

論文96-33A-3-8

기판의 유전율 및 전기적 두께가 X-밴드용 마이크로스트립 패치 안테나의 특성에 미치는 영향에 관한 연구

(A Study of Characteristics of X-Band Microstrip Patch Antenna Affected by Permittivity and Electrical Thickness of the Substrate)

朴成教*, 金俊炫*, 朴鍾伯*

(Sung Kyo Park, June Hyun Kim, and Chong Baek Park)

요 약

본 연구에서는 여러 가지 두께의 저·고유전율을 가진 테프론기판(기판두께 : 0.6 ~ 2.4 mm, 유전율 : 2.15 ~ 10.0) 위에 45개의 X-밴드용 구형 마이크로 스트립 패치 안테나를 제작하고, $\lambda/4$ 변환기를 이용한 마이크로 스트립 라인 급전 법을 이용하여 안테나 각각의 return loss ($1/S_{11}$) 및 공진 주파수를 측정하여 유전율 및 전기적 두께가 안테나 특성에 미치는 영향에 관하여 고찰하였다.

이 때 전기적 두께가 $0.060 \lambda_0$ 이상인 경우 return loss는 전반적으로 20 dB 이상으로 아주 좋게 나왔으나 반면에 공진 특성은 다소 불안정하였으며 특히 $0.088 \lambda_0$ 이상인 경우 꽤 불안정하였다. 그 결과 $\epsilon_r=5.0$, $h=2.4$ mm 인 기판을 사용했을 경우 return loss는 12, 13 GHz 인 경우를 제외하고서는 전역에 걸쳐 20 dB 이상으로 그리고 공진 주파수는 7 ~ 9 GHz의 범위에서 %오차가 ± 2 % 미만으로 가장 좋은 것으로 나타났다.

Abstract

In this study forty-five X-band rectangular microstrip patch antennas fed by microstrip line using $\lambda/4$ transformer were fabricated on teflon substrates with low·high permittivities and various thickness (substrate thickness : 0.6 ~ 2.4 mm, permittivities : 2.15 ~ 10.0), and effects of permittivity and electrical thickness on antenna characteristics were studied with measured return loss($1/S_{11}$) and resonant frequencies.

When substrate electrical thickness was greater than $0.060 \lambda_0$ return loss was very good and generally more than 20 dB, but resonance characteristics was somewhat unstable. The more than $0.088 \lambda_0$ the thickness was, the more unstable it was. As a result, in the rest range except 12, 13 GHz we had very good measured return loss with greater than 20 dB, and in the range 7 to 9 GHz resonant frequencies were within ± 2 % error, on $\epsilon_r=5.0$, height=2.4 mm substrate.

* 正會員, 朝鮮大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Engineering, College of Engineering Chosun University)

※ 본 연구는 1991학년도 조선대학교 학술연구조성비 지원에 의해 이루어졌습니다.

接受日字: 1995年8月10日, 수정완료일: 1996年1月24日

I. 序 論

1970년대 초반 Munson, Howell이 평면의 얇은 유전체 기판 위에 복사계와 급전계를 일체로 구성할 수 있는 실용적인 구형 및 원형의 마이크로 스트립 패치 안테나를 제안한 이후 마이크로 스트립 안테나는 좁은 대역 폭과 낮은 이득 그리고 적은 출력 등의 단

점에도 불구하고 일반적인 마이크로파용 안테나에 비하여 가격이 저렴하고 소형 및 경량으로 대량 생산이 가능하며 또한 설치가 용이하기 때문에 현재 많이 사용되고 있다.

최근 들어 사용 주파수의 상향화, 크기의 소형화 추세 및 좀 더 넓은 대역 폭의 필요성에 따라 고유전율^[1] 이면서도 전기적 두께가 큰 기판에^[2,3] 관한 관심이 증대되고 있다.

전기적 두께가 큰 기판의 경우 표면파와 상호 결합 등의 문제점에도 불구하고 10~20 %의 넓은 대역 폭을 얻을 수 있어 계속적으로 연구 중에 있으나 특히 TEFLON 기판을 사용하는 구형 마이크로 스트립 패치 안테나의 경우 전기적 두께가 $0.11 \lambda_0$ 이상이 되면 공진 하지 않고 또 주파수가 증가하면 전송 선로의 크기에 비해 안테나 패치의 크기가 작아져 공진 주파수가 제한되는 문제점이 발생하는 것으로 알려져 있다.^[2]

이러하여 본 연구에서는 기존 연구들의 주파수 대역이 주로 C-밴드 이하인데 반하여 X-, Ku-밴드인 7 ~ 15 GHz, 전기적 두께는 $0.016 \sim 0.12 \lambda_0$ 인 45개의 구형 마이크로 스트립 패치 안테나를 여러 가지 두께의 저·고유전율을 가진 TEFLON 기판(유전율 : 2.15 ~ 10.0, 두께 : 0.6 ~ 2.4 mm) 위에 $\lambda/4$ 변환기를 사용한 급전과 50 Ω 마이크로 스트립 전송 선로를 이용하여 제작, 안테나 각각의 공진 주파수 및 return loss(1/S₁₁)를 측정하여 다음 이를 설계치와 비교, 기판의 유전율과 전기적 두께가 안테나 특성에 미치는 영향에 관하여 고찰하고자 한다.

II. 理 論

1. 구형 마이크로 스트립 패치 안테나

구형 마이크로 스트립 패치 안테나의 폭 W와 길이 L은 (1)~(5)식^[4,5]을 이용하여 구하는데

$$W = \frac{C_0}{2f_r \sqrt{(\epsilon_r + 1)/2}} \quad (1)$$

$$L = \frac{C_0}{2f_r \sqrt{\epsilon_c}} - 2\Delta \ell \quad (2)$$

$$\Delta \ell = 0.412 h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3)(W/h + 0.264)}{(\epsilon_{eff} - 0.258)(W/h + 0.8)} \quad (3)$$

$$\epsilon_{eff}(f_r) = \epsilon_r - \frac{\epsilon_r - \epsilon_c}{1 + (0.43 f_r^2 - 0.009 f_r^2)(h/Z_0)^{1.33}} \quad (4)$$

$$\epsilon_c = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 10 \frac{h}{W}\right)^{-1/2} \quad (5)$$

여기서 C_0 는 진공 중에서의 광속도, ϵ_r 은 기판의 유전상수, ϵ_c 는 유효 유전상수, ϵ_{eff} 는 실유효 유전상수, $\Delta \ell$ 은 프러닝 계의 확장 효과를 고려한 항이며 f_r 은 설계 주파수, h 는 기판의 두께 그리고 Z_0 는 특성 임피던스로서 50 Ω 이다.

2. 입력 임피던스

마이크로 스트립 패치 안테나의 입력 임피던스 해석^[6,7]에는 Transmission-line model^[8,9], Improved transmission-line model^[10], Cavity model^[11], Method of moments^[12], Finite-element technique^[13], Finite-difference time-domain method^[14] 등의 여러 가지 방식이 사용되고 있으나 여기서는 Transmission-line model을 적용하여 입력 임피던스 Z_{in} 을 구하였다.

급전 점에서 보는 입력 어드미턴스는

$$Y_{in} = G + jB + Y_0 \frac{G + j(B + Y_0 \tan(\beta \ell))}{Y_0 + j(G + jB) \tan(\beta \ell)} \quad (6)$$

과 같고 이 식에서 허수 부를 0으로 하는 조건은 다음과 같다.

$$\tan(\beta \ell) = \frac{2Y_0 B}{G^2 + B^2 - Y_0^2} \quad (7)$$

따라서 공진시 입력 임피던스는

$$Z_{in} = \frac{1}{Y_{in}} = \frac{1}{2G} \quad (8)$$

이 된다. 방사 콘덕턴스 G 와 용량성 서셉턴스 B는 Harrington의 근사식^[15]을 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$G = \frac{\pi}{\eta \lambda_0} \left[1 - \frac{(Kh)^2}{24} \right] \quad (9)$$

$$B = \frac{3.135 - 2 \log(Kh)}{\eta \lambda_0} \quad (10)$$

그러므로 폭 W를 갖는 패치 안테나의 방사 콘덕턴스 는

$$G = \frac{\pi W}{\eta \lambda_0} \left[1 - \frac{(Kh)^2}{24} \right] \quad (11)$$

과 같다. 여기서 λ_0 는 자유 공간 파장, η 는 120π , $K = 2\pi/\lambda_0$, h 는 유전체 기판의 두께이다.

3. 마이크로 스트립 전송 선로

마이크로 스트립 전송 선로의 선폭 w, 특성 임피던스 Z_0 및 실유효 유전상수 ϵ_{eff} 는^[16,17,18]

$$A = \frac{119.9}{\sqrt{2(\epsilon_r + 1)}} \quad (12)$$

$$B = \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \right) \left(\ln \frac{\pi}{2} + \frac{\ln(4/\pi)}{\epsilon_r} \right) \quad (13)$$

$$C = \ln \left\{ \frac{4h}{w} + \sqrt{\left(\frac{4h}{w} \right)^2 + 2} \right\} \quad (14)$$

$$D = \frac{59.95\pi}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (15)$$

A, B, C, D 를 위와 같이 규정하면 이 때 선폭은 $Z_0 > (44 - 2\epsilon_r)$ 이면

$$w = \frac{h}{\frac{e^c}{8} - \frac{e^{-c}}{4}} \quad (16)$$

(여기서 $c = \frac{Z_0}{A} + B$)

$Z_0 < (44 - 2\epsilon_r)$ 이면

$$w = h \left[\frac{2}{\pi} \left\{ \frac{\pi D}{Z_0} - 1 - \ln \left(\frac{2\pi D}{Z_0} - 1 \right) \right\} + \frac{\epsilon_r - 1}{\pi \epsilon_r} \left\{ \ln \left(\frac{\pi D}{Z_0} - 1 \right) + 0.293 - \frac{0.517}{\epsilon_r} \right\} \right] \quad (17)$$

이 되고 특성 임피던스는

$w/h < 3.3$ 이면

$$Z_0 = A(C - B) \quad (18)$$

$w/h > 3.3$ 이면

$$Z_0 = \frac{w}{2h} + 0.44127 + \frac{0.08226(\epsilon_r - 1)}{\epsilon_r^2} + \frac{D}{2\pi \epsilon_r} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{\epsilon_r} \right) (1.4516 + \ln \left(\frac{w}{2h} + 0.94 \right)) \quad (19)$$

이 되며 실유효 유전상수는

$w/h < 1.3$ 이면

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2(1 - \frac{B}{C})^2} \quad (20)$$

$w/h > 1.3$ 이면

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2(1 + \frac{10h}{w})^{0.555}} \quad (21)$$

이 된다.

