

논문 2008-45TC-10-10

패치와 접지면 사이에 삽입된 핀 배열을 가지는 안테나의 방사특성에 핀 반경이 미치는 효과

(Effect of the Pin Radius on the Radiation Characteristics of a Patch Antenna with an Array of Pins Interconnecting the Patch and the Ground)

이우람*, 김태영*, 김부균**, 신종덕**

(Woo-Ram Lee, Tae-Young Kim, Boo-Gyoun Kim, and Jong-Dug Shin)

요약

패치와 접지면 사이에 삽입된 핀 배열을 가지는 패치안테나 (핀 배열 패치안테나)를 제작하고 특성을 측정하였다. 핀 배열 패치안테나가 일반적인 패치 안테나와 비교하여 E-평면의 수평방향으로 방사는 약 10 dB 이상 억제되고 H-평면의 수평방향으로 방사도 약 4 dB 이상 억제됨을 볼 수 있었다. 또한 전방으로의 방사는 증가하고 후방으로의 방사는 감소하여 안테나의 지향성이 향상됨을 볼 수 있었다. Half-power beamwidth가 E-평면 과 H-평면 모두에서 대폭 작아져 방사패턴 특성이 향상됨을 볼 수 있었다. 핀 배열 패치안테나에 삽입하는 핀 반경을 증가시키면 공진 주파수가 증가함을 볼 수 있었다. 또한 기판의 특성에 따라 수평방향으로의 방사억제 효과가 최대가 되는 최적 핀 반경 값이 존재함을 볼 수 있었다.

Abstract

Patch antennas with an array of pins interconnecting the patch and the ground (Pin array patch antennas) are fabricated and their characteristics are measured. The radiation characteristics of pin array patch antennas are compared to those of conventional patch antennas. The suppressions of the radiation in horizontal directions in E-plane and H-plane are more than 10 dB and 4 dB, respectively. The forward radiation is increased, while the backward radiation is decreased. The directivity is improved because the half-power beamwidth of radiation patterns in both E-plane and H-plane is reduced. The resonance frequency of a pin array patch antenna increases as the pin radius of a pin array patch antenna increases. An optimum pin radius of a pin array patch antenna exists for the maximum suppression of the radiation in horizontal directions.

Keywords : Suppressed radiation in horizontal directions, Mutual coupling, Microstrip patch antennas, Antenna arrays, Pin radius

I. 서론

마이크로스트립 패치 안테나는 두께가 작고

(low-profile) 무게가 가볍고 먼 구조를 가지며 저렴한 가격에 제작할 수 있기 때문에 널리 사용되고 있으나 대역폭이 좁고 효율이 낮다는 단점을 가진다.^[1] 방사패턴과 대역폭 측면을 고려하여 주로 유전상수가 낮은 기판이 패치 안테나에 사용된다. 소형의 안테나와 안테나를 RF front end 와 집적시키고자하는 경우에는 유전상수가 큰 기판을 사용해야 한다. 유전상수가 큰 기판을 사용하는 경우에는 수평방향으로 방사가 크게 발생하게 된다. 이러한 수평 방향의 방사는 패치 안테나의 방사 특성과 효율을 저하시키는 원인이 된다. 또한 패치 안테나를 단위 안테나로 하여 배열 안테나를 만드는 경우에

* 학생회원, ** 평생회원, 송실대학교 정보통신전자공학부

(School of Electronic Engineering, Soongsil University)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT 원천기술개발사업 (2007-F-041-02, 지능형 안테나 기술 개발), 한국과학재단 특정기초연구(R01-2006-000-11342-0)와 송실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음.

접수일자: 2008년8월1일, 수정완료일: 2008년10월16일

는 수평방향의 방사가 인접 패치 안테나 사이에 상호결합 현상을 발생시킨다. 이러한 단위 안테나 사이에 발생하는 상호결합 현상은 배열 안테나를 만들 경우 배열 안테나의 특성을 저하시키는 주요 원인이 된다. 또한 최근 많이 연구되고 있는 MIMO (Multi Input Multi Output) 시스템에 사용되는 안테나의 경우 인접 안테나 사이의 상호결합을 최소화하여야 한다.

인접 패치안테나 사이에 발생하는 상호결합 현상을 발생시키는 주요 원인은 패치안테나에서 발생하여 기판을 따라 전달되는 표면파와 패치안테나의 패치 밑에 존재하는 수직방향의 편파전류에 의한 수평방향으로의 방사이다. 이러한 기판을 따라 전달되는 표면파와 수직방향의 편파전류에 의한 수평방향으로의 방사를 줄이기 위하여 여러 가지 방법이 연구되었다.

기판을 따라 전파되는 표면파를 억제하기 위한 대표적인 방법은 EBG (Electromagnetic Bandgap) 구조를 패치 안테나에 집적시켜 사용하는 방법으로 패치의 주변에 주기적인 구조를 삽입하여 표면파의 진행을 억제하는 방식이다.^[2-3] 수직 방향의 편파전류에 의한 수평방향으로의 방사를 줄이기 위한 방법은 패치 밑 기판의 유효 유전상수를 작게 하는 방법으로서 패치 밑 유전체를 제거하는 방법^[4]과 패치 위에 높은 유전상수를 가지는 superstrate를 설치하는 방법이 있다.^[5]

최근 패치와 접지면 사이를 연결하는 금속 핀을 패치에 배열시켜 패치 밑에 존재하는 수직방향의 편파전류에 의한 수평방향으로의 방사를 상쇄시키는 방법이 보고되었다.^[6] 이와 같은 패치와 접지면 사이에 금속 핀을 배열시키는 방법은 패치 밑 기판을 제거하는 방법과 패치 위에 높은 유전상수를 가지는 superstrate를 설치하는 방법보다 제작하기가 쉽고 제작비용이 저렴하며 안테나를 RF front-end 와 집적시키기가 쉬우리라 예상된다. 참고문헌 6에서는 유전상수가 4.6 인 FR4 기판의 두께가 1.5748 mm이고 동작 주파수가 2.15 GHz 인 전기적으로 매우 얇은 두께를 가지며 핀 반경이 0.3 mm 인 경우에 패치와 접지면 사이에 핀 배열을 가지는 패치안테나에서 수평방향으로의 방사가 억제되는 현상을 보고하였다.

본 논문에서는 수평방향으로의 방사가 억제되는 패치와 접지면 사이에 핀 배열을 가지는 패치 안테나(핀 배열 패치안테나)의 설계 방법에 대하여 보고한다. 두께가 1.6 mm이며 유전상수가 4.6과 10을 가지는 기판에서 동작 주파수가 5 GHz일 때 각각 패치와 접지면 사이에 핀 배열을 가지는 패치안테나를 설계하고 제작

하여 전산모의한 방사특성과 측정된 방사특성을 비교 검토한다. 특히 핀 반경에 따른 방사 특성 변화에 대하여 보고한다. 본 연구에서는 Ansoft사의 HFSS (High Frequency Structure Simulator)를 이용하여 안테나의 특성을 전산모의 하였다.

