

논문 2008-45TC-6-7

SRR (Split Ring Resonator) 덮개 구조를 갖는 전기적 소형 정사각형 루프 안테나

(Electrically Small Square Loop Antenna with SRR (Split Ring Resonator) Cover Structure)

김 용 진*, 김 정 한*, 이 홍 민**

(Yongjin Kim, Junghan Kim, and Hongmin Lee)

요 약

본 논문에서는 SRR (Split Ring Resonator) 덮개 구조를 갖는 전기적 소형 정사각형 루프 안테나를 제안한다. 제안된 안테나는 Chu의 이론에 의한 결과, $ka=0.34$ 로 전기적으로 매우 소형화 되었다. 측정결과, 제안된 안테나의 공진주파수는 906MHz이며 임피던스 대역폭($VSWR \leq 2$)은 5.8MHz (901.7 - 907.5MHz)를 나타내었다. 안테나구조의 등가회로모델을 적용하여 임피던스 정합과 동작특성의 최적화가 이루어졌고 접지면 환경을 이용하지 않는 안테나 구조를 사용하여 테플론 기판에 설계되었으며 급전부에서의 추가적인 정합 회로망 없이 효율적으로 임피던스 정합이 이루어졌다. 따라서 본 논문에서 제안된 안테나는 좁은 실장환경을 요구하는 무선통신시스템에 적용될 수 있을 것이다.

Abstract

In this paper, electrically small square loop antenna with SRR (Split Ring Resonator) cover structure is built and tested. The proposed antenna has very small size, $ka=0.34$ by Chu limit. The experimental result shows that the resonant frequency and impedance bandwidth($VSWR \leq 2$) are 906MHz and 5.8MHz (901.7 - 907.5MHz), respectively. The proposed antenna is efficiently matched and designed by equivalent circuit model. The proposed antenna is fabricated simple structure without additional matching network and printed on a Teflon substrate without ground plane. Therefore, it has advantages of low cost, small size, and light weight and will be applied to wireless communication systems where small antennas are required.

Keywords : Electrically small antenna, Split ring resonator, Chu limit, Radiation efficiency

I. 서 론

최근 무선통신시스템이 급속도로 발전함에 따라 안테나의 용도가 매우 다양해지고 소형화되고 있는 추세이므로 소형안테나에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 기존의 전기적 소형 안테나에 대한 연구는 주로 소

형화에 따른 이득 저하 및 협대역 특성 등의 단점을 개선하는 기법에 대한 것이었다.

일반적으로 전기적 소형 안테나는 기존의 Wheeler와 Chu의 이론에 의하면 전기적인 크기가 $ka < 1$ 로 정의된다. 여기서 k 는 안테나 공진주파수의 파수이며 a 는 전기적 소형 안테나의 최대 크기를 둘러싼 구의 반경이다. 전기적 소형 안테나는 높은 리액턴스 성분과 매우 작은 방사저항 값을 갖게 되므로 임피던스 정합이 어렵다. 따라서 전기적 소형 안테나는 매우 좁은 임피던스 대역폭과 낮은 효율을 갖게 되고 준 등방성의 방사패턴을 나타내며 이득이 낮은 특성을 나타낸다.

Chu 등이 제시한 이론에 따르면 전기적 소형 안테나

* 학생회원, ** 정회원, 경기대학교 전자공학부
(Department of Electronic Engineering, Kyonggi University)

※ 본 연구는 “경기도에서 지원하는 경기도지역협력연구센터사업”에 의해 수행되었음

접수일자: 2008년3월26일, 수정완료일: 2008년6월19일

의 효율, 임피던스 대역폭 및 Q 는 안테나의 최장 길이에 비례하게 된다. 그러므로 전기적 소형 안테나의 방사효율 및 이득의 향상을 위해서는 안테나 급전부에 추가적인 정합 회로망이 필요하게 되는 단점이 있다.

