

논문 2009-46TC-6-14

유한한 정사각형 기판을 가지는 마이크로스트립 패치 안테나의 방사 특성

(Radiation Characteristics of Microstrip Patch Antennas with a Finite
Grounded Square Substrate)

김 태 영*, 박 재 우*, 김 부 균**

(Tae-Young Kim, Jea-Woo Park, and Boo-Gyoun Kim)

요 약

정사각형 기판의 크기가 패치 안테나의 방사 특성에 미치는 영향을 연구하기 위하여 마이크로스트립 패치 안테나를 제작하고 측정된 결과를 전산모의한 결과와 비교하였다. 전산모의한 방사 특성 결과와 측정된 방사 특성 결과가 잘 일치함을 볼 수 있었다. 기판의 크기가 패치 안테나의 공진 주파수와 대역폭에 미치는 영향은 작으나 방사패턴에 미치는 영향은 매우 큼을 볼 수 있었다. 기판 두께가 증가할수록 표면파의 발생이 증가하여 기판 크기에 따른 전방 방사 이득 변화 폭, 최대 방사가 일어나는 각도의 변화 폭과 방사패턴의 변화가 크게 발생한다. 기판 두께에 관계없이 기판 크기가 $0.8 \lambda_0$ 일 때 전방방사 이득이 크고 전방방사와 후방방사 이득의 차이도 매우 크다.

Abstract

Effect of a finite square substrate plane on the radiation characteristics of a microstrip patch antenna is investigated. Excellent agreements between the simulation and measured results on the radiation characteristics of patch antennas for various square substrate thicknesses and sizes are obtained. The effect of a square substrate plane on the resonant frequency and bandwidth is small, while that on the radiation pattern is large. As the substrate thickness increases, the variations of the gain of the broadside radiation, the direction of the maximum radiation, and the radiation pattern increase for the variation of a substrate size. The maximum gain difference between the broadside radiation and back radiation and the large gain of broadside radiation are obtained when the length of a side of a square substrate plane is $0.8 \lambda_0$.

Keywords : Finite Square Substrate, Microstrip patch antennas, surface wave, radiation characteristics, substrate size

I. 서 론

마이크로스트립 패치 안테나는 가볍고 구조가 간단하며 저렴한 가격으로 제작할 수 있기 때문에 많은 응용분야에서 사용되고 있다^[1]. 마이크로스트립 패치 안테나의 단점인 좁은 대역폭을 증가시키거나 안테나의 크

기를 줄이는 등과 같은 마이크로스트립 패치 안테나의 특성을 개선하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다^[2-3].

유한한 크기를 가지는 접지된 기판이 마이크로스트립 패치 안테나의 방사 특성에 미치는 영향에 대하여 많은 연구가 이루어졌다. 유한한 기판의 크기가 마이크로스트립 패치 안테나의 방사 특성에 미치는 영향을 연구한 결과들을 보면 다음과 같다. 사각형 마이크로스트립 패치 안테나의 접지 평면의 모서리 회절 필드를 GTD를 사용하여 방사 특성을 계산한 연구^[4], 접지 평면 크기가 기판 두께와 기판의 유전상수에 따른 방사패턴에 미치는 효과에 대한 연구^[5], 접지 평면과 방사 패

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

※ 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2006-000-11342-0) 지원으로 이루어졌음.

접수일자: 2009년1월30일, 수정완료일: 2009년6월17일

치의 윗면의 전류의 측정을 기초로 유한 접지 평면이 안테나의 방사 특성에 미치는 효과에 관한 연구^[6] 등이 있다. 최근에 유한한 정사각형 기판의 크기가 사각형 패치 안테나의 방사 특성에 미치는 영향을 전산모의 하여 보고한 논문이 발표되었다^[7].

본 논문에서는 2 장에서 동작 주파수가 5 GHz 인 여러 가지 기판 두께를 가지는 사각형 마이크로스트립 패치 안테나의 방사 특성을 여러 가지 크기를 가지는 정사각형 기판에 대하여 HFSS를 사용하여 전산모의한 결과와 제작하여 특성을 측정한 결과를 보고한다. 전산모의한 결과와 측정 결과가 잘 일치함을 확인할 수 있었다. 3 장에서는 여러 가지 두께를 가지는 기판에서 기판 크기를 변화시키며 측정한 방사패턴 특성 결과를 비교 검토한다. 마지막으로 4 장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 전산모의한 마이크로스트립 패치 안테나의 방사 특성과 제작하여 측정한 마이크로스트립 패치 안테나의 방사 특성

기판 크기가 방사 특성에 미치는 효과를 알아보기 위하여 논문 [7]에서 설계된 기판 두께에 따른 패치 안테나를 제작하여 여러 가지 정사각형 기판의 크기를 가지는 패치 안테나의 방사 특성을 살펴보았다. 정사각형 기판의 한 변의 길이를 $0.4 \lambda_0$ 에서 $3.0 \lambda_0$ 까지 $0.2 \lambda_0$ 간격으로 변화시켜가며 전산모의한 전방방사와 후방방사 이득을 살펴보았다. 패치 안테나를 제작하기 위하여 선택된 정사각형 기판의 크기는 다음과 같은 4 가지이다. 전방방사($\theta=0^\circ$)와 후방방사($\theta=180^\circ$)의 이득 차이가 최대가 되는 기판 크기, 전방 방사의 이득이 최대가 되는 기판 크기, 전방 방사의 이득이 최소가 되는 기판 크기와 전방 방사의 이득이 다시 큰 값을 가지는 기판 크기이다. 본 논문에서 전산모의와 제작에 사용된 기판은 Taconic 사의 CER-10 으로 유전상수(ϵ_r)가 10이고 loss tangent 는 0.0035 이다. 급전 방식은 프로브 급전 방식을 사용하였다.

1. 기판 두께가 1.6 mm인 마이크로스트립 패치 안테나의 방사 특성

그림 1은 기판 두께가 1.6 mm 일 때 기판의 한 변의 길이를 $0.4 \lambda_0$ 에서 $3.0 \lambda_0$ 까지 $0.2 \lambda_0$ 간격으로 변화시

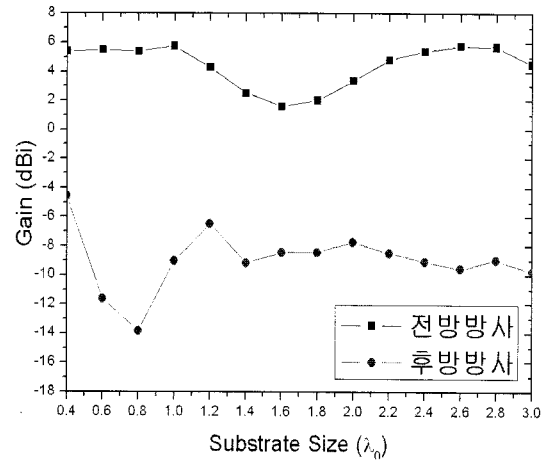


그림 1. 기판 두께가 1.6 mm 일 때 기판 크기의 변화에 따른 패치 안테나의 전방방사와 후방방사 이득.