II. 핀 배열 패치안테나의 설계방법

패치 안테나에서 발생하는 수평방향으로 방사는 패치와 접지면 사이에 존재하는 유전체에 흐르는 수직방향의 편파전류(polarization current)에 의하여 발생한다. 따라서 기판의 유전상수가 커질수록, 기판의 두께가 두꺼워 질수록 수평방향으로의 방사가 커진다. 패치와 접지면 사이에 금속 핀을 삽입하여 금속 핀을 따라 흐르는 도전전류에 의하여 이러한 수직방향의 편파전류에 의한 효과를 상쇄시켜 수평방향으로의 방사를 억제할 수 있다.

패치와 접지면 사이에 삽입된 금속 핀 배열을 가지는 패치안테나의 특성은 패치를 삽입한 핀을 중심으로 가지는 단위 패치들의 조합으로 생각하여 해석할 수 있다. 그림 1은 패치와 접지면 사이에 금속 핀을 중앙에 삽입한 단위 패치의 구조와 등가회로를 보인다. 단위 패치는 패치와 접지면으로 구성된 두 도체면 사이에 유전체가 채워진 구조이므로 평판 캐퍼시터로 생각되어질 수 있다. 또한 중앙에 삽입된 금속 핀이 패치와 접지면 사이를 연결하므로 단위 패치는 인덕턴스 성분을 가지게 된다. 따라서 단위 패치의 특성은 그림 1에 보는 것처럼 캐퍼시턴스 성분과 인덕턴스 성분이 병렬 연결된 등가회로부터 유도되어질 수 있다.

이러한 병렬연결로 표현되는 등가회로의 캐퍼시턴스 성분 C와 인덕턴스 성분 L은 다음과 같이 계산되어진

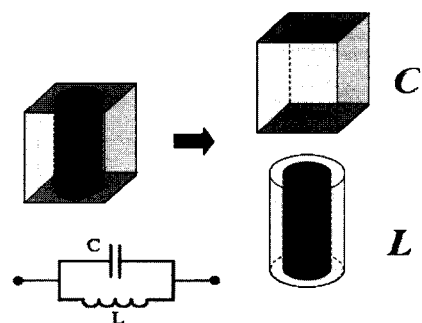


그림 1. 패치와 접지면 사이에 삽입된 핀을 가지는 단위 패치의 등가회로.

Fig. 1. An equivalent circuit of a unit patch with a pin interconnecting the patch and the ground.

다. 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. 유전체 내에 존재하는 편파전류가 동축케이블의 외부 도체를 따라 흐른다고 가정하면 단위 길이당 인덕턴스는 다음과 같이 표현된다.

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

단위 패치를 각각 식 (1)과 (2)로 계산되는 캐패시턴스 C_d 와 인덕턴스 L 이 병렬 연결된 등가회로로 생각하면 유전체 내 편파 전류에 의한 효과가 상쇄되는 주파수는 다음과 같이 주어진다.

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

인덕턴스와 캐패시턴스가 병렬 연결된 등가회로로 생각할 수 있는 단위 패치가 배열되는 패치의 크기는 다음과 같이 결정한다. 패치와 접지면 사이에 삽입된 금속 핀을 따라 흐르는 도전전류가 패치와 접지면 사이의 유전체내에 존재하는 편파전류의 효과를 상쇄시키면 핀 배열 패치 안테나는 패치와 접지면 사이의 유전체가 유전상수가 1인 패치 안테나와 비슷한 방사특성을 가진다. 따라서 유전상수가 1인 기판에서 동작시키고자 하는 주파수를 공진 주파수로 가지는 일반적인 패치 안테나 설계로부터 패치 크기를 결정한다. 다음으로 핀 배열 패치 안테나를 제작하고자 하는 기판의 유전상수를 가지고 앞의 식 (1)-(3)을 사용하여 핀 반경과 단위 패치의 크기를 결정한다. 이와 같이 결정된 단위 패치를 유전상수가 1인 기판을 가지는 패치 안테나 설계로부터 결정된 패치 크기에 적절히 배열한다. 이러한 설계방법을 따라 설계된 핀 배열 패치안테나는 유전상수가 1인 기판을 가지는 일반적인 패치안테나와 비슷한 동작 특성을 가진다.

본 논문에서 안테나 설계와 제작에 사용한 기판의 길이와 폭은 각각 기판의 종류에 관계없이 공기 중에서

5 GHz의 파장에 해당하는 60 mm로 설정하였고 기판 두께는 1.6 mm이다.

III. FR4 기판을 이용한 안테나에서 핀 반경이 방사 특성에 미치는 효과

1. 핀 배열 패치 안테나 설계 및 특성 전산모의

유전상수가 4.6이고 기판 두께가 1.6 mm인 FR-4 기판을 이용하여 설계한 5 GHz대역에서 동작하는 일반적인 구조의 패치안테나의 패치 길이와 폭은 각각 12.8 mm와 12.5 mm이다. 또한 같은 두께를 가지며 기판의 유전상수가 1인 일반적인 패치 안테나의 패치 길이와 폭은 각각 26.6 mm와 25.7 mm이다. 핀의 반경이 0.5 mm인 경우 식 (1)-(3)을 이용하여 계산한 5 GHz에서 동작하는 단위 패치를 유전상수가 1인 패치 안테나의 패치에 길이 방향으로 3 주기, 폭 방향으로 3주기, 3×3, 로 배열할 수 있다.

그림 2 (a)와 (b)는 각각 FR-4 기판을 사용한 5 GHz 대역에서 동작하는 핀 배열 패치 안테나의 평면도와 측면도를 보인다. 패치와 접지면 사이에 금속 핀을 삽입한 구조는 패치를 3×3으로 분할하여 그 중심에 반경이 0.5 mm인 금속 핀을 삽입한 구조이다.

그림 3 (a), (b), (c), 와 (d)는 각각 기판의 유전상수가 1인 패치안테나, FR-4 기판에 설계된 일반적인 패치 안테나와 핀 배열 패치안테나의 반사손실 스펙트럼, E-평면, H-평면, 과 수평평면의 방사 패턴을 보인다. 그림 3(a)를 보면 각 안테나들의 공진 주파수가 5 GHz 근처에서 발생함을 볼 수 있다. 핀 배열 패치안테나의 방사 패턴 특성은 유전상수가 1인 패치안테나의 방사 패턴

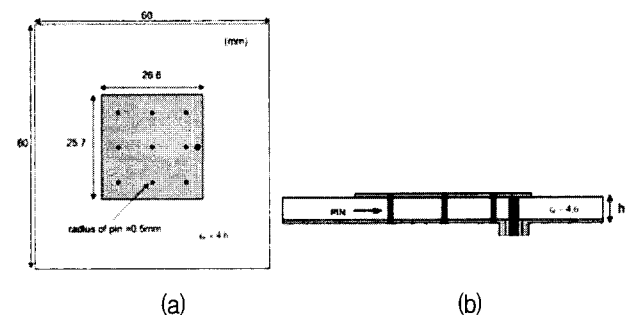


그림 2. FR-4 기판을 사용한 패치와 접지면 사이에 삽입된 핀 배열을 가지는 패치 안테나의 개념도. (a) 평면도 (b) 측면도.

