

# 고조파 억압을 위한 단락핀-슬롯 적재 안테나에 관한 연구

## A Study on a Shorting Pin and Slot-Loaded Antenna for Harmonic Suppression

권세웅 · 이성호 · 이병무 · 김형락 · 윤영중

Se-Woong Kwon · Sung-Ho Lee · Byung-Mu Lee · Hyung-Rak Kim · Young-Joong Yoon

### 요 약

본 논문에서는 안테나의 고조파 방사를 억압하여 고조파 억압 여파기의 필요성을 제거한 단락핀-슬롯 적재 안테나를 설계, 제작하였다. 인셋 급전 방식의 구형 패치 안테나에 단락핀과 슬롯을 적재하여 고조파 억압 특성을 얻어내었다. 구형 패치 안테나의 공동 모델을 이용하여 단락핀과 슬롯의 역할을 해석하였으며 단락핀과 슬롯에 의한 구형 패치 안테나의 특성 변화에 대해 기술하였다. 제안된 안테나는 중심 주파수 5.8 GHz에서 7 dBi의 이득을 나타내었으며 2차, 3차 고조파에서 일반 구형 패치 안테나와 비교하여 안테나의 이득이 -3.3 dB, -14.3 dB의 억압 특성을 나타냄을 확인하였다.

### Abstract

In this paper, a shorting pin and slot-loaded microstrip patch antenna is designed and fabricated. A shorting pin and slots are used for harmonic suppression on an inset fed antenna. A shorting pin and slot properties are analyzed by cavity model of the rectangular patch and the characteristics of the designed antenna are described. The designed antenna provides a gain of 7 dBi at the fundamental frequency, 5.8 GHz. In the second and third harmonic frequencies, the proposed antenna has gain suppression properties of -3.3 dB and -14.3 dB at each harmonic frequency, respectively.

Key words : Harmonic Suppression, Microstrip Antenna, Inset-fed Microstrip Antenna

### I. 서 론

마이크로파 통신 시스템에서 고조파는 능동 회로에 의해 생성되며 시스템 상호간 문제를 일으킬 수 있기 때문에 고조파 억압 회로의 내장이 필수적이다. 특히 고출력 증폭기가 내장된 능동안테나의 경우 안테나에 비선형 특성을 갖는 증폭기가 직접 연결되기 때문에 능동 안테나의 고조파 출력을 억압하기 위한 방안이 필요하다. 일반적인 시스템 설계에서 가장 간편하게 이용할 수 있는 고조파 억압 방

법으로는 안테나와 고출력 증폭기 사이에 고조파 억압 여파기를 위치시켜 고출력 증폭기의 고조파 성분을 억제한다. 그러나 고조파 억압 여파기의 경우 다른 소자에 비해 MMIC화가 어려워 크기가 크며 가격이 높아 저가, 경량 시스템의 설계에는 적합하지 않은 특성을 갖는다.

고조파 억압 여파기를 제거하여 저가 시스템에 적합하며 능동 안테나에서 고조파의 방사를 줄이기 위한 안테나의 연구가 진행되고 있으며 이에 더해 안테나가 고효율 증폭기를 위한 고조파 튜닝 부하

「본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2000-00270)지원으로 수행되었음.  
연세대학교 전기전자공학과(Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University)  
· 논문 번호 : 20020404-044  
· 수정완료일자 : 2002년 7월 18일

로 동작하여 고조파 억압과 동시에 고효율 능동 집적 안테나에 관한 연구도 수행되고 있다<sup>[11]-[14]</sup>. 기존의 연구는 단락핀 안테나, 섹터 안테나, PBG 안테나, H-형태 안테나 등 능동 회로와 결합하기 위한 여러 형태의 고조파 억압 안테나들이 제안되었으며 일부 안테나에서는 고조파 튜닝 회로의 역할까지 가능한 결과가 보고되었다. 그러나 안테나에 고조파 억압 회로를 내장한 경우 2차 고조파 또는 3차 고조파에 대해서만 튜닝을 하였으며 동시에 억압 가능한 경우 크기 문제가 발생한다. 본 연구에서는 구형 패치 안테나에 인셋 구조를 기본으로 단락핀과 슬롯을 적재하여 기존의 연구에 더해 크기의 증가 없이 2, 3차 고조파를 동시에 억압 가능하며 고조파 억압 여파기뿐 아니라 고효율 증폭기를 위한 고조파 튜닝 회로로 동작하는 안테나를 제안한다.

