

논문 2006-43TC-4-6

지그재그 다이폴 안테나의 집적화와 공진 특성 개선에 관한 연구

(A Study on the Integration of Zigzag Dipole Antennas and
Improvement of Its Resonance Characteristics)

전 후 동*, 이 영 순**, 박 의 준**

(Hoo Dong Jeon, Young Soon Lee, and Eui Joon Park)

요 약

본 논문에서는 우선 지그재그 와이어 다이폴 안테나 공진 특성을 모멘트법을 사용하여 분석함으로써, 직선형 와이어 안테나의 공간 점유 길이를 단축시킬 수 있음을 보였다. 이 단축 효과를 고려하여, 간소화된 마이크로스트립 급전부를 갖는 집적화된 지그재그 다이폴 안테나를 설계하였다. 집적화시 안테나 라인 폭의 급격한 구부림 각도에 의해 불연속이 존재하므로 chamfer를 적용함으로써 보상시키고, 유전체 기판의 영향을 고려하여 기판 양면에 기생소자 역할을 하는 지그재그 라인을 부가함으로써 공진특성을 개선시켰다. UHF와 ISM 대역에서 설계된 결과들의 타당성을 실험을 통해 입증하였다.

Abstract

In this paper, the resonance characteristics of zigzag wire dipole antennas are first analyzed by the method of moment(MOM) for shortening the space occupation length of straight wire dipole antenna. Considering the shortening effect, the integrated zigzag dipole antennas with the simplified microstrip feed are designed. Since the integration gives rise to discontinuities due to antenna line width with abrupt bend angles, the compensation by the chamfer is applied. Furthermore the integrated parasitic zigzag lines are properly attached to both sides of substrate for compensation of the effect of the dielectric substrate, hence improving the resonance characteristic. The design results at UHF and ISM band are verified with experiments.

Keywords: zigzag antennas, dipole, resonance, parasitic

I. 서 론

대표적인 집적형 라인 안테나의 종류로서는 직선형 (straight) 다이폴 안테나, 슬롯 혹은 folded 슬롯 안테나, meander 라인 안테나, serpent 라인 안테나 등이 있다^{[1],[2]}. 이 중 meander 라인 및 serpent 라인 안테나는 주로 비교적 긴 안테나 한 쪽 끝부분에 정합용 부하로

중단시켜 라인형 배열안테나로 사용하든지, 혹은 길이 단축을 위해 공액 정합(conjugate matching)법을 사용함으로써 복잡한 급전부를 가지는 단점이 있다^[3]. Serpent 라인 안테나의 경우 sinusoidal, 사다리꼴 및 지그재그 등이 있다. 집적화된 직선형 다이폴 안테나의 경우 급전부의 접지를 용이하게 하고 양방향 지향성을 갖도록 하기 위해 유전체 기판을 사이에 두고 한 개의 pole은 기판 상측에, 또 다른 pole은 기판 접지면에 집적시키는 방법을 주로 사용하고 있다^[4].

본 연구에서는 집적화된 직선형 다이폴 안테나의 공간 점유 길이를 단축시키고, 간소화된 급전부를 갖도록 하기 위해 우수한 공진특성을 갖는 집적형 지그재그 다

* 학생회원, ** 정회원, 금오공과대학교 전자공학부
(School of Electronic Engineering, Kumoh National
Institute of Technology)

※ 본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임.

접수일자: 2006년1월5일, 수정완료일: 2006년4월12일

이폴 안테나를 설계하는데 목적이 있다. 이를 위해 우선 가는(thin) 직선형 와이어 안테나의 와이어 총 길이는 변화시키지 않고 공간 점유 길이를 단축시키기 위해 적절히 구부려 지그재그형으로 구성하고, 모멘트법을 사용하여, 그 공진 특성을 분석하였다. 이 단축 효과를 집적화에 적용할 경우, 라인 폭과 유전체 기판의 영향을 추가적으로 고려해야 하므로, 원하는 공진특성을 갖도록 하기위해 주어진 기판상에서 지그재그 개수, 피치 각 및 라인 폭등의 최적값을 도출하였다. 급전부의 간소화를 위해 50 Ω 마이크로스트립 선로로 직접 급전시킬 수 있도록 설계하였으며, 피치에 의한 라인 불연속 문제를 보상하기 위해 chamfer를 가하는 방법을 적용하였다. 또한 반사손실 최소화를 위해 기생소자(parasitic)역할을 하는 집적형 지그재그 라인을 기판 양면에 부가하는 방법을 채택하였다. 제작을 위해 가격이 싼 FR-4(비유전율:4.8, 높이:1mm), 기판을 사용하였다. 900MHz, 2.45GHz 및 5.8 GHz에 대해서 설계, 제작 및 실험함으로써 설계구조의 타당성을 보였다.