Fig. 2. A schematic diagram of a patch antenna with an array of pins interconnecting the patch and the ground printed on FR-4. (a) Top view and (b) Side view.

특성과 비슷함을 볼 수 있다. 이는 패치와 접지면 사이에 삽입한 핀을 따라 흐르는 도전전류가 유전체내의 편파전류에 의한 방사 효과를 상쇄시켜 수평방향으로의 방사가 억제되기 때문이라 생각된다.

또한 FR-4 기판에 설계된 일반적인 패치안테나에 비하여 기판의 유전상수가 1인 패치안테나와 FR-4 기판에 설계된 핀 배열 패치안테나가 E-평면의 수평방향 방

사가 매우 억제되고 H-평면의 수평방향 방사도 억제됨을 볼 수 있다. 그리고 핀 배열 패치안테나가 일반적인 패치안테나에 비하여 HPBW (Half-power Beamwidth)가 E-평면에서는 약 26°, H-평면에서는 약 14°가 작아져 지향성이 향상됨을 볼 수 있다. 3 가지 종류의 패치안테나의 특성을 요약한 결과를 표 1에 보인다.

FR-4 기판에 설계된 핀 배열 패치안테나가 일반적인 패치안테나에 비하여 E-평면 수평방향(0°-180°)으로의 방사가 약 9~15 dB 이상 억제되고 H-평면 수평방향(90°-270°)으로의 방사도 약 3 dB 억제됨을 볼 수 있다. 또한 전방으로의 방사는 증가하고 후방으로의 방사는 감소하여 안테나의 방사패턴 특성이 향상됨을 볼 수 있다.

2. 핀 배열 패치 안테나 특성 전산모의 결과와 실험결과 비교

그림 4 (a), (b), 와 (c)는 각각 일반적인 구조의 패치안테나와 핀 배열 패치안테나의 반사손실, E-평면 방사

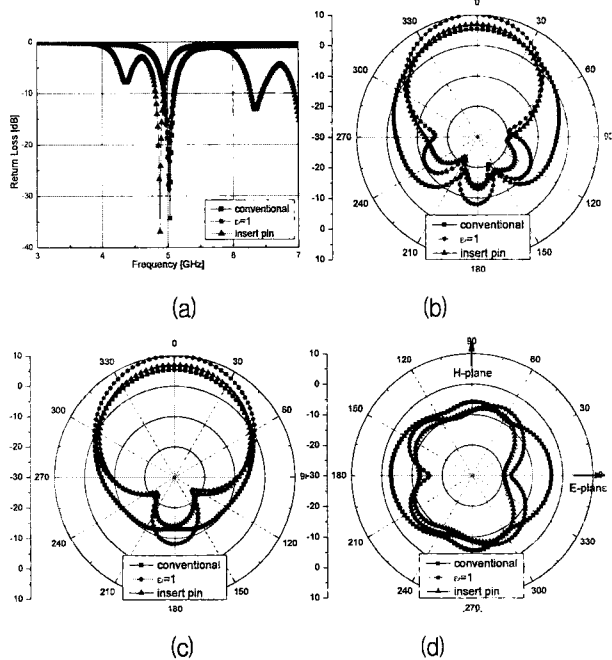


그림 3. 유전상수가 1인 기판의 패치안테나, FR-4 기판의 일반적인 패치안테나와 핀 배열 패치 안테나의 전산모의 특성. (a) 반사손실, (b) E-평면 방사패턴, (c) H-평면 방사패턴, (d) 수평평면 방사패턴.

Fig. 3. The simulation characteristics of an antenna located in air, a conventional patch antenna printed on FR-4, and a pin array patch antenna on FR-4. (a) Return loss, (b) E-plane radiation pattern, (c) H-plane radiation pattern, and (d) Horizontal plane radiation pattern.

표 1. 유전상수가 1인 기판의 패치안테나, FR-4 기판의 일반적인 패치안테나와 핀 배열 패치 안테나의 전산모의 특성 비교.

Table 1. Comparison of the characteristics of an antenna located in air, a conventional patch antenna printed on FR-4, and a pin array patch antenna on FR-4.

| | 공진 주파수 (GHz) | 반사손실 (dB) | 전방방사 (dBi) | 후방방사 (dBi) | 수평방사 (dBi) | | | |
|----------------|--------------|-----------|------------|------------|------------|-------|--------|-------|
| | | | | | 0° | 90° | 180° | 270° |
| conventional | 5.03 | -32.4 | 5.39 | -13.03 | 3.75 | -5.88 | 3.08 | -5.52 |
| $\epsilon_r=1$ | 5.02 | -28.75 | 10 | -8.01 | -17.08 | 9.01 | -15.78 | -8.39 |
| insert pin | 4.88 | -37.01 | 6.88 | -13.95 | -19.39 | -8.67 | -12.68 | -8.97 |

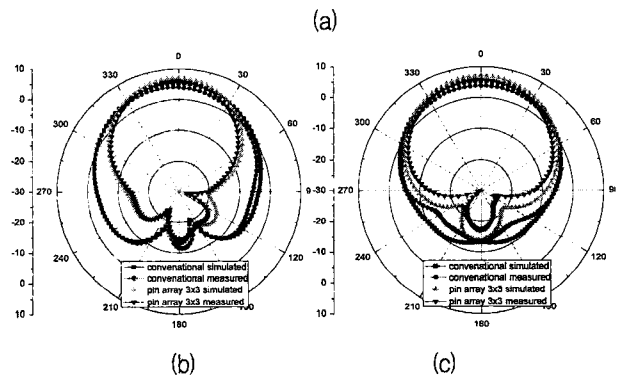
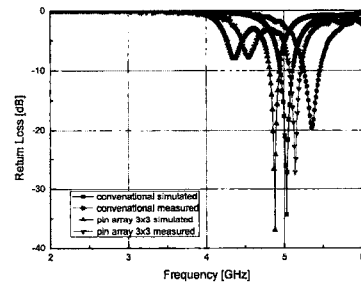


그림 4. FR-4 기판의 일반적인 패치안테나와 핀 배열 패치 안테나 특성의 전산모의 결과와 측정 결과 비교. (a) 반사손실, (b) E-평면 방사패턴, (c) H-평면 방사패턴.

Fig. 4. Comparison of the simulation results and measured results of the characteristics of a conventional patch antenna printed on FR-4, and a pin array patch antenna on FR-4. (a) Return loss, (b) E-plane radiation pattern, (c) H-plane radiation pattern.

표 2. FR-4 기판의 일반적인 패치안테나와 핀 배열 패치 안테나 특성의 전산모의 결과와 측정 결과 비교.