4. 급 전

패치 안테나에의 급전에는 Coax Probe 급전, Microstrip line 급전, $\lambda/4$ 변환기를 이용한 급전 방법 등이 있는데 실험 치에 의존하는 Coax Probe 급전, Microstrip line 급전보다는 $\lambda/4$ 변환기를 이용하여 Radiating-Edge의 1/2 지점에 급전하였다. 이 때 $\lambda/4$ 변환기의 임피던스는 다음과 같다.

$$Z_{\lambda/4} = \sqrt{(Z_m \cdot 50)} \quad (22)$$

III. 設計 및 製作

(1)~(22)식을 이용하여 구형 마이크로 스트립 패치 안테나의 설계치 들을 구한 다음 CAD (CRC 3000) 를 이용하여 GERBER 파일을 만들고 드라이 필름을 제작, 포토 에칭 하였으며 이 때 사용한 기판들은 COPPER-CLAD LAMINATES(CHUKOH 사) 로서 표 1 과 같다.

표 1. 기판 종류 및 규격

Table 1. Substrates and Specifications.

종 류	유전율	두께 (mm)	유전체 손실	동박두께 (mm)	크 기 (mm)
CGS-512 (BP-1512)	2.15	0.8	0.0010	0.035	300 * 300
		1.6	0.0010	0.035	300 * 300
CGK-512 (XP-0012)	5.0	1.2	0.005	0.035	300 * 300
		2.4	0.005	0.035	300 * 300
CGC-502 (XP-2002)	10.0	0.67	0.005	0.035	200 * 200

5 종류의 기판 위에 7 ~ 15 GHz 범위에 걸쳐 설계한 구형 마이크로 스트립 패치 안테나들의 규격은 표2 ~ 표6 과 같다. 이 때 50 Ω 전송 선로의 길이는 패치 안테나의 폭과 같은 길이로 하였으며 설계시 드라이 필름 제작과 포토 에칭 시의 어려움을 감안하여 최소 길이를 1/100 mm 로 하였다.

표 2. $\epsilon_r=2.15$, height=0.8 mm 기판상의 패치 안테나

Table 2. Patch antennas on substrate of $\epsilon_r = 2.15$, height=0.8 mm.

주파수 (GHz)	패치 안테나		$\lambda/4$ 변환기		50 Ω 선로 폭 (mm)	50 Ω 선로 길이 (mm)	전기적 두께(λ_0)
	폭 (mm)	길이 (mm)	폭 (mm)	길이 (mm)			
7	17.07	14.10	0.98	7.47	2.54	17.07	0.019
8	14.94	12.26	0.98	6.55	2.54	14.94	0.021
9	13.28	10.83	0.98	5.83	2.54	13.28	0.024
10	11.95	9.68	0.98	5.26	2.54	11.95	0.027
11	10.87	8.73	0.98	4.78	2.54	10.87	0.029
12	9.96	7.95	0.98	4.39	2.54	9.96	0.032
13	9.19	7.28	0.98	4.06	2.54	9.19	0.035
14	8.54	6.71	0.98	3.77	2.54	8.54	0.037
15	7.97	6.22	0.98	3.52	2.54	7.97	0.040

표 3. $\epsilon_r=2.15$, height=1.6 mm 기판상의 패치 안테나

Table 3. Patch antennas on substrate of $\epsilon_r=2.15$, height=1.6 mm.

주파수 (GHz)	패치 안테나		$\lambda/4$ 변환기		50Ω 선로 폭 (mm)	50Ω 선로 길이 (mm)	전기적 두께(λ_0)
	폭 (mm)	길이 (mm)	폭 (mm)	길이 (mm)			
7	17.07	13.45	1.96	7.55	5.07	17.07	0.037
8	14.94	11.58	1.96	6.62	5.07	14.94	0.043
9	13.28	10.13	1.95	5.89	5.07	13.28	0.048
10	11.95	8.97	1.95	5.30	5.07	11.95	0.053
11	10.87	8.02	1.95	4.82	5.07	10.87	0.059
12	9.96	7.23	1.95	4.42	5.07	9.96	0.064
13	9.19	6.56	1.95	4.08	5.07	9.19	0.069
14	8.54	5.98	1.94	3.78	5.07	8.54	0.075
15	7.97	5.48	1.94	3.53	5.07	7.97	0.080

표 4. $\epsilon_r=5.0$, height=1.2 mm 기판상의 패치 안테나

Table 4. Patch antennas on substrate of $\epsilon_r=5.0$, height=1.2 mm.

주파수 (GHz)	패치 안테나		$\lambda/4$ 변환기		50Ω 선로 폭 (mm)	50Ω 선로 길이 (mm)	전기적 두께(λ_0)
	폭 (mm)	길이 (mm)	폭 (mm)	길이 (mm)			
7	12.37	9.05	0.43	5.06	2.08	12.37	0.029
8	10.83	7.82	0.43	4.44	2.08	10.83	0.032
9	9.62	6.85	0.43	3.95	2.08	9.62	0.036
10	8.66	6.08	0.43	3.56	2.08	8.56	0.040
11	7.87	5.45	0.43	3.24	2.08	7.87	0.044
12	7.22	4.92	0.43	2.97	2.08	7.22	0.048
13	6.66	4.47	0.43	2.75	2.08	6.66	0.052
14	6.19	4.08	0.43	2.55	2.08	6.19	0.056
15	5.77	3.75	0.43	2.38	2.08	5.77	0.060

표 5. $\epsilon_r=5.0$, height=2.4 mm 기판상의 패치 안테나

Table 5. Patch antennas on substrate of $\epsilon_r=5.0$, height=2.4 mm.

주파수 (GHz)	패치 안테나		$\lambda/4$ 변환기		50Ω 선로 폭 (mm)	50Ω 선로 길이 (mm)	전기적 두께(λ_0)
	폭 (mm)	길이 (mm)	폭 (mm)	길이 (mm)			
7	12.37	8.21	0.85	5.13	4.17	12.37	0.056
8	10.83	6.95	0.85	4.48	4.17	10.83	0.064
9	9.62	5.97	0.85	3.98	4.17	9.62	0.072
10	8.66	5.18	0.84	3.58	4.17	8.66	0.080
11	7.87	4.54	0.84	3.25	4.17	7.87	0.088
12	7.22	4.01	0.84	2.97	4.17	7.22	0.096
13	6.66	3.57	0.84	2.74	4.17	6.66	0.104
14	6.19	3.19	0.83	2.53	4.17	6.19	0.112
15	5.77	2.86	0.83	2.36	4.17	5.77	0.120

표 6. $\epsilon_r=10.0$, height=0.67 mm 기판상의 패치 안테나

Table 6. Patch antennas on substrate of $\epsilon_r=10.0$, height=0.67 mm.

주파수 (GHz)	패치 안테나		$\lambda/4$ 변환기		50Ω 선로 폭 (mm)	50Ω 선로 길이 (mm)	전기적 두께(λ_0)
	폭 (mm)	길이 (mm)	폭 (mm)	길이 (mm)			
7	9.14	6.59	0.04	3.58	0.64	9.14	0.016
8	8.00	5.72	0.04	3.14	0.64	8.00	0.018
9	7.11	5.05	0.04	2.80	0.64	7.11	0.020
10	6.40	4.50	0.04	2.53	0.64	6.40	0.022
11	5.81	4.06	0.04	2.31	0.64	5.81	0.025
12	5.33	3.69	0.04	2.12	0.64	5.33	0.027
13	4.92	3.37	0.04	1.96	0.64	4.92	0.029
14	4.57	3.10	0.04	1.82	0.64	4.57	0.031
15	4.26	2.86	0.04	1.70	0.64	4.26	0.034

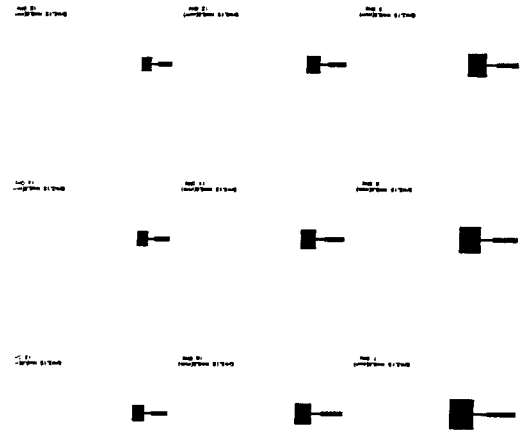


그림 1. $\epsilon_r=2.15$, h=0.8 mm 기판상의 패치 안테나
Fig. 1. Patch antennas on substrate of $\epsilon_r=2.15$, h=0.8 mm.

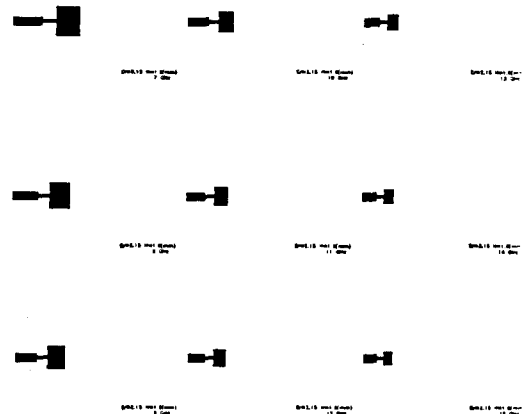


그림 2. $\epsilon_r=2.15$, h=1.6 mm 기판상의 패치 안테나
Fig. 2. Patch antennas on substrate of $\epsilon_r=2.15$, h=1.6 mm.