Fig. 1. The gain of broadside and back radiations for different substrate sizes with a substrate thickness of 1.6 mm.

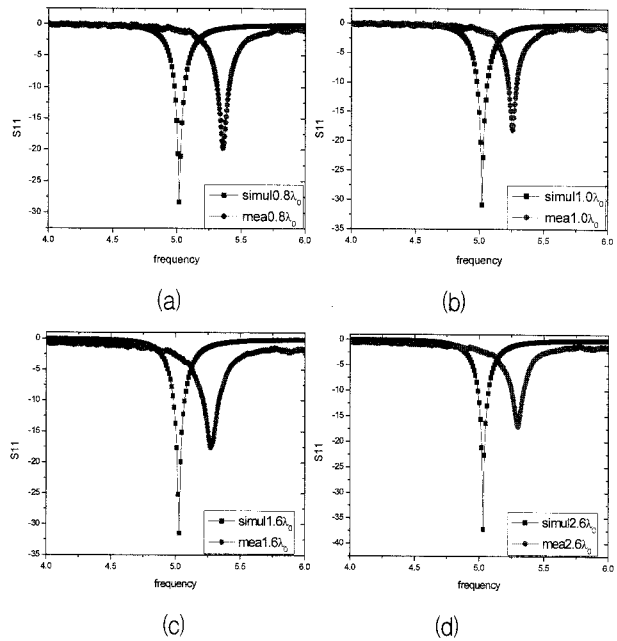


그림 2. 기판 두께가 1.6 mm 일 때 4 가지 기판 크기에 따른 패치 안테나의 전산모의한 반사손실과 측정된 반사손실. (a) $0.8 \lambda_0$, (b) $1.0 \lambda_0$, (c) $1.6 \lambda_0$, 와 (d) $2.6 \lambda_0$.

Fig. 2. Simulated and measured results of return loss for four different substrate sizes with a substrate thickness of 1.6 mm. (a) $0.8 \lambda_0$, (b) $1.0 \lambda_0$, (c) $1.6 \lambda_0$, and (d) $2.6 \lambda_0$.

키가며 각각의 공진주파수에서 전산모의한 전방방사와 후방방사의 이득을 나타낸다. 여기서 λ_0 는 공기 중에서 5 GHz 의 파장으로서 60 mm 이다. 전방방사 이득은 기판의 크기에 따라 1.60 dBi 부터 5.79 dBi 까지 변화

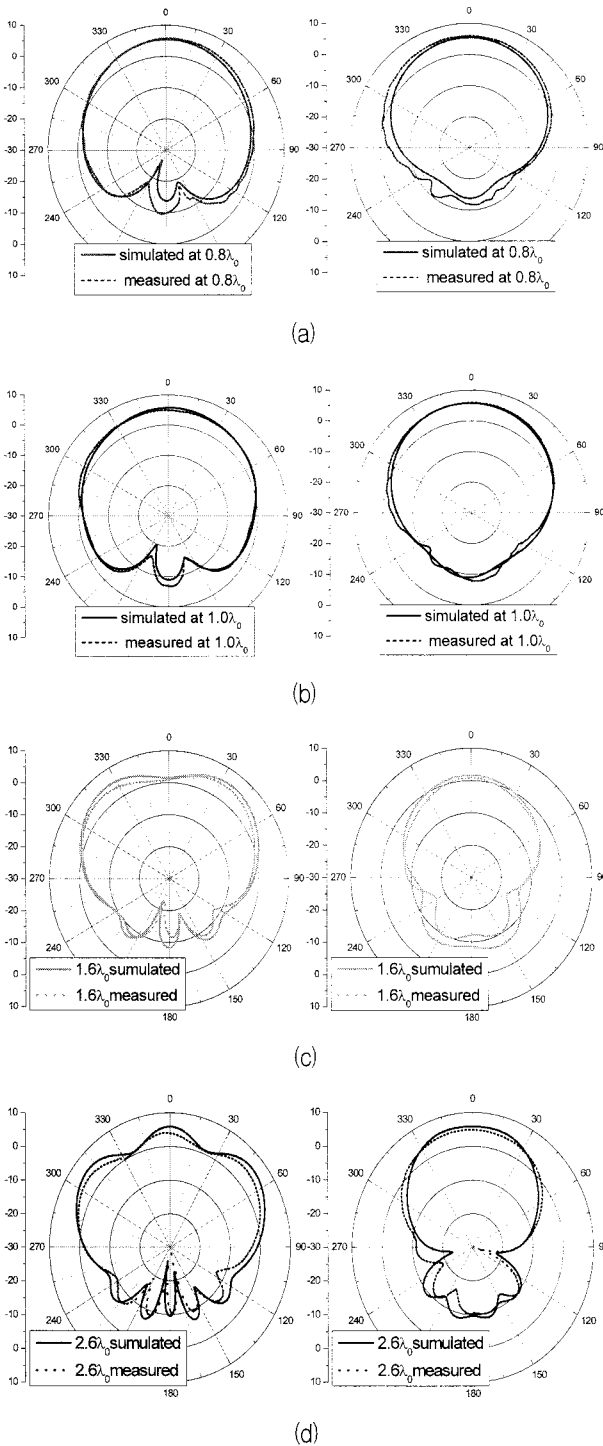


그림 3. 패치 안테나의 기판 두께가 1.6 mm 이고 4 가지 기판의 크기를 가질 때 공진 주파수에서 전산모의하고 측정된 E-평면과 H-평면의 방사패턴. (a) $0.8 \lambda_0$, (b) $1.0 \lambda_0$, (c) $1.6 \lambda_0$, 와 (d) $2.6 \lambda_0$.

Fig. 3. Simulated and measured radiation patterns of E-plane and H-plane for four different substrate sizes with a substrate thickness of 1.6 mm. (a) $0.8 \lambda_0$, (b) $1.0 \lambda_0$, (c) $1.6 \lambda_0$, and (d) $2.6 \lambda_0$.

하였고 후방방사 이득은 -13.82 dBi 부터 -4.56 dBi 까지 변화하였다. 기판의 한 변의 길이가 $0.8 \lambda_0$ 일 때 전방방사와 후방방사 이득의 차이가 19.23 dB 로 가장 크게 발생하였다. 전방방사 이득은 기판의 한 변의 길이가 $1.0 \lambda_0$ 일 때 5.76 dBi 로 커졌다가 작아져 한 변의 길이가 $1.6 \lambda_0$ 인 경우에 전방방사 이득은 1.60 dBi 로 가장 작다. 한 변의 길이가 증가하여 $2.6 \lambda_0$ 일 때 5.79 dBi 로 다시 증가하였다.

