

논문 2007-44TC-11-5

기판의 크기가 마이크로스트립 패치 안테나의 방사특성에 미치는 효과

(Effect of Finite Substrate Plane on the Radiation Characteristics of
Microstrip Patch Antennas)

김 상 우*, 김 태 영*, 김 부 균**, 신 중 덕**, 김 세 윤***

(SangWoo Kim, Tae-Young Kim, Boo-Gyoun Kim, Jong-Dug Shin, and Se-Yun Kim)

요 약

기판의 크기가 마이크로스트립 패치 안테나의 방사특성에 미치는 영향에 대하여 알아보았다. 기판의 폭을 고정시키고 길이를 변화시킬 때 방사패턴 특성이 크게 변화하나 기판 길이를 고정시키고 폭을 변화시킬 때는 방사패턴 특성이 거의 변화하지 않음을 볼 수 있었다. 기판 크기에 따른 방사패턴 특성의 변화는 기판 두께가 두꺼울 때가 작을 때보다 더 큼을 볼 수 있었다.

Abstract

Effect of finite substrate plane on the radiation characteristics of microstrip patch antennas is investigated. The variation of the characteristics of the radiation pattern due to the change of the length of a substrate is much larger than that due to the change of the width of a substrate. As the thickness of a substrate increases, the characteristics of the radiation pattern reveal more sensitive for the change of the size of a substrate.

Keywords : Patch antenna, Finite substrate, Substrate thickness, Radiation characteristics, surface wave

I. 서 론

마이크로스트립 패치 안테나는 높이가 낮고 (low-profile), 무게가 가볍고, 먼 구조를 가지며, 저렴하게 제작할 수 있기 때문에 널리 사용되고 있으나 대역폭이 좁고 효율이 낮다는 단점을 가진다.^[1]

많이 사용되는 패치 안테나의 기판의 유전율은 방사

패턴 특성을 고려하여 유전상수가 작은 기판을 사용한다. 그러나 소형의 안테나를 제작할 경우와 안테나를 RF front-end 와 집적화시키고자 하는 경우에는 패치 안테나에 사용되는 기판의 유전상수는 커야한다. 또한 안테나의 대역폭을 쉽게 확장시킬 수 있는 방법은 기판의 두께를 증가시키는 것이다. 그러나 기판의 두께가 증가하게 되면 표면파 발생이 증가하게 되어 안테나의 효율이 저하되는 단점이 있고 패치에서 방사되는 전자파와 기판 경계에서 회절되는 표면파와의 간섭현상이 발생하여 안테나의 방사패턴에 좋지 않은 영향을 미치고 후방방사를 증가시킨다.

패치 안테나의 기판 크기가 유한한 경우 방사패턴의 특성을 연구하기 위해 많은 연구가 이루어졌다.^[2-6] 대부분의 연구는 방사패턴을 구하기 위한 근사해를 구하는 데 중점을 두어 여러 가지 근사해가 발표되었다. 또한 접지된 기판의 크기를 변화시켜 방사특성을 연구하는 경우에는 접지된 기판의 형태가 대부분 정사각형과

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

*** 평생회원, 한국과학기술연구원 영상미디어 연구센터 (Imaging Media Research Center Korea Institute of Science and Technology)

* 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2006-000-11342-0)와 송실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음.

* 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 IT 신성장동력핵심기술개발 사업의 일환으로 수행하였음. [2007-F-041-01, 지능형 안테나 기술 개발]

접수일자: 2007년7월2일, 수정완료일: 2007년11월15일

원이었다. 본 연구에서는 HFSS(High Frequency Structure Simulator)를 이용하여 접지된 기판의 크기를 각각 길이 방향으로 또는 폭 방향으로 변화시키며 방사 패턴 특성을 살펴보았다. 또한 기판 두께, 동작 주파수와 기판 유전상수가 기판 크기 변화에 따른 방사특성 변화에 미치는 영향을 살펴보았다.

II. 접지된 기판의 크기가 방사특성에 미치는 효과

접지면을 가지는 유전체 기판의 중앙에 패치가 놓이는 패치 안테나의 기판 크기가 유한한 경우의 기하학적 구조를 그림 1에 보인다. 패치 안테나의 피드 포인트 위치는 $(x_p, 0)$ 에 위치하므로 x 축 방향을 길이 방향, y 축 방향을 폭 방향이라고 부르겠다.

2.1 기판 두께에 따른 단일 패치 안테나의 특성

기판 두께에 따른 단일 패치 안테나의 방사특성을 살펴보기 위하여 동작 주파수가 10 GHz 일 때 기판의 크기와 유전상수는 각각 $30 \times 30 \text{ (mm}^2\text{)}$ 와 10.2로 설정하였다. 기판의 두께가 0.635 mm와 1.9 mm 일 때 HFSS를 사용하여 설계된 프로브 급전 방식의 패치 안테나를 각각 그림 2(a)와 (b)에 보인다. 기판의 두께가 0.635 mm 일 때 패치의 길이는 3.5 mm, 패치의 폭은 4.13 mm, 피드 포인트 위치는 1.3 mm 이다. 그리고 기판의 두께가 1.9 mm 일 때는 패치의 길이는 3.3 mm, 패치의 폭은 2.08 mm, 피드 포인트 위치는 0.6 mm 이다.