그림 3. $\epsilon_r=5.0$, $h=1.2$ mm 기판상의 패치 안테나
Fig. 3. Patch antennas on substrate of $\epsilon_r=5.0$, $h=1.2$ mm.

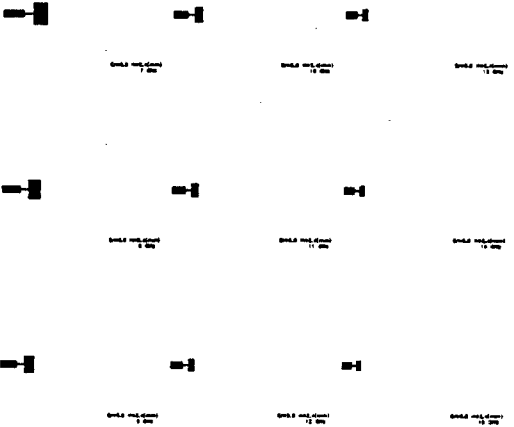


그림 4. $\epsilon_r=5.0$, $h=2.4$ mm 기판상의 패치 안테나
Fig. 4. Patch antennas on substrate of $\epsilon_r=5.0$, $h=2.4$ mm.

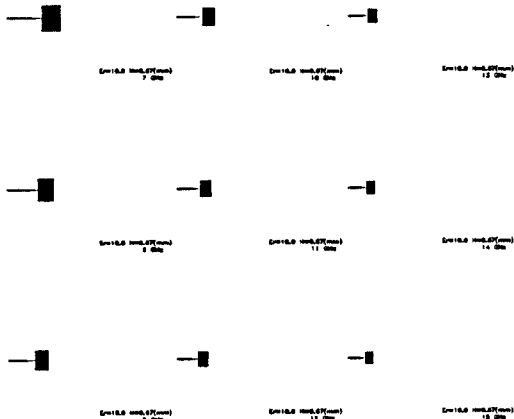


그림 5. $\epsilon_r=10.0$, $h=0.67$ mm 기판상의 패치 안테나
Fig. 5. Patch antennas on substrate of $\epsilon_r=10.0$, $h=0.67$ mm.

그림 1 ~ 그림 5 에는 표 2 ~ 표 6의 규격에 따라 제작한 패치 안테나들을 나타냈다.

IV. 測定 및 考察

HP 8510B 네트워크 아날라이저(HP 8516A S-parameter Test Set, HP 8341B Synthesized Sweeper)를 이용하여 43개 패치 안테나의 return loss($1/S_{11}$) 와 공진 주파수를 측정하였으며 이 때 소스 전력은 +10 dBm, 포인트 수는 201개, 감쇠는 0 dB로 하였다. 또 50 Ω 마이크로 스트립 전송 선로의 좁은 선폭 때문에 코넥타는 OMNI SPECTRA사의 SSMA를 사용하였다.

1. $\epsilon_r=2.15$, height=0.8 mm 기판상의 패치 안테나 7~15 GHz 범위의 설계 공진 주파수를 갖는 패치 안테나 9개의 측정된 S_{11} 은 그림 6 ~ 그림 14와 같고 측정된 공진 주파수, %오차, return loss를 표 7에 나타냈다.

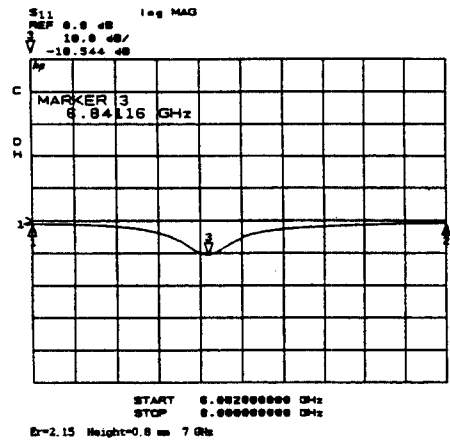


그림 6. $\epsilon_r=2.15$, $h=0.8$ mm, 7 GHz 일 때의 S_{11}
Fig. 6. S_{11} when $\epsilon_r=2.15$, $h=0.8$ mm, 7 GHz.

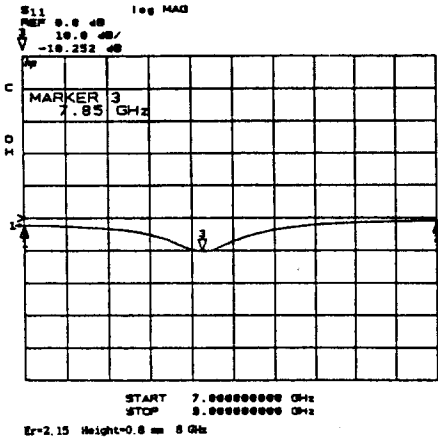


그림 7. $\epsilon_r=2.15$, $h=0.8$ mm, 8 GHz 일 때의 S_{11}
 Fig. 7. S_{11} when $\epsilon_r=2.15$, $h=0.8$ mm, 8 GHz.

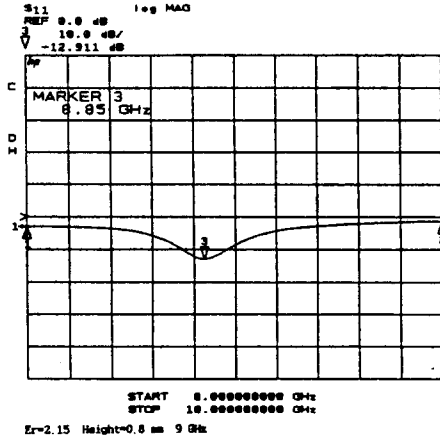


그림 8. $\epsilon_r=2.15$, $h=0.8$ mm, 9 GHz 일 때의 S_{11}
 Fig. 8. S_{11} when $\epsilon_r=2.15$, $h=0.8$ mm, 9 GHz.

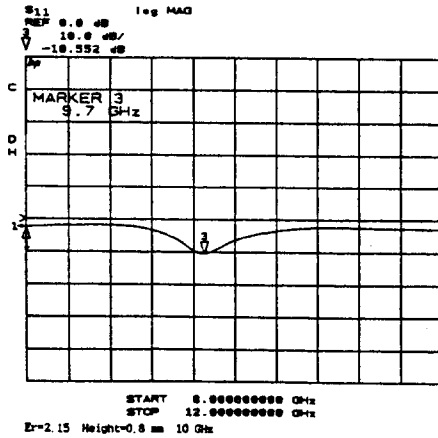


그림 9. $\epsilon_r=2.15$, $h=0.8$ mm, 10GHz 일 때의 S_{11}
 Fig. 9. S_{11} when $\epsilon_r=2.15$, $h=0.8$ mm, 10 GHz.

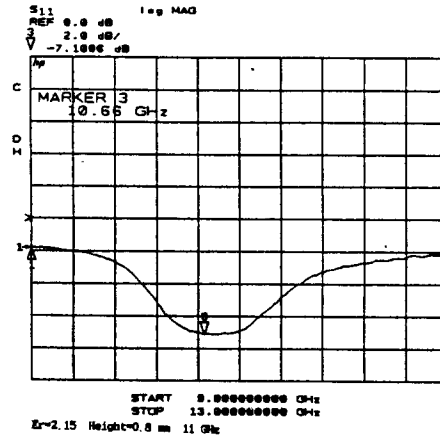


그림 10. $\epsilon_r=2.15$, $h=0.8$ mm, 11 GHz 일 때의 S_{11}
 Fig. 10. S_{11} when $\epsilon_r=2.15$, $h=0.8$ mm, 11 GHz.

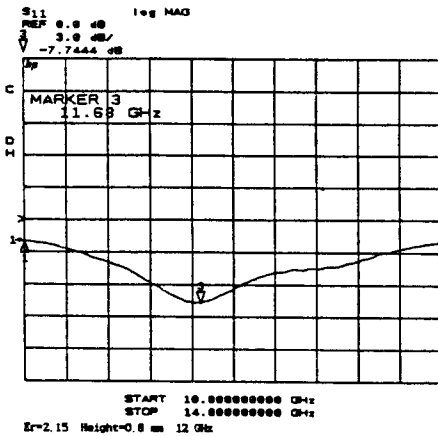


그림 11. $\epsilon_r=2.15$, $h=0.8$ mm, 12GHz 일 때의 S_{11}
 Fig. 11. S_{11} when $\epsilon_r=2.15$, $h=0.8$ mm, 12 GHz.

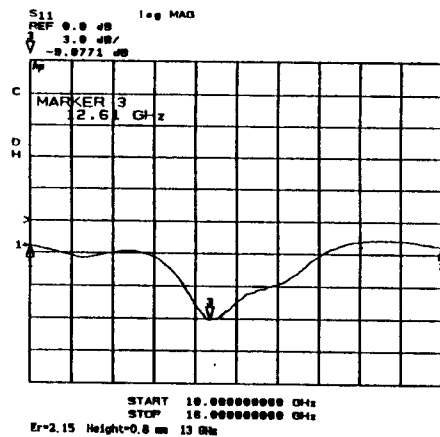


그림 12. $\epsilon_r=2.15$, $h=0.8$ mm, 13 GHz 일 때의 S_{11}
 Fig. 12. S_{11} when $\epsilon_r=2.15$, $h=0.8$ mm, 13 GHz.

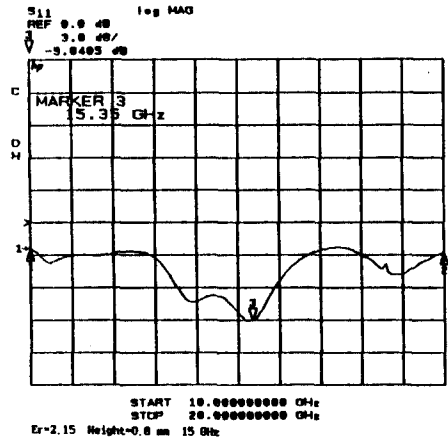
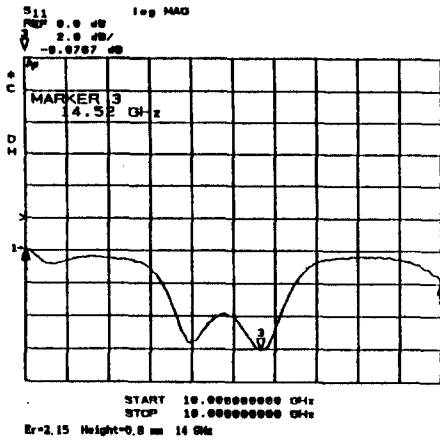


그림 13. $\epsilon_r=2.15$, $h=0.8$ mm, 14GHz 일 때의 S_{11}
 Fig. 13. S_{11} when $\epsilon_r=2.15$, $h=0.8$ mm, 14 GHz.