Table 2. Comparison of the simulation results and measured results of characteristics of a conventional patch antenna printed on FR-4, and a pin array patch antenna on FR-4.

| | 공진 주파수 (GHz) | 반사손실 (dB) | 전방방사 (dB) | 후방방사 (dB) | 수평방사 (dB) | | | |
|------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|--------|
| | | | | | 0° | 90° | 180° | 270° |
| conventional simulated | 5.03 | -34.32 | 5.39 | -13.03 | -3.75 | -5.88 | -3.08 | -5.52 |
| conventional measured | 5.36 | -19.56 | 3.94 | -11.56 | -5.72 | -5.69 | -3.12 | -5.77 |
| pin array simulated | 4.88 | -37.01 | 6.88 | -13.95 | -19.39 | -8.67 | -12.68 | -8.97 |
| pin array measured | 5.14 | -27.21 | 5.71 | -14.43 | -20.87 | -12.66 | -14.14 | -13.11 |

패턴, 과 H-평면 방사패턴의 전산모의 결과와 제작하여 측정된 결과를 보인다. 주파수에 따른 반사손실을 보이는 그림 4(a)를 보면 공진 주파수는 전산모의 값과 측정값 간에 약 5%정도의 오차를 보이거나 주파수에 따른 반사손실 변화는 거의 일치함을 볼 수 있다.

E-평면 방사패턴과 H-평면 방사패턴의 전산모의 결과와 측정 결과가 잘 일치함을 볼 수 있다. 그리고 측정된 방사패턴으로부터 HPBW를 계산한 결과 일반적인 패치안테나에 비하여 핀 배열 패치안테나가 E-평면에서는 약 38°, H-평면에서는 약 28°가 작게 됨을 볼 수 있다. 일반적인 구조의 패치 안테나와 핀 배열 패치안테나 특성의 전산모의 결과와 측정 결과를 요약한 결과를 표 2에 보인다.

전산모의 결과와 측정 결과 모두 일반적인 구조의 패치 안테나에 비하여 핀 배열 패치안테나가 E-평면 수평방향으로의 방사가 약 9~15 dB 이상 억제됨을 볼 수 있고 H-평면 수평방향으로의 방사도 약 3~11 dB 이상 억제됨을 볼 수 있다. 또한 일반적인 구조의 패치안테나에 비하여 핀 배열 패치안테나의 전방방사($\theta=0^\circ$)가 약 1.8 dB 증가하고 후방으로의 방사는 감소하여 지향성이 향상됨을 확인 할 수 있다.

3. 핀 반경에 따른 안테나 특성

핀 배열 패치안테나에서 핀의 반경이 방사 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 핀의 반경을 변화시켜가며 특성을 살펴보았다.

그림 5(a), (b), (c), 와 (d)는 각각 핀 배열 안테나의 핀 반경에 따른 반사손실, E-평면, H-평면, 수평 평면의 방사 패턴을 보인다. 그림 5(a)에서 보면 핀 반경이 증가함에 따라 공진주파수가 증가하는 것을 볼 수 있다.

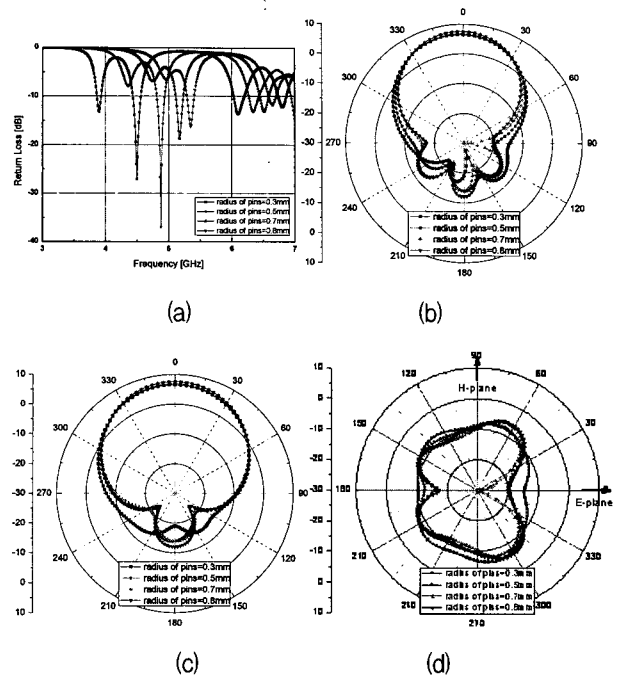


그림 5. 여러 가지 핀 반경에 따른 FR-4 기판의 핀 배열 패치 안테나의 전산모의 특성. (a) 반사손실, (b) E-평면 방사패턴, (c) H-평면 방사패턴, (d) 수평평면 방사패턴.

Fig. 5. The simulation characteristics of a pin array patch antenna on FR-4 for several pin radiuses. (a) Return loss, (b) E-plane radiation pattern, (c) H-plane radiation pattern, and (d) Horizontal plane radiation pattern.

표 3. 여러 가지 핀 반경에 따른 FR-4 기판의 핀 배열 패치 안테나의 전산모의 특성 비교.

Table 3. Comparison of the simulation characteristics of a pin array patch antenna on FR-4 for several pin radiuses.

| 핀의 반경 (mm) | 공진 주파수 (GHz) | 반사손실 (dB) | 전방방사 (dBi) | 후방방사 (dBi) | 수평방사 (dBi) | | | |
|------------|--------------|-----------|------------|------------|------------|-------|--------|--------|
| | | | | | 0° | 90° | 180° | 270° |
| 0.3 | 4.5 | -27.02 | 6.49 | -19.01 | -14.54 | -8.84 | -10.68 | -6.86 |
| 0.5 | 4.88 | -37.01 | 6.88 | -13.95 | -19.39 | -8.67 | -12.68 | -8.97 |
| 0.7 | 5.18 | -18.78 | 7.55 | -13.84 | -31.40 | -9.60 | -15.79 | -10.19 |
| 0.8 | 5.35 | -16.30 | 7.55 | -12.01 | -19.89 | -9.11 | -17.22 | -8.04 |

또한 핀 반경에 따라 방사패턴이 변화함을 볼 수 있다.

핀 반경에 따른 공진주파수, 전방방사, 후방방사, 수평방사 크기를 요약한 결과를 표 3에 보인다. 핀 반경이 증가 할수록 공진주파수가 증가함을 볼 수 있다. 핀 반경이 0.3 mm에서 0.7 mm로 증가할 때 전방방사 크기는 커지고 후방방사 크기는 작아지며 수평방향 방사 억제 효과가 커짐을 볼 수 있다. 핀 반경이 0.8 mm가 되면 E-평면 수평방향 방사 억제 효과가 크게 감소되어짐을 볼 수 있다. 또한 H-평면 수평방향 방사 억제 효과도 감소됨을 볼 수 있다. 따라서 핀 반경 선정이 수

평방향으로의 방사 억제 효과등과 같은 방사 특성 최적화에 고려해야 될 중요한 요소라고 생각한다.