본 논문에서는 구형 패치 안테나의 공동 모델을 이용하여 단락핀과 슬롯의 역할을 해석하였으며 단락핀과 슬롯에 의한 구형 패치 안테나의 특성 변화에 대해 기술하였다. 또한 결과에서는 제안된 안테나의 반사계수 특성과 방사 이득 특성을 일반 구형 패치 안테나와 비교하여 고조파 억압 특성을 확인하였으며 제안된 안테나의 임피던스 특성으로부터 안테나가 고조파에서 단락 또는 개방 회로의 특성을 나타냄을 확인하여 본 안테나가 고효율 증폭기의 고조파 튜닝 회로로 동작하여 고효율 능동 집적 안테나가 될 수 있음을 확인하였다.

## II. 이 론

마이크로스트립 안테나의 공동 모델에 의하면 안테나는 공동으로 가정될 수 있으며 안테나의 공진은 공동에서의 모드로 설명될 수 있다. 공동 모델에서 공진 주파수는 다음과 같이 결정될 수 있다<sup>[15]</sup>.

$$f_{r, mnp} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{L}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{W}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{h}\right)^2} \quad (1)$$

여기서  $L$ 은 안테나의 길이,  $W$ 는 안테나의 폭,  $h$ 는 안테나의 높이이며  $m, n, p$ 는 정수이다.

5.8 GHz 동축급전 구형 패치 안테나를 표 1과 같이 설계하여 시뮬레이션한 결과 그림 1과 같은 고조파 공진 특성을 관찰할 수 있다. 이때 5.8 GHz의

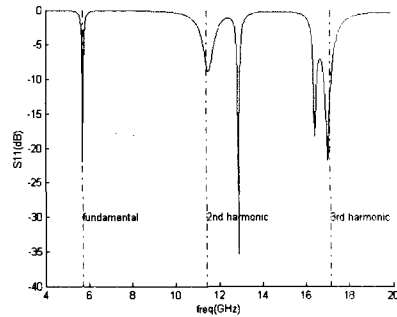


그림 1. 구형 패치 안테나의 반사 손실  
Fig. 1. Return loss of the rectangular patch.

표 1. 구형 패치 안테나의 설계 파라미터  
Table 1. Designed Parameters of the rectangular patch.

구분	분류	길이(mm)
패치	폭( $W$ )	16.24
	길이( $L$ )	16.24
급전점	위치( $L'$ )	5.7
	동축선 지름( $D$ )	0.5

고조파 성분에 해당하는 공진 이외에 13 GHz와 16.5 GHz에서 공진을 관찰할 수 있다. 위 식 (1)에서 높이에 의한 공진  $p$ 를 0으로 결정하고 길이와 폭을 그림 1과 같은 반사 손실을 나타내는 구형 패치 안테나와 같도록 설정하였다.

이에 대한 공진  $m$ 과  $n$ 을 변화시켜가며 결정된 공진 모드를 나타내면 표 2와 같다. 표 2로부터 가장 낮은 공진 주파수는  $TM_{010}$ 모드의 5.84 GHz이고 길이 성분에 대하여 각각 11.68 GHz, 17.52 GHz의 고조파 공진이 생성되는 것을 확인할 수 있다. 공동

표 2. 공동 모델에 의한 구형 패치 안테나의 공진 주파수

Table 2. Resonant frequencies of the rectangular patch on a cavity model.