그림 2(a), (b), (c), 와 (d)는 각각 기판 크기가 $0.8 \lambda_0$, $1.0 \lambda_0$, $1.6 \lambda_0$, 와 $2.6 \lambda_0$ 일 때 패치 안테나의 전산모의한 반사손실과 측정된 반사손실을 나타낸다. 공진 주파수는 전산모의 결과보다 측정 결과가 약 $5\sim 7\%$ 정도 더 높아짐을 볼 수 있었다. 유전 상수가 높고 기판 두께가 얇아서 실제 제작한 안테나와 전산모의한 안테나간의 공진 주파수와 반사손실의 차이가 발생한 것으로 생각된다. 전산모의와 제작하여 측정한 반사손실은 공진 주파수에서 차이가 10 dB 이상 발생하였고 -10 dB 대역폭은 기판크기가 $1.6 \lambda_0$ 일 때 측정된 결과가 전산모의한 결과에 비하여 약 50% 정도 넓게 나온 경우를 제외하고 전산모의 결과와 측정 결과가 비슷한 것을 볼 수 있다.

그림 3(a), (b), (c), 와 (d)는 각각 기판의 크기가 $0.8 \lambda_0$, $1.0 \lambda_0$, $1.6 \lambda_0$, 와 $2.6 \lambda_0$ 일 때 공진 주파수에서 전산모의한 E-평면과 H-평면의 방사패턴과 측정된 방사패턴을 나타낸다. 실선과 점선은 각각 전산모의 결과와 측정 결과를 나타낸다. 측정된 공진 주파수는 전산모의한 공진 주파수보다 약 $5\sim 7\%$ 정도 크게 발생하였지만 측정된 방사패턴과 전산모의한 방사패턴은 잘 일치함을 볼 수 있다. 표 1은 기판 두께가 1.6 mm 일 때 4 가지 기판 크기에 대한 패치 안테나의 방사특성을 요약한 전산모의 결과와 측정 결과를 보인다.

측정 결과를 보면 기판의 한 변의 길이가 $1.0 \lambda_0$ 일 때 전방방사 이득이 3.34 dBi 로 크고 기판의 크기가 $1.6 \lambda_0$ 일 때 전방방사 이득이 1.01 dBi 로 가장 작은 것을 볼 수 있다. 기판의 크기가 $0.8 \lambda_0$ 일 때 후방방사 이득이 -18.96 dBi 로 가장 작아 전방방사와 후방방사 이득의 차이가 21.94 dB 로 가장 크게 발생하고 전방방사 이득도 2.98 dBi 로 비교적 크음을 볼 수 있다. 또한 전산모의 결과와 비슷하게 기판의 크기가 $2.6 \lambda_0$ 인 경우 전방방사 이득이 3.86 dBi 로 커짐을 볼 수 있다.

위와 같이 기판의 크기가 커짐에 따라 전방방사 이득

표 1. 기판 두께가 1.6 mm 일 때 4 가지 기판 크기에서 패치 안테나의 방사특성에 대한 전산모의 결과와 측정 결과.

Table 1. Simulated and measured results of radiation characteristics for four different substrate sizes with a substrate thickness of 1.6 mm.

기판 크기 (λ_0)	공진 주파수 (GHz)	S11 (dB)	10dB 대역폭 (%)	이득이 최대가 되는 방향(°)		전방 방사 (dBi)	후방 방사 (dBi)	
				E-평면	H-평면			
0.8	전산모의결과(0.8)	5.02	-28.33	1.6	2	0	5.41	-13.82
	측정결과(0.86)	5.36	-19.74	1.6	3	1	2.98	-18.96
1	전산모의결과(1)	5.02	-30.88	1.6	2	-3	5.76	-9.02
	측정결과(1.05)	5.26	-18.10	1.3	-2	1	3.34	-15.33
1.6	전산모의결과(1.6)	5.03	-31.48	1.6	36	-2	1.60	-8.46
	측정결과(1.68)	5.27	-17.59	2.3	33	-2	1.01	-12.70
2.6	전산모의결과(2.6)	5.03	-37.21	1.6	50	-7	5.79	-9.57
	측정결과(2.75)	5.30	-17.04	1.7	48	-3	3.86	-11.19

이 거의 주기적으로 달라지는 이유는 기판을 따라 진행하는 표면파의 위상 변화가 기판 크기와 진행 각도에 따라 크게 달라져 패치에서 직접 방사되는 전자파와 기판과 공기의 경계면에서 회절되는 표면파의 간섭효과가 기판 크기와 방사 각도에 따라 다르기 때문이라고 생각된다. 기판 크기가 $1.0 \lambda_0$ 에서 $1.6 \lambda_0$ 로 달라질 때 E-평면에서 이득이 최대가 발생하는 각도가 $\theta = -2^\circ$ 에서 $\theta = 33^\circ$ 로 달라져 전방방사 이득이 3.34 dBi에서 1.01 dBi로 감소함을 볼 수 있다. 또한 전산모의 결과와 비슷하게 기판의 크기가 $2.6 \lambda_0$ 인 경우 E-평면 방사패턴에 리플이 많이 발생하는 것을 볼 수 있다. E-평면에서 이득이 최대가 발생하는 각도는 48° 이고 이득은 4.2 dBi나 -4° 에서 이득이 3.98 dBi 발생하여 전방방사 이득이 3.86 dBi로 크게 발생함을 볼 수 있다. 전산모의 결과도 50° 방향의 이득이 5.97 dBi로 전방방사 이득 5.79 dBi보다 크게 나타났다. 기판의 크기가 커질수록 기판을 따라 진행하는 표면파의 위상 변화가 진행 각도에 따라 크게 달라져 E-평면 방사패턴에 리플들이 많이 발생하는 것을 볼 수 있다.

H-평면 방사패턴에서 기판 크기 변화에 의한 최대 이득이 발생하는 각도 변화와 방사패턴의 변화는 E-평면 방사패턴에서 최대 이득이 발생하는 각도 변화와 방사패턴의 변화보다 작음을 볼 수 있다. 그 이유는 표면파가 패치의 길이 방향을 따라 주로 전파되기 때문이라 생각된다.