그림 14. $\epsilon_r=2.15$, $h=0.8$ mm, 15 GHz 일 때의 S_{11}
 Fig. 14. S_{11} when $\epsilon_r=2.15$, $h=0.8$ mm, 15 GHz.

표 7. $\epsilon_r=2.15$, height=0.8 mm 기판상에 제작한 패치 안테나들의 공진 주파수, % 오차 및 return loss

Table 7. Resonant frequency, %error and return loss of patch antennas fabricated on the substrate of $\epsilon_r=2.15$, height=0.8 mm.

설계 주파수 (GHz)	패치 안테나 ($\epsilon_r=2.15$ height=0.8 mm)		
	공진 주파수	%오차	return loss
7	6.84	-2.27	10.54
8	7.85	-1.88	10.25
9	8.85	-1.67	12.91
10	9.70	-3.00	10.55
11	10.66	-3.09	7.10
12	11.68	-2.67	7.74
13	12.61	-3.00	9.08
14	14.52	3.71	8.08
15	15.35	2.33	9.04

2. $\epsilon_r=2.15$, height=1.6 mm 기판상의 패치 안테나 7 ~ 15 GHz 범위의 설계 공진 주파수를 갖는 패치 안테나 9개의 측정된 S_{11} 은 그림 15 ~ 그림 23과 같고 측정된 공진 주파수, %오차, return loss를 표 8에 나타냈다.

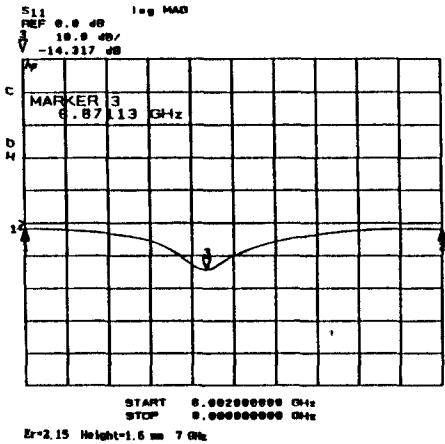


그림 15. $\epsilon_r=2.15$, $h=1.6$ mm, 7GHz일 때의 S_{11}
 Fig. 15. S_{11} when $\epsilon_r=2.15$, $h=1.6$ mm, 7GHz.

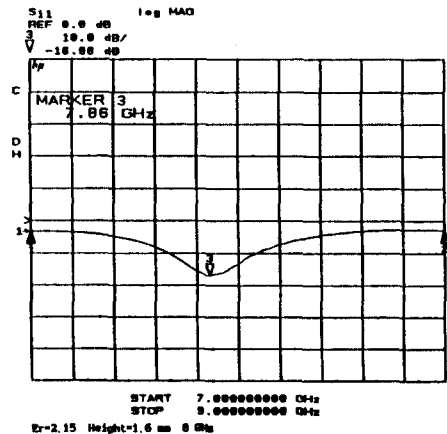


그림 16. $\epsilon_r=2.15$, $h=1.6$ mm, 8GHz 일 때의 S_{11}
 Fig. 16. S_{11} when $\epsilon_r=2.15$, $h=1.6$ mm, 8GHz.

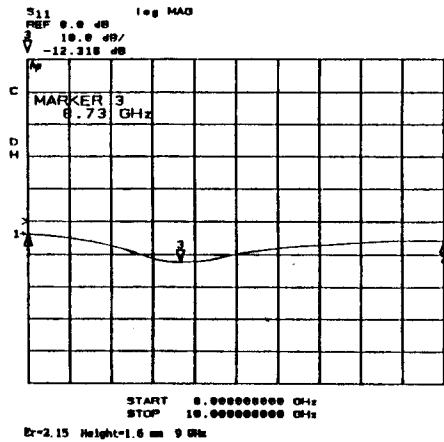


그림 17. $\epsilon_r=2.15$, $h=1.6$ mm, 9GHz 일 때의 S_{11}
Fig. 17. S_{11} when $\epsilon_r=2.15$, $h=1.6$ mm, 9 GHz.

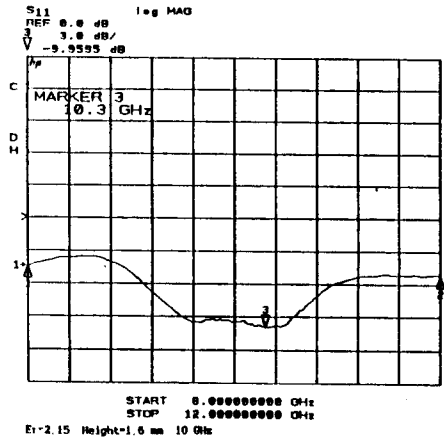


그림 18. $\epsilon_r=2.15$, $h=1.6$ mm, 10GHz 일 때의 S_{11}
Fig. 18. S_{11} when $\epsilon_r=2.15$, $h=1.6$ mm, 10GHz.

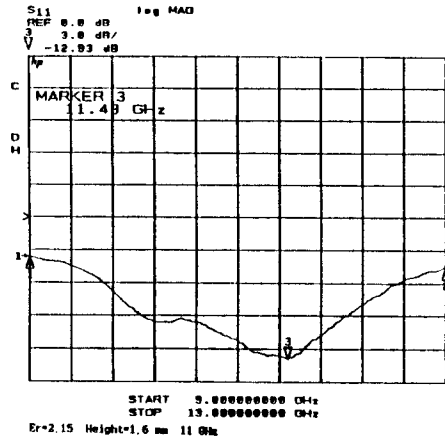


그림 19. $\epsilon_r=2.15$, $h=1.6$ mm, 11GHz 일 때의 S_{11}
Fig. 19. S_{11} when $\epsilon_r=2.15$, $h=1.6$ mm, 11GHz.

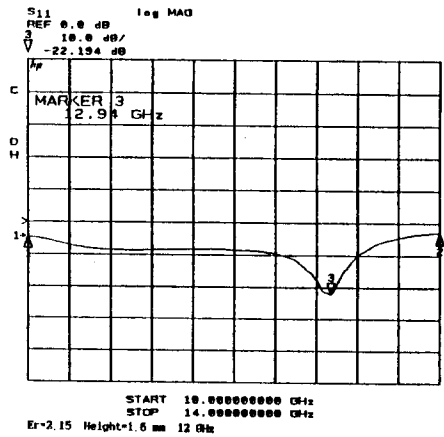


그림 20. $\epsilon_r=2.15$, $h=1.6$ mm, 12 GHz 일 때의 S_{11}
Fig. 20. S_{11} when $\epsilon_r=2.15$, $h=1.6$ mm, 12 GHz.

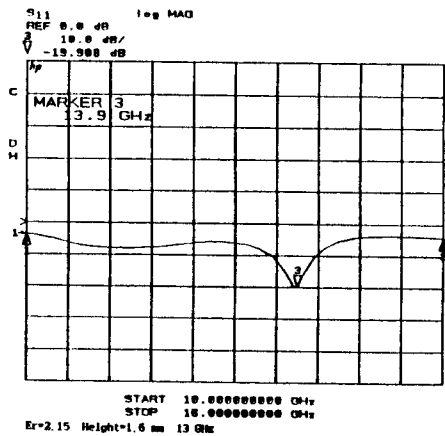


그림 21. $\epsilon_r=2.15$, $h=1.6$ mm, 13GHz 일 때의 S_{11}
Fig. 21. S_{11} when $\epsilon_r=2.15$, $h=1.6$ mm, 13 GHz.

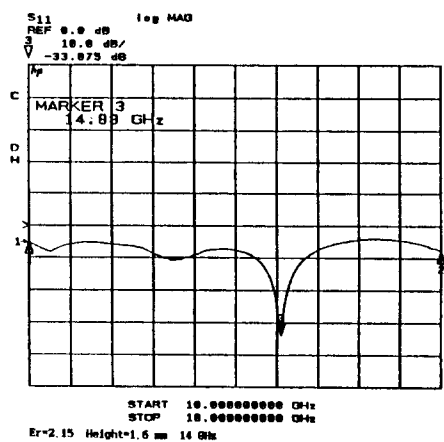


그림 22. $\epsilon_r=2.15$, $h=1.6$ mm, 14 GHz 일 때의 S_{11}
Fig. 22. S_{11} when $\epsilon_r=2.15$, $h=1.6$ mm, 14 GHz.

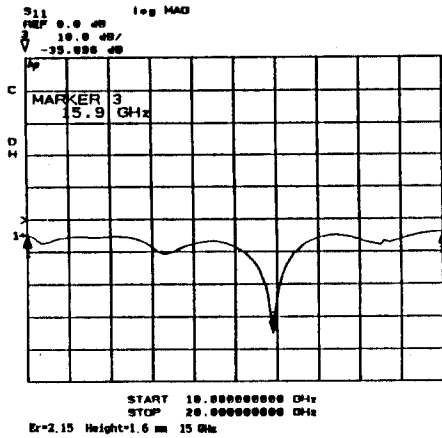


그림 23. $\epsilon_r=2.15$, $h=1.6$ mm, 15 GHz일 때의 S_{11}
Fig. 23. S_{11} when $\epsilon_r=2.15$, $h=1.6$ mm, 15GHz.