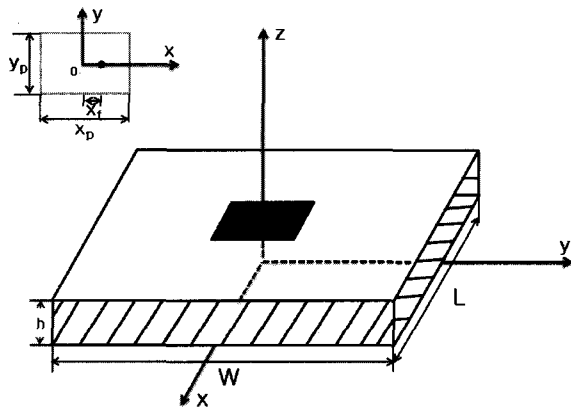


그림 1. 유한한 크기를 가지는 접지된 유전체 기판의 중앙에 사각형 패치가 놓이는 패치 안테나의 구조

Fig. 1. Geometry of a rectangular microstrip patch antenna on finite grounded dielectric slab.

그림 2와 같이 설계된 패치 안테나의 주파수에 따른 반사 손실 특성, 공진 주파수에서의 E 평면과 H 평면 방사패턴을 HFSS를 사용하여 전산모의 한 결과를 각각 그림 3(a), (b) 와 (c)에 보인다. 그림 3(a)에서 보면

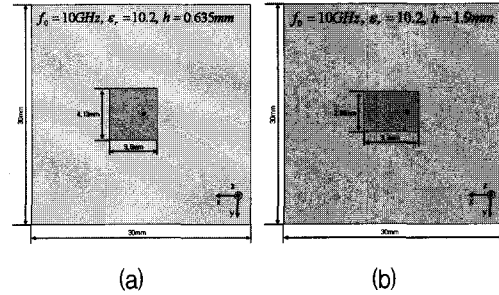


그림 2. 기판의 크기와 유전상수가 각각 $30 \times 30 \text{ (mm}^2\text{)}$ 와 10.2이며 동작 주파수가 10 GHz 일 때 두 가지 기판 두께에 대하여 설계된 프로브 급전 방식의 마이크로스트립 패치 안테나의 구조 (a) $h=0.635\text{mm}$, (b) $h=1.9\text{mm}$

Fig. 2. Geometry of probe fed microstrip patch antennas for two different substrate thicknesses with substrate size of $30 \times 30 \text{ (mm}^2\text{)}$. $\epsilon_r = 10.2$, and $f_0 = 10 \text{ GHz}$ (a) $h=0.635\text{mm}$, (b) $h=1.9\text{mm}$.

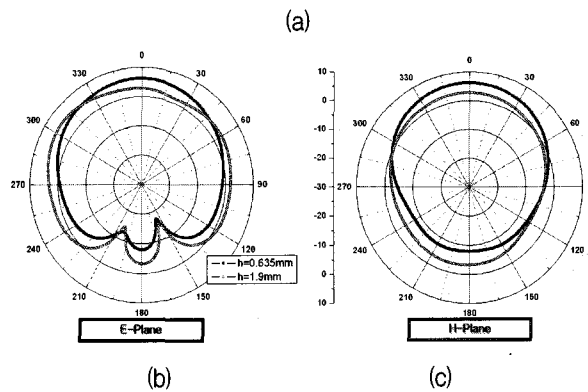
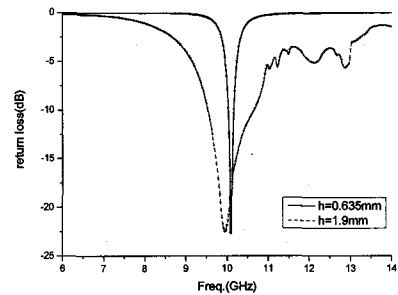


그림 3. 그림 2와 같이 설계된 안테나의 (a) 반사손실, (b) E-평면 방사패턴, (c) H-평면 방사패턴

Fig. 3. Radiation characteristics of patch antennas shown in Fig. 2 (a) and (b). (a) Return loss, (b) E-plane radiation pattern, (c) H-plane radiation pattern

표 1. $\epsilon_r=10.2$ 이고 기판 크기가 30×30 (mm²) 일 때 기판 두께에 따른 안테나 방사특성 비교
 Table 1. Radiation characteristics of patch antennas for two substrate thicknesses with substrate size of 30×30 (mm²), and $\epsilon_r = 10.2$.

기판 두께 (mm)	공진주파수 (GHz)	10 dB BW (%)	전방방사 (dBi)	후방방사 (dBi)
0.635	10.1	2.0	6.17	-7.98
1.9	9.94	10.9	2.74	-3.24

기판 두께가 0.635 mm 와 1.9 mm 일 때 공진 주파수는 각각 10.1 GHz 와 9.94 GHz이고 10 dB 대역폭은 각각 0.2 GHz(2%) 와 1.08 GHz(10.9%)임을 알 수 있다. 두꺼운 기판이 얇은 기판에 비하여 대역폭이 5배 정도 커짐을 볼 수 있었다.