2. 기판 두께가 0.8 mm인 마이크로스트립 패치 안테나의 방사 특성

그림 4는 기판 두께가 0.8 mm 일 때 기판의 한 변의 길이를 $0.4 \lambda_0$ 에서 $3.0 \lambda_0$ 까지 $0.2 \lambda_0$ 간격으로 변화시켜가며 각각의 공진주파수에서 전산모의한 전방방사와 후방방사의 이득을 나타낸다. 전방방사는 기판의 크기에 따라 1.30 dBi부터 4.94 dBi까지 변화하였고 후방방사는 -14.52 dBi부터 -5.52 dBi까지 변화하였다. 기판 두께가 1.6 mm인 경우보다 기판 두께가 얇아서 표면파의 크기가 작기 때문에 이득 변화 폭이 작은 것을 볼 수 있다. 기판의 한 변의 길이가 $0.8 \lambda_0$ 일 때 후방방사 이득이 가장 작아 전방방사와 후방방사의 이득 차이가 19.17 dB로 가장 크게 발생하였다. 기판의 한 변의 길이가 λ_0 일 때 전방방사가 4.94 dBi로 커졌다가 작아져 한 변의 길이가 $1.8 \lambda_0$ 인 경우에 전방방사의 이득이 1.30 dBi로 가장 작게 발생하였다. 한 변의 길이가 증가하여 $2.6 \lambda_0$ 일 때 전방방사 이득이 4.91 dBi로 다시 커지는 것을 볼 수 있다.

그림 5(a), (b), (c), 와 (d)는 각각 기판의 크기가 $0.8 \lambda_0$, $1.0 \lambda_0$, $1.8 \lambda_0$, 와 $2.6 \lambda_0$ 일 때 패치 안테나의 전산모의한 반사손실과 측정된 반사손실을 나타낸다. 공진주파수는 전산모의 결과보다 측정 결과가 약 10% 정도 더 높은 값을 가짐을 볼 수 있다. 기판 두께가 1.6 mm인 경우보다 기판 두께가 더 얇아서 제작된 마이크로스트립 안테나의 공진 주파수와 전산모의한 공진주

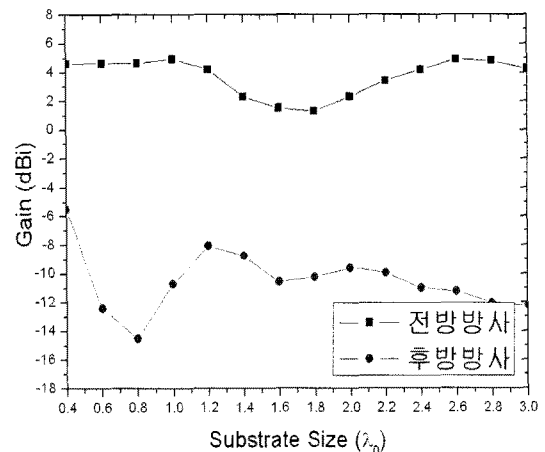


그림 4. 기판 두께가 0.8 mm 일 때 기판 크기의 변화에 따른 패치 안테나의 전방방사와 후방방사 이득.

Fig. 4. The gain of broadside and back radiations for different substrate sizes with a substrate thickness of 0.8 mm.

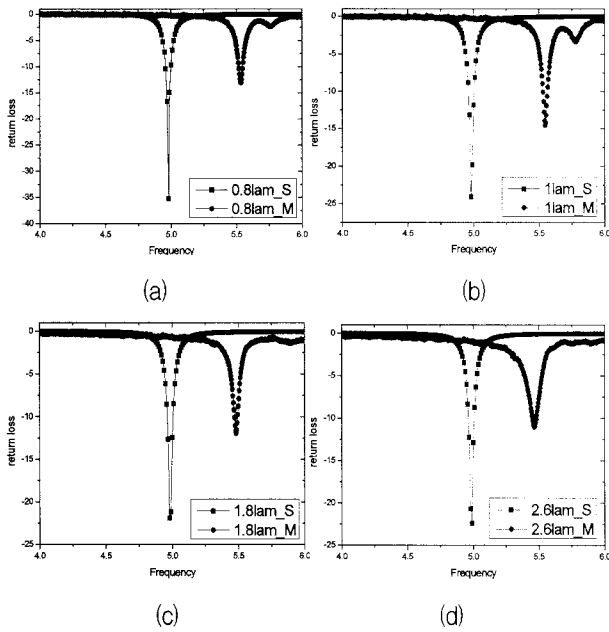


그림 5. 기판 두께가 0.8 mm 일 때 4 가지 기판 크기에 따른 패치 안테나의 전산모의한 반사손실과 측정된 반사손실 비교. (a) $0.8 \lambda_0$, (b) $1.0 \lambda_0$, (c) $1.8 \lambda_0$, (d) $2.6 \lambda_0$.

Fig. 5. Simulated and measured results of return loss for four different substrate sizes with a substrate thickness of 0.8 mm. (a) $0.8 \lambda_0$, (b) $1.0 \lambda_0$, (c) $1.8 \lambda_0$, and (d) $2.6 \lambda_0$.

파수가 더 큰 차이를 가진다고 생각된다. 또한 -10 dB 대역폭은 기판 두께가 1.6 mm 인 경우보다 작은 것을 볼 수 있다.

그림 6(a), (b), (c), 와 (d)는 각각 기판의 크기가 $0.8 \lambda_0$, $1.0 \lambda_0$, $1.8 \lambda_0$, 와 $2.6 \lambda_0$ 일 때 공진 주파수에서 전산모의한 E-평면과 H-평면의 방사패턴과 측정된 방사패턴을 나타낸다. 측정된 공진 주파수는 전산모의된 공진 주파수보다 약 10 % 정도 크게 발생하였지만 측정된 방사패턴과 전산모의한 방사패턴은 잘 일치함을 볼 수 있다. 표 2는 기판 두께가 0.8 mm 일 때 4 가지 기판 크기에 대한 패치 안테나의 방사특성을 요약한 전산모의 결과와 측정 결과를 보인다.

측정 결과를 보면 기판의 한 변의 길이가 λ_0 일 때 전방방사 이득이 4.29 dBi로 크고 기판의 크기가 $1.8\lambda_0$ 일 때 전방방사 이득이 2.62 dBi 로 가장 작은 것을 볼 수 있다. 기판의 크기가 $0.8 \lambda_0$ 일 때 전방방사와 후방방사 이득의 차이가 15.22 dB로 크고 전방방사 이득도 3.52 dBi로 비교적 큼을 볼 수 있다. 또한 전산모의 결과와 비슷하게 기판의 크기가 $2.6 \lambda_0$ 일 때 전방방사 이