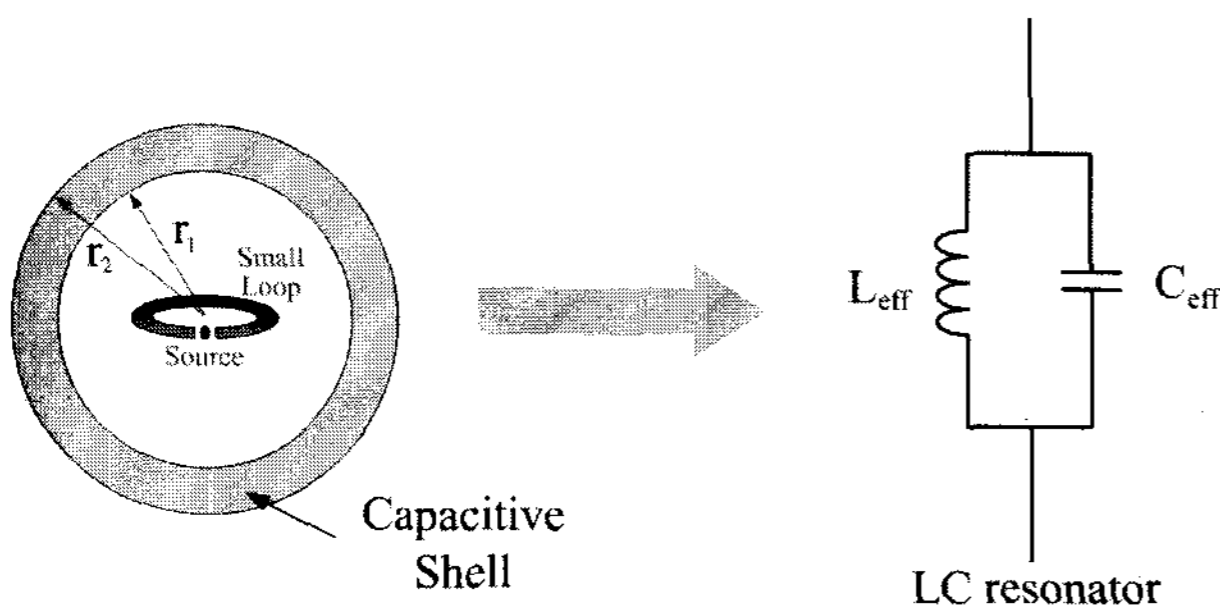
최근 ENG (Epsilon Negative) 또는 MNG (Mu Negative) 특성을 갖는 메타물질을 이용하여 기존의 전기적 소형 안테나에 비해 이득 및 효율이 크게 개선된 안테나가 발표되었다.^[4~7] 그러나 ENG나 MNG특성의 메타물질은 자연계상에 존재하지 않으며 기존에 제시된 메타물질 기반의 전기적 소형 안테나는 비교적 넓은 접지면상에 구현되므로 좁은 실장 면적을 요구하는 환경에서의 적용이 어려운 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 상용 소프트웨어인 Ansoft사의 Designer V2.0과 CST사의 MWS (Micro Wave Studio) 2008^[8]을 사용하여 접지면환경이 요구되지 않는 900MHz 대역 전기적 소형 루프 안테나를 제안하였다.