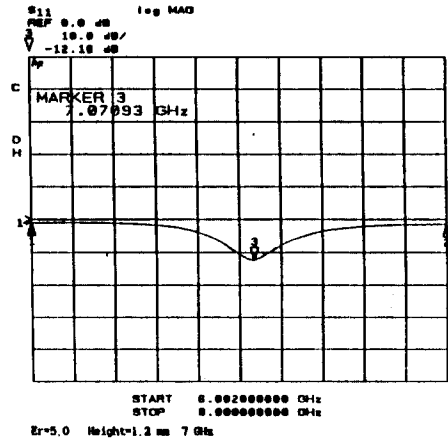


그림 24. $\epsilon_r=5.0$, $h=1.2$ mm, 7 GHz 일 때의 S_{11}
Fig. 24. S_{11} when $\epsilon_r=5.0$, $h=1.2$ mm, 7 GHz.

표 8. $\epsilon_r=2.15$, height=1.6 mm 기판상에 제작한 패치 안테나들의 공진 주파수, %오차 및 return loss

Table 8. Resonant frequency, %error and return loss of patch antennas fabricated on the substrate of $\epsilon_r = 2.15$, height=1.6 mm.

설계 주파수 (GHz)	패치 안테나 ($\epsilon_r=2.15$ height=1.6 mm)		
	공진 주파수	%오차	return loss
7	6.87	-1.84	14.32
8	7.86	-1.75	16.88
9	8.73	-3.00	12.32
10	10.30	3.00	9.96
11	11.48	4.36	12.93
12	12.94	7.83	22.19
13	13.90	6.92	19.91
14	14.88	6.29	33.88
15	15.90	6.00	35.10

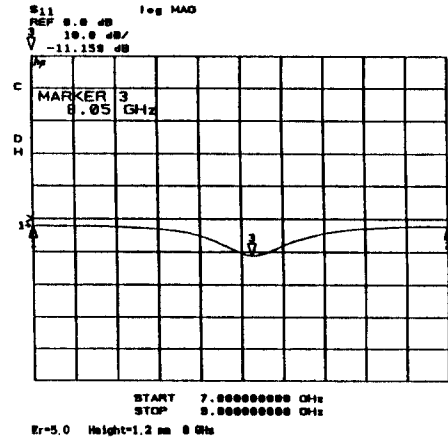


그림 25. $\epsilon_r=5.0$, $h=1.2$ mm, 8GHz 일 때의 S_{11}
Fig. 25. S_{11} when $\epsilon_r=5.0$, $h=1.2$ mm, 8 GHz.

3. $\epsilon_r=5.0$, height=1.2 mm 기판상의 패치 안테나 7 ~ 15 GHz 범위의 설계 공진 주파수를 갖는 패치 안테나 9개의 측정된 S_{11} 은 그림 24 ~ 그림 32와 같이 측정된 공진 주파수, %오차, return loss를 표 9에 나타냈다.

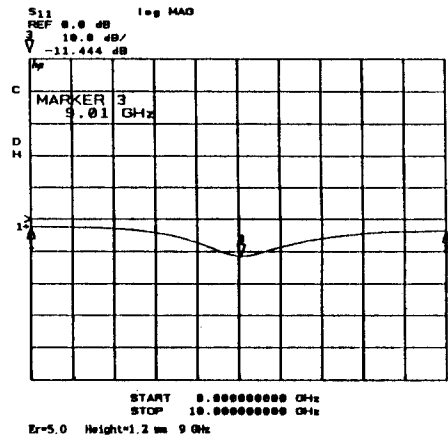


그림 26. $\epsilon_r=5.0$, $h=1.2$ mm, 9 GHz 일 때의 S_{11}
Fig. 26. S_{11} when $\epsilon_r=5.0$, $h=1.2$ mm, 9 GHz.

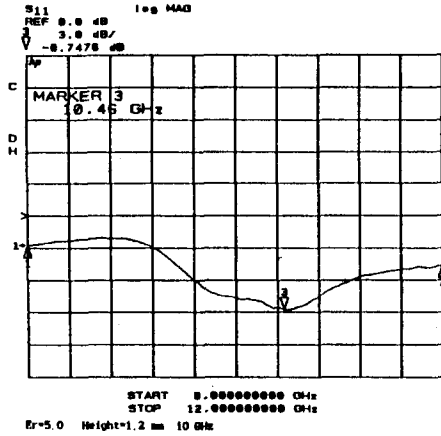


그림 27. $\epsilon_r=5.0$, $h=1.2$ mm, 10GHz 일 때의 S_{11}
Fig. 27. S_{11} when $\epsilon_r=5.0$, $h=1.2$ mm, 10 GHz.

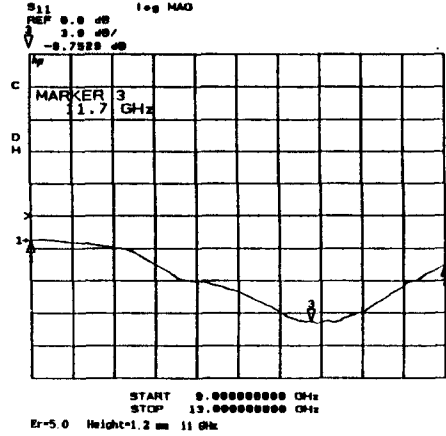


그림 28. $\epsilon_r=5.0$, $h=1.2$ mm, 11 GHz 일 때의 S_{11}
Fig. 28. S_{11} when $\epsilon_r=5.0$, $h=1.2$ mm, 11 GHz.

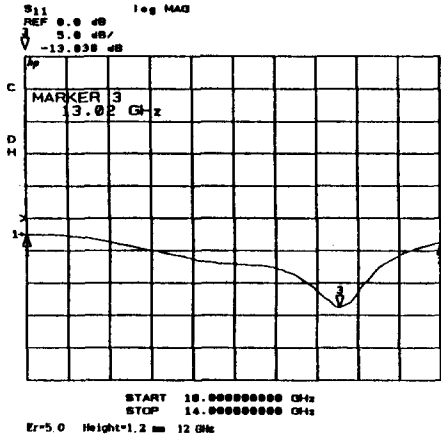


그림 29. $\epsilon_r=5.0$, $h=1.2$ mm, 12 GHz 일 때의 S_{11}
Fig. 29. S_{11} when $\epsilon_r=5.0$, $h=1.2$ mm, 12 GHz.

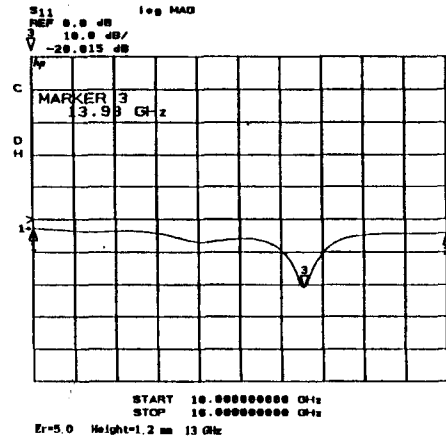


그림 30. $\epsilon_r=5.0$, $h=1.2$ mm, 13 GHz 일 때의 S_{11}
Fig. 30. S_{11} when $\epsilon_r=5.0$, $h=1.2$ mm, 13 GHz.

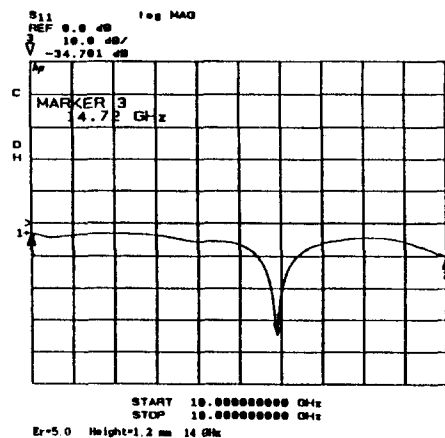


그림 31. $\epsilon_r=5.0$, $h=1.2$ mm, 14 GHz 일 때의 S_{11}
Fig. 31. S_{11} when $\epsilon_r=5.0$, $h=1.2$ mm, 14 GHz.

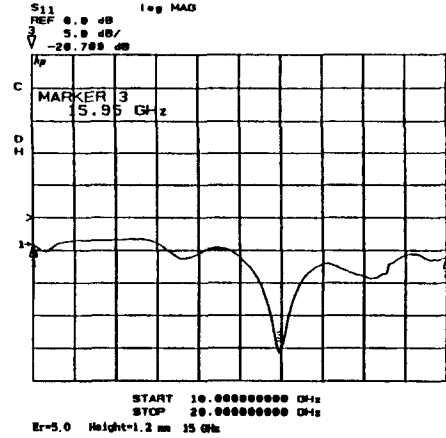


그림 32. $\epsilon_r=5.0$, $h=1.2$ mm, 15 GHz 일 때의 S_{11}
Fig. 32. S_{11} when $\epsilon_r=5.0$, $h=1.2$ mm, 15 GHz.

표 9. $\epsilon_r=5.0$, height=1.2 mm 기판상에 제작한 패치 안테나들의 공진 주파수, %오차 및 return loss

Table 9. Resonant frequency, %error and return loss of patch antennas fabricated on the substrate of $\epsilon_r=5.0$, height=1.2 mm.

설계 주파수 (GHz)	패치 안테나 ($\epsilon_r=5.0$ height=1.2 mm)		
	공진 주파수	%오차	return loss
7	7.07	1.01	12.16
8	8.05	0.63	11.16
9	9.01	0.11	11.44
10	10.46	4.60	8.75
11	11.70	6.36	9.75
12	13.02	8.50	13.84
13	13.93	7.15	20.82
14	14.72	5.14	34.70
15	15.95	6.33	20.71

4. $\epsilon_r=5.0$, height=2.4 mm 기판상의 패치 안테나 7 ~ 15 GHz 범위의 설계 공진 주파수를 갖는 패치 안테나 9개의 측정된 S_{11} 은 그림 33 ~ 그림 41과 같고 측정된 공진 주파수, %오차, return loss를 표 10에 나타냈다.