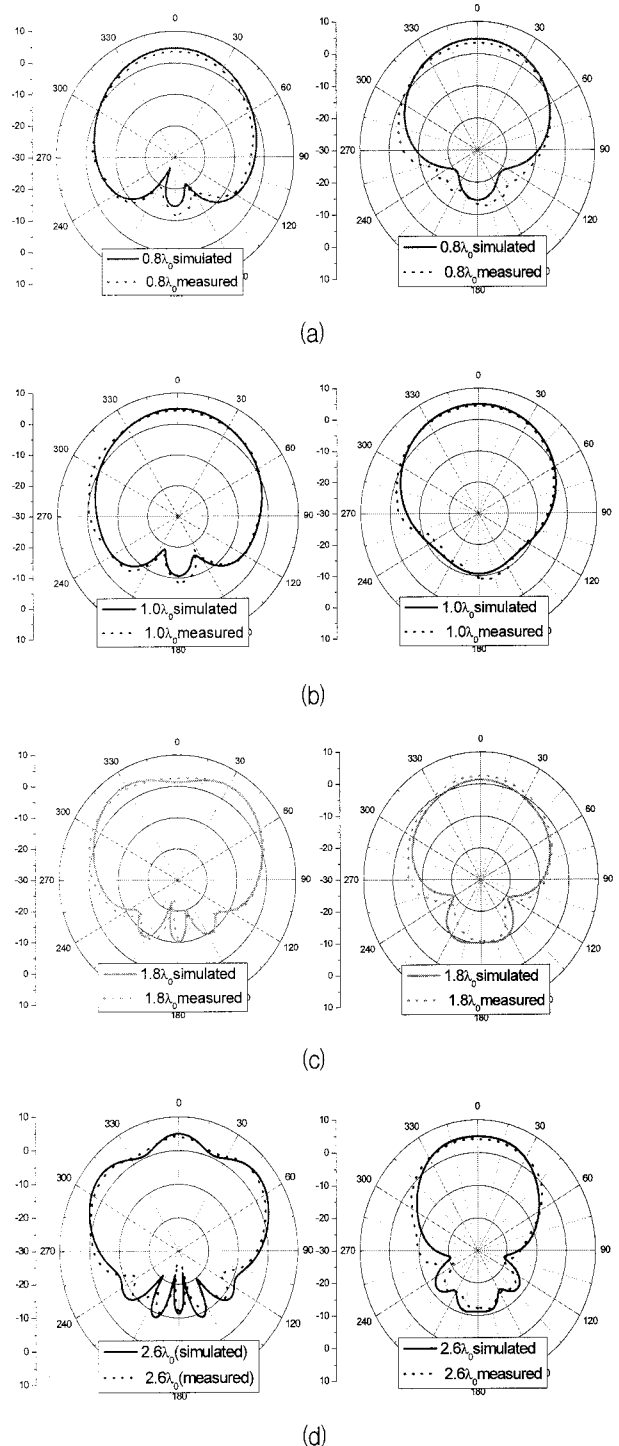


그림 6. 패치 안테나의 기판 두께가 0.8 mm 이고 4 가지 기판의 크기를 가질 때 공진 주파수에서 전산모의하고 측정된 E-평면과 H-평면의 방사패턴. (a) $0.8 \lambda_0$, (b) $1.0 \lambda_0$, (c) $1.8 \lambda_0$, 와 (d) $2.6 \lambda_0$.

Fig. 6. Simulated and measured radiation patterns of E-plane and H-plane for four different substrate sizes with a substrate thickness of 0.8 mm. (a) $0.8 \lambda_0$, (b) $1.0 \lambda_0$, (c) $1.8 \lambda_0$, and (d) $2.6 \lambda_0$.

표 2. 기판 두께가 0.8 mm 일 때 4 가지 기판 크기에서 패치 안테나의 방사특성에 대한 전산모의 결과와 측정 결과.

Table 2. Simulated and measured results of radiation characteristics for four different substrate sizes with a substrate thickness of 0.8 mm.

기판크기 (λ_0)	공진 주파수 (GHz)	S11 (dB)	10dB 대역폭 (%)	이득이 최대가 되는 방향($^\circ$)		전방 방사 (dBi)	후방 방사 (dBi)	
				E-평면	H-평면			
0.8	전산모의결과(0.8)	4.98	-35.24	0.8	-1	0	4.65	-14.52
	측정결과(0.89)	5.54	-13.03	0.5	-3	-4	3.52	-11.70
1	전산모의결과(1)	4.98	-24.09	0.8	1	0	4.94	-10.70
	측정결과(1.11)	5.55	-14.53	0.6	4	-3	4.29	-8.53
1.8	전산모의결과(1.8)	4.98	-21.89	0.8	-33	0	1.30	-10.24
	측정결과(1.97)	5.48	-11.96	0.4	31	1	2.62	-11.29
2.6	전산모의결과(2.6)	4.99	-22.42	0.8	0	1	4.91	-11.25
	측정결과(2.84)	5.47	-11.02	0.5	44	-6	4.08	-12.21

특이 4.08 dBi 로 다시 커진 것을 볼 수 있다.

기판 크기가 λ_0 에서 $1.8 \lambda_0$ 로 달라질 때 E-평면에서 이득이 최대가 발생하는 각도가 $\theta=4^\circ$ 에서 $\theta=31^\circ$ 로 크게 달라져 전방방사 이득이 4.29 dBi 에서 2.63 dBi 로 감소함을 볼 수 있다. 또한 전산모의 결과와 비슷하게 기판의 크기가 $2.6 \lambda_0$ 인 경우 E-평면 방사패턴에 리플이 많이 발생하는 것을 볼 수 있다. E-평면에서 이득이 최대가 발생하는 각도는 44° 이고 이득은 4.3 dBi 나 -1° 에서 이득이 4.10 dBi 발생하여 전방방사 이득이 4.08 dBi 로 크게 발생함을 볼 수 있다. 기판의 크기가 커질수록 기판을 따라 진행되는 표면파의 위상 변화가 진행 각도에 따라 크게 달라져 E-평면 방사패턴에 리플들이 발생하는 것을 볼 수 있다.

H-평면 방사패턴에서 기판 크기 변화에 의한 최대 이득이 발생하는 각도 변화와 방사패턴의 변화는 E-평면 방사패턴에서 최대 이득이 발생하는 각도 변화와 방사패턴의 변화보다 작음을 볼 수 있다. 그 이유는 표면파가 패치의 길이 방향을 따라 주로 전파되기 때문이라 생각된다.

3. 기판 두께가 3.2 mm인 마이크로스트립 패치 안테나의 방사 특성

그림 7은 기판 두께가 3.2 mm 일 때 기판의 한 변의 길이를 $0.4 \lambda_0$ 에서 $3.0 \lambda_0$ 까지 $0.2 \lambda_0$ 간격으로 변화 시키며 각각의 공진주파수에서 전산모의한 전방방사와 후방방사의 이득을 나타낸다. 전방방사는 기판의 크기에 따라 -1.05 dBi 부터 6.02 dBi 까지 변화하였고 후방방사는 -13.43 dBi 부터 -3.88 dBi 까지 변화하였다.