II. 지그재그 와이어 안테나 공진 특성 분석

직선형 와이어 안테나를 구부려 지그재그 안테나로 구성된 경우의 기하 구조를 그림 1에 보였다.

와이어의 총 길이를 L_T 라 하고, 동일한 길이로 구부려 사이각 ψ 를 갖도록 구성하면 단축된 길이 L_S 를 갖는다. 전류 분포를 계산하기 위해 잘 알려진 $[V_m] = [Z_{mn}][I_n]$ 의 식을 전계의 세기와 스칼라 포텐셜 및 벡터 포텐셜과의 관계로부터 유도하고^[5], 임피던스 행렬 $[Z_{mn}]$ 계산을 위해 전류 분포의 기저함수를 펄스함수로 두고 Galerkin법을 사용하였다. 이 때 와이어 두께는 0.003λ 로 두었고, 여기서 λ 는 급전 신호의 파장을 의미한다. 중앙 급전된 경우의 계산된 전류 분포로부터 안테나 입력임피던스, 원거리 전력 이득 등을 계산하였다.

그림 2는 L_T 가 0.5λ 및 0.7λ 일 때 사이각 ψ 의 변화에 대한 입력임피던스 공진특성을 보인 것이다. 예로서

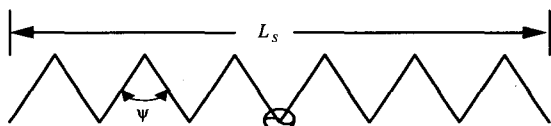


그림 1. 와이어 총 길이가 L_T 인 지그재그 안테나
Fig. 1. Zigzag wire antenna with total length L_T .

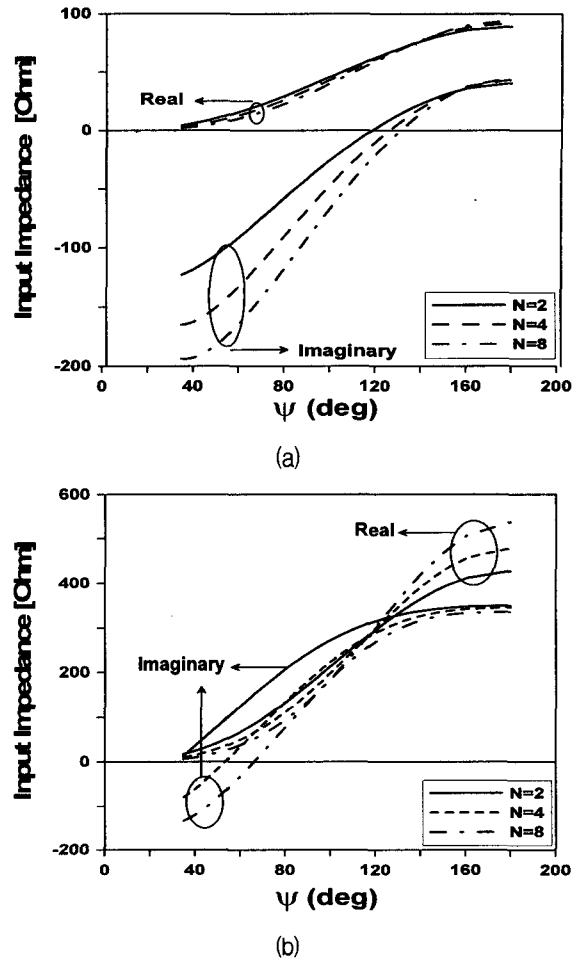


그림 2. 피치 개수 N 의 변화에 따른 공진 특성
(a) $L_T = 0.5\lambda$, (b) $L_T = 0.7\lambda$

Fig. 2. Resonance characteristics as function of pitch number N .
(a) $L_T = 0.5\lambda$, (b) $L_T = 0.7\lambda$

$L_T = 0.5\lambda$ 및 피치 개수 $N=8$ 인 경우 $L_S = 0.45\lambda$ ($\psi = 128.3^\circ$)에서 공진이 일어나며, $L_T = 0.7\lambda$ 및 피치 개수 $N=8$ 인 경우 $L_S = 0.38\lambda$ ($\psi = 65.8^\circ$)에서 공진이 일어난다. $L_T = 0.5\lambda$ 인 경우 $N=2, 4, 8$ 에 대한 공진 입력임피던스는 각각 63.6 Ω, 68.6 Ω, 70.5 Ω이다. $L_T = 0.7\lambda$ 인 경우 $N=8$ 에 대한 공진 입력임피던스는 50.2 Ω으로서 와이어 총 길이와 피치 개수의 적절한 타협에 의해 50 Ω 공진점을 구할 수 있음을 알 수 있다.

그림 3은 $N=8$ 일 때 지그재그 안테나 ($L_T = 0.5\lambda$ 와 0.7λ)와 L_S 의 길이를 갖는 직선형(straight) 안테나의 길이 변화에 따른 공진 특성을 보인 그림이다.

