핀 반경을 유지하면서 패치 길이에 따른 안테나 특성을 살펴본다.

그림 4(a), (b), (c)는 앞 절에서 설계된 5 GHz에서 동

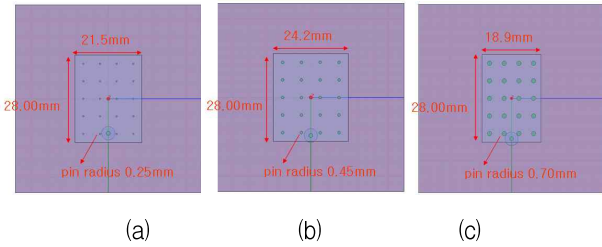


그림 4. 유전상수가 10인 여러 가지 기판 두께에서 핀 배열 패치안테나의 패치 길이, 패치 폭, 핀 반경 (a) 기판 두께 0.8 mm, (b) 기판 두께 1.6 mm, (c) 기판 두께 3.2 mm

Fig. 4. The patch length, patch width, and pin radius of a pin array patch antenna for several substrate thicknesses with the relative dielectric constant of 10. (a) substrate thickness of 0.8 mm, (b) substrate thickness of 1.6 mm, and (c) substrate thickness of 3.2 mm.

작하는 핀 반경을 가질 때 유전상수가 10인 기판의 두께가 각각 0.8 mm, 1.6 mm, 3.2 mm 일 때 설계된 핀 배열 패치 안테나의 패치 길이와 패치 폭을 보이고 있다. 특히 기판 두께가 3.2 mm인 경우는 임피던스 매칭을 향상시키기 위하여 패치 폭이 감소되어 핀 반경을 0.70 mm로 선정하였다.

1. 기판 두께가 0.8 mm인 경우 패치 길이 변화에 따른 안테나 특성

패치 길이 변화에 따른 안테나 특성을 살펴보기 위해 패치 길이를 28.5 mm에서 30.5 mm까지 0.5 mm 간격으로 변화시켰다. 이때 동작 주파수를 5 GHz로 유지하기 위해서 단위 패치 면적을 유지하고 핀 반경을 고정하였다. 따라서 패치 길이가 길어지면 단위 패치 면적을 유지하기 위해 패치 폭이 줄어들게 된다.

표 1. 기판 두께가 0.8 mm인 핀 배열 패치 안테나의 패치 길이에 따른 안테나 특성

Table 1. The characteristics of a pin array patch antenna with the substrate thickness of 0.8 mm for various patch lengths.

패치 길이 (mm)	공진 주파수 (GHz)	S11 (dB)	전방 방사 (dBi)	후방 방사 (dBi)	수평방사(dBi)			
					0°	90°	180°	270°
28.50	5.00	-33.81	5.665	-14.080	-17.19	-10.97	-22.00	-10.59
29.00	5.00	-30.71	5.661	-13.962	-17.88	-10.71	-22.77	-10.50
29.50	5.00	-29.27	5.559	-13.583	-19.31	-10.71	-22.54	-10.69
30.00	5.00	-25.76	5.581	-12.866	-20.07	-11.17	-21.86	-11.18
30.50	5.00	-22.68	5.513	-12.292	-21.93	-11.08	-19.78	-11.26

표 1은 기판 두께가 0.8 mm인 경우 패치 길이에 따른 안테나의 특성을 요약한다. 패치 길이와 상관없이 전방 방사가 5.5 dBi 이상을 가지고 패치 길이가 증가하면서 후방으로의 방사가 증가한다. E-평면 수평방향(0°-180°)으로의 방사와 H-평면 수평방향(90°-270°)으로의 방사가 패치 길이 30.00 mm에서 최대로 억제됨을 볼 수 있다.

2. 기판 두께가 1.6 mm인 경우 패치 길이 변화에 따른 안테나 특성

패치 길이 변화에 따른 안테나 특성을 살펴보기 위해 패치 길이를 28.0 mm에서 30.0 mm까지 0.5 mm 간격으로 변화시켰다. 이때 동작 주파수를 5 GHz로 유지하기 위해서 단위 패치 면적을 유지하고 핀 반경을 고정하였다.