		폭에 의한 공진 모드			
		$n=0$	$n=1$	$n=2$	$n=3$
길이에 의한 공진 모드	$m=0$	N/A	5.84	11.68	17.52
	$m=1$	5.84	8.26	13.06	18.47
	$m=2$	11.68	13.06	16.52	21.06
	$m=3$	17.52	18.47	21.06	24.78

모델에서 프린징 효과를 고려하지 않았기 때문에 실제보다 공진주파수가 약간 위쪽으로 이동하였다. 구형 패치 안테나에서 길이와 폭이 공진을 결정하는 모드의 공진은 8.26 GHz, 13.06 GHz, 16.52 GHz, 18.47 GHz, 21.06 GHz, 24.78 GHz에서 생성된 것을 확인할 수 있다.

이 결과로부터 13 GHz에서 공진은  $TM_{210}$  모드 또는  $TM_{120}$  모드에 의한 공진이며 16.5 GHz에서 공진은  $TM_{220}$  모드에 의한 공진임을 확인할 수 있다. 그러나 능동 소자에 의해 생성되는 고조파는  $TM_{010}$ ,  $TM_{020}$ ,  $TM_{030}$  모드에 집중되어 있으므로 해당 모드에서 능동 소자에 의해 생성되는 고조파에 해당하는 모드의 제거가 중요하다.

단락판 또는 슬롯 적재 방식의 안테나는 이중 대역 안테나의 제작에 많이 이용된다. 짝수 모드의 전류 최소점에 해당하는 중심선에 위치한 단락판은 그 전기적 특성에 의해 전류 최소점을 전류 최대점으로 변화시켜 이중 모드 특성을 얻어내며 슬롯은 홀수 모드의 전류 분포를 변화시켜 이중 대역 특성을 얻어낸다. 슬롯은 패치에 방사면에 가깝게 적재하였을 때, 전류 최소점 근처에 있기 때문에  $TM_{010}$  공진 주파수와 관련 방사패턴은 많이 변화시키지 않는다. 그러나  $TM_{030}$  모드와는 강하게 작용하여 이 모드에서 중간의 전류 로브는 편편해지고 다른 전류 로브도 변화된다. 이 전류 분포는  $TM_{010}$  모드와 유사해지고 비슷한 방사패턴이 생성된다. 따라서  $TM_{030}$  모드의 공진 주파수를 낮추어  $TM_{010}$  모드와 비슷하게 동작하도록 한다. 주파수비는 슬롯의 수, 위치, 길이에 의존하며 슬롯의 위치가 방사면 근처에 있을 때 가장 낮은 주파수비를 보인다. 이것은 슬롯이 자체가 최대가 되는 위치에 적재되기 때문이다. 슬롯 길이의 효과는 길이가 길어질수록 증가한다. 대칭적으로 적재된 슬롯은 낮은 교차편파를 생성한다<sup>[6]</sup>. 본 논문에서는 단락판과 슬롯의 특성을 조합하여 짝수와 홀수 모드를 동시에 변화시켜 고차 모드의 여기를 막아 고조파 억압 특성을 얻어낸다.

단락판과 슬롯의 효과를 확인하기 위해 동축 급전 방식의 구형 패치 안테나, 단락판 안테나, 슬롯 적재 안테나를 Ensemble 5.1로 시뮬레이션하여 전류 분포를 확인하였다. 그림 2에는 일반 구형 패치 안테나의 전류 분포가 기본 주파수 및 2, 3차 고조