이 그림들로부터 직선형보다 지그재그 다이폴 안테나의 공진점이 더 짧은 길이의 L_S 에서 발생함을 알

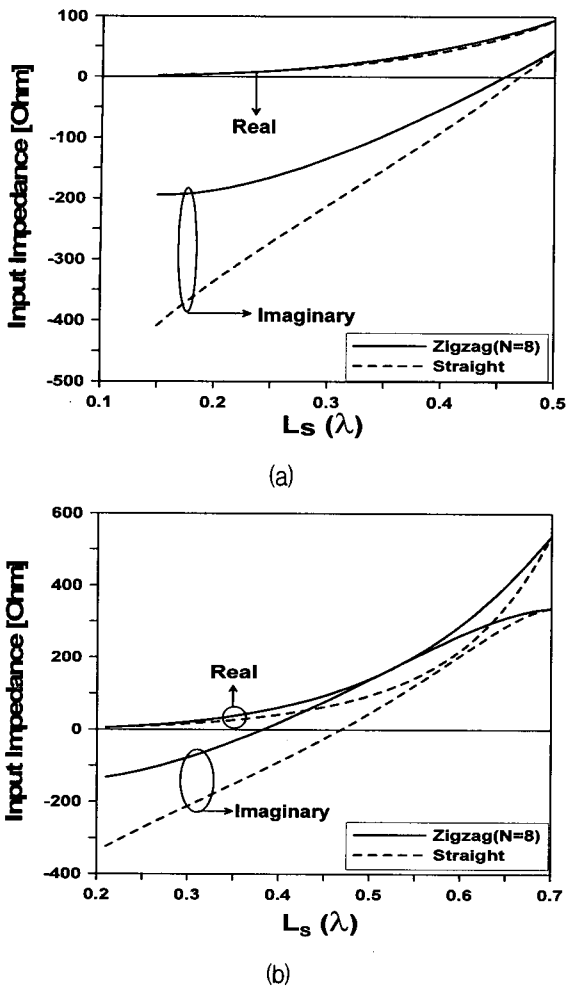


그림 3. 지그재그(N=8)와 직선형 안테나의 공진 특성
 (a) $L_T = 0.5\lambda$, (b) $L_T = 0.7\lambda$
 Fig. 3. Resonance characteristic of zigzag ($N=8$) and straight antenna.
 (a) $L_T = 0.5\lambda$, (b) $L_T = 0.7\lambda$

수 있으며, 특히 $L_T = 0.7\lambda$ 인 경우 $L_S = 0.38\lambda$ 에서 공진이 일어나므로, 직선형인 경우의 공진 길이인 0.47λ 보다 약 19%의 공간 점유 길이가 단축됨을 알 수 있다. $L_T = 0.5\lambda$ 인 경우 지그재그 안테나($N=8$)의 이득은 2.10 dB로서 직선형 안테나의 공진시 이득 2.13 dB에 비하면 큰 차이가 없으며, $L_T = 0.7\lambda$ 인 경우도 지그재그 안테나($N=8$)의 이득은 2.02 dB로서 직선형 안테나의 공진시 이득 2.14 dB에 비하여 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 따라서 와이어 총 길이 및 피치 개수의 적절한 선택에 의해 원하는 공진 입력임피던스를 얻을 수 있으며, 만약 이 효과를 집적화된 안테나에 적용하면, 주어진 기판상에서 라인 폭도 하나의 설계 변수로서 작용하게 되므로, 원하는 공진점을 보다 쉽게 구할 수

있다.

III. 집적형 지그재그 안테나 설계

직선형 집적 다이폴 안테나로부터 라인을 구부려 지그재그형 안테나로 구현한 기본 구조를 그림 4에 보였다.

급전선은 마이크로스트립 선로에 직접 연결된 구조를 가지며, 양방향 지향성을 가지도록 기판 유전체를 사이에 두고 두 개의 pole이 유전체 높이 만큼 떨어진 구조를 갖는다. 기판 뒷면에 인쇄된 pole은 마이크로스트립 접지면에 직접 연결되도록 하였다. 그림 4에 고려해야 할 안테나 설계변수를 동시에 보였다. 즉 설계변수로서는 라인폭(W), 피치각(ψ), 지그재그 높이(H), 지그재그 피치 개수(N), 앞면과 뒷면 급전부 간격(g)으로 둘 수 있다. 여기서 급전부의 간소화를 위해 50 Ω의 입력임피던스를 갖도록 설계하였다. 이 때 50 Ω 마이크로스트립 선로폭과 같은 안테나 라인폭 W 를 설정하고, 다른 설계변수들을 도출하는 방법을 선택하였다. 그리고 최적 설계를 위해 상용 소프트웨어인 HFSS를 사용하였다^[6].