표 1은 그림 3에서 보인 안테나의 방사특성을 요약한다. 두께가 얇은 기판이 두꺼운 기판에 비하여 전방 방사는 3.43 dBi 크고 후방 방사는 4.74 dBi 작아져 전방 방사와 후방 방사의 차가 8.17 dBi 증가함을 볼 수 있다. 또한 인접 패치 안테나 사이의 상호 결합 현상을 발생시키는 표면 방사 크기도 기판의 두께가 얇을수록 더 작아짐을 볼 수 있다. 따라서 기판의 두께가 두꺼워지면 대역폭은 증가하나 방사 특성이 나빠짐을 볼 수 있었다.

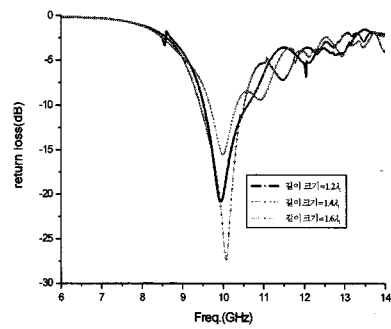
2.2 기판 크기가 방사특성에 미치는 효과

기판 크기가 방사특성에 미치는 효과를 알아보기 위하여 앞 절에서 설계된 패치 안테나를 기준으로 각각 길이 방향 (x 축) 과 폭 방향 (y 축)으로 기판 크기를 대칭적으로 변화시켜가며 안테나의 방사특성을 살펴보았다.

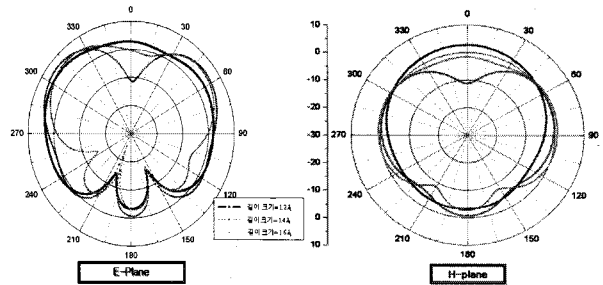
2.2.1 기판의 길이가 방사특성에 미치는 효과

기판의 유전상수가 10.2 이고 두께가 1.9 mm 인 경우 기판의 폭을 30 mm 로 고정시키고 길이를 변화시켜가며 안테나의 방사특성을 전산모의 하였다. 그림 4에 세 가지 기판 길이에 대하여 전산모의한 주파수에 따른 반사손실, E 평면과 H 평면의 방사패턴을 보인다. 표 2는 세 가지 길이에 대한 안테나 특성을 요약한 결과를 보인다.

길이 변화가 공진 주파수와 대역폭에 미치는 영향은 매우 작음을 볼 수 있었으나 방사패턴에 미치는 영향은 매우 큼을 볼 수 있었다. 기판의 길이가 30 mm에서 34.52 mm 로 커질 때 전방방사는 13.94 dBi 감소하고



(a)



(b)

(c)

그림 4. 기판 두께가 1.9 mm 일 때 기판의 길이 변화에 따른 (a) 반사손실, (b) E-평면 방사패턴, (c) H-평면 방사패턴

Fig. 4. Radiation characteristics of patch antennas for several substrate lengths with substrate thickness of 1.9 mm. (a) Return loss, (b) E-plane radiation pattern, (c) H-plane radiation pattern

표 2. $\epsilon_r=10.2$ 이고 기판 두께가 1.9 mm 일 때 기판의 길이에 따른 안테나 방사특성 비교

Table 2. Radiation characteristics for three different substrate lengths with substrate width of 30 mm for $\epsilon_r = 10.2$, and $h = 1.9$ mm.

기판 길이 (mm)	공진주파수 (GHz)	10 dB BW (%)	전방방사 (dBi)	후방방사 (dBi)
30 (1.2 λ_1)	9.94	10.9	2.74	-3.24
34.52 (1.4 λ_1)	10.08	10.6	-11.20	-0.74
39.45 (1.6 λ_1)	9.9	7.1	-1.65	-2.73

후방방사는 2.5 dBi 증가함을 볼 수 있었다. 34.52 mm 에서 39.45 mm 로 커질 때에는 전방방사는 9.55 dBi 증가하고 후방방사는 1.99 dBi 감소함을 볼 수 있었다. 그 이유는 길이가 34.52 mm 일 때가 30 mm와 39.45 mm 일 때에 비하여 기판 경계에서 회절되는 표면파와 패치에서 직접 방사되는 전자파와의 상쇄 간섭이 크게 발생하기 때문이라 생각된다.