그림 6(a), (b), 와 (c)는 각각 핀 배열 패치 안테나에 삽입한 금속 핀의 반경이 0.3 mm와 0.5 mm일 때의 반

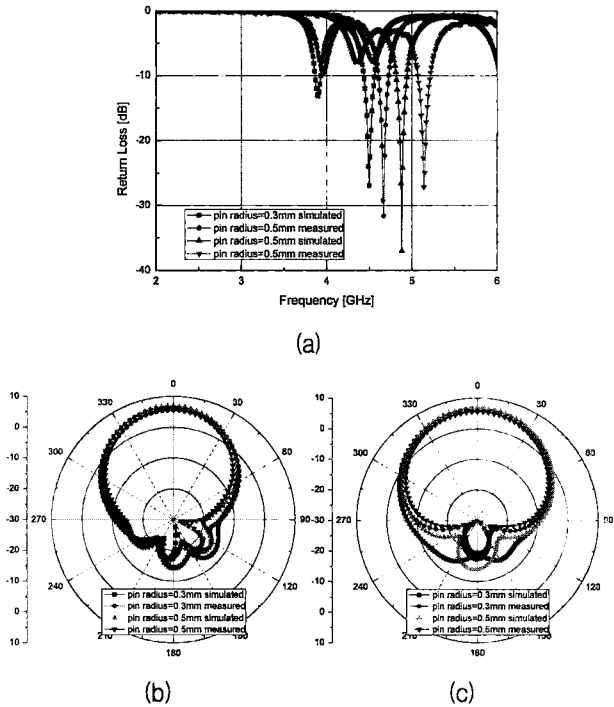


그림 6. FR-4 기판의 핀 배열 패치 안테나에 삽입된 핀 반경이 0.3 mm 와 0.5 mm일 때 특성의 전산모의 결과와 측정 결과 비교. (a) 반사손실, (b) E-평면 방사패턴, (c) H-평면 방사패턴.

Fig. 6. Comparison of the simulation results and measured results of characteristics of a pin array patch antenna on FR-4 with the pin radiuses of 0.3 mm and 0.5 mm. (a) Return loss, (b) E-plane radiation pattern, (c) H-plane radiation pattern.

표 4. FR-4 기판의 핀 배열 패치 안테나에 삽입된 핀 반경이 0.3 mm 와 0.5 mm일 때 특성의 전산모의 결과와 측정 결과 비교.

Table 4. Comparison of the simulation results and measured results of characteristics of a pin array patch antenna on FR-4 with the pin radiuses of 0.3 mm and 0.5 mm.

| | 공진 주파수 (GHz) | 반사손실 (dB) | 전방방사 (dB) | 후방방사 (dB) | 수평방사 (dB) | | | |
|---------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|-------|
| | | | | | 0° | 90° | 180° | 270° |
| pin 0.3mm simulated | 4.5 | -27.02 | 6.49 | -19.01 | -14.50 | 8.84 | 10.68 | 6.86 |
| pin 0.3mm measured | 4.66 | -19.56 | 5.52 | -17.05 | 14.26 | 10.66 | 11.78 | 9.89 |
| pin 0.5mm simulated | 4.88 | -37.01 | 6.88 | -13.95 | 19.39 | -8.67 | -12.68 | 8.97 |
| pin 0.5mm measured | 5.14 | -27.21 | 5.71 | -14.42 | 20.87 | -12.66 | 14.14 | 13.11 |

사손실, E-평면 방사패턴과, H-평면 방사패턴의 전산모의 결과와 제작하여 측정한 결과를 보인다. 전산모의 결과와 측정 결과가 잘 일치함을 볼 수 있다. 핀의 반경이 0.5 mm일 때가 0.3 mm일 때 보다 공진 주파수가 증가됨을 볼 수 있고 수평방향으로의 방사 억제 효과 또한 증가함을 볼 수 있다.

표 4는 핀 배열 패치 안테나의 패치와 접지면 사이에 삽입한 핀 반경이 0.3 mm 와 0.5 mm 일 때 안테나 특성의 전산모의 결과와 측정 결과를 요약한 결과를 보인다. 핀 반경이 0.5 mm일 때가 0.3 mm일 때에 비하여 공진주파수가 커지는 것을 볼 수 있고 그 변화량은 전산모의 값과 측정 값 모두 비슷함을 볼 수 있다. 또한 삽입한 금속 핀의 반경이 0.5 mm일 때가 0.3 mm 일 때 보다 수평방향으로의 방사 억제 효과가 약 2~7 dB 정도 더 커지고 전방방사는 약 0.2 dB 증가함을 볼 수 있었다.

IV. CER-10 기판을 이용한 안테나에서 핀 반경이 방사 특성에 미치는 효과

1. 핀 배열 패치 안테나 설계 및 특성 전산모의

유전상수가 10이고 기판의 두께가 1.6 mm인 CER-10 기판을 이용하여 5 GHz대역에서 동작하는 일반적인 구조의 패치안테나의 패치 길이와 폭은 각각 8.5 mm와 8.1 mm이다. 또한 같은 두께를 가지며 기판의 유전상수가 1인 일반적인 패치 안테나의 패치 길이와 폭은 각각 26.6 mm와 25.7 mm이다. 핀의 반경이 0.5 mm인 경우 식 (1)-(3)을 이용하여 계산한 5 GHz에서 동작하는 단위 패치를 유전상수가 1인 패치 안테나의 패치에 길이 방향으로 5주기, 폭 방향으로 4주기,

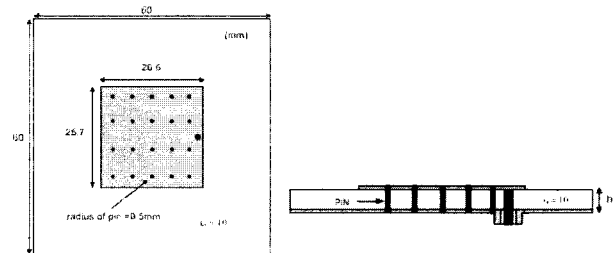


그림 7. CER-10 기판을 사용한 패치와 접지면 사이에 삽입된 핀 배열을 가지는 패치 안테나의 개념도. (a) 평면도 (b) 측면도.

Fig. 7. A schematic diagram of a patch antenna with an array of pins interconnecting the patch and the ground printed on CER-10. (a) Top view and (b) Side view.

5×4로 배열할 수 있다.

그림 7(a) 와 (b)는 각각 CER-10 기판을 사용한 5 GHz대역에서 동작하는 핀 배열 패치 안테나의 평면도와 측면도를 보인다. 패치와 접지면 사이에 금속 핀을 삽입한 구조는 패치를 5×4로 분할하여 그 중심에 반경이 0.5 mm인 핀을 삽입한 구조이다.