기판 두께가 1.6 mm 인 경우보다 기판 두께가 두꺼워 표면파의 크기가 더 크기 때문에 이득 변화 폭이 커진 것을 볼 수 있다. 기판의 한 변의 길이가 $0.8 \lambda_0$ 일 때

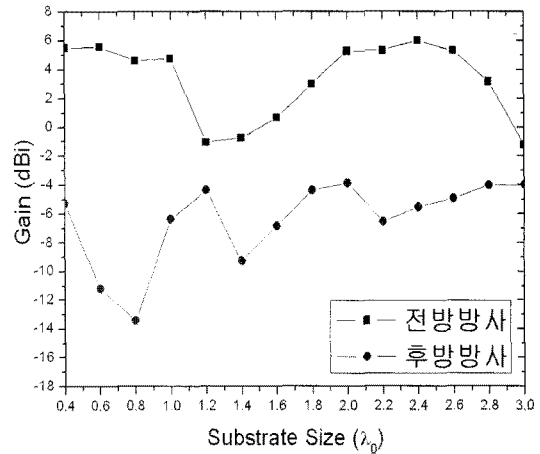


그림 7. 기판 두께가 3.2 mm 일 때 기판 크기의 변화에 따른 패치 안테나의 전방방사와 후방방사 이득.

Fig. 7. The gain of broadside and back radiations for different substrate sizes with a substrate thickness of 3.2 mm.

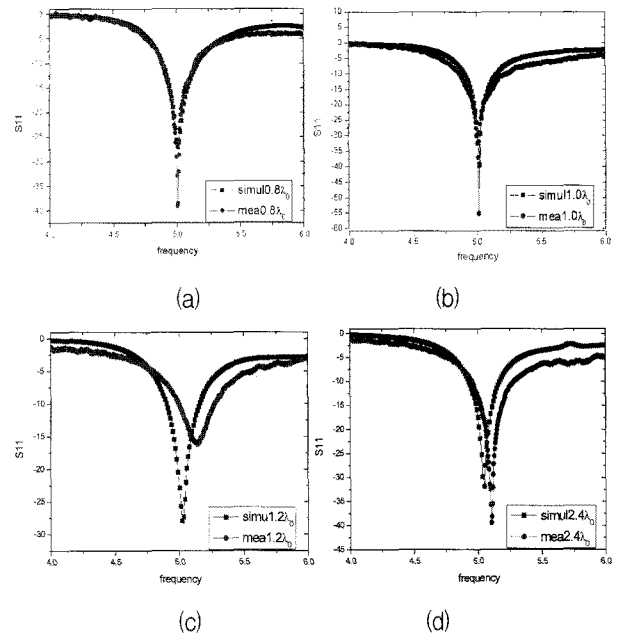


그림 8. 기판 두께가 3.2 mm 일 때 4 가지 기판 크기에 따른 패치 안테나의 전산모의한 반사손실과 측정된 반사손실 비교. (a) $0.8 \lambda_0$, (b) $1.0 \lambda_0$, (c) $1.2 \lambda_0$,와 (d) $2.4 \lambda_0$.

Fig. 8. Simulated and measured results of return loss for four different substrate sizes with a substrate thickness of 3.2 mm. (a) $0.8 \lambda_0$, (b) $1.0 \lambda_0$, (c) $1.2 \lambda_0$, and (d) $2.4 \lambda_0$.

후방방사 이득이 가장 작아 전방방사와 후방방사의 이득 차이가 18.07 dB 로 가장 크게 발생하였다. 전방방사는 기판의 한 변의 길이가 λ_0 일 때 4.76 dBi 이고 $2.4 \lambda_0$ 일 때 6.02 dBi 로 가장 크게 발생 하였다. 기판의 한 변의 길이가 $1.2 \lambda_0$ 인 경우에 전방 방사가 -1.05 dBi 로 가장 작게 발생하였고 전방방사와 후방방사의 이득 차이도 3.31 dB 로 가장 작게 발생하였다.

그림 8(a), (b), (c), 와 (d)는 각각 기판의 크기가 $0.8 \lambda_0$, $1.0 \lambda_0$, $1.2 \lambda_0$, 와 $2.4 \lambda_0$ 일 때 패치 안테나의 전산 모의한 반사손실과 측정된 반사손실을 나타낸다. 공진 주파수는 기판 두께가 두꺼워서 전산모의 결과와 제작하여 측정한 결과가 잘 일치함을 볼 수 있다. 전산모의 결과와 제작하여 측정한 -10 dB 대역폭 또한 비슷한 것을 볼 수 있다.

그림 9(a), (b), (c), 와 (d)는 각각 기판의 크기가 $0.8 \lambda_0$, $1.0 \lambda_0$, $1.2 \lambda_0$ 와 $2.4 \lambda_0$ 일 때 공진 주파수에서 전산모의한 E-평면과 H-평면의 방사패턴과 측정된 방사패턴을 나타낸다. 기판 두께가 1.6 mm 일 때에 비하여 기판 크기에 따른 방사패턴 특성의 변화는 전방방사 이득 변화의 폭이 커지고 E-평면 방사패턴의 리플이 크게 발생한 것을 볼 수 있다. 표 3은 기판 두께가 3.2 mm 일 때 4 가지 기판 크기에 대한 패치 안테나의 방사특성을 요약한 전산모의 결과와 측정 결과를 보인다.

기판 두께가 1.6 mm 인 경우보다 기판 크기의 변화에 의한 전방방사 이득 변화 폭과 방사패턴 변화가 큼을 볼 수 있다. 그 이유는 기판 두께의 증가로 표면파의 발생이 증가하여 공기와 기판의 경계면에서 회절되는 표면파와 패치에서 직접 방사되는 전자파의 간섭이 증가하기 때문이라 생각된다. 측정 결과를 보면 기판의 한 변의 길이가 $0.8\lambda_0$ 일 때 전방 방사가 4.15 dBi 로 기판의 크기가 λ_0 일 때의 전방 방사 3.21 dBi 보다 큼을 볼 수 있다. 기판의 크기가 $1.2\lambda_0$ 일 때 전방방사 이득이 -3.10 dBi 로 가장 작은 것을 볼 수 있다. 또한 전산모의 결과와 비슷하게 기판의 크기가 $2.4 \lambda_0$ 일 때 전방방사 이득이 4.56 dBi 로 다시 커진 것을 볼 수 있다. 기판의 크기가 $0.8 \lambda_0$ 일 때 전방방사와 후방방사 이득의 차이가 16.55 dB로 가장 크다.