FR-4($\epsilon_r = 4.8$, $h=1mm$)기판을 사용하여, 주파수 $f = 2.45GHz$ 에서 공진이 일어나도록 최적화 시킨 결과 $W = 0.9mm$, $S = 2.16mm$, $H = 6.5mm$, $N = 14$, $g = 0.8mm$, $L_S = 34.64mm$ 이며, 그때의 특성을 그림 6에서 이점점선으로 보였다. 이 그림으로부터 공진특성의 개선이 필요함을 알 수 있으며, 이를 위해 기판 앞, 뒷면에 기생소자 역할을 하는 지그재그 라인을 부가시키고, 안테나상의 불연속부 문제를 제거하기 위해 chamfer를 가하였다(그림 5). 그 결과 그림 6의 실선에서 보듯이 chamfer와 기생소자 라인을 동시에 부가했을 때 공진 특성이 크게 개선됨을 볼 수 있다. 여기서 chamfer에 의한 영향은 크지는 않지만 라인의 불연속부를 보상해 줌으로서 공진 특성이 다소 개선됨을 알

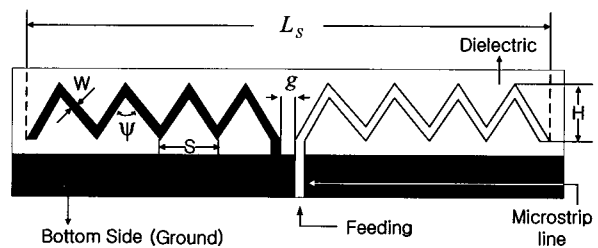


그림 4. 집적형 지그재그 안테나 기본구조
 Fig. 4. Basic geometry of integrated zigzag antenna.

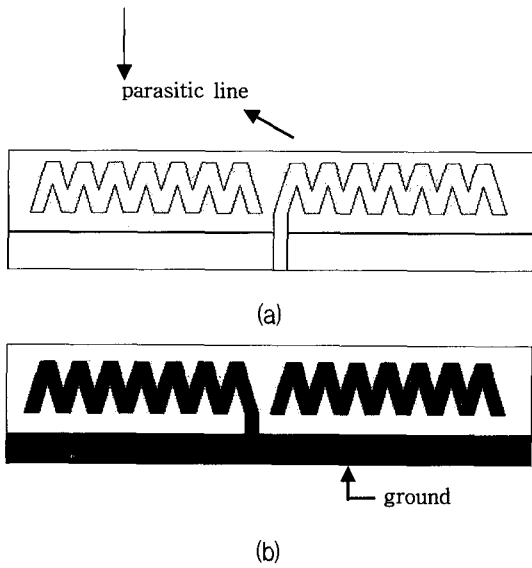


그림 5. 2.45GHz에서 설계한 안테나 앞, 뒷면 도체 패턴 (a) 앞면, (b) 뒷면
 Fig. 5. Top and bottom side conductor patterns of designed antenna at 2.45GHz.
 (a) top side, (b) bottom side

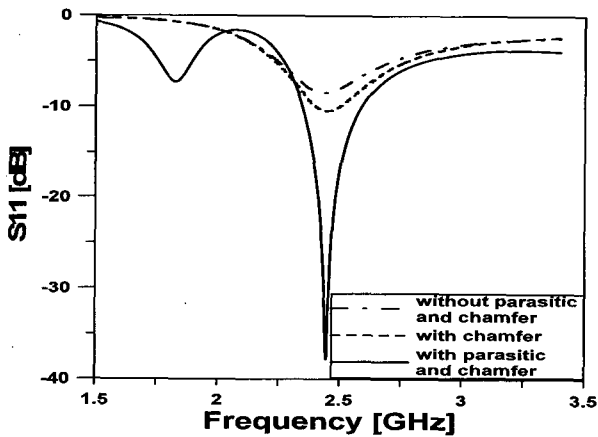


그림 6. 2.45GHz에서 계산된 공진 특성
 Fig. 6. Calculated resonance characteristics at 2.45GHz.

수 있다. 그러나 기판 앞, 뒷면의 기생소자 라인의 부가는 공진 특성에 크게 기여하며, 이는 라인 자체가 갖는 인덕턴스와 앞, 뒷면 라인간의 커패시턴스가 공진 특성에 큰 영향을 주는 것으로 판단된다.