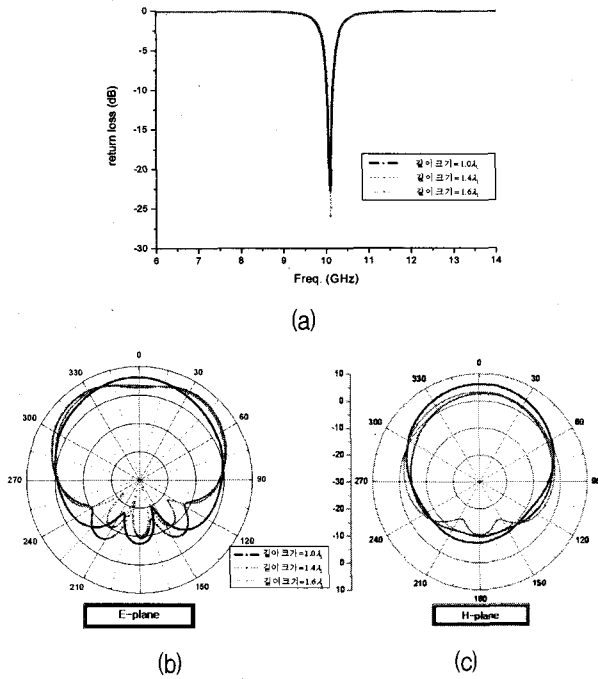


그림 5. 기판 두께가 0.635 mm 일 때 기판의 길이 변화에 따른 (a) 반사손실, (b) E-평면 방사패턴, (c) H-평면 방사패턴

Fig. 5. Radiation characteristics of patch antennas for several substrate lengths with substrate thickness of 0.635 mm. (a) Return loss, (b) E-plane radiation pattern, (c) H-plane radiation pattern

표 3. $\epsilon_r=10.2$ 이고 기판 두께가 0.635 mm 일 때 기판의 길이에 따른 안테나 방사특성 비교

Table 3. Radiation characteristics for three different substrate lengths with substrate width of 30 mm for $\epsilon_r = 10.2$, and $h = 0.635$ mm.

기판 길이 (mm)	공진주파수 (GHz)	10 dB BW (%)	전방방사 (dBi)	후방방사 (dBi)
30 (1.0 λ_1)	10.1	2.0	6.17	-7.98
41.7 (1.4 λ_1)	10.1	2.0	2.69	-9.62
47.7 (1.6 λ_1)	10.1	2.0	3.33	-10.22

이러한 설명의 타당성을 검토하기 위하여 패치의 중심에서 기판 경계까지의 길이를 기판을 따라 진행하는 표면파의 위상 변화로 나타내기 위하여 접지된 기판을 따라 진행하는 표면파의 파장, λ_1 , 을 구하였다. 접지된 기판의 유효 유전상수 ϵ_{re} 는 1.48 이므로 λ_1 은 24.66 mm 가 된다. 따라서 패치 중심에서 기판 경계까

지의 길이 15 mm, 17.26 mm 와 19.73 mm 는 각각 $0.6 \lambda_1$, $0.7 \lambda_1$ 과 $0.8 \lambda_1$ 에 해당된다. 패치의 중심에서 기판 경계까지의 길이가 $0.7 \lambda_1$ 일 때 전방방사 크기가 가장 작아짐을 볼 수 있었다.

기판의 유전상수가 10.2 이고 두께가 0.635 mm 인 경우 기판의 폭을 30 mm로 고정시키고 길이를 변화시켜가며 안테나의 방사특성을 세 가지 길이에 대하여 전산 모의한 주파수에 따른 반사손실, E 평면과 H 평면의 방사패턴을 그림 5에 보인다. 표 3은 세 가지 길이에 대한 안테나의 방사특성을 요약한 결과를 보인다.

길이 변화가 공진 주파수와 대역폭에 미치는 영향은 매우 작음을 볼 수 있었으나 방사패턴에 미치는 영향은 매우 큼을 볼 수 있었다. 기판의 길이가 30 mm 에서 41.7 mm 로 커질 때 전방방사는 3.48 dBi 감소하고 후방방사는 1.64 dBi 감소함을 볼 수 있었고 41.7 mm 에서 47.7 mm 로 커질 때에는 전방방사는 0.64 dBi 증가하고 후방방사는 0.6 dBi 감소함을 볼 수 있었다. 전방방사 크기가 기판의 길이가 41.7 mm일 때 작은 이유는 기판 두께가 1.9 mm 인 경우와 같다고 생각된다. 두꺼운 기판의 경우에 비하여 길이 변화에 따른 전방방사 크기의 변화가 작은 이유는 얇은 기판에서 발생하는 표면파 크기가 두꺼운 기판에 비하여 작기 때문이라 생각된다.

두께가 0.635 mm 인 경우 접지된 기판의 유효 유전상수 ϵ_{re} 는 1.016 이므로 λ_1 은 29.76 mm 가 된다. 따라서 패치의 중심에서 기판 경계까지의 길이가 15 mm, 20.8 mm 와 23.8 mm 인 경우는 각각 $0.5 \lambda_1$, $0.7 \lambda_1$ 과 $0.8 \lambda_1$ 에 해당된다. 기판 두께가 0.635 mm 인 경우에도 기판 두께가 1.9 mm 인 경우와 같이 패치의 중심에서 기판 경계까지의 길이가 $0.7 \lambda_1$ 일 때 전방방사 크기가 가장 작아짐을 볼 수 있었다.

2.2.2 기판의 폭 크기가 방사패턴에 미치는 효과

기판의 유전상수가 10.2 이고 두께가 1.9 mm 인 경우 기판의 길이를 30 mm 로 고정시키고 폭을 변화시켜가며 안테나의 특성을 세 가지 폭에 대하여 전산모의한 주파수에 따른 반사손실, E 평면과 H 평면 방사패턴을 그림 6에 보인다. 표 4는 세 가지 폭에 대한 안테나의 방사특성을 요약한 결과를 보인다.