표 2는 기판 두께가 1.6 mm인 경우 패치 길이에 따른 요약된 안테나의 특성을 보인다. 패치 길이와 상관없이 전방 방사가 7.9 dBi 이상을 가지고 패치 길이가 증가하면서 후방으로의 방사가 증가한다. E-평면 수평방향(0°-180°)으로의 방사와 H-평면 수평방향(90°-270°)으로의 방사가 패치 길이 28.50 mm에서 최대로 억제됨을 볼 수 있다.

표 2. 기판 두께가 1.6 mm인 핀 배열 패치 안테나의 패치 길이에 따른 안테나 특성

Table 2. The characteristics of a pin array patch antenna with the substrate thickness of 1.6 mm for various patch lengths.

패치 길이 (mm)	공진 주파수 (GHz)	S11 (dB)	전방 방사 (dBi)	후방 방사 (dBi)	수평방사(dBi)			
					0°	90°	180°	270°
28.00	5.00	-28.62	7.985	-12.314	-14.75	-8.44	-19.76	-8.50
28.50	5.00	-34.17	8.057	-11.240	-15.04	-8.65	-20.05	-8.43
29.00	5.00	-33.51	8.068	-10.485	-15.50	-8.39	-18.51	-8.51
29.50	5.00	-32.66	7.992	-10.226	-15.68	-8.43	-16.33	-8.51
30.00	5.00	-27.99	7.948	-9.373	-15.19	-8.41	-14.56	-8.44

3. 기판 두께가 3.2 mm인 경우 패치 길이 변화에 따른 안테나 특성

패치 길이 변화에 따른 안테나 특성을 살펴보기 위해 패치 길이를 27.0 mm에서 29.0 mm까지 0.5 mm 간격으로 변화시켰다. 이때 동작 주파수를 5 GHz로 유지하기 위해서 단위 패치 면적을 유지하고 핀 반경을 고정하였다.

표 3. 기판 두께가 3.2 mm인 핀 배열 패치 안테나의 패치 길이에 따른 안테나 특성

Table 3. The characteristics of a pin array patch antenna with the substrate thickness of 3.2 mm for various patch lengths.

패치 길이 (mm)	공진 주파수 (GHz)	S11 (dB)	전방 방사 (dBi)	후방 방사 (dBi)	수평방사(dBi)			
					0°	90°	180°	270°
27.00	5.00	-36.68	8.687	-8.733	-13.93	-5.90	-14.16	-5.46
27.50	5.00	-39.69	8.633	-7.975	-13.24	-5.93	-15.24	-5.71
28.00	5.00	-29.83	8.745	-7.171	-12.73	-5.89	-13.38	-5.94
28.50	5.00	-21.15	8.615	-6.823	-12.57	-6.08	-12.20	-5.86
29.00	5.00	-16.13	8.532	-6.153	-10.80	-6.08	-11.01	-6.02

표 3은 기판 두께가 3.2 mm인 경우 패치 길이에 따른 요약된 안테나 특성을 보인다. 패치 길이와 상관없이 전방방사가 8.5 dBi 이상을 가지고 패치 길이가 증가하면서 후방방사가 증가한다. E-평면 수평방향(0°-180°) 으로의 방사와 H-평면 수평방향(90°-270°) 으로의 방사가 패치 길이 27.50 mm에서 최대로 억제됨을 볼 수 있다.

IV. 기판 두께에 따른 여러 가지 안테나의 특성 비교

이번 절에서는 각 기판 두께 별로 기본 패치 안테나, 2절에서 설계된 핀 배열 패치 안테나, 3절에서 설계된 패치 길이에 대하여 최적화된 안테나 특성을 가지는 핀 배열 패치 안테나의 특성을 비교하였다.

그림 5(a), (b), (c), (d)는 각각 기판 두께가 0.8 mm 인 경우 기본 패치안테나, 핀 배열 패치 안테나, 최적화된 핀 배열 패치 안테나의 S₁₁ 스펙트럼, E-평면 방사패턴, H-평면 방사패턴, 수평평면의 방사패턴을 보인다. 핀 배열 패치 안테나의 각도 대역폭이 기본 패치안테나의 각도 대역폭보다 작음을 볼 수 있다. 또한 수평방향 으로의 방사도 크게 억제되는 것을 볼 수 있다.