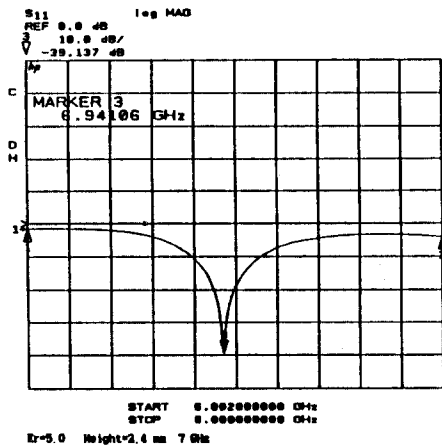


그림 33. $\epsilon_r=5.0$, h=2.4 mm, 7 GHz 일 때의 S_{11}
Fig. 33. S_{11} when $\epsilon_r=5.0$, h=2.4 mm, 7 GHz.

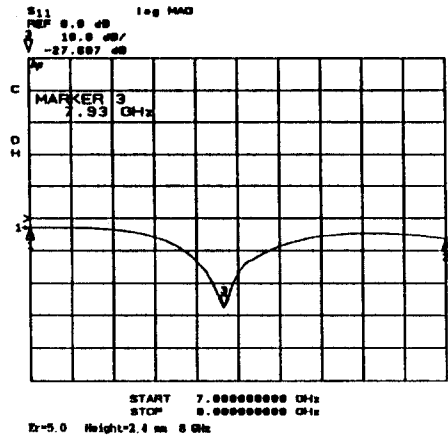


그림 34. $\epsilon_r=5.0$, h=2.4 mm, 8 GHz 일 때의 S_{11}
Fig. 34. S_{11} when $\epsilon_r=5.0$, h=2.4 mm, 8 GHz.

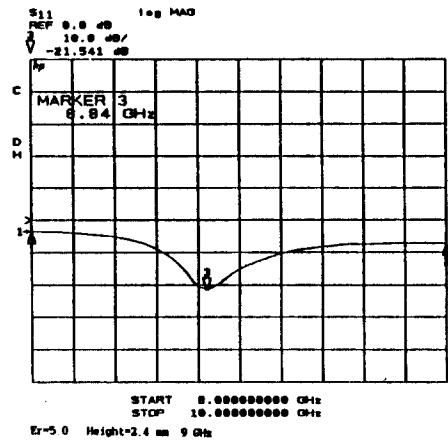


그림 35. $\epsilon_r=5.0$, h=2.4 mm, 9 GHz 일 때의 S_{11}
Fig. 35. S_{11} when $\epsilon_r=5.0$, h=2.4 mm, 9 GHz.

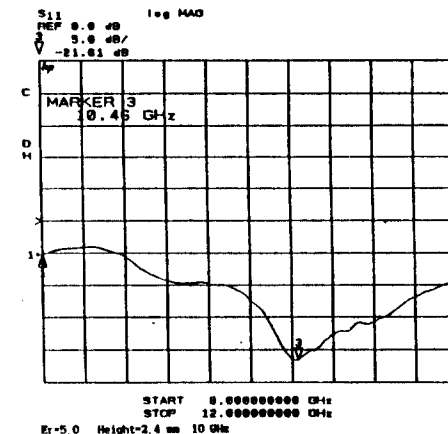


그림 36. $\epsilon_r=5.0$, h=2.4 mm, 10GHz 일 때의 S_{11}
Fig. 36. S_{11} when $\epsilon_r=5.0$, h=2.4 mm, 10GHz.

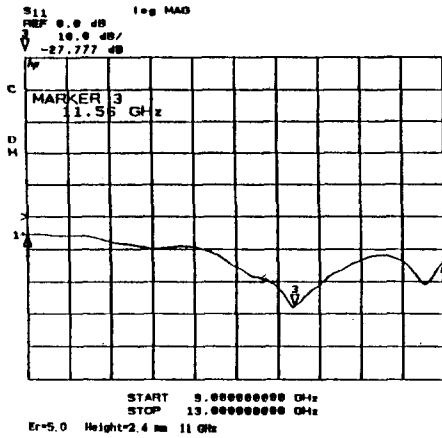


그림 37. $\epsilon_r=5.0$, $h=2.4$ mm, 11 GHz 일 때의 S_{11}
Fig. 37. S_{11} when $\epsilon_r=5.0$, $h=2.4$ mm, 11 GHz.

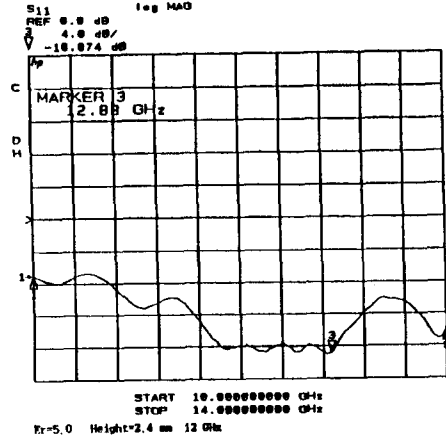


그림 38. $\epsilon_r=5.4$, $h=1.2$ mm, 12 GHz 일 때의 S_{11}
Fig. 38. S_{11} when $\epsilon_r=5.4$, $h=1.2$ mm, 12 GHz.

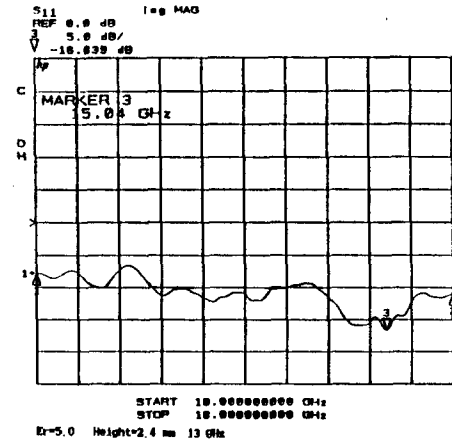


그림 39. $\epsilon_r=5.0$, $h=2.4$ mm, 13 GHz 일 때의 S_{11}
Fig. 39. S_{11} when $\epsilon_r=5.0$, $h=2.4$ mm, 13 GHz.

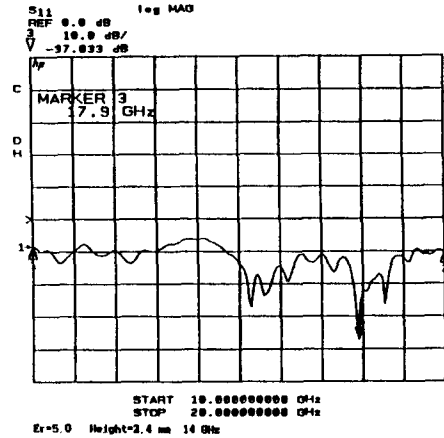


그림 40. $\epsilon_r=5.4$, $h=1.2$ mm, 14 GHz 일 때의 S_{11}
Fig. 40. S_{11} when $\epsilon_r=5.4$, $h=1.2$ mm, 14 GHz.

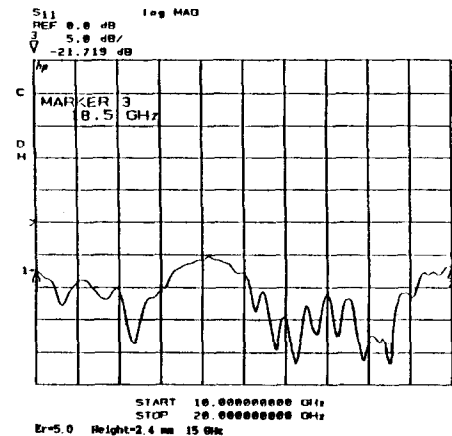


그림 41. $\epsilon_r=5.0$, $h=2.4$ mm, 15GHz 일 때의 S_{11}
Fig. 41. S_{11} when $\epsilon_r=5.0$, $h=2.4$ mm, 15GHz.

표 10. $\epsilon_r=5.0$, height=2.4 mm 기관상에 제작한 패치 안테나들의 공진 주파수, %오차 및 return loss

Table 10. Resonant frequency, %error and return loss of patch antennas fabricated on the substrate of $\epsilon_r=5.0$, height=2.4 mm.

실계 주파수 (GHz)	패치 안테나 ($\epsilon_r=5.0$ height=2.4 mm)		
	공진 주파수	%오차	return loss
7	6.94	-0.84	39.14
8	7.93	-0.88	27.61
9	8.84	-1.78	21.54
10	10.46	4.60	21.61
11	11.56	5.09	27.78
12	12.88	7.33	16.87
13	15.04	15.69	16.64
14	17.9	27.86	37.03
15	18.5	23.33	21.72

5. $\epsilon_r=10.0$, height=0.67 mm 기판상의 패치 안테나

7 ~ 15 GHz 범위의 설계 공진 주파수를 갖는 패치 안테나 7개의 측정된 S_{11} 은 그림 42 ~ 그림 48과 같이 측정된 공진 주파수, %오차, return loss를 표 11에 나타냈다.

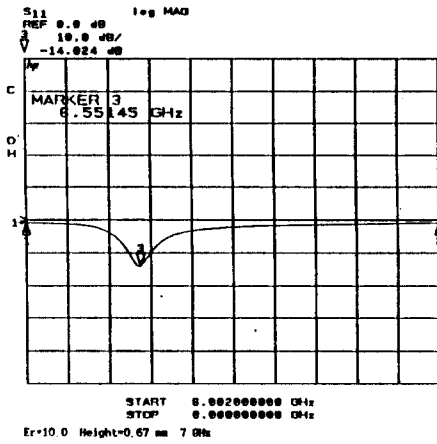


그림 42. $\epsilon_r=10.0$, $h=0.67$ mm, 7 GHz일 때의 S_{11}
Fig. 42. S_{11} when $\epsilon_r=10.0$, $h=0.67$ mm, 7GHz.

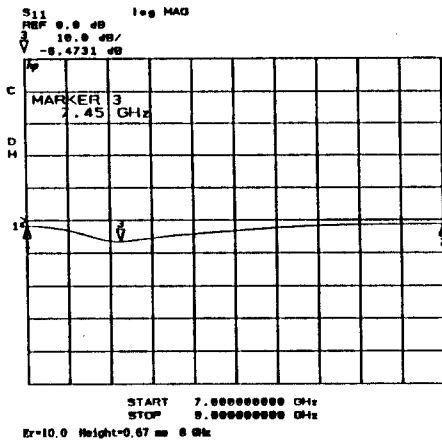


그림 43. $\epsilon_r=10.0$, $h=0.67$ mm, 8 GHz일 때의 S_{11}
Fig. 43. S_{11} when $\epsilon_r=10.0$, $h=0.67$ mm, 8GHz.