기판 크기가 $0.8 \lambda_0$ 에서 $1.2 \lambda_0$ 로 달라질 때 E-평면에서 이득이 최대가 발생하는 각도가 $\theta=14^\circ$ 에서 $\theta=45^\circ$ 로 크게 달라져 전방방사 이득이 4.15 dBi에서 -3.10 dBi 로 감소함을 볼 수 있다. 또한 전산모의 결과

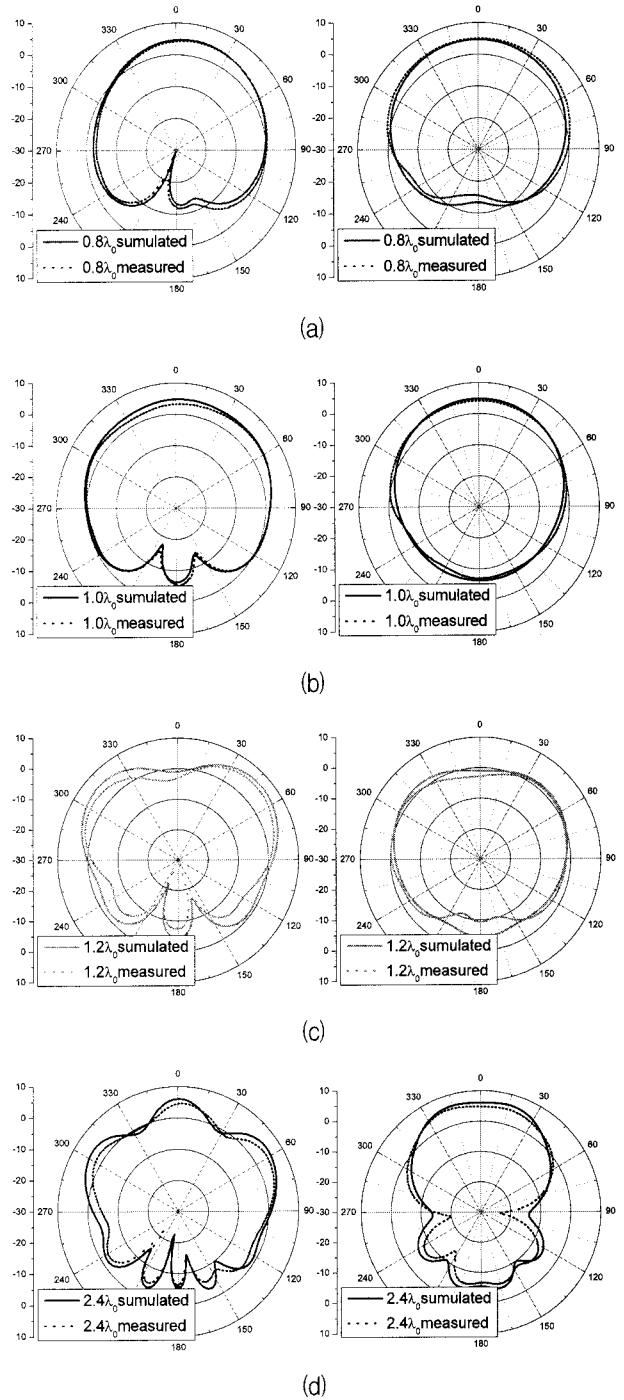


그림 9. 패치 안테나의 기판 두께가 3.2 mm 이고 4 가지 기판의 크기를 가질 때 공진 주파수에서 전산모의하고 측정된 E-평면과 H-평면의 방사패턴. (a) $0.8 \lambda_0$, (b) $1.0 \lambda_0$, (c) $1.2 \lambda_0$, 와 (d) $2.4 \lambda_0$.

Fig. 9. Simulated and measured radiation patterns of E-plane and H-plane for four different substrate sizes with a substrate thickness of 3.2 mm. (a) $0.8 \lambda_0$, (b) $1.0 \lambda_0$, (c) $1.2 \lambda_0$, and (d) $2.4 \lambda_0$.

표 3. 기판 두께가 3.2 mm 일 때 4 가지 기판 크기에서 패치 안테나의 방사특성에 대한 전산모의 결과와 측정 결과.

Table 3. Simulated and measured results of radiation characteristics for four different substrate sizes with a substrate thickness of 3.2 mm.

기판 크기 (λ_0)	공진 주파수 (GHz)	S11 (dB)	10dB 대역 폭 (%)	이득이 최대가 되는 방향(°)		전방 방사 (dBi)	후방 방사 (dBi)	
				E-평면	H-평면			
0.8	전산모의결과(0.8)	5.01	-27.04	5.4	11	-2	4.64	-13.43
	측정결과(0.8)	5.00	-39.11	5.2	14	10	4.15	-12.40
1	전산모의결과(1.0)	5.02	-39.64	5.0	45	1	4.76	-6.35
	측정결과(1.0)	5.01	-55.23	7.4	6	2	3.21	-5.80
1.2	전산모의결과(1.2)	5.02	-27.99	5.2	48	-42	-1.05	-4.36
	측정결과(1.2)	5.14	-31.99	4.7	45	43	-3.10	-7.82
2.4	전산모의결과(2.4)	5.05	-31.99	4.9	0	15	6.02	-5.52
	측정결과(2.4)	5.10	-39.46	6.4	2	-17	4.56	-6.15

와 비슷하게 기판의 크기가 $2.4 \lambda_0$ 인 경우 E-평면 방사 패턴의 전방방사 이득은 4.56 dBi 로 커지고 E-평면에서 이득이 최대가 발생하는 각도도 2° 에서 발생하여 전산모의 결과에서 이득이 최대가 발생하는 각도 0° 와 유사한 것을 볼 수 있다. 기판의 크기가 커질수록 기판을 따라 진행되는 표면파의 위상 변화가 진행 각도에 따라 크게 달라져 E-평면 방사패턴에 리플들이 많이 발생하는 것을 볼 수 있다.

H-평면 방사패턴에서 기판 크기 변화에 의한 최대 이득이 발생하는 각도 변화와 방사패턴의 변화는 E-평면 방사패턴에서 최대 이득이 발생하는 각도 변화와 방사패턴의 변화보다 작음을 볼 수 있다. 그 이유는 표면파가 패치의 길이 방향을 따라 주로 전파되기 때문이라 생각된다.

동작 주파수가 5 GHz 인 마이크로스트립 패치 안테나의 기판 크기에 따른 방사 특성을 살펴보기 위하여 기판의 크기는 한 변의 길이가 λ_0 (공기 중에서의 파장, 60 mm)인 정사각형 기판을 기준으로 하였다. 기판 두께가 1.6 mm 일 때 패치의 길이와 폭은 각각 8.5 mm 와 8.1 mm 이며 피드 포인트는 $x_f = 1.05$ mm 에 위치한다. 기판 두께가 방사특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 기판 두께가 각각 0.8 mm 와 3.2 mm 일 때 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하였다. 기판 두께가 0.8 mm 일 때 패치의 길이와 폭은 각각 8.9 mm 와 8.4 mm 이며 피드 포인트는 $x_f = 1.05$ mm 에 위치한다. 그리고 기판 두께가 3.2 mm 일 때 패치의 길이와 폭은 각각 7.6 mm 와 6.1 mm 이고 피드 포인트는 $x_f = 1.1$

mm 에 위치한다. 기판 두께가 두꺼워 질수록 프린징 필드의 크기가 커지기 때문에 패치의 크기가 작아지게 된다.