기판 두께가 0.8 mm인 경우 3 가지 종류의 패치 안테나의 방사 특성을 요약한 결과를 표 4에 보인다. 최적화된 핀 배열 패치 안테나가 기본 패치 안테나에 비하여 E-평면 수평방향(0°-180°) 으로의 방사가 약 17 dB 이상 억제되고 H-평면 수평방향(90°-270°) 으로의 방사도 약 5 dB 이상 억제됨을 볼 수 있고 초기 핀 배열 패치 안테나에 비하여 E-평면 수평방향(0°-180°) 으로의 방사가 약 2 dB 이상 억제되고 H-평면 수평방향

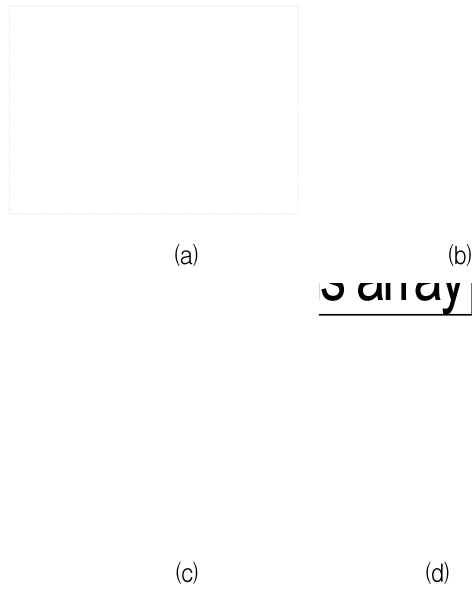


그림 5. 기판 두께가 0.8 mm인 경우 기본 패치 안테나, 핀 배열 패치 안테나, 최적화된 핀 배열 패치 안테나의 방사 특성 (a) S11 스펙트럼, (b) E-평면 방사패턴, (c) H-평면 방사패턴, (d) 수평평면 방사패턴

Fig. 5. Radiation characteristics of a conventional patch antenna, a pin array patch antenna, and an optimized pin array patch antenna with the substrate thickness of 0.8 mm. (a) S11 spectrum, (b) E-plane radiation pattern, (c) H-plane radiation pattern, and (d) Horizontal plane radiation pattern.

표 4. 기판 두께가 0.8 mm인 경우 기본 패치 안테나, 핀 배열 패치 안테나, 최적화된 핀 배열 패치 안테나의 특성 비교

Table 4. Comparison of the radiation characteristics of a conventional patch antenna, a pin array patch antenna and an optimized pin array patch antenna with the substrate thickness of 0.8 mm.

	공진 주파수 (GHz)	S11 (dB)	전방 방사 (dBi)	후방 방사 (dBi)	수평방사(dBi)			
					0°	90°	180°	270°
conventional	5.00	-26.32	4.973	-9.817	-3.13	-6.02	-2.85	-5.96
pin array	5.00	-25.40	5.758	-15.025	-16.05	-10.36	-19.46	-10.49
optimized pin array	5.00	-25.76	5.581	-12.866	-20.07	-11.17	-21.86	-11.18

(90°-270°) 으로의 방사도 약 1 dB 이상 억제됨을 볼 수 있다. 또한 기본 패치 안테나에 비하여 전방방향 방사는 0.6 dB 정도 증가하고 후방방사는 3 dB 정도 감소됨

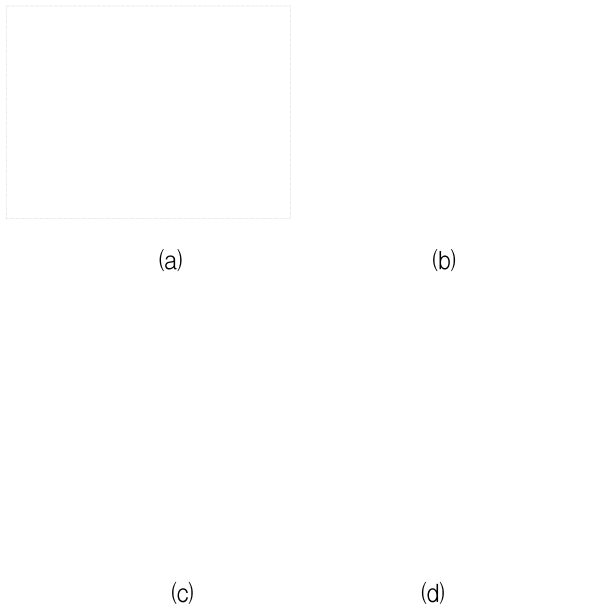


그림 6. 기판 두께가 1.6mm인 경우 기본 패치 안테나, 핀 배열 패치 안테나, 최적화된 핀 배열 패치 안테나의 방사 특성 (a) S11 스펙트럼, (b) E-평면 방사패턴, (c) H-평면 방사패턴, (d) 수평평면 방사패턴