폭 변화가 공진 주파수와 대역폭에 미치는 영향은 매우 작음을 볼 수 있었다. 또한 길이 변화와는 달리 방사패턴에 미치는 영향도 매우 작음을 볼 수 있었다. 특히

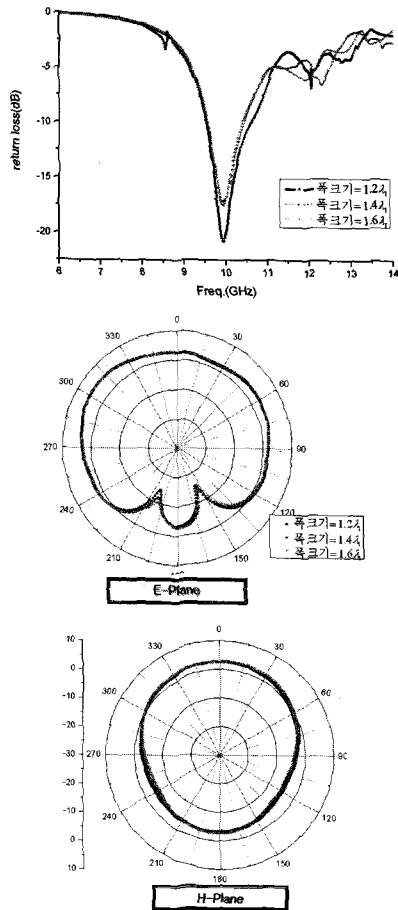


그림 6. 기판 두께가 1.9 mm 일 때 기판의 폭 변화에 따른 (a) 반사손실, (b) E-평면 방사패턴, (c) H-평면 방사패턴

Fig. 6. Radiation characteristics of patch antennas for several substrate widths with substrate thickness of 1.9 mm. (a) Return loss, (b) E-plane radiation pattern, (c) H-plane radiation pattern

표 4. $\epsilon_r=10.2$ 이고 기판 두께가 1.9 mm 일 때 기판의 폭에 따른 안테나 방사특성 비교

Table 4. Radiation characteristics for three different substrate widths with substrate length of 30 mm for $\epsilon_r = 10.2$, and $h = 1.9$ mm.

기판 폭 (mm)	공진주파수 (GHz)	10 dB BW (%)	전방방사 (dBi)	후방방사 (dBi)
30 (1.2 λ_L)	9.94	10.9	2.74	-3.24
34.52 (1.4 λ_L)	9.94	8.7	2.56	-2.73
39.45 (1.6 λ_L)	9.94	8.2	2.80	-2.75

전방방사 크기 변화는 0.3 dBi 이하로 매우 작음을 볼 수 있었다. 그 이유는 표면파가 길이 방향으로 잘 전파하지만 폭 방향으로 잘 전파되지 않기 때문이라 생

표 5. $\epsilon_r=10.2$ 이고 기판 두께가 0.635 mm 일 때 기판의 폭에 따른 안테나 방사특성 비교

Table 5. Radiation characteristics for three different substrate widths with substrate length of 30 mm for $\epsilon_r = 10.2$, and $h = 0.635$ mm.

기판 폭 (mm)	공진주파수 (GHz)	10 dB BW (%)	전방방사 (dBi)	후방방사 (dBi)
30 (1.0 λ_L)	10.1	2.0	6.17	-7.98
41.7 (1.4 λ_L)	10.1	2.0	6.22	-4.33
47.7 (1.6 λ_L)	10.1	2.0	6.11	-4.73

각된다.

표 5는 기판의 유전상수가 10.2이고 두께가 0.635 mm 인 경우 기판의 길이를 30 mm 로 고정시키고 폭을 변화시켜가며 안테나의 방사특성을 요약한 결과를 보인다. 기판 두께가 1.9 mm 일 때와 같이 폭변화가 방사특성에 미치는 영향이 매우 작음을 볼 수 있었고 특히 전방방사 크기변화는 0.11 dBi 이하로 거의 변화가 없음을 볼 수 있었다.

III. 동작주파수와 유전상수가 기판 크기에 따른 방사특성에 미치는 효과

3.1 동작주파수가 기판 크기에 따른 방사특성에 미치는 효과

동작 주파수가 기판 크기에 따른 방사특성에 미치는 효과를 알아보기 위해 안테나의 동작 주파수가 5.8 GHz 인 경우에 기판의 유전상수와 두께를 각각 10.2 와 3.3 mm로 설정하고 기판의 폭을 52 mm (공기에서의 5.8 GHz의 파장)로 고정시키고 기판 길이를 변화시켜가며 안테나의 방사특성을 전산모의 하였다. 표 6은

표 6. $\epsilon_r=10.2$ 이고 기판 두께가 3.3 mm 일 때 기판의 길이에 따른 안테나 방사특성 비교

Table 6. Radiation characteristics for three different substrate lengths with substrate width of 52 mm for $\epsilon_r = 10.2$, and $h = 3.3$ mm.