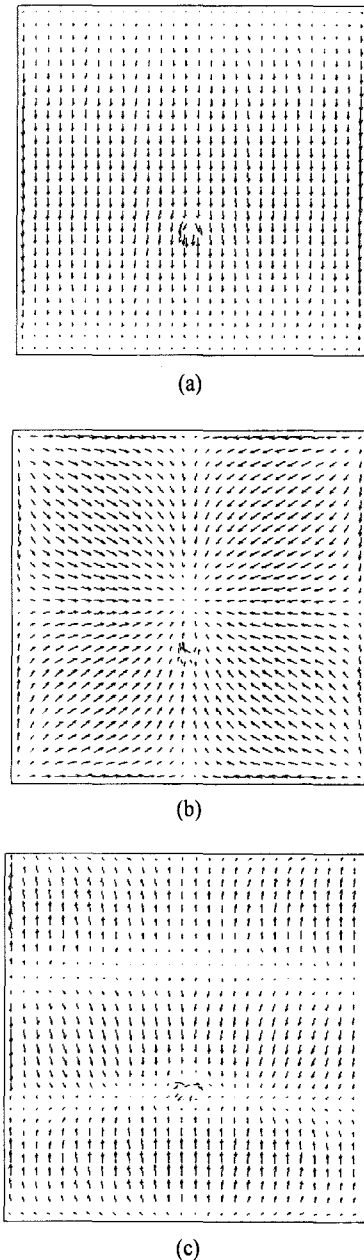
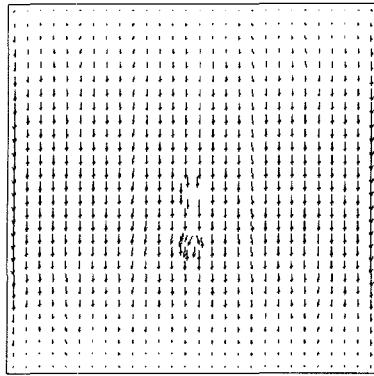


그림 2. 구형 패치 안테나의 전류 분포

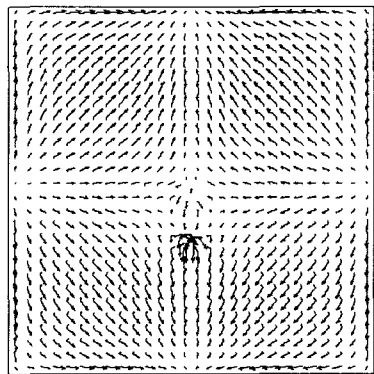
- (a) 기본 주파수(5.8 GHz)
- (b) 2차 고조파(11.6 GHz)
- (c) 3차 고조파(17.4 GHz)

Fig. 2. The current distribution of the rectangular patch.

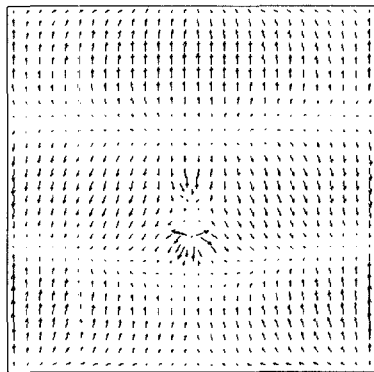
- (a) The fundamental frequency(5.8 GHz)
- (b) The second harmonic(11.6 GHz)
- (c) The third harmonic(17.4 GHz)



(a)



(b)



(c)

그림 3. 단락핀 안테나의 전류 분포

- (a) 기본 주파수(5.8 GHz)
- (b) 2차 고조파(11.6 GHz)
- (c) 3차 고조파(17.4 GHz)

Fig. 3. The current distribution of the shorting pin patch.

- (a) The fundamental frequency(5.8 GHz)
- (b) The second harmonic(11.6 GHz)
- (c) The third harmonic(17.4 GHz)

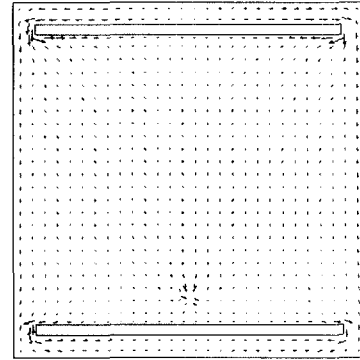


그림 4. 슬롯 적재 안테나의 전류 분포

Fig. 4. Current distribution of the slot-loaded antenna.

파에서 나타나 있으며 그림 3은 단락핀 안테나의 전류 분포가 기본 주파수 및 2, 3차 고조파에서 나타나 있다. 기본 주파수에서 전류 분포는 두 안테나가 서로 유사하며 단락핀의 효과가 거의 없는 것을 확인할 수 있다. 2차 고조파에서는 전류 분포가 기본 주파수와 유사하나 입력부에서 전류 분포가 기본 주파수일 때에 비해 밀집되어 있는 것을 확인할 수 있으며 2차 고조파에서 입력 포트의 전류 분포를 변화시킨다. 3차 고조파에서는 단락핀에 의한 전류 분포 변화는 거의 없는 것을 확인할 수 있다.