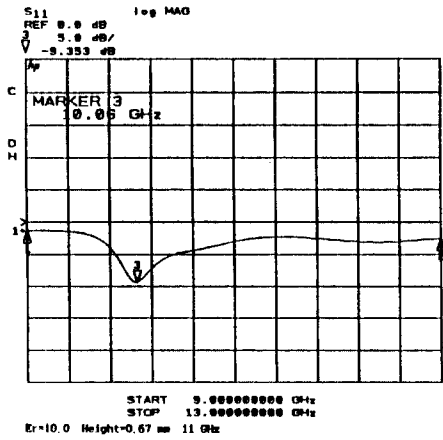


그림 44. $\epsilon_r=10.0$, $h=0.67$ mm, 11 GHz일 때의 S_{11}
Fig. 44. S_{11} when $\epsilon_r=10.0$, $h=0.67$ mm, 11GHz.

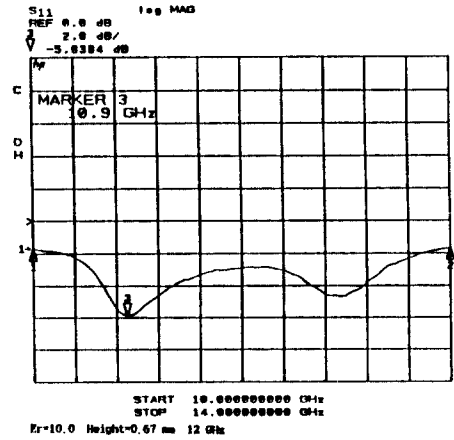


그림 45. $\epsilon_r=10.0$, $h=0.67$ mm, 12 GHz일 때의 S_{11}
Fig. 45. S_{11} when $\epsilon_r=10.0$, $h=0.67$ mm, 12GHz.

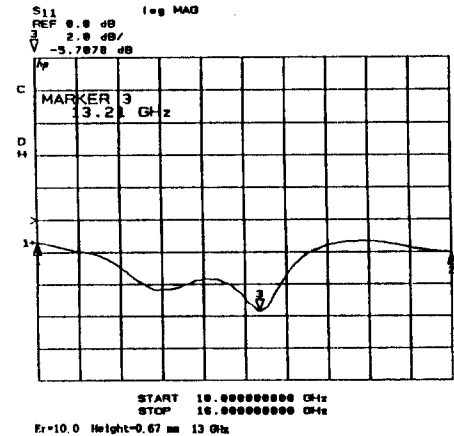


그림 46. $\epsilon_r=10.0$, $h=0.67$ mm, 13 GHz일 때의 S_{11}
Fig. 46. S_{11} when $\epsilon_r=10.0$, $h=0.67$ mm, 13GHz.

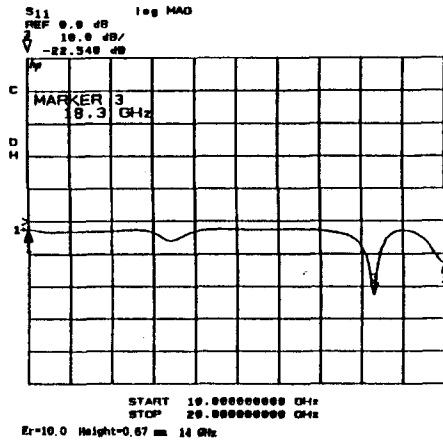


그림 47. $\epsilon_r=10.0$, $h=0.67$ mm, 14 GHz일 때의 S_{11}
 Fig. 47. S_{11} when $\epsilon_r=10.0$, $h=0.67$ mm, 14GHz.

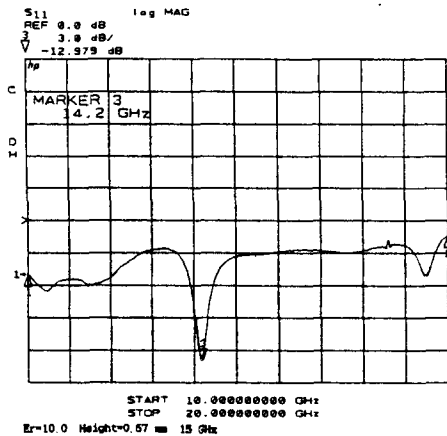


그림 48. $\epsilon_r=10.0$, $h=0.67$ mm, 15 GHz일 때의 S_{11}
 Fig. 48. S_{11} when $\epsilon_r=10.0$, $h=0.67$ mm, 15GHz.

표 11. $\epsilon_r=10.0$, height=0.67 mm 기판상에 제작한 패치 안테나들의 공진 주파수, %오차 및 return loss

Table 11. Resonant frequency, %error and return loss of patch antennas fabricated on the substrate of $\epsilon_r=10.0$, height=0.67 mm.

설계 주파수 (GHz)	패치 안테나 ($\epsilon_r=10.0$ height=0.67 mm)		
	공진 주파수	%오차	return loss
7	6.55	-6.41	14.02
8	7.45	-6.87	6.47
9	-	-	-
10	-	-	-
11	10.06	-8.55	9.35
12	10.9	-9.17	5.84
13	13.21	1.62	5.71
14	18.3	30.71	22.55
15	14.2	-5.33	12.98

측정 결과 공진 주파수와 설계 주파수와의 % 오차는 $\epsilon_r=2.15$ 에서 $h=0.8$ mm는 14 GHz(3.71%)를 제외하고는 모두 3% 미만으로서 매우 만족한 결과를 얻었으며, $h=1.6$ mm에서는 3% 미만은 7, 8, 9, 10 GHz, 5% 미만은 11 GHz로 그 이상의 주파수에서는 6 ~ 7 % 로 나타났다. 또한 $\epsilon_r=5.0$ 에서 $h=1.2$ mm는 7, 8, 9 GHz에서 1% 범위로 매우 만족한 결과를 얻었고 10, 14 GHz는 5% 범위, 그 외의 주파수에서는 6 ~ 8 %의 오차를 나타냈으며, $h=2.4$ mm에서는 7, 8 GHz는 1% 미만, 9 GHz는 2%, 10, 11 GHz에서는 5% 범위, 12 GHz는 7%, 그 외의 주파수에서는 15% 이상으로 오차 범위가 너무 컸다. $\epsilon_r=10.0$ $h=0.67$ mm 에서는 13 GHz만 2% 미만의 결과를 얻었다.

return loss는 10 dB(VSWR=2) 이상은 $\epsilon_r=2.15$, $h=0.8$ mm에서는 7, 8, 9, 10 GHz, $h=1.6$ mm에서는 전체가 10 dB 이상이였으며 특히 14, 15 GHz는 30 dB 이상, 12, 13 GHz는 20 dB 범위로 매우 양호하였다. 또한 $\epsilon_r=5.0$, $h=1.2$ mm에서는 10 GHz만 10 dB를 약간 못 미쳤으며 13, 14, 15 GHz의 높은 주파수 범위에서는 20 dB 이상으로 양호하였으며 $h=2.4$ mm에서는 전 주파수 대역에서 16 dB 이상 40 dB 미만으로 매우 양호하였다. $\epsilon_r=10.0$, $h=0.67$ mm에서는 8 ~ 13 GHz까지 10 dB 미만으로 나타났다.

표 12. $\epsilon_r=2.15$, height=0.8 mm 기판상 패치 안테나들의 측정치수

Table 12. Measured dimension of patch antennas on substrate of $\epsilon_r=2.15$, height=0.8 mm.

주파수 (GHz)	패치 안테나		$\lambda/4$ 변환기		50Ω 선로 폭 (mm)	50Ω 선로 길이 (mm)	전기적 두께(λ_0)
	폭 (mm)	길이 (mm)	폭 (mm)	길이 (mm)			
7	16.979	14.183	1.028	7.388	2.548	16.606	0.019
8	14.918	12.304	0.989	6.506	2.543	14.575	0.021
9	13.278	10.776	0.998	5.966	2.547	13.189	0.024
10	11.942	9.701	0.975	5.236	2.537	11.931	0.027
11	10.882	8.751	0.981	4.763	2.546	10.877	0.029
12	9.952	7.957	0.988	4.383	2.543	9.952	0.032
13	9.204	7.302	0.971	4.049	2.566	9.179	0.035
14	8.538	6.726	0.989	3.752	2.551	8.512	0.037
15	7.949	6.233	1.004	3.509	2.556	7.978	0.040

그리고 $\epsilon_r=2.15$ 에서 기관의 두께가 2배이면 12, 13, 14, 15 GHz에서 % 오차가 약 2배로 커졌으며 ϵ_r

=5.0에서도 두께가 2배일 때 13, 14, 15 GHz에서 % 오차가 2배 이상으로 나타났다. 특히 전기적 두께가 $0.088 \lambda_0$ 이상에서는 동작 상태가 매우 불안정하였다. ($\epsilon_r=5.0, h=2.4$ mm의 11 GHz 이상 15 GHz까지)

설계치와 측정치와의 차이는 설계식의 부정확성에 대부분 기인하지만 더불어 드라이 필름에서 구현 가능한 최소 선폭, 포토 에칭에 따른 에지 처리, 측정 횟수, 측정 시의 주변환경문제등도 무시할 수 없는 것으로 나타났다. 표 12 ~ 표 16은 표 2 ~ 표 6에 나타난 패치안테나들의 실측치수로서 BELDEX SM-25 SCM(Scale Counter Microscope)을 이용하여 측정하였다.

표 13. $\epsilon_r=2.15, height=1.6$ mm 기판상 패치 안테나들의 측정치수

Table 13. Measured dimension of patch antennas on substrate of $\epsilon_r=2.15, height=1.6$ mm.