기판 길이 (mm)	공진주파수 (GHz)	10 dB BW (%)	전방방사 (dBi)	후방방사 (dBi)
52 (1.0 λ_L)	5.87	11.9	2.26	-2.43
72.22 (1.4 λ_L)	5.89	9.0	-4.90	-1.22
82.55 (1.6 λ_L)	5.83	6.9	0.18	-3.68

세 가지 기판 길이에 대한 안테나의 방사특성을 요약한 결과를 보인다.

동작 주파수가 10 GHz 일 때와 마찬가지로 기판 길이 변화가 공진 주파수에 미치는 영향은 매우 작고 방사패턴에 미치는 영향은 매우 큼을 볼 수 있었다. 기판의 길이가 52 mm에서 72.22 mm 로 커질 때 전방방사는 7.16 dBi 감소하고 후방방사는 1.21 dBi 증가함을 볼 수 있었다. 72.22 mm에서 82.55 mm 로 커질 때에는 전방방사는 5.08 dBi 증가하고 후방방사는 2.46 dBi 감소함을 볼 수 있었다. 그 이유는 동작 주파수가 10 GHz 일 때와 마찬가지로 기판 길이가 72.22 mm 일 때가 52 mm 와 82.55 mm 일 때에 비하여 기판 경계에서 회절되는 표면파와 패치에서 직접 방사되는 전자파와의 상쇄 간섭이 크게 발생하기 때문이라 생각된다.

유전상수가 10.2이고 두께가 3.3 mm 인 경우 접지된 기판의 유효 유전상수 ϵ_{re} 는 1.49 이므로 접지된 기판을 따라 진행되는 표면파의 파장 λ_1 은 42.66 mm 가 된다. 따라서 패치의 중심에서 기판 경계까지의 길이가 26 mm, 36.11 mm 와 41.28 mm 인 경우는 각각 $0.6\lambda_1$, $0.7\lambda_1$ 과 $0.8\lambda_1$ 에 해당된다. 동작 주파수가 5.8 GHz 인 경우에도 패치의 중심에서 기판 경계까지의 길이가 $0.7\lambda_1$ 일 때 동작 주파수가 10 GHz 인 경우와 같이 전방방사 크기가 가장 작아짐을 볼 수 있었다.

기판 길이를 52 mm 로 고정시키고 기판의 폭 크기를 52 mm, 72.22 mm 와 82.55 mm 로 변화시켰을 때 동작주파수가 10 GHz 인 경우와 마찬가지로 기판 폭 크기 변화가 공진 주파수와 대역폭에 미치는 영향은 매우 작음을 볼 수 있었다. 특히 전방방사 크기 변화는 0.6 dBi 이하로 매우 작음을 볼 수 있었다.

동작 주파수가 5.8 GHz 이고 기판의 유전상수가 10.2 이며 기판의 두께가 2.2 mm 인 경우에 기판의 폭을 52

mm 로 고정시키고 기판 길이를 변화시켜가며 안테나의 방사특성을 전산모의 하였다. 표 7은 세 가지 기판 길이에 대한 안테나의 방사특성을 요약한 결과를 보인다.

기판 두께가 3.3 mm 인 경우와 마찬가지로 기판 길이 변화가 공진 주파수와 대역폭에 미치는 영향은 매우 작고 방사패턴에 미치는 영향은 매우 큼을 볼 수 있었다. 기판의 길이가 52 mm에서 69.64 mm 로 커질 때 전방방사는 6.03 dBi 감소하고 후방방사는 0.19 dBi 증가함을 볼 수 있었고 69.64 mm에서 79.58 mm 로 커질 때에는 전방방사는 2.78 dBi 증가하고 후방방사는 0.57 dBi 감소함을 볼 수 있었다. 그 이유는 기판 두께가 3.3 mm 일 때와 마찬가지로 기판 길이가 69.64 mm 일 때가 52 mm 와 79.58 mm 일 때에 비하여 기판 경계에서 회절되는 표면파와 패치에서 직접 방사되는 전자파와의 상쇄 간섭이 크게 발생하기 때문이라 생각된다.

유전상수가 10.2이고 두께가 2.2 mm 인 경우 접지된 기판의 유효 유전상수 ϵ_{re} 는 1.09 이므로 접지된 기판에서의 표면파의 파장 λ_1 은 49.8 mm 가 된다. 따라서 패치의 중심에서 기판 경계까지의 길이가 26 mm, 34.82 mm, 와 39.79 mm 인 경우는 각각 $0.5\lambda_1$, $0.7\lambda_1$ 과 $0.8\lambda_1$ 에 해당된다. 기판 두께가 2.2 mm 인 경우에도 패치의 중심에서 기판 경계까지의 길이가 $0.7\lambda_1$ 일 때 기판 두께가 3.3 mm인 경우와 같이 전방방사 크기가 가장 작아짐을 볼 수 있었다.

또한 기판 길이를 52 mm 로 고정시키고 기판의 폭을 52 mm, 69.64 mm와 79.58 mm 로 변화시켰을 때 기판 두께가 3.3 mm 인 경우와 마찬가지로 기판 폭 변화가 공진 주파수와 대역폭에 미치는 영향은 매우 작음을 볼 수 있었다. 특히 전방방사 크기 변화는 0.5 dBi 이하로 매우 작음을 볼 수 있었다.