여기서 chamfer와 기생소자 라인을 동시에 추가하면 공진 주파수 천이가 일어나므로 설계 변수들을 조정하여 공진 주파수를 맞추었다. 즉 $N=14$ 로 두고 $W=0.9mm$, $S=1.8mm$, $H=5.5mm$, $g=0.8mm$, $L_S=40.4mm$ 이다. 이때의 길이 L_S 는 직선형 다이폴 안테나와 folded slot 안테나^{[7],[8]}의 길이에 비해 각각 약 14% 및 34% 단축됨을 알 수 있다(그림 7). 그림 8은 그림 6의 실선에 해당되는 안테나의 입력임피던스를

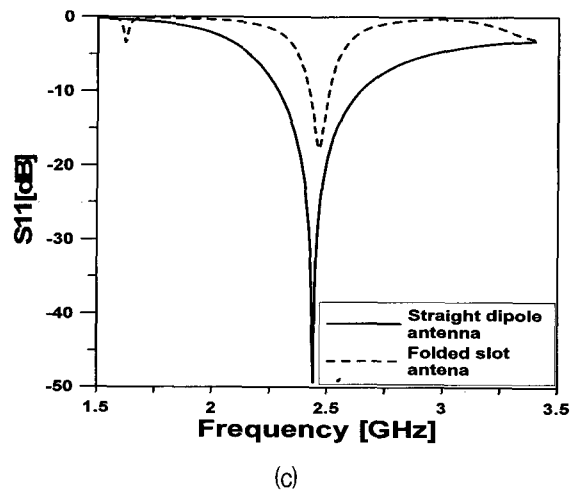
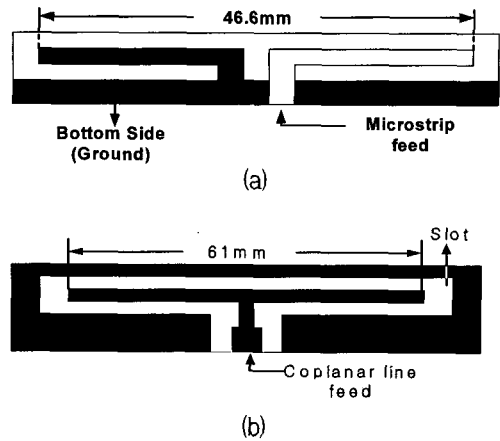


그림 7. 직선형 다이폴 및 folded slot 안테나의 공진 특성
 Fig. 7. Resonance characteristics of straight dipole and folded slot antennas.

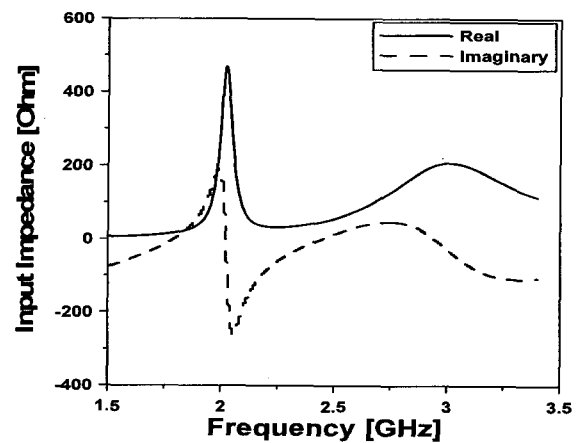
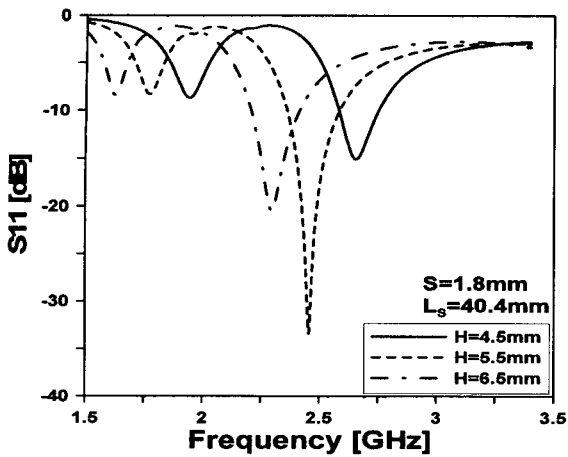


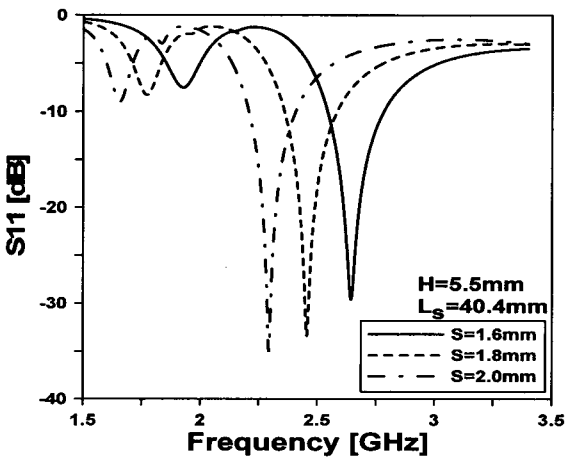
그림 8. 설계된 2.45 GHz 지그재그 안테나의 입력 임피던스
 Fig. 8. Input impedance of zigzag antenna designed at 2.45GHz.