주파수 (GHz)	패치 안테나		$\lambda/4$ 변환기		50 Ω 선로 폭	50 Ω 선로 길이	전기적 두께(λ_0)
	폭 (mm)	길이 (mm)	폭 (mm)	길이 (mm)	(mm)	(mm)	
7	16.954	13.466	1.932	7.565	4.892	17.098	0.037
8	14.927	11.470	1.940	6.598	5.057	14.843	0.043
9	13.299	10.153	1.954	5.875	5.081	13.282	0.048
10	11.964	8.921	1.943	5.282	5.053	11.949	0.053
11	10.871	8.050	1.970	4.797	5.061	10.838	0.059
12	9.952	7.245	1.956	4.394	5.080	9.955	0.064
13	9.202	6.576	1.967	4.071	5.077	9.202	0.069
14	8.537	5.990	1.954	3.777	5.072	8.545	0.075
15	7.975	5.549	1.959	3.518	5.068	7.963	0.080

표 14. $\epsilon_r=5.0, height=1.2$ mm 기판상 패치 안테나들의 측정치수

Table 14. Measured dimension of patch antennas on substrate of $\epsilon_r=5.0, height=1.2$ mm.

주파수 (GHz)	패치 안테나		$\lambda/4$ 변환기		50 Ω 선로 폭	50 Ω 선로 길이	전기적 두께(λ_0)
	폭 (mm)	길이 (mm)	폭 (mm)	길이 (mm)	(mm)	(mm)	
7	12.356	9.079	0.451	5.077	2.099	12.408	0.029
8	10.863	7.834	0.440	4.447	2.079	10.769	0.032
9	9.640	6.879	0.432	3.982	2.082	9.606	0.036
10	8.684	6.017	0.451	3.421	2.096	8.709	0.040
11	7.925	5.470	0.452	3.221	2.253	7.456	0.044
12	7.208	4.945	0.437	2.966	2.077	6.973	0.048
13	6.666	4.470	0.429	2.768	2.077	6.613	0.052
14	6.235	4.085	0.438	2.547	2.119	6.216	0.056
15	5.789	3.755	0.438	2.386	2.105	5.777	0.060

표 15. $\epsilon_r=5.0, height=2.4$ mm 기판상 패치 안테나들의 측정치수

Table 15. Measured dimension of patch antennas on substrate of $\epsilon_r=5.0, height=2.4$ mm.

주파수 (GHz)	패치 안테나		$\lambda/4$ 변환기		50 Ω 선로 폭	50 Ω 선로 길이	전기적 두께(λ_0)
	폭 (mm)	길이 (mm)	폭 (mm)	길이 (mm)	(mm)	(mm)	
7	12.382	8.210	0.876	5.087	4.176	12.374	0.056
8	10.836	6.955	0.864	4.494	4.172	10.762	0.064
9	9.638	5.997	0.872	3.982	4.183	9.408	0.072
10	8.650	5.151	0.836	3.603	4.157	8.652	0.080
11	7.870	4.547	0.838	3.241	4.155	7.390	0.088
12	7.216	4.022	0.830	2.970	4.109	7.221	0.096
13	6.657	3.575	0.840	2.746	4.168	6.644	0.104
14	6.125	3.142	0.861	2.513	4.184	6.204	0.112
15	5.788	2.878	0.833	2.341	4.179	5.773	0.120

표 16. $\epsilon_r=10.0, height=0.67$ mm 기판상 패치 안테나들의 측정치수

Table 16. Measured dimension of patch antennas on substrate of $\epsilon_r=10.0, height=0.67$ mm.

주파수 (GHz)	패치 안테나		$\lambda/4$ 변환기		50 Ω 선로 폭	50 Ω 선로 길이	전기적 두께(λ_0)
	폭 (mm)	길이 (mm)	폭 (mm)	길이 (mm)	(mm)	(mm)	
7	9.212	6.672	0.129	3.402	0.751	9.047	0.016
8	8.082	5.811	0.123	3.147	0.717	7.970	0.018
9	7.175	5.139	0.106	-	(0.708)	(6.964)	0.020
10	6.512	4.548	0.146	-	(0.775)	(6.706)	0.022
11	5.928	4.177	0.164	2.221	0.758	5.893	0.025
12	5.458	3.801	0.162	2.044	0.742	5.407	0.027
13	5.026	3.482	0.166	1.871	0.776	4.824	0.029
14	4.705	3.218	0.174	1.884	0.761	4.545	0.031
15	4.381	2.999	0.142	1.721	0.703	4.212	0.034

표 11에서 설계 주파수가 9, 10 GHz인 스트립 안테나의 측정치는 안테나 손상으로 인하여 제외하였다

V. 結 論

본 연구에서는 여러 가지 두께의 저·고유전율을 가진 테프론기판 (기판두께 : 0.6 ~ 2.4 mm, 유전율 : 2.15 ~ 10.0) 위에 45개의 구형 마이크로 스트립 패치 안테나를 제작하고, $\lambda/4$ 변환기를 이용한 스트립 라인 급전 법을 이용하여 안테나 각각의 return loss($1/S_{11}$) 및 공진 주파수를 측정하여 유전율 및 진

기적 두께가 미치는 영향에 관하여 고찰하였다.

이 때 기판의 전기적 두께가 $0.060 \lambda_0$ 이상인 경우 return loss 는 전반적으로 20 dB 이상으로 아주 좋게 나왔으나 반면에 공진 특성은 다소 불안정하였으며 특히 $0.088 \lambda_0$ 이상인 경우 더욱 불안정하였다. 그 결과 $\epsilon_r=5.0$, $h=2.4$ mm 인 기판을 사용했을 경우 return loss 는 12, 13 GHz 인 경우를 제외하고서는 전역에 걸쳐 20 dB 이상으로 그리고 공진 주파수는 7 ~ 9 GHz의 범위에서 %오차가 ± 2 % 미만으로 가장 좋은 것으로 나타났다.

이 후 여러 종류의 유전율과 두께를 가진 기판들을 이용하여 각 기판의 사용 가능 주파수 범위 및 공진 특성에 관한 고찰이 필요하다고 생각되어진다.

참 고 문 헌

- [1] D.H. Schaubert and K.S. Yngvesson, "Experimental study of a microstrip array on high permittivity substrate", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol.AP-34, no.1, pp.92-97, Jan. 1986.
- [2] D.M. Pozar, "Consideration for millimeterwave printed antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol.AP-31, no.5, pp.740-747, Sept. 1983.
- [3] E. Chang, S.A. Long and W.F. Richards, "An experimental investigation of electrically thick rectangular microstrip antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-34, no.6, pp.767-772, June 1986.
- [4] I.J. Bahl, P. Bhartia and S.S. Stuchly, "Design of microstrip antennas covered with a dielectric layer", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol.AP-30, no.2, pp.314-318, Mar. 1982.
- [5] F. Gardiol, *Introduction to microwaves*, Artech House, pp.90-105, 1984.
- [6] M.D. Deshpande and M.C. Bailey, "Input impedance of microstrip antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol.AP-30, no.4, pp.645-650, July 1982.
- [7] D.M. Pozar, "Input impedance and mutual coupling of rectangular microstrip antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol.AP-30, no.6, pp.1191-1196, Nov. 1982.
- [8] K.R. Carver and J.W. Mink, "Microstrip antenna technology", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol.AP-29, no.1, pp.2-24, Jan. 1981.
- [9] K.C. Gupta and M.D. Abouzahra, *Analysis and Design of Planar Microwave Components*, IEEE PRESS, pp.364-378, 1994.
- [10] W.F. Richards, Y.T. Lo and D.D. Harrison, "An improved theory for microstrip antennas and applications", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol.AP-29, no.1, pp.38-46, Jan. 1981.
- [11] Y.T. Lo, D. Solomon and W.F. Richards, "Theory and experiment on microstrip antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol.AP-27, no.2, pp.137-145, Mar. 1979.
- [12] E.H. Newman and P. Tulyathan, "Analysis of microstrip antennas using moment methods", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol.AP-29, no.1, pp.47-53, Jan. 1981.
- [13] Matthew and N.O. Sadiku, *Numerical Techniques in Electromagnetics*, CRC, pp.501-570, 1992.
- [14] A. Reineix and B. Jeco, "Analysis of Microstrip Patch Antennas Using Finite Difference Time Domain Method", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-37, no.11, pp.1361-1369, Nov. 1989.
- [15] R.F. Harrington, *Time-Harmonic Electromagnetic Fields*, McGraw-Hill, pp. 180-186, 1961.
- [16] D. Roddy, *Microwave technology*, Prentice-Hall, pp.141-150, 1986
- [17] D.M. Pozar and S.M. Voda, "A rigorous analysis of a microstripline fed patch antenna", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol.AP-35, no.12, pp.1343-1350, Dec. 1987.
- [18] G.D. Vendelin, A.M. Pavio and U.L.

Rohde, *Microwave Circuit Design Using Nonlinear Techniques*, John Wiley &

Sons, pp.37-44, 1990.

저 자 소 개



朴 成 敎(正會員)

1955년 8월 12일생. 1981년 2월 조선대학교 공과대학 전자공학과 졸업(학사). 1984년 8월 조선대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1996년 2월 조선대학교 대학원 전기공학과(전자공학 전공)졸업(박사). 1985년 1월 ~ 1994년 2월 조선대학교 전자공학과 조교. 1994년 3월 ~ 현재 조선대학교 전자공학과 강사. 주관심분야는 마이크로스트립 안테나 해석 및 응용 등임



金 俊 炫(終身會員)

1933년 1월 7일생. 1956년 3월 21일 조선대학교 공과대학 전기공학과 졸업(학사). 1959년 3월 15일 조선대학교 대학원 졸업(석사). 1986년 2월 22일 숭실대학교 대학원 졸업(박사). 1996년 현재 조선대학교 전자공학과 교수. 주관심분야는 제어계측, 신호처리 등임



朴 鍾 伯(正會員)

1945년 3월 16일생. 1971년 2월 조선대학교 공과대학 전기공학과 졸업(학사). 1980년 9월. 조선대학교 대학원 졸업(석사). 1972년 3월 ~ 현재 : 조선대학교 전자공학과 교수. 주관심분야는 전자회로 설계, 마이크로웨이브 공학 등임