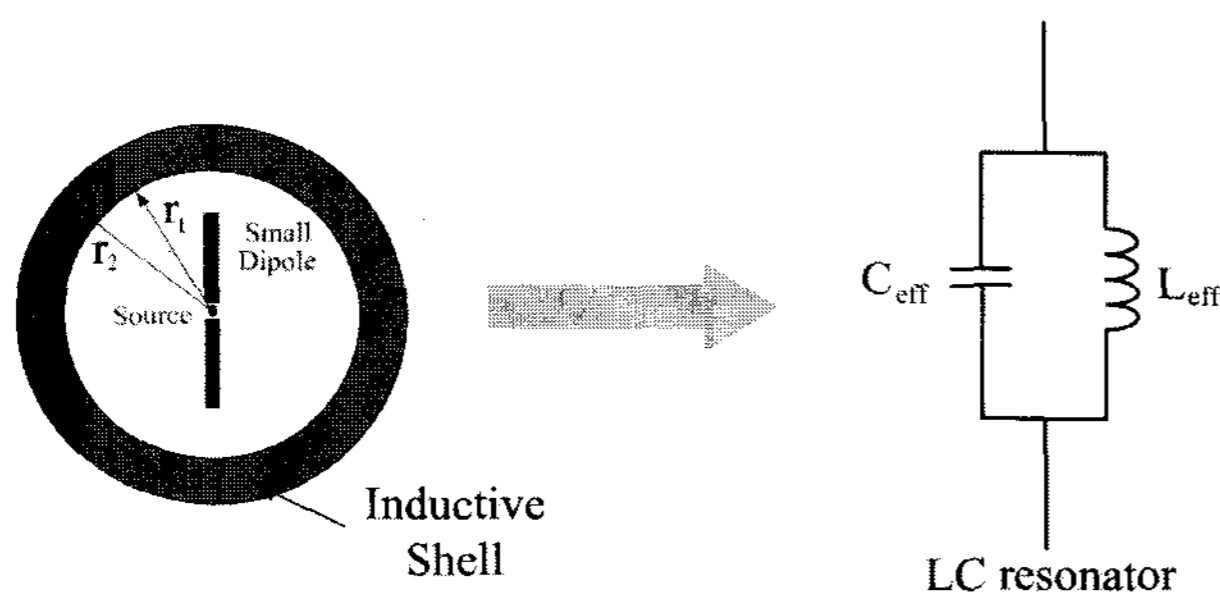
II. 본 론

1. 전기적 소형 안테나의 정합

그림 1에 전기적 소형 안테나의 개념도를 나타내었다. 일반적으로 전기적 소형 안테나는 높은 리액턴스



(a) 전기적 소형 루프 안테나
(a) Electrically small loop antenna



(b) 전기적 소형 다이폴 안테나
(b) Electrically small dipole antenna

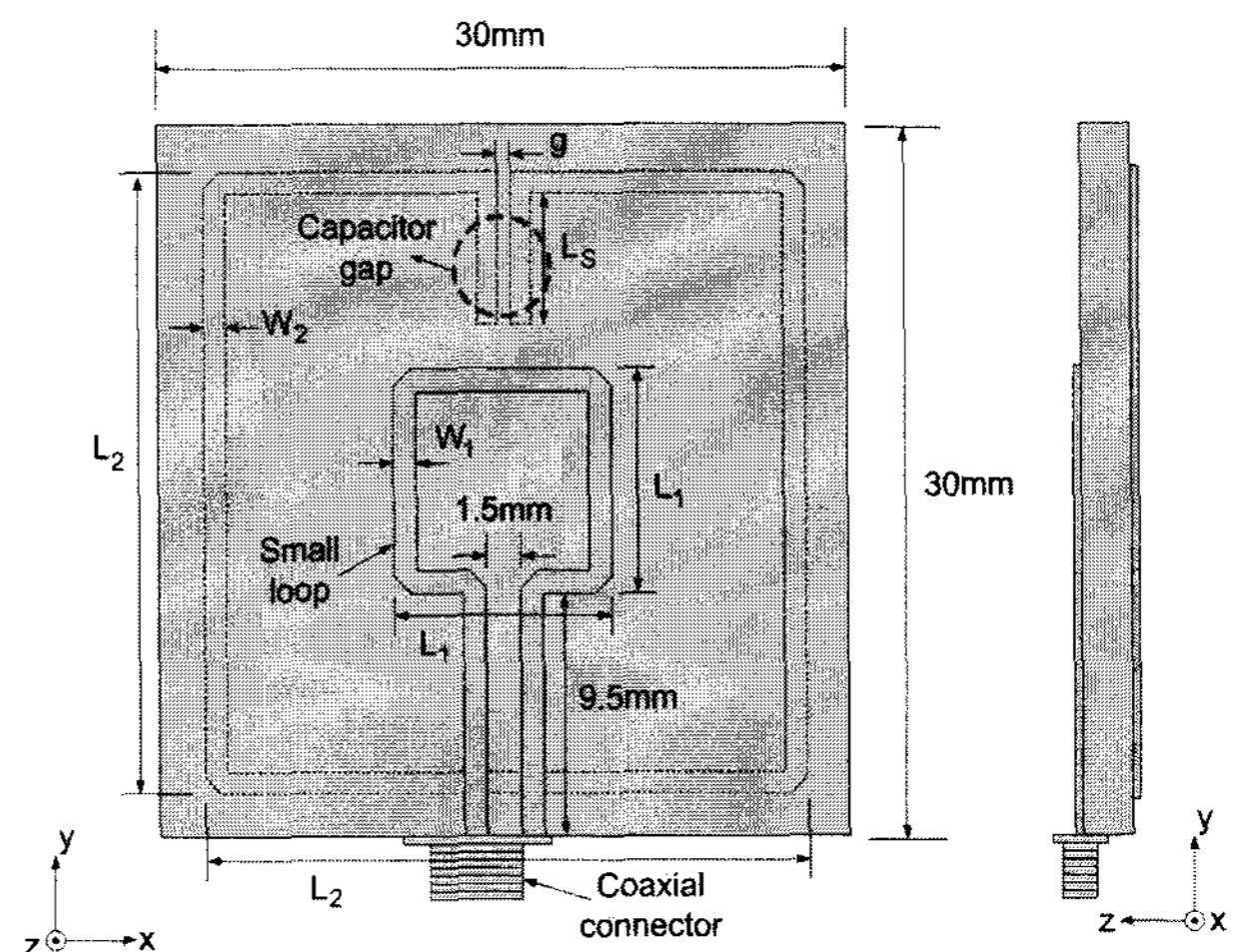
그림 1. 전기적 소형안테나의 개념도
Fig. 1. The concept of electrically small antennas