Fig. 6. Radiation characteristics of a conventional patch antenna, a pin array patch antenna, and an optimized pin array patch antenna with the substrate thickness of 1.6 mm. (a) S11 spectrum, (b) E-plane radiation pattern, (c) H-plane radiation pattern, and (d) Horizontal plane radiation pattern.

표 5. 기판 두께가 1.6 mm인 경우 기본 패치 안테나, 핀 배열 패치 안테나, 최적화된 핀 배열 패치 안테나의 특성 비교

Table 5. Comparison of the radiation characteristics of a conventional patch antenna, a pin array patch antenna and an optimized pin array patch antenna with the substrate thickness of 1.6 mm.

	공진 주파수 (GHz)	S11 (dB)	전방 방사 (dBi)	후방 방사 (dBi)	수평방사(dBi)			
					0°	90°	180°	270°
conventional	5.00	-29.27	5.838	-8.574	-1.56	-4.37	-1.23	-4.03
pin array	4.99	-27.86	7.941	-14.564	-14.00	-8.71	-14.29	-8.49
optimized pin array	5.00	-34.17	8.057	-11.240	-15.04	-8.65	-20.05	-8.43

을 볼 수 있다.

그림 6(a), (b), (c), (d)는 각각 기판 두께가 1.6 mm인 경우 기본 패치 안테나, 핀 배열 패치 안테나, 최적화된

핀 배열 패치 안테나의 S₁₁ 스펙트럼, E-평면 방사패턴, H-평면 방사패턴, 수평평면의 방사패턴을 보인다. 핀 배열 패치안테나의 각도 대역폭이 기본 패치 안테나의 각도 대역폭보다 작음을 볼 수 있다. 또한 수평방향으로의 방사도 크게 억제되는 것을 볼 수 있다.

기판 두께가 1.6 mm인 경우 3 가지 종류의 패치 안테나의 방사 특성을 요약한 결과를 표 5에 보인다. 최적화된 핀 배열 패치 안테나가 기본 패치 안테나에 비하여 E-평면 수평방향(0°-180°)으로의 방사가 약 14 dB 이상 억제되고 H-평면 수평방향(90°-270°)으로의 방사도 약 4 dB 이상 억제됨을 볼 수 있고 초기 핀 배열 패치 안테나에 비하여 E-평면 수평방향(0°-180°)으로의 방사가 약 1 dB 이상 억제되고 특히 180° 방향으로의 방사는 약 6 dB 이상 억제됨을 볼 수 있다. 하지만 H-평면 수평방향(90°-270°)으로의 방사는 비슷한 것을 볼 수 있다. 또한 기본 패치 안테나에 비하여 전방방향 방사는 2.2 dB 정도 증가하고 후방방사는 3 dB 정도 감소됨을 볼 수 있다.

그림 7(a), (b), (c), (d)는 각각 기판 두께가 3.2 mm인 경우 기본 패치 안테나, 핀 배열 패치 안테나, 최적화된 핀 배열 패치 안테나의 S₁₁ 스펙트럼, E-평면 방사패턴, H-평면 방사패턴, 수평평면의 방사패턴을 보인다. 핀 배열 패치 안테나의 각도 대역폭이 기본 패치 안테나의 각도 대역폭보다 작음을 볼 수 있다. 또한 수평방향으로의 방사도 크게 억제되는 것을 볼 수 있다.