III. 논 의

4 가지 기판 크기에 대하여 마이크로스트립 패치 안테나를 제작하여 측정한 전방방사 이득의 변화폭은 기판 두께가 1.6 mm 일 때 전방방사 이득은 1.01 dBi 부터 3.86 dBi 까지 변화하였고 기판 두께가 0.8 mm 일 때 전방방사 이득은 2.62 dBi 부터 4.29 dBi 까지 변화하였으며 기판 두께가 3.2 mm 일 때 전방방사 이득은 -3.10 dBi 부터 4.56 dBi 까지 변화하였다. 전방방사 이득 변화폭은 4 가지 기판 크기에서 기판 두께가 0.8 mm, 1.6 mm, 와 3.2 mm 일 때 각각 1.67 dB, 2.85 dB, 와 7.66 dB 였다. 전산모의 결과와 마찬가지로 기판 두께가 증가할수록 전방방사 이득의 변화 폭이 증가하는 것을 볼 수 있다.

전방방사 이득이 가장 작은 기판 크기에서 E-평면에서 최대 방사가 일어나는 각도는 기판 두께가 0.8 mm, 1.6 mm, 와 3.2 mm 일 때 각각 $\theta = 31^\circ$, $\theta = 33^\circ$, 와 $\theta = 45^\circ$ 로서 기판 두께가 증가할수록 증가함을 볼 수 있다. H-평면에서 최대 방사가 일어나는 각도는 기판 두께가 0.8 mm, 1.6 mm, 와 3.2 mm 일 때 각각 $\theta = 1^\circ$, $\theta = -2^\circ$, 와 $\theta = 43^\circ$ 로서 기판 두께가 증가할수록 증가함을 볼 수 있다. 기판 두께가 증가할수록 표면파의 크기가 증가하여 전방방사가 최대가 되는 각도의 변화도 큼을 볼 수 있었다.

또한 표면파가 길이 방향으로 주로 전파되기 때문에 H-평면 방사패턴에서 기판 크기 변화에 의한 최대 이득이 발생하는 각도 변화와 방사패턴의 변화는 E-평면 방사패턴에서 최대 이득이 발생하는 각도 변화와 방사패턴의 변화보다 작음을 볼 수 있다. 따라서 기판 크기가 증가할수록 E-평면의 방사패턴과 H-평면의 방사패턴 차이가 증가함을 볼 수 있다.

기판 두께에 관계없이 기판 크기가 $0.8 \lambda_0$ 일 때 전방방사 이득이 크고 전방방사와 후방방사 이득의 차이도 매우 크며 E-평면의 방사패턴과 H-평면의 방사패턴이 비슷함을 볼 수 있다. 또한 기판 크기도 작아 정사각형 기판위에 제작된 프로브 급전 방식의 사각형 패치 안테나의 정사각형 기판의 크기는 $0.8 \lambda_0$ 근처가 가장 좋다고 생각된다.

IV. 결 론

유한한 정사각형 기판의 크기가 사각형 패치안테나의 방사 특성에 미치는 영향을 연구하기 위하여 여러 가지 크기를 가진 정사각형 기판에 사각형 패치안테나를 제작하고 측정된 결과를 전산모의한 결과와 비교하였다. 전산모의한 방사패턴 특성의 결과와 측정된 방사패턴 특성의 결과가 잘 일치함을 확인할 수 있었다. 기판의 크기가 패치 안테나의 공진 주파수와 대역폭에 미치는 영향은 작으나 방사패턴에 미치는 영향은 매우 큼을 확인하였다.

기판의 크기가 증가함에 따라 최대 방사가 발생하는 방향이 바뀌어 전방방사 이득이 거의 주기적으로 변함을 볼 수 있었다. 기판 두께가 증가할수록 표면파의 발생이 증가하여 공기와 기판의 경계면에서 회절되는 표면파와 패치에서 직접 방사되는 전자파의 간섭이 증가하기 때문에 전방 방사의 이득 변화 폭, 최대 방사가 일어나는 각도의 변화 폭과 방사패턴의 변화가 크게 발생한다. 표면파가 주로 길이 방향으로 발생하기 때문에 H-평면 방사패턴 보다 E-평면 방사패턴의 변화가 더 큼을 볼 수 있었다.

기판 두께에 관계없이 기판 크기가 $0.8 \lambda_0$ 일 때 전방방사 크기가 크고 전방방사와 후방방사 차이도 매우 크며 E-평면의 방사패턴과 H-평면의 방사패턴이 비슷함을 볼 수 있다. 또한 기판 크기도 작아 정사각형 기판 위에 제작된 프로브 급전 방식의 사각형 패치 안테나의 정사각형 기판의 크기는 $0.8 \lambda_0$ 근처가 가장 좋음을 볼 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, and A. Ittipiboon, *Microstrip Antenna Design Handbook*, 2nd Boston-London, Artech House, 2000.
- [2] G. Mayhew-Ridgers, J. W. Odendaal, and J. Joubert, "Singlelayer capacitive feed for wideband probe-fed microstrip antenna elements," *IEEE Trans. on Antennas and Propagat.*, vol. 51, no. 6, pp. 1405 - 1407, 2003.
- [3] J. James, and P.S. Hall, *Handbook of Microstrip Antennas*, Peter Peregrinus, London, UK, 1989.
- [4] J. Huang, "The finite ground plane effect on the microstrip antenna radiation patterns," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-31, pp.

649-653, Apr. 1983.

- [5] A. A. Kishk and L. Shafai, "The effect of various parameters of circular microstrip antennas on their radiation efficiency and the mode excitation," *IEEE Trans Antennas Propag.*, vol. AP-34, pp. 969-976, 1986.
- [6] A. K. Bhattacharyya, "Effects of finite ground plane on the radiation Characteristics of a circular patch antenna," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol. AP-38, pp. 152-159, 1990.
- [7] 박재우, 김태영, 김부균, 신종덕, "유한한 정사각형 기판의 크기가 마이크로스트립 패치 안테나의 방사 특성에 미치는 영향," *전자공학회논문지*, 제 46 권 TC편, 제 2호, pp. 114-125, 2009.

저 자 소 개



김 태 영(학생회원)
 2003년 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사
 2005년 숭실대학교 전자공학과 석사
 2007년 숭실대학교 전자공학과 박사 수료

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



박 재 우(학생회원)
 2008년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사
 2008년 3월~현재 숭실대학교 전자공학과 석사 과정.

<주관심분야 : Microstrip Antennas, Wide band Microstrip Antennas>



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
 2008년~현재 숭실대학교 IT대학장
 <주관심분야 : 위성 배열 안테나, SiP, 광통신 및 광네트워크용 소자>