그림 8 (a), (b), (c), 와 (d)는 각각 기판의 유전상수

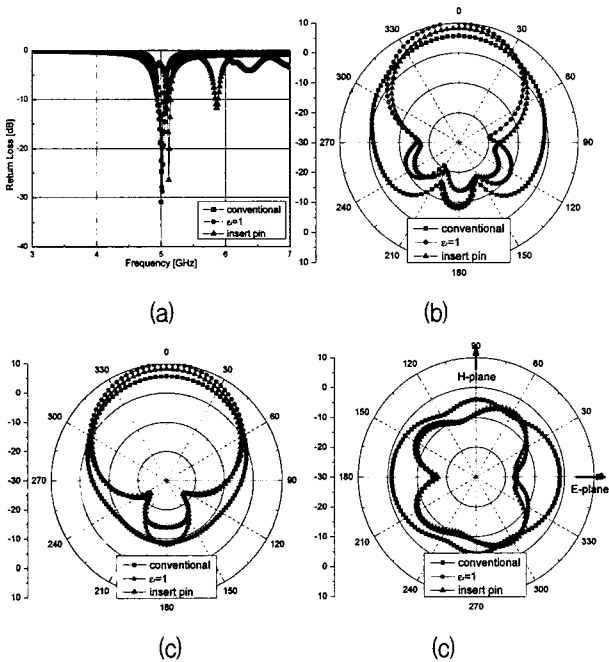


그림 8. 유전상수가 1인 기판의 패치안테나, CER-10 기판의 일반적인 패치안테나와 핀 배열 패치 안테나의 전산모의 특성. (a) 반사손실, (b) E-평면 방사패턴, (c) H-평면 방사패턴, (d) 수평평면 방사패턴.

Fig. 8. The simulation characteristics of an antenna located in air, a conventional patch antenna printed on CER-10, and a pin array patch antenna on CER-10. (a)Return loss, (b) E-plane radiation pattern, (c) H-plane radiation pattern, and (d) Horizontal plane radiation pattern.

표 5. 유전상수가 1인 기판의 패치안테나, CER-10 기판의 일반적인 패치안테나와 핀 배열 패치 안테나의 전산모의 특성 비교.

Table 5. Comparison of the characteristics of an antenna located in air, a conventional patch antenna printed on CER-10, and a pin array patch antenna on CER-10.

| | 공진 주파수 (GHz) | 반사손실 (dB) | 전방방사 (dBi) | 후방방사 (dBi) | 수평방사 (dBi) | | | |
|----------------|--------------|-----------|------------|------------|------------|-------|--------|-------|
| | | | | | 0° | 90° | 180° | 270° |
| conventional | 5.00 | -30.94 | 5.72 | -8.77 | -1.59 | -4.02 | -1.36 | -4.33 |
| $\epsilon_r=1$ | 5.02 | -28.75 | 10 | -8.01 | -17.08 | -9.01 | -15.78 | -8.39 |
| insert pin | 5.12 | -26.42 | 8.29 | -13.89 | -16.24 | -8.71 | -17.05 | -8.31 |

가 1인 패치안테나, CER-10 기판에 설계된 일반적인 패치안테나와 핀 배열 패치안테나의 반사손실 스펙트럼, E-평면, H-평면, 과 수평평면의 방사 패턴을 보인다. 핀 배열 패치 안테나의 방사 패턴 특성은 유전상수가 1인 패치 안테나의 방사 패턴 특성과 비슷함을 볼 수 있다.

또한 CER-10 기판에 설계된 일반적인 패치안테나에 비하여 기판의 유전상수가 1인 패치안테나와 핀 배열 패치안테나가 E-평면의 수평방향 방사가 매우 작고 H-평면의 수평방향의 방사도 억제됨을 볼 수 있다. 그리고 핀 배열 패치안테나가 일반적인 패치안테나에 비하여 HPBW가 E-평면에서는 약 39°, H-평면에서는 약 26°가 작아져 좀 더 샤프한 방사패턴을 가짐을 볼 수 있다. 3 가지 종류의 패치 안테나의 방사 특성을 요약한 결과를 표 5에 보인다.

CER-10 기판에 설계된 핀 배열 패치안테나가 일반적인 패치안테나에 비하여 E-평면 수평방향(0°-180°)으로의 방사가 약 15 dB 이상 억제되고 H-평면 수평방향(90°-270°)으로의 방사도 약 4 dB 이상 억제됨을 볼 수 있다. 또한 전방으로의 방사는 증가하고 후방으로의 방사는 감소하여 안테나의 방사패턴 특성이 향상됨을 볼 수 있다.

2. 핀 배열 패치 안테나 특성 전산모의 결과와 실험결과 비교

그림 9 (a), (b), 와 (c)는 각각 일반적인 구조의 패치 안테나와 핀 배열 패치안테나의 반사손실, E-평면 방사 패턴, 과 H-평면 방사패턴의 전산모의 결과와 제작하여 측정된 결과를 보인다. 주파수에 따른 반사손실을 보이는 그림 9(a)를 보면 공진 주파수는 전산모의 값과 측정값 간에 약 4% 이내의 오차를 보이나 주파수에 따른 반사손실의 변화는 거의 일치함을 확인 할 수 있다.

E-평면 방사패턴과 H-평면 방사패턴도 전산모의 결과와 측정 결과가 잘 일치함을 볼 수 있다. 그리고 측정된 방사패턴으로부터 HPBW를 계산한 결과 일반적인 패치안테나에 비하여 핀 배열 패치안테나가 E-평면에서는 약 50.5°, H-평면에서는 약 25.5°가 작게 됨을 볼 수 있다. 일반적인 구조의 패치 안테나와 핀 배열 패치 안테나 특성을 전산모의한 결과와 측정 결과를 요약한 결과를 표 6에 보인다.

전산모의 결과와 측정 결과 모두 일반적인 구조의 패치 안테나에 비하여 핀 배열 패치안테나가 E-평면 수평방향으로의 방사가 약 11~18 dB 이상 억제됨을 볼

수 있고 H-평면 수평방향으로의 방사도 약 4~6 dB 이상 억제됨을 볼 수 있다. 또한 일반적인 구조의 패치 안테나에 비하여 핀 배열 패치안테나의 전방방사($\theta=0^\circ$)가 약 1 dB 증가하고 후방으로의 방사는 감소하여 지향성

이 향상됨을 확인 할 수 있다.

2. 핀 반경에 따른 특성

핀 배열 패치안테나에서 핀의 반경이 방사 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 핀의 반경을 변화시켜가며 특성을 살펴보았다.

그림 10 (a), (b), (c), 와 (d)는 각각 핀 배열 안테나의 핀 반경에 따른 반사손실, E-평면, H-평면, 과 수평 평면의 방사 패턴을 보인다. 그림 10 (a)에서 보면 핀의

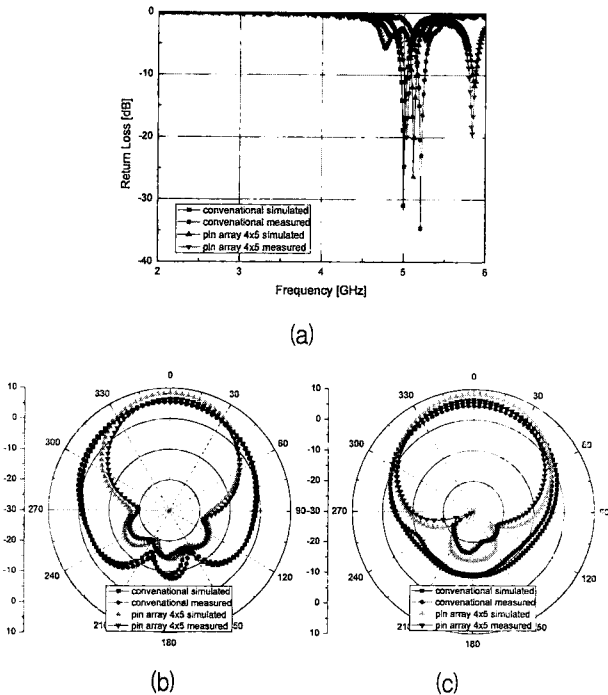


그림 9. CER-10 기판의 일반적인 패치안테나와 핀 배열 패치 안테나 특성의 전산모의 결과와 측정 결과 비교. (a) 반사손실, (b) E-평면 방사패턴, (c) H-평면 방사패턴.