기판 두께가 3.2 mm인 경우 3 가지 종류의 패치 안테나의 방사 특성을 요약한 결과를 표 6에 보인다. 최적화된 핀 배열 패치 안테나가 기본 패치 안테나에 비하여 E-평면 수평방향(0°-180°)으로의 방사가 약 13 dB 이상 억제되고 H-평면 수평방향(90°-270°)으로의 방사도 약 3dB 이상 억제됨을 볼 수 있고 초기 핀 배열 패치안테나에 비하여 E-평면 수평방향의 0° 방향과 H-평면 수평방향(90°-270°)으로의 방사는 약 1 dB 증가했지만 E-평면 수평방향의 180° 방향으로 약 7 dB 이상 억제됨을 볼 수 있다. 이러한 원인은 초기 핀 배열 패치 안테나의 매칭 문제로 방사 파워가 작기 때문이라 생각한다. 따라서 최적화된 핀 배열 패치 안테나의 전방방사가 초기 핀 배열 패치 안테나의 전방방사보다 1.2 dB 이상 큼을 볼 수 있다. 또한 기본 패치 안테나에 비하여 전방방향 방사는 4 dB 정도 증가하고 후방방사는 0.5 dB 정도 감소됨을 볼 수 있다.

그림 8(a), (b), (c), (d)는 기판 두께에 따른 최적화된

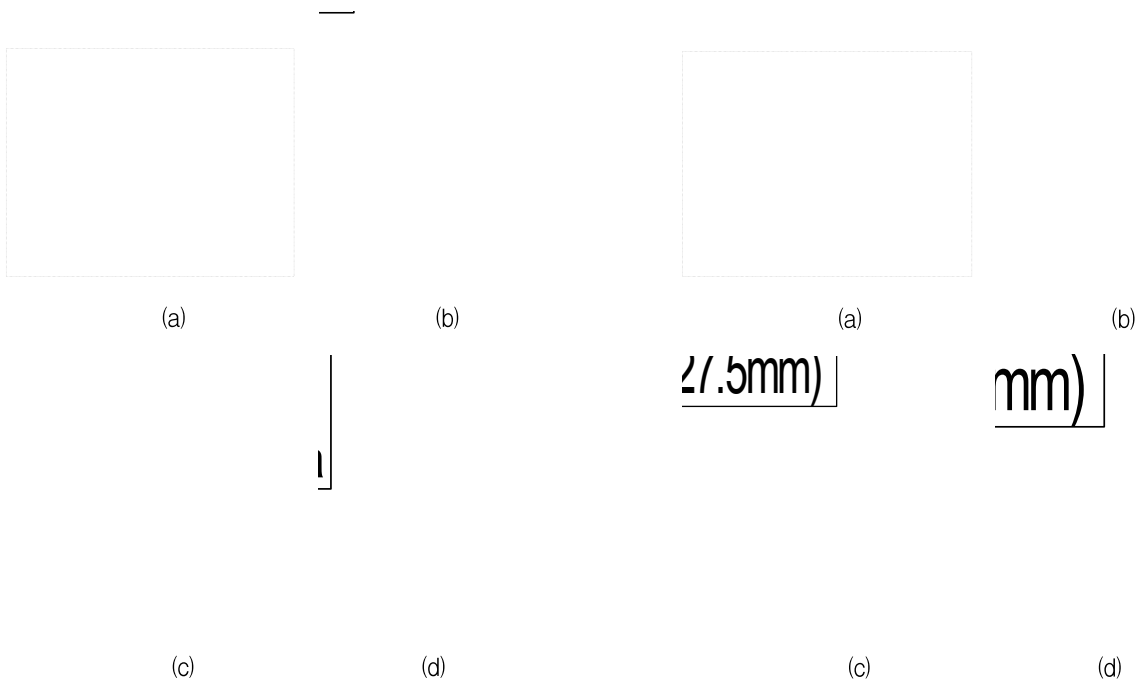


그림 7. 기판 두께가 3.2 mm인 경우 기본 패치 안테나, 핀 배열 패치 안테나, 최적화된 핀 배열 패치 안테나의 방사 특성 (a) S11 스펙트럼, (b) E-평면 방사패턴, (c) H-평면 방사패턴, (d) 수평평면 방사패턴

Fig. 7. Radiation characteristics of a conventional patch antenna, a pin array patch antenna, and an optimized pin array patch antenna with the substrate thickness of 3.2 mm. (a) S11 spectrum, (b) E-plane radiation pattern, (c) H-plane radiation pattern, and (d) Horizontal plane radiation pattern.

표 6. 기판 두께가 3.2 mm인 경우 기본 패치 안테나, 핀 배열 패치 안테나, 최적화된 핀 배열 패치 안테나의 특성 비교

Table 6. Comparison of the radiation characteristics of a conventional patch antenna, a pin array patch antenna and an optimized pin array patch antenna with the substrate thickness of 3.2 mm.