구형 패치 안테나에 슬롯을 적재한 경우 그림 4와 같은 전류 분포를 보인다. 슬롯에 의해 공진 주파수가 낮아지며 슬롯 주위에서 슬롯을 따라 흐르는 전류를 관찰할 수 있다. 그림 4를 그림 2(a)와 비교하면 전류가 슬롯 부근에서 슬롯에 의해 상하로 전류가 분리되어 흐르는 것을 확인할 수 있다. 이 특성에 의해 슬롯을 적재한 구형 패치 안테나는 인접한 대역에서 2중 공진 특성을 나타내며 안테나의 전기적 길이가 늘어나기 때문에 공진 주파수가 낮아지게 된다.

### Ⅲ. 안테나 설계

단락핀-슬롯 적재 안테나는 단락핀과 슬롯이 독립적으로 작용한다고 가정하여 설계하며 급전부의 제작 용이성을 위해 인셋 급전 방식을 이용한다. 그림 5에 제안한 단락핀-슬롯 적재 안테나의 형태가

나타나 있다. 그림 5의 안테나는 안테나의 방사면에 슬롯을 적재하였으며 길이  $L$ , 폭  $W$ 를 갖는다. 또한 단락핀의 위치는  $(W/2, L/2)$ 이다. 슬롯의 길이는  $L_s$ 이고 폭은  $W_s$ , 슬롯과 방사면과의 거리는  $D_s$ 로 한다. 급전 방식은 간단하면서도 기생 효과를 최소화할 수 있는 동축 급전 방식을 이용한다. 슬롯 안테나의 변수는 슬롯의 위치, 폭, 길이 등이 있으며 교차편파를 낮추기 위해 양 슬롯을 대칭으로 배열한다. 설계한 안테나는  $\epsilon_r=2.5$ ,  $h=0.508$ ,  $t=0.017$ , loss tangent 0.0019인 TLX9-0200을 사용하였으며 표 3과 같이 설계하였다.

IV. 측정결과

제안한 안테나의 반사손실이 그림 6에 나타나 있다. 반사손실에서 본 안테나의 공진 특성을 관찰할

표 3. 단락핀-슬롯 적재 안테나의 설계 사양  
Table 3. Design parameters of a shorting pin and slot-loaded antenna.

구분	분류	길이(mm)
패치	폭( $W$ )	14.1
	길이( $L$ )	13.1
슬롯	폭( $L_s$ )	1
	길이( $L_{s1}$ )	13.4
	길이( $L_{s2}$ )	4.4
	위치( $D_s$ )	1
Inset	폭	0.950
	길이	5.6
50옴 선로	폭	1.4

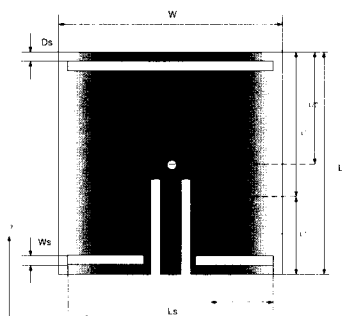


그림 5. 인셋 급전 방식 단락핀-슬롯 적재 안테나  
Fig. 5. Shorting pin and slot-loaded antenna using inset-fed structure.

수 있다. 기본 주파수에서  $-23$  dB, 2차 고조파에서  $-1.3$  dB, 3차 고조파에서  $-2.3$  dB의 반사계수 특성을 나타낸다. 그림 7은 입력 S 파라미터를 스미스 차트에 나타낸 것이다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 기본주파수는 정합되어 있으며 2차, 3차 고조파에서 임피던스는 거의 단락과 개방 특성을 보이는 것을 확인할 수 있다. 그림 8에서는 2차, 3차 고조파는 각각  $2\Omega$ 과  $8\Omega$ 의 임피던스를 갖는 것을 확인할 수 있다.

안테나의 방사패턴은 NSI사의 근거리장 측정 시스템(near field measurement system)을 이용하여 측정하였으며 측정 NSI 장비의 특성상  $-50^\circ \sim -50^\circ$  사이의 방사패턴을 측정하였다.