보인 그림이며, 2.45 GHz에서 50 Ω에 정합됨을 볼 수 있다.

그림 9(a), (b)는 각각 라인 높이(H) 및 길이 S 변



(a)



(b)

그림 9. 설계 변수 변화에 따른 공진특성
(a) 라인높이 H 변화, (b) 길이 S 변화
Fig. 9. Resonance characteristics with the design variables.
(a) variation of H , (b) variation of S

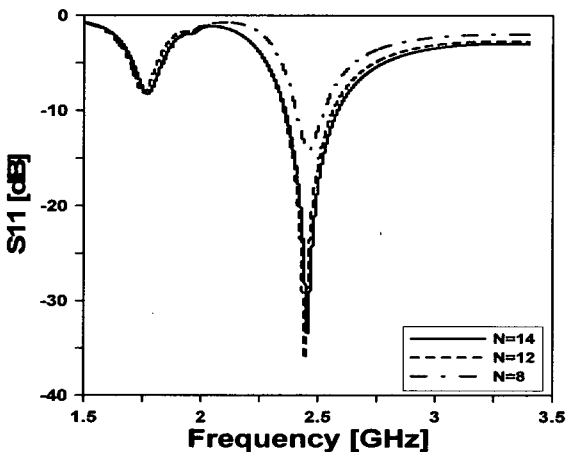


그림 10. 피치 개수에 따른 공진특성
Fig. 10. Resonance characteristic as a function of pitch number.

화, 즉 피치가 변화에 따른 공진주파수 변화를 도시한 것이다.

이 그림들로부터 설계 변수의 변화에 따른 공진점 변이를 확인할 수 있으며, 최적점 도출이 가능함을 알 수 있다. 또한 안테나의 총 길이는 거의 변화없이 안테나의 피치 개수를 줄이더라도 조금의 공진특성의 차이는 있지만 다른 설계변수를 변화시켜서 주파수 $f=2.45$ GHz에 공진이 일어나도록 설계가 가능함을 그림 10에서 알 수 있다. 이 때 피치의 개수(N)가 14개인 경우 계산된 설계 변수값들은 앞에서 보였으며, 12개의 경우는 $W=0.9mm$, $S=2.24mm$, $H=5.5mm$, $g=0.8mm$, $L_s=40.28mm$ 를 갖는다.

IV. 제작 및 실험 결과

그림 11은 5.8 GHz와 900 MHz에서 설계한 도체 패턴 앞면을 보인 그림이며, 2.45 GHz에서 설계한 도체 패턴은 그림 5에 보였다. 그림 11에서 기판 뒷면은 보이지 않았으나, 그 형태는 그림 5와 유사하다. 계산된 성능 결과를 그림 12에 실선으로 보였다.

이 그림들로부터 설계 주파수가 증가함에 따라 피치 갯수 N 이 감소하며 길이도 줄어들음을 알 수 있다. 2.45 GHz에 대해서는 앞 절에서 분석하였으며, 900 MHz 경우 직선형 다이폴 안테나의 길이 135mm에 비해 약 17% 단축된 길이를 가지며, 5.8 GHz의 경우 직선형 다이폴 안테나의 길이 31.8mm에 비해 58%의 단축된 결과를 얻을 수 있었다. 그리고 900 MHz에서는

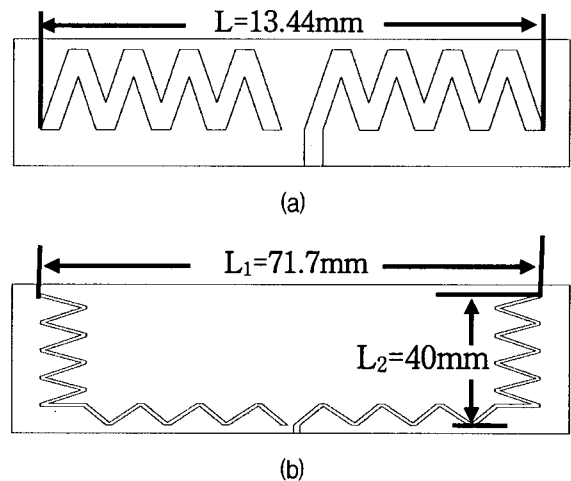
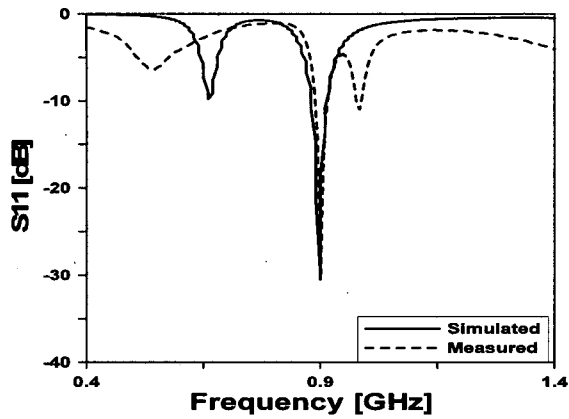
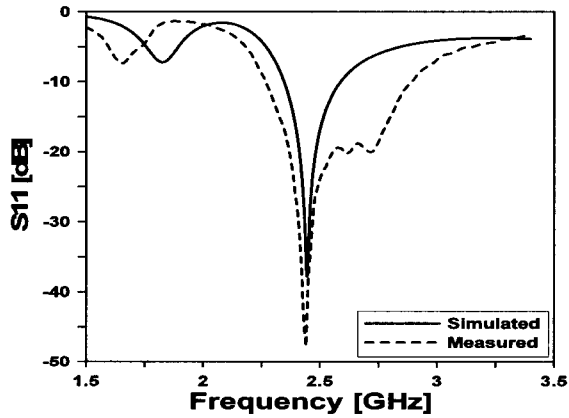