Fig. 9. Comparison of the simulation results and measured results of the characteristics of a conventional patch antenna printed on CER-10, and a pin array patch antenna on CER-10. (a) Return loss, (b) E-plane radiation pattern, (c) H-plane radiation pattern.

표 6. CER-10 기판의 일반적인 패치안테나와 핀 배열 패치 안테나 특성의 전산모의 결과와 측정 결과 비교.

Table 6. Comparison of the simulation results and measured results of characteristics of a conventional patch antenna printed on CER-10, and a pin array patch antenna on CER-10.

| | 공진 주파수 (GHz) | 반사손실 (dBi) | 전방방사 (dBi) | 후방방사 (dBi) | 수평방사 (dBi) | | | |
|------------------------|--------------|------------|------------|------------|------------|-------|-------|-------|
| | | | | | 0° | 90° | 180° | 270° |
| conventional simulated | 5.00 | -30.94 | 5.72 | -8.77 | -1.59 | -4.02 | 1.35 | -4.33 |
| conventional measured | 5.21 | -34.64 | 5.42 | -7.72 | -2.06 | -5.68 | 0.73 | -3.83 |
| pin array simulated | 5.12 | -26.42 | 8.29 | 13.89 | -16.24 | -8.71 | 17.05 | -8.31 |
| pin array measured | 5.04 | -19.96 | 6.49 | -14.84 | -13.76 | 12.30 | 19.66 | 9.83 |

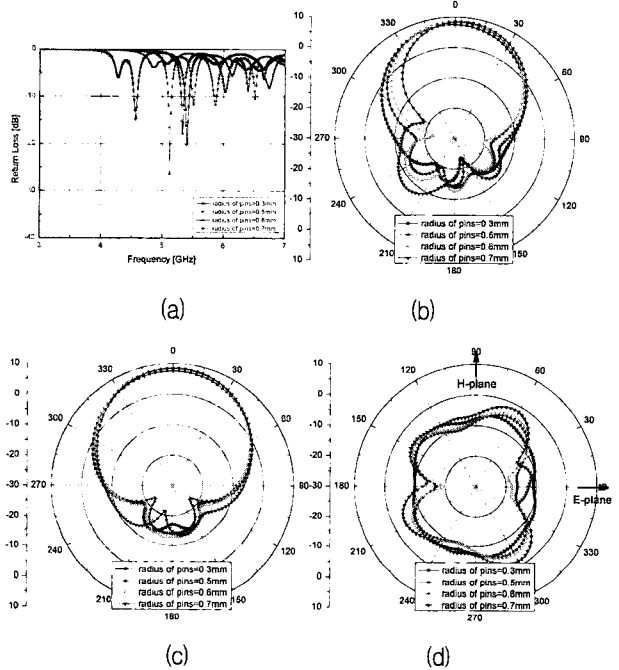


그림 10. 여러 가지 핀 반경에 따른 CER-10 기판의 핀 배열 패치 안테나의 전산모의 특성. (a) 반사손실, (b) E-평면 방사패턴, (c) H-평면 방사패턴, (d) 수평평면 방사패턴.

Fig. 10. The simulation characteristics of a pin array patch antenna on CER-10 for several pin radiuses. (a) Return loss, (b) E-plane radiation pattern, (c) H-plane radiation pattern, and (d) Horizontal plane radiation pattern.

표 7. 여러 가지 핀 반경에 따른 CER-10 기판의 핀 배열 패치 안테나의 전산모의 특성 비교.

Table 7. Comparison of the simulation characteristics of a pin array patch antenna on CER-10 for several pin radiuses.

| 핀의 반경 (mm) | 공진 주파수 (GHz) | 반사손실 (dB) | 전방방사 (dBi) | 후방방사 (dBi) | 수평방사 (dBi) | | | |
|------------|--------------|-----------|------------|------------|------------|-------|-------|-------|
| | | | | | 0° | 90° | 180° | 270° |
| 0.3 | 4.56 | 14.77 | 7.55 | -16.87 | 10.86 | 7.81 | 9.95 | -7.29 |
| 0.5 | 5.12 | 26.42 | 8.29 | -13.89 | 16.24 | 8.71 | 17.05 | 8.31 |
| 0.6 | 5.33 | 17.87 | 8.47 | -12.63 | 17.97 | 8.35 | 19.97 | -8.28 |
| 0.7 | 5.51 | 11.74 | 8.38 | -14.52 | 12.52 | -6.50 | 12.53 | 7.53 |

반경이 증가함에 따라 공진주파수가 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 핀 반경에 따라 방사패턴이 변화함을 볼 수 있다.

핀 반경에 따른 공진주파수, 전방방사, 후방방사, 와

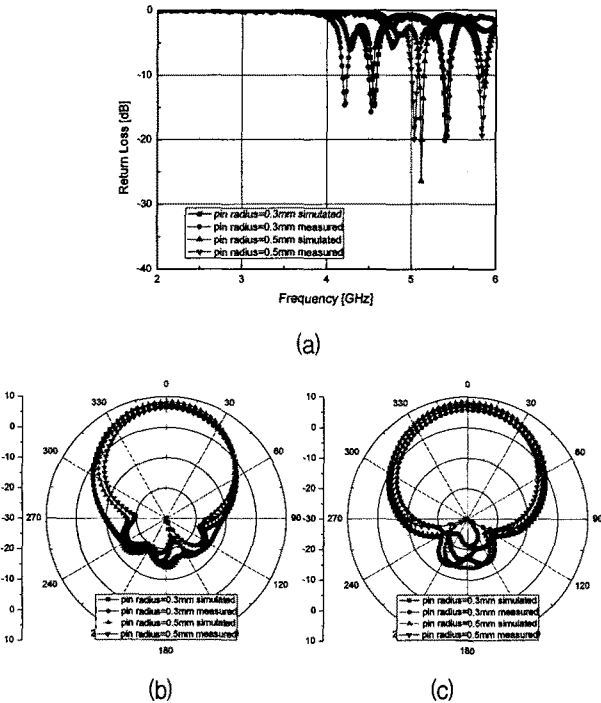


그림 11. CER-10 기판의 핀 배열 패치 안테나에 삽입된 핀 반경이 0.3 mm 와 0.5 mm일 때 특성의 전산모의 결과와 측정 결과 비교. (a) 반사손실, (b) E-평면 방사패턴, (c) H-평면 방사패턴.