그림 9는 단락핀-슬롯 적재 안테나의 정규화된 방사패턴을 나타내었다. E-평면에서는 교차 편파가  $-15$  dB 내외이고  $0^\circ$ 부근에서  $-40$  dB의 양호한 특

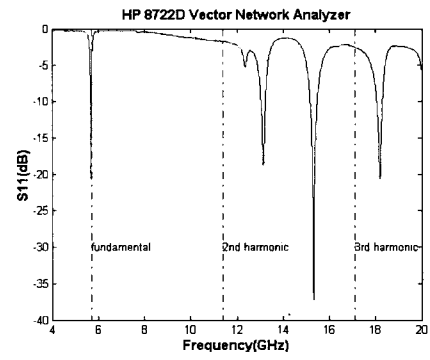


그림 6. 제안된 안테나의 반사 손실  
Fig. 6. The return loss of the proposed antenna.

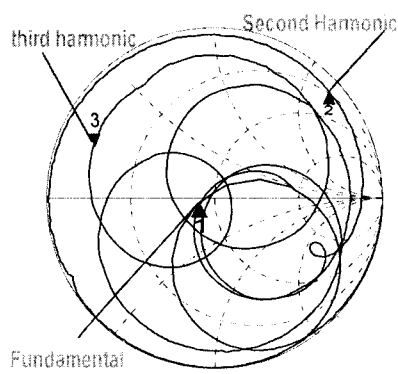


그림 7. 제안된 안테나의 S11 파라미터  
Fig. 7. S11 paramter of the proposed antenna.

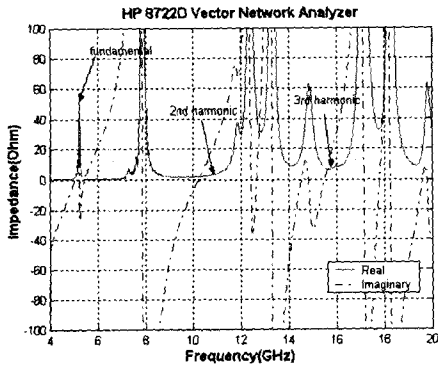


그림 8. 제안된 안테나의 입력 임피던스  
Fig. 8. Input impedance of the proposed antenna.

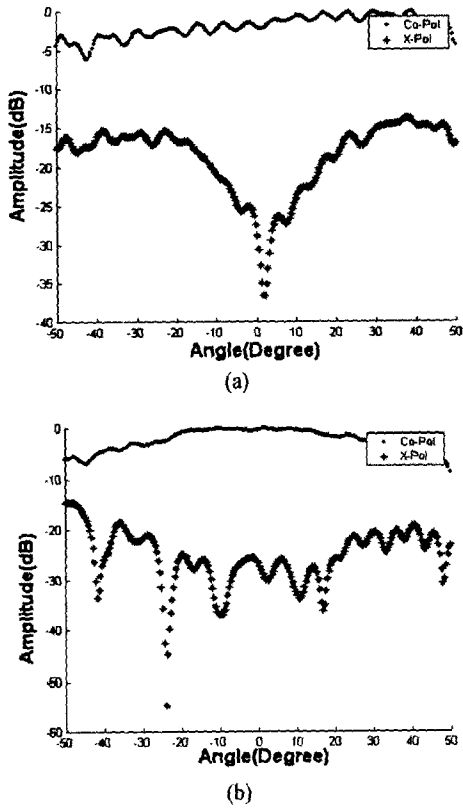


그림 9. 기본주파수의 방사패턴  
(a) E-평면의 동일편파와 교차 편파  
(b) H-평면의 동일편파와 교차 편파  
Fig. 9. The radiation of the fundamental frequency.  
(a) Co-polarization and cross-polarization on the E-plane  
(b) Co-polarization and cross-polarization on the H-plane

성을 나타낸다. 또한 H-평면의 방사패턴은 0°부근에서 -25 dB이고 모든 범위에서 교차편파 특성이 -15 dB 이하로 측정되었다. 방사패턴은 E-평면과 H-평면에서 모두 양호한 특성을 나타낸다.