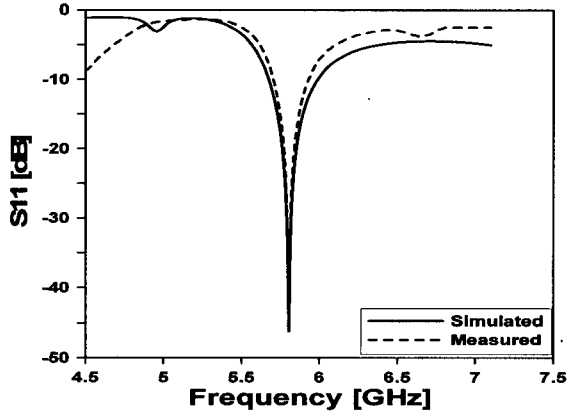
그림 11. 설계된 지그재그 안테나 윗면
(a) 5.8 GHz, (b) 900 MHz
Fig. 11. Top sides of designed zigzag antennas.
(a) 5.8 GHz, (b) 900 MHz



(a)



(b)



(c)

그림 12. 공진 특성의 계산값과 측정값의 비교

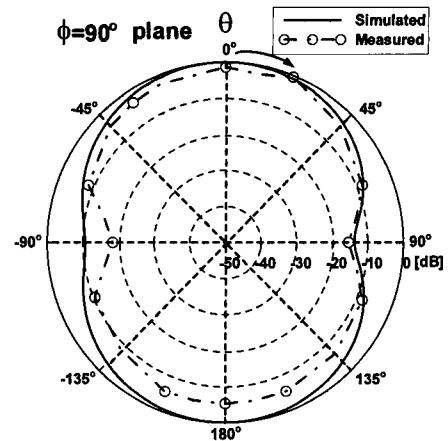
(a) 900MHz, (b) 2.45GHz, (c) 5.8GHz

Fig. 12. Comparison between calculated and measured values for resonance characteristics.

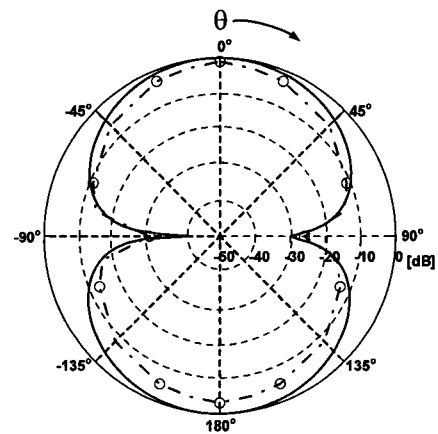
(a) 900MHz, (b) 2.45GHz, (c) 5.8GHz

길이 L_s 가 상대적으로 길지만, 그 형태를 그림 11(b)와 같이 꺾어 배치함으로써 소형화에 적합한 구조를 갖도록 할 수 있음을 알 수 있다.

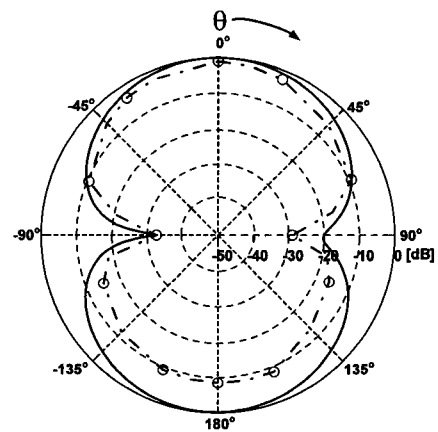
그림 12(a)에서 보듯이 약 600 MHz에서 비교적 큰



(a)



(b)



(c)

그림 13. 설계된 지그재그 안테나의 복사패턴

(a) 900MHz, (b) 2.45GHz, (c) 5.8GHz

Fig. 13. Radiation patterns of designed zigzag antennas.