3.2 유전상수가 기판 크기에 따른 방사특성에 미치는 효과

기판의 유전상수가 기판 크기에 따른 방사특성에 미치는 효과를 알아보기 위해 기판 유전상수가 4.6인 경우에 동작주파수가 10 GHz 이고 기판 두께가 2.83 mm 일 때 기판 폭을 30 mm로 고정시키고 기판 길이를 변화시켜가며 안테나의 방사특성을 전산모의 하였다. 표 8은 세 가지 기판 길이에 대한 안테나의 방사특성을 요약한 결과를 보인다.

유전상수가 10.2 일 때와 마찬가지로 길이 변화가 공진 주파수와 대역폭에 미치는 영향은 매우 작고 방사패

표 7. $\epsilon_r=10.2$ 이고 기판 두께가 2.2 mm 일 때 기판의 길이에 따른 안테나 방사특성 비교

Table 7. Radiation characteristics for three different substrate lengths with substrate width of 52 mm for $\epsilon_r = 10.2$, and $h = 2.2$ mm.

기판 길이 (mm)	공진주파수 (GHz)	10 dB BW (%)	전방방사 (dBi)	후방방사 (dBi)
52 ($1.0\lambda_1$)	5.77	3.0	6.12	-3.92
69.64 ($1.4\lambda_1$)	5.78	3.1	0.09	-3.73
79.58 ($1.6\lambda_1$)	5.79	3.2	2.87	-4.30

표 8. $\epsilon_r=4.6$ 이고 기판 두께가 2.83 mm 일 때 기판의 길이에 따른 안테나 방사특성 비교

Table 8. Radiation characteristics for three different substrate lengths with substrate width of 30 mm for $\epsilon_r = 4.6$, and $h = 2.83$ mm.

기판 길이 (mm)	공진주파수 (GHz)	10 dB BW (%)	전방방사 (dBi)	후방방사 (dBi)
30 ($1.2\lambda_1$)	9.94	23.7	4.46	-8.85
34.83 ($1.4\lambda_1$)	9.84	20.7	-3.97	-2.55
39.80 ($1.6\lambda_1$)	9.88	26.6	-1.35	-2.66

턴에 미치는 영향은 매우 큼을 볼 수 있었다. 기판의 길이가 30 mm에서 34.83 mm 로 커질 때 전방방사는 8.43 dBi 감소하고 후방방사는 6.6 dBi 증가함을 볼 수 있었으며 34.83 mm에서 39.80 mm 로 커질 때에는 전방방사는 2.62 dBi 증가하고 후방방사는 0.40 dBi 감소를 볼 수 있었다. 그 이유는 유전상수가 10.2 일 때와 마찬가지로 기판 길이가 34.83 mm 일 때가 30 mm 와 39.80 mm 일 때에 비하여 기판 경계에서 회절되는 표면파와 패치에서 직접 방사되는 전자파와의 상쇄 간섭이 크게 발생하기 때문이라 생각된다.

유전상수가 4.6이고 기판 두께가 2.83 mm 인 경우 접지된 기판의 유효 유전상수 ϵ_{re} 는 1.45 이므로 접지된 기판에서의 표면파의 파장 λ_1 은 24.9 mm 가 된다. 따라서 패치의 중심에서 기판 경계까지의 길이가 15 mm, 17.42 mm 와 19.9 mm 인 경우는 각각 $0.6\lambda_1$, $0.7\lambda_1$ 과 $0.8\lambda_1$ 에 해당된다. 유전상수가 4.6인 경우에도 패치의 중심에서 기판 경계까지의 길이가 $0.7\lambda_1$ 일 때 유전상수가 10.2인 경우와 마찬가지로 전방방사 크기가 가장 작아짐을 볼 수 있었다.

또한 기판의 길이를 30 mm 로 고정시키고 기판의 폭을 30 mm, 34.83 mm와 39.80 mm 로 변화시켰을 때 기판 폭 변화가 공진 주파수와 대역폭에 미치는 영향은 매우 작음을 볼 수 있었다. 특히 전방방사 크기 변화는 0.4 dBi 이하로 매우 작음을 볼 수 있었다.

기판 유전상수가 4.6이고 동작 주파수가 10 GHz 이며 기판 두께가 1.9 mm 인 경우에 기판 폭을 30 mm로 고정시키고 길이를 변화시켜가며 안테나의 방사특성을 전산모의 하였다. 표 9는 세 가지 기판 길이에 대한 안테나의 방사특성을 요약한 결과를 보인다.

기판 두께가 2.83 mm 인 경우와 마찬가지로 기판 길

표 9. $\epsilon_r=4.6$ 이고 기판 두께가 1.9 mm 일 때 기판의 길이에 따른 안테나 방사특성 비교

Table 9. Radiation characteristics for three different substrate lengths with substrate width of 30 mm for $\epsilon_r = 4.6$, and $h = 1.9$ mm.