그림 10은 안테나의 고조파 억압 특성을 확인하기 위하여 마이크로스트립 인셋 급전 방식의 일반 구형 패치 안테나와 단락핀-슬롯 적재 안테나의 이득 특성을 E-평면 동일 편파 이득을 통해 비교하였다. 두 안테나의 E-평면 동일 편파의 이득이 비슷한 것을 확인할 수 있다. 또한 단락핀과 슬롯이 안테나의 기본 주파수 이득을 변화시키지 않음을 확인할 수 있다. 그림 10(c)는 구형 패치 내에 TM<sub>030</sub> 모드의 전류 로브에 의해 방사패턴에서도 3개의 로브가 생성되는 것을 알 수 있다. 그러나 단락핀-슬롯 적재 안테나에서는 공진이 일어나지 않기 때문에 이득과 방사 패턴이 전혀 다른 것을 확인할 수 있으며, 0° 부근에서 이득 차이는 14.3 dB인 것을 확인할 수 있다.

표 4는 측정된 안테나의 이득을 0°에서 측정하여 정리하였다. 기본 주파수에서는 일반 패치 안테나와 단락핀-슬롯 적재 안테나의 이득은 거의 유사하고 2차 고조파에서도 -3 dB의 이득 감소 현상을 보였다. 또한 3차 고조파에서는 -14 dB 이상의 이득 감소를 보여 본 안테나가 3차 고조파 억압에 효과적인 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 안테나는 2차, 3차 고조파에 대해 고조파 억압 여파기로 동작하며 특히 3차 고조파에 대해 효과적인 고조파 억압을 수행하는 것을 알 수 있다.

표 4. 일반 패치 안테나와 단락핀-슬롯 적재 안테나의 특성 비교

Table 4. The comparisons between a conventional patch and shorting pin and slot-loaded antenna.

	반사 손실		이득	
	패치 안테나	단락핀-슬롯 적재 안테나	패치 안테나	단락핀-슬롯 적재 안테나
기본 주파수	-23 dB	-20 dB	6.9 dBi	7.0 dBi
2차 고조파	-8 dB	-1.3 dB	-2.2 dBi	-5.5 dBi
3차 고조파	-20 dB	-2.3 dB	9.3 dBi	-4.9 dBi

### V. 결 론

2차, 3차 고조파에서 일반 패치 안테나에 비해 각각 -3 dB, -14 dB의 방사 이득 억제 특성을 보여 본 안테나가 고조파에 대해 억압 특성을 갖는 것을 확인하였다.

고조파 튜닝 및 고조파 억압 특성을 갖는 단락핀-슬롯 적재 안테나의 공진은 5.8 GHz로 설정하고 슬롯의 길이와 폭 그리고 인셋의 길이와 폭을 조절하여 안테나를 설계하였다. 반사손실은 공진 주파수에서 -20 dB, 2차 고조파에서 -1.3 dB, 3차 고조파에서 -2.3 dB로 측정되었으며 동일편파와 교차편파는 -15 dB 이상의 차이를 나타내었다.

본 안테나의 임피던스 및 방사 특성은 향후 능동 집적안테나의 고조파 억압 및 고효율 증폭기의 고조파 튜닝 회로로 이용될 수 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] Vesna Radisic, Siou Teck Chew, Yongxi Qian and Tatsuo Itoh, "High-Efficiency Power Amplifier Integrated with Antenna", *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 7, no. 2, pp. 39-41, Feb. 1997.
- [2] A. F. Sheta, S. F. Mahmoud, "A novel H-shaped patch antenna", *IEEE APS Int. Symp. Dig.*, vol. 2, pp. 720-723, July 2001.
- [3] 이병무, "전력증폭기를 결합한 IMT-2000 중계기용 능동 집적 안테나에 관한 연구", 연세대학교 공학석사 학위논문, 2000년.
- [4] 권세웅, "고효율 전력 증폭기를 결합한 능동 집적 안테나에 관한 연구", 연세대학교 공학석사 학위논문, 2002년.
- [5] C. A. Balanis, *Antenna Theory*, Wiley, New York, UA, 1997.
- [6] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl and A. Ittipiboon, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Artech House, Norwood, UA, 2001.