(a) 900MHz, (b) 2.45GHz, (c) 5.8GHz

공진이 발생하지만 이는 꺾어 배치된 불연속부를 적절히 처리함으로써 최소화시킬 수 있을 것이다. 5.8 GHz에서 설계한 안테나는 $W=0.9mm$, $S=0.98mm$, $H=4.5mm$, $N=8$, $g=0.6mm$, $L_s=13.44mm$ 이며,

900MHz의 경우는 $W=0.9mm$, $S=7.5mm$, $N=16$, $H=6.5mm$, $g=0.8mm$, $L_g=117.7mm$ 를 갖는다.

제작을 위해 기판은 두께가 1mm이고 비유전율이 4.8인 FR-4기판을 사용하였다. 그림 12에 계산값과 측정값을 비교하여 도시하였으며, 서로 잘 일치함을 볼 수 있다.

한편, 그림 13에 설계한 지그재그 안테나의 전력이득 패턴을 도시하였다. 공진 주파수가 900MHz, 2.45GHz, 5.8GHz인 각각의 안테나에 대한 계산된 반전력 빔폭(HPBW)은 91° , 80° , 80° 이며, 각각의 최대 전력이득은 -7.60 dB, 1.76 dB, 0.33 dB이다. 여기서 900MHz 안테나의 경우는 라인을 꺾어 배치함으로써 빔폭이 증가함을 알 수 있으며, 그 대신 전력이득은 다소 감소함을 알 수 있다. 이 결과들로부터 양방향 지향성을 갖는 소형 집적 안테나로 유용하게 사용될 수 있으며, 특히, 50 Ω 급전부를 가지도록 설계가 가능함으로써 집적회로화에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

V. 결 론

본 연구에서는 우선 지그재그 와이어 다이폴 안테나의 공진 특성을 모멘트법을 사용하여 분석함으로써 직선형 다이폴 안테나의 공진 길이보다 단축됨을 확인하였다. 이를 바탕으로 지그재그 안테나의 집적화에 대해 고찰하였으며, 안테나 라인에 chamfer를 가하고, 기생 소자 라인을 부가함으로써 공진 특성을 개선시켰다. 또한 집적화시 설계 변수들의 적절한 선택에 의해 원하는 공진 주파수에서의 입력임피던스를 임의로 선택할 수 있도록 함으로써 간소한 급전부를 가지도록 하였다. UHF 및 ISM 대역에서 직선형을 지그재그형으로 구현함으로써 안테나 소형화 방법에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] J. H. Wood, *Microstrip antenna theory and design*, Peter Peregrinus LTD., 1981.
- [2] K. F. Lee and W. Cheu, *Microstrip and printed antennas*, John Wiley & Son, 1997.
- [3] H. Choo and H. Ling, "Design of electrically small planar antennas using inductively coupled feed," *Electron. Lett.* vol. 39, no. 22, pp. 1563-1565, 2003.
- [4] Y. D. Lin and S. N. Tsai, "Analysis and design of broadband-coupled striplines-fed bow-tie antennas", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. Ap-46, pp. 459-460, March 1998.
- [5] R. F. Harrington, *Field computation by moment methods*, New York, NY: Macmilan, 1968.
- [6] HFSS, Hewlett-Packard, Santa Rosa, CA and Ansoft, Pittsburgh, PA.
- [7] S. S. Garcia and J. J. Laurin, "Study of a CPW inductively coupled slot antenna," *IEEE Trans. Antennas and Propagat* vol. AP-47, no. 1, pp.58-64, Jan. 1999.
- [8] T. M. Weller, L. P. B. Ketehe and G. Rebeiz, "Simple and double folded-slot antennas on semi-infinite substrates," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol.43, no.12, pp. 1423-1428, Dec. 1995.

저 자 소 개



전 후 동(학생회원)
 2003년 경일대학교 전자정보
 공학과 학사 졸업.
 2005년 금오공과대학교
 전자공학과 석사 졸업.
 2005년~현재 금오공과대학교
 전자공학과 박사 과정.

<주관심분야 : 마이크로파 회로 및 소자 등>



이 영 순(정회원)
 1979년 경북대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1981년 한국과학기술원
 전자공학과 석사 졸업.
 1996년 경북대학교 전자공학과
 박사 졸업.

1981년~현재 금오공과대학교 전자공학부 교수
 <주관심분야 : 전자기 이론, 안테나의 산란 문제,
 도파관 불연속, 개구 결합>



박 의 준(정회원)
 1983년 동아대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1986년 고려대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 1990년 고려대학교 전자공학과
 박사 졸업.

1990년~현재 금오공과대학교 전자공학부 교수
 <주관심분야 : 전자장이론 및 안테나, 마이크로파
 전송선로 및 회로설계 등>