성분을 갖게 되므로 안테나의 리액턴스부에 대한 정합이 이루어지지 않게 되면 안테나의 방사효율이 낮아지게 된다. 따라서 추가적인 리액턴스부의 정합 회로망이 필요하게 되며, 소형 루프 안테나의 경우에는 등가임피던스가 인덕턴스 성분을 갖고 소형 다이폴인 경우에는 캐패시턴스 성분을 갖는다. 소형 안테나 주위에 캐패시턴스 성분 또는 인덕턴스 성분을 갖는 구형 덮개 구조를 적용하면 전체적으로 LC 공진기 형태로 임피던스정합이 이루어진다. 따라서 본 논문에서는 캐패시턴스 성분의 덮개 구조를 적용하여 간단한 구조로 임피던스 정합을 이룬 전기적 소형 루프 안테나를 제안한다.

2. 제안된 안테나의 구조 및 등가회로

그림 2에 제안된 안테나의 구조를 나타내었다. 소형 루프에 의해 형성된 시간에 따라 변하는 자속에 의해 안테나 뒷면의 SRR (Split Ring Resonator)에 전류를 인가시키므로 SRR의 캐패시터 갭 사이에 강한 전계가 형성된다. 인가된 전계에 의해 발생된 캐패시턴스는 소형 루프 안테나의 인덕턴스 성분과 정합되어 공진하게 된다. 제안된 안테나의 설계변수들은 공진주파수 및 임피던스 정합을 결정짓는 중요한 요소이다.

제안된 안테나는 소형 루프와 SRR의 결합을 통하여 동작하게 되므로 주로 SRR이 방사에 기여하게 되고 캐패시터 갭의 간격과 길이 조절에 의한 캐패시턴스 값의 변화로 인하여 공진주파수가 결정된다. 안테나의 인덕턴스와 캐패시턴스 값들은 SRR의 루프 길이와 캐패시터 갭의 간격과 길이에 의해서 결정되어진다.



$$L_1 = 11\text{mm}, W_1 = 1.2\text{mm}, L_2 = 26\text{mm}, \\ W_2 = 0.8\text{mm}, L_S = 4.3\text{mm}, g = 0.5\text{mm}$$

그림 2. 제안된 안테나의 구조
Fig. 2. The geometry of proposed antenna

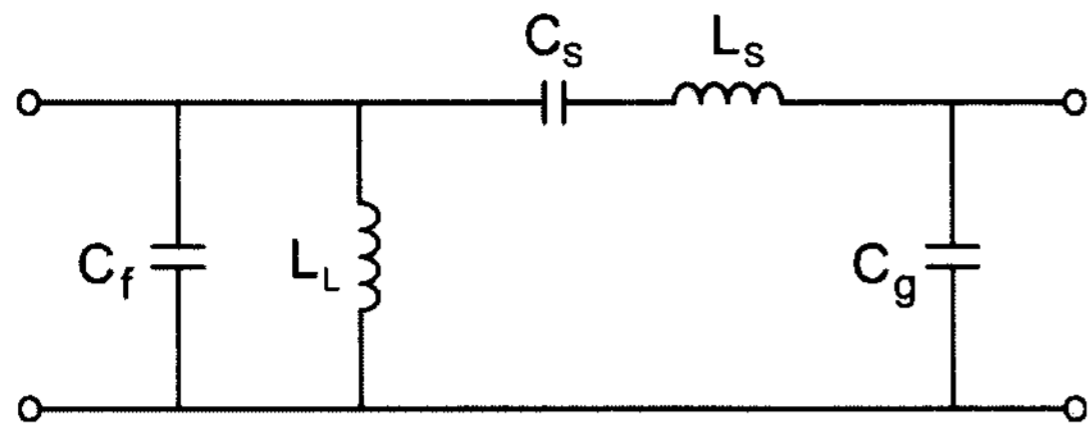