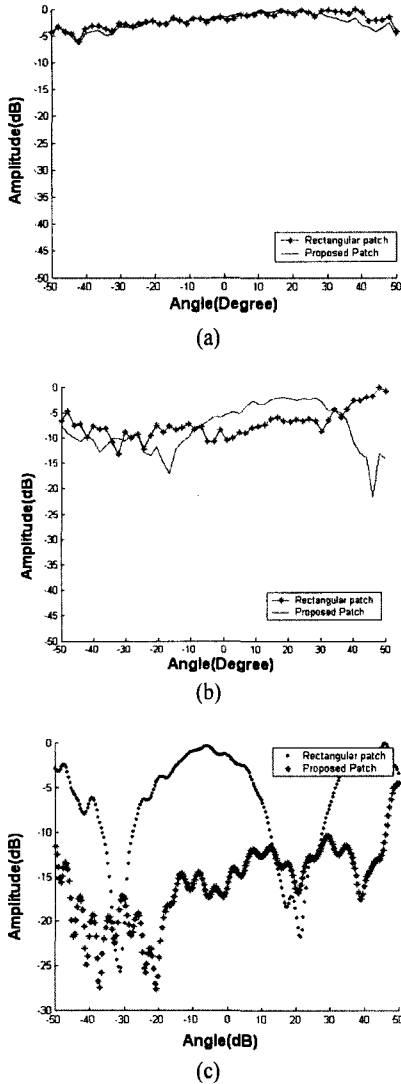


그림 10. 구형 패치 안테나와 단락핀-슬롯 적재 안테나의 고조파 이득 비교

- (a) E-평면 동일 편파(기본 주파수)
- (b) E-평면 동일편파(2차 고조파)
- (c) E-평면 동일편파(3차 고조파)

Fig. 10. The harmonic gain comparison between a conventional patch and shorting pin and slot-loaded antenna.

- (a) The co-polarization of E-plane(the fundamental frequency)
- (b) The co-polarization of E-plane(the second harmonic)
- (c) The co-polarization of E-plane(the third harmonic)

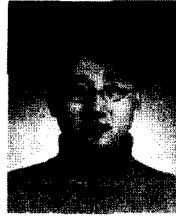
권 세 응



1999년 2월: 연세대학교 전파공학과 (공학사)  
2002년 2월: 연세대학교 전기컴퓨터공학과 (공학석사)  
2002년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 박사과정  
[주 관심분야] RF 소자 및 안테나

설계

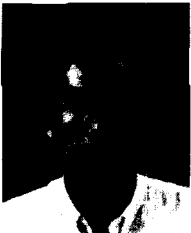
김 형 락



2000년 2월: 순천향대학교 정보통신공학과 (공학사)  
2002년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
2002년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 박사과정  
[주 관심분야] RF 소자 및 안테나 설

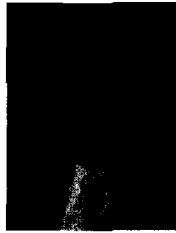
계

이 성 호



2001년 2월: 광운대학교 전자공학부 (공학사)  
2001년 3월: 연세대학교 전기전자공학과 석사과정  
[주 관심분야] RF 소자 및 안테나 설계

윤 영 중



1981년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
1986년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
1991년 12월: Georgia Inst. of Tech. 전기공학 (공학박사)  
1992년 3월~1993년 2월: 한국전

자통신연구소 선임연구원  
1993년~현재: 연세대학교 전기전자공학과 교수  
2002년 3월~현재: 연세대학교 전파통신연구소 소장  
[주 관심분야] 마이크로파 소자, 안테나, 전파전파, 고온 초전도, EMI/EMC 등

이 병 무



1998년 2월: 순천향대학교 정보통신공학과 (공학사)  
2000년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
2000년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 박사과정  
[주 관심분야] RF 소자 및 안테나

설계