기판 길이 (mm)	공진주파수 (GHz)	10 dB BW (%)	전방방사 (dBi)	후방방사 (dBi)
30 ($1.0\lambda_1$)	10	6.0	6.58	-8.69
39.39 ($1.4\lambda_1$)	9.90	6.3	1.62	-4.68
45.02 ($1.6\lambda_1$)	10	6.7	4.50	-3.58

이 변화가 공진 주파수와 대역폭에 미치는 영향은 매우 작고 방사패턴에 미치는 영향은 매우 큼을 볼 수 있었다. 기판의 길이가 30 mm에서 39.39 mm 로 커질 때 전방방사는 4.96 dBi 감소하고 후방방사는 4.01 dBi 증가함을 볼 수 있었으며 39.39 mm에서 45.02 mm 로 커질 때에는 전방방사는 2.88 dBi 증가하고 후방방사는 1.1 dBi 증가함을 볼 수 있었다. 그 이유는 기판 두께가 2.83 mm 인 경우와 마찬가지로 기판 길이가 39.39 mm 일 때가 30 mm 와 45.02 mm 일 때에 비하여 기판 경계에서 회절되는 표면파와 패치에서 직접 방사되는 전자파와의 상쇄 간섭이 크게 발생하기 때문이라 생각된다.

유전상수가 4.6이고 기판 두께가 1.9 mm 인 경우 접지된 기판의 유효 유전상수 ϵ_{re} 는 1.14 이므로 접지된 기판에서의 표면파의 파장 λ_1 은 28.1 mm 가 된다. 따라서 패치의 중심에서 기판 경계까지의 길이가 15 mm, 19.7 mm 와 22.51 mm 인 경우는 각각 $0.5\lambda_1$, $0.7\lambda_1$ 과 $0.8\lambda_1$ 에 해당된다. 기판 두께가 1.9 mm 인 경우에도 기판 두께가 2.83 mm 인 경우와 마찬가지로 패치의 중심에서 기판 경계까지의 길이가 $0.7\lambda_1$ 일 때 전방방사 크기가 가장 작아짐을 볼 수 있었다.

또한 기판의 길이를 30 mm 로 고정시키고 기판의 폭을 30 mm, 39.39 mm와 45.02 mm 로 변화시켰을 때 기판 폭 변화가 공진 주파수와 대역폭에 미치는 영향은 매우 작음을 볼 수 있었다. 특히 전방방사 크기 변화는 0.1 dBi 이하로 매우 작음을 볼 수 있었다.

IV. 결 론

본 연구에서는 기판의 크기가 마이크로스트립 패치 안테나의 방사특성에 미치는 영향에 대하여 연구하였

다. 기판의 폭을 고정시키고 기판의 길이를 변화시키면 방사패턴 특성이 크게 변화하나, 길이를 고정시키고 폭을 변화시키면 방사패턴 특성이 거의 변화하지 않음을 볼 수 있었다. 또한 방사패턴 특성의 변화는 기판 두께가 두꺼울 때가 작을 때보다 더 큼을 볼 수 있었다. 이러한 기판 크기에 따른 방사패턴 특성의 변화는 패치에서 직접 방사되는 전자파와 패치에서 기판을 따라 전파하다 경계에서 회절되는 표면파와의 간섭에 의한 것이라 생각된다.

좀 더 일반적인 결론을 얻기 위하여 서로 다른 동작 주파수와 유전상수를 가지는 경우에 기판 크기가 방사 특성에 미치는 영향에 대하여 살펴보았으며 동작주파수나 유전상수에 관계없이 기판 크기에 따른 방사특성의 변화가 비슷함을 볼 수 있었다. 특히 패치의 중심에서 기판 경계까지의 길이가 접지된 기판에서의 표면파 파장의 0.7 정도 되는 값을 가질 때 전방방사 크기가 가장 작아짐을 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] J. Huang, "Finite ground plane effects on microstrip antennas radiation patterns," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-31, pp. 649-653, Apr. 1983.
- [3] Stefano Maci, Leonardo Borselli, and Lorenzo Rossi, "Diffraction at the Edge of a Truncated Grounded Dielectric Slab," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 44, pp. 863-873, June 1996.
- [4] S. A. Bokhari, J. R. Mosig, and F. E. Gardiol, "Radiation pattern computation of microstrip antennas on finite size ground planes," *Proc. Inst. Elect. Eng. Microw. Antennas Propag.*, vol. 139, no. 3, pp. 278-286, June 1992.
- [5] E. Lier, and K. R. Jakobsen, "Rectangular microstrip patch antennas with infinite and finite ground plane dimensions," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-31, no. 6, pp. 978-984, Nov. 1983.
- [6] S. Noghianian, and L. Shafai, "Control of microstrip antenna radiation characteristics by ground plane size and shape," *Proc. Inst. Elect. Eng. Microw. Antennas Propag.*, vol. 145, no. 3, pp. 207-212, June 1988.

저 자 소 개



김 상 우(학생회원)
 2006년 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사 졸업.
 2006년~현재 숭실대학교 전자공학과 석사 과정.
 <주관심분야 : Microstrip Antennas, 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 군(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>



김 세 윤(평생회원)
 1978년 서울대학교 전기공학과 (공학사)
 1980년 KAIST 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1984년 KAIST 전기 및 전자공학과 (공학박사)

1984년~1986년 KAIST 전기 및 전자공학과 (Post-Doctor)
 1986년~현재 KIST 영상미디어연구센터 (책임연구원)
 <주관심분야 : 전자파 산란, 안테나, 지하탐사, MW imaging>