	공진 주파수 (GHz)	S11 (dB)	전방 방사 (dBi)	후방 방사 (dBi)	수평방사(dBi)			
					0°	90°	180°	270°
conventional	5.00	-40.28	4.816	-7.577	0.17	-2.75	1.51	-2.70
pin array	4.98	-7.14	7.614	-11.941	-14.44	-6.21	-8.29	-6.39
optimized pin array	5.00	-39.69	8.633	-7.975	-13.24	-5.93	-15.24	-5.71

핀 배열 패치 안테나의 S₁₁ 스펙트럼, E-평면 방사패턴, H-평면 방사패턴, 수평평면의 방사패턴을 보인다.

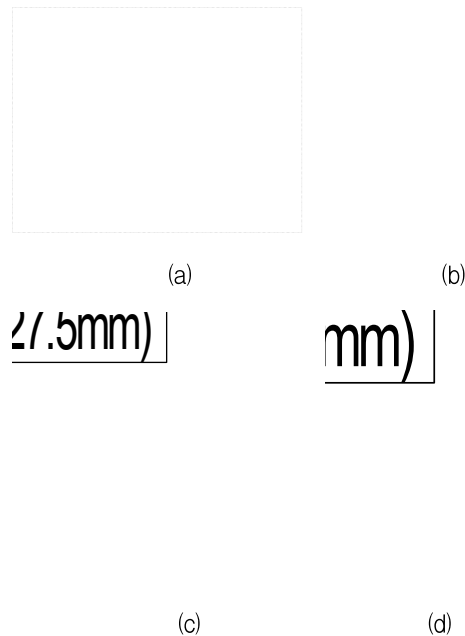


그림 8. 여러 가지 기판 두께에서 최적화된 핀 배열 패치 안테나의 방사 특성 (a) S11 스펙트럼, (b) E-평면 방사패턴, (c) H-평면 방사패턴, (d) 수평평면 방사패턴

Fig. 8. Radiation characteristics of an optimized pin array patch antenna for several substrate thicknesses. (a) S11 spectrum, (b) E-plane radiation pattern, (c) H-plane radiation pattern, and (d) Horizontal plane radiation pattern.

표 7. 여러 가지 기판 두께에서 최적화된 핀 배열 패치 안테나의 특성 비교

Table 7. Comparison of the radiation characteristics of an optimized pin array patch antenna for several substrate thicknesses.

기판 두께 (mm)	대역폭 (%)	전방 방사 (dBi)	후방 방사 (dBi)	수평방사(dBi)			
				0°	90°	180°	270°
0.8	0.7	5.581	-12.866	-20.07	-11.17	-21.86	-11.18
1.6	1.6	8.057	-11.240	-15.04	-8.65	-20.05	-8.43
3.2	3.2	8.633	-7.975	-13.24	-5.93	-15.24	-5.71

그림 8 (a)에서 기판 두께가 증가하면 대역폭이 증가하는 것을 볼 수 있다. 기판 두께 증가는 대역폭을 향상시키고 전방방사 또한 향상시키는 것을 확인 할 수 있다. 하지만 배열 안테나의 단위 안테나 사이의 상호 결합을 발생시키는 수평방향으로의 방사도 증가되는 것을 볼 수 있다.

각 기판 두께별로 최적화된 핀 배열 패치 안테나의 방사 특성을 요약한 결과를 표 7에 보인다. 기판 두께

가 0.8 mm, 1.6 mm, 3.2 mm인 경우 대역폭은 각각 0.7 %, 1.6 %, 3.2 %임을 볼 수 있다. 기판 두께가 증가하면 전방방사, 후방방사, 수평방향으로의 방사가 증가하는 것을 볼 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 배열 안테나 제작 시 단위 안테나 간의 상호결합을 증가시키는 원인 중 하나인 수직방향 편파 전류에 의한 수평방향으로의 방사를 억제시킬 수 있는 핀 배열을 가지는 패치 안테나의 동작 주파수를 일정하게 유지하면서 좋은 방사 특성을 가지는 설계방법에 대해 연구하였다. 또한 이러한 설계방법을 이용하여 여러 가지 기판 두께에서 설계된 핀 배열 패치 안테나의 특성을 HFSS를 이용하여 전산모의한 결과를 기본 패치 안테나의 특성과 비교하였다.