Fig. 11. Comparison of the simulation results and measured results of characteristics of a pin array patch antenna on CER-10 with the pin radii of 0.3 mm and 0.5 mm. (a) Return loss, (b) E-plane radiation pattern, (c) H-plane radiation pattern.

표 8. CER-10 기판의 핀 배열 패치 안테나에 삽입된 핀 반경이 0.3 mm 와 0.5 mm일 때 특성의 전산모의 결과와 측정 결과 비교.

Table 8. Comparison of the simulation results and measured results of characteristics of a pin array patch antenna on CER-10 with the pin radii of 0.3 mm and 0.5 mm.

| | 공진 주파수 (GHz) | 반사손실 (dB) | 전방방사 (dB) | 후방방사 (dB) | 수평방사 (dB) | | | |
|---------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|--------|
| | | | | | 0° | 90° | 180° | 270° |
| pin 0.3mm simulated | 4.56 | -14.77 | 7.55 | -16.87 | -10.86 | -7.81 | -9.95 | -7.29 |
| pin 0.3mm measured | 4.52 | -15.77 | 6.3 | -19.26 | -11.02 | -9.57 | -9.46 | -12.58 |
| pin 0.5mm simulated | 5.12 | -26.42 | 8.29 | -13.89 | -16.24 | -8.71 | -17.05 | -8.31 |
| pin 0.5mm measured | 5.04 | -19.96 | 6.5 | -14.84 | -13.76 | -12.30 | -19.66 | -9.83 |

수평방사 크기를 요약한 결과를 표 7에 보인다. 핀 반경이 증가 할수록 공진주파수가 증가함을 볼 수 있다. 핀 반경이 0.3 mm에서 0.6 mm로 증가할 때 전방방사 크기는 커지고 수평방향 방사 억제 효과가 커짐을 볼 수 있다. 핀 반경이 0.7 mm가 되면 E-평면 수평방향 방사 억제 효과가 크게 감소되어짐을 볼 수 있다. 또한 H-평면 수평방향 방사 억제 효과도 감소됨을 볼 수 있다. 따라서 핀 반경 선정이 수평방향으로의 방사 억제 효과등과 같은 방사 특성 최적화에 고려해야 될 중요한 요소라고 생각한다.

그림 11(a), (b), 와 (c)는 각각 핀 배열 패치 안테나에 삽입한 금속 핀의 반경이 0.3 mm와 0.5 mm일 때의 반사손실, E-평면 방사패턴, 과 H-평면 방사패턴의 전산모의 결과와 측정 결과를 보인다. 전산모의 결과와 측정 결과가 잘 일치함을 볼 수 있다. 핀의 반경이 0.5 mm일 때가 0.3 mm일 때 보다 공진 주파수가 증가됨을 볼 수 있고 또한 수평방향으로의 방사 억제 효과도 증가함을 볼 수 있다.

표 8은 핀 배열 패치 안테나의 패치와 접지면 사이에 삽입한 핀 반경이 0.3 mm 와 0.5 mm 일 때 안테나 특성의 전산모의 결과와 측정 결과를 요약한 결과를 보인다. 핀 반경이 0.5 mm일 때가 0.3 mm일 때에 비하여 공진주파수가 커지는 것을 볼 수 있고 그 변화량은 전산모의 값과 측정 값 모두 비슷함을 볼 수 있다. 또한 삽입한 금속 핀의 반경이 0.5 mm일 때가 0.3 mm일 때 보다 수평방향으로의 방사 억제 정도가 약 2~10 dB 정도 더 커지고 전방방사도 2 dB 커짐을 볼 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 두께가 1.6 mm이며 유전상수가 4.6과 10을 가지는 기판에서 동작 주파수가 5 GHz일 때 각각 패치와 접지면 사이에 핀 배열을 가지는 패치안테나를 설계하고 제작하여 전산모의한 방사특성과 측정한 방사 특성을 비교 검토하였다. 전산모의한 방사특성과 측정 한 방사특성이 잘 일치함을 확인하였다. 핀 배열 패치 안테나가 일반적인 패치안테나와 비교하여 배열안테나 제작 시 상호결합 현상에 의한 성능 저하의 원인이 되는 수평방향으로의 방사가 E-평면의 수평방향으로는 약 10 dB 이상 억제되고 H-평면의 수평방향으로도 약 4 dB 이상 억제됨을 볼 수 있었다. 또한 전방으로의 방사는 증가하고 후방으로의 방사는 감소하여 안테나의 지향성과 방사패턴 특성이 향상됨을 볼 수 있었다. 특

히 Half-power Beamwidth가 E-평면 과 H-평면 모두에서 대폭 작아짐을 볼 수 있었다.

핀 배열 패치안테나에 삽입하는 핀 반경을 증가시키면 공진 주파수가 증가함을 볼 수 있었다. 또한 기판의 특성에 따라 수평방향으로의 방사억제 효과가 최대가 되는 특정 핀 반경 값이 존재함을 볼 수 있었다. 따라서 핀 배열 패치안테나 특성 최적화에 핀 반경 선택이 중요한 요소임을 알 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] Dan Sievenpiper, Lijun Zhang, Romulo F. Jimenez Broas, Nicholas G. Alexopolous, and Eli Yablonovitch, "High-Impedance Electromagnetic Surfaces with a Forbidden Frequency Band," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech*, vol. 47, no. 11, pp. 2059-2074, Nov. 1999.

[3] Ramon Gonzalo, Peter de Maagt, and Mario Sorollal, "Enhanced Patch-Antenna Performance by Suppressing Surface Waves Using Photonic Bandgap Substrates," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech*, vol. 47, no. 11, pp. 2131-2138, Nov. 1999.

[4] J.-G. Yook and L. Katehi, "Micromachined microstrip patch antenna with controlled mutual coupling and surface waves," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 49, pp. 1282-1289, Sep. 2001.

[5] N. G. Alexopoulos and D. R. Jackson, "Fundamental superstrate (cover) effects on printed circuit antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.* vol. AP-32, pp. 807-816, Aug. 1984.

[6] 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.

저 자 소 개



이 우 램(학생회원)
 2006년 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사 졸업.
 2006년~현재 숭실대학교 전자공학과 석사 과정.
 <주관심분야 : Microstrip Antennas, EMI & EMC>



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



신 종 덕(평생회원)
 1981년 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1988년 University of Texas at Austin, 전기 및 컴퓨터 공학과 (공학석사)
 1991년 Texas A&M University, 전기공학과 (공학박사)
 1980년~1983년 대영전자공업(주) 개발부
 1991년~1995년 한국전자통신연구소, 선임연구원
 2001년~2002년 Alcatel USA 방문교수
 1995년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수
 <주관심분야 : OBS, OPS, OLS, 광 실시간 지연선로 빔 성형망, 광 센서 신호처리>