기판의 유전상수와 두께가 달라지면 fringing field에 의한 효과가 달라지기 때문에 기판의 전기적 크기가 달라진다. 따라서 동작 주파수를 일정하게 유지하기 위하여 핀 반경과 단위 패치 면적을 일정하게 유지하면서 핀 배열 패치 안테나의 패치 길이를 변화시키면서 안테나의 특성을 연구하였다. 기판 두께 0.8 mm, 1.6 mm, 3.2 mm에서 패치 길이가 각각 30.00 mm, 28.50 mm, 27.50 mm일 때 수평방향으로의 방사가 최대로 억제됨을 볼 수 있었다.

기판 두께가 0.8 mm인 경우 최적화된 핀 배열 패치 안테나가 기본 패치 안테나에 비하여 E-평면 수평방향(0° - 180°)으로의 방사가 약 17 dB 이상 억제되고 H-평면 수평방향(90° - 270°)으로의 방사도 약 5 dB 이상 억제됨을 볼 수 있었다. 또한 전방방향 방사는 0.6 dB 정도 증가하고 후방방사는 3 dB 정도 감소됨을 볼 수 있다. 기판 두께가 1.6 mm인 경우 최적화된 핀 배열 패치 안테나가 기본 패치 안테나에 비하여 E-평면 수평방향(0° - 180°)으로의 방사가 약 14 dB 이상 억제되고 H-평면 수평방향(90° - 270°)으로의 방사도 약 4 dB 이상 억제됨을 볼 수 있었다. 또한 전방방향 방사는 2.2 dB 정도 증가하고 후방방사는 3 dB 정도 감소됨을 볼 수 있다. 기판 두께가 3.2 mm인 경우 최적화된 핀 배열 패치 안테나가 기본 패치 안테나에 비하여 E-평면 수평방향(0° - 180°)으로의 방사가 약 13 dB 이상 억제되고 H-평면 수평방향(90° - 270°)으로의 방사도 약 3 dB 이상 억제됨을 볼 수 있었다. 또한 전방방향 방사는 4

dB 정도 증가하고 후방방사는 0.5 dB 정도 감소됨을 볼 수 있다.

최적화된 핀 배열 패치 안테나가 기본 패치 안테나와 비교하여 배열 안테나 제작 시 상호결합 현상에 의한 성능 저하의 원인이 되는 수평방향으로의 방사가 E-평면의 수평방향으로는 약 13 dB 이상 억제되고 H-평면의 수평방향으로도 약 4 dB 이상 억제됨을 볼 수 있었다. 또한 기판 두께가 두꺼워질수록 전방방사는 증가하여 기판 두께가 3.2 mm인 경우 최적화된 핀 배열 패치 안테나의 전방방사는 기본 패치 안테나의 전방방사에 비하여 4 dB 정도 증가함을 볼 수 있었다. 최적화된 핀 배열 안테나의 각 대역폭은 기본 패치 안테나의 각 대역폭에 비하여 크게 감소하여 안테나의 지향성과 방사 패턴 특성이 향상됨을 볼 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, and A. Ittipiboon, Microstrip "Antenna Design Handbook," 2nd edition, Boston-London, Artech House, 2000.
- [2] R. Balanis "Antenna Theory," 2nd edition, Wiley & Sons, 1997.
- [3] M. A. Khayat, J. T. Williams, D. R. Jackson, and S. A. Long, "Mutual coupling between reduced surface-wave microstrip antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 48, pp.1581-1593, Oct. 2000.
- [4] Marija M. Nikolic', Antonije R. Djordjevic', 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.
- [5] 이우람, 김태영, 김부균, 신종덕, "패치와 접지면 사이에 삽입된 핀 배열을 가지는 안테나의 방사특성에 핀 반경이 미치는 효과," *전자공학회논문지-TC권*, 제 45권, 제 10호, pp. 80-89, 2008년 10월

저 자 소 개



조 명 기(학생회원)
 2009년 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사 졸업.
 2009년~현재 숭실대학교 전자공학과 석사 과정.

<주관심분야 : Microstrip Antennas, 위상 배열 안테나, EBG>



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>



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~현재 숭실대학교 IT대학 학장
 1981년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수
 <주관심분야 : 위상 배열 안테나, SiP, 광통신 및 광네트워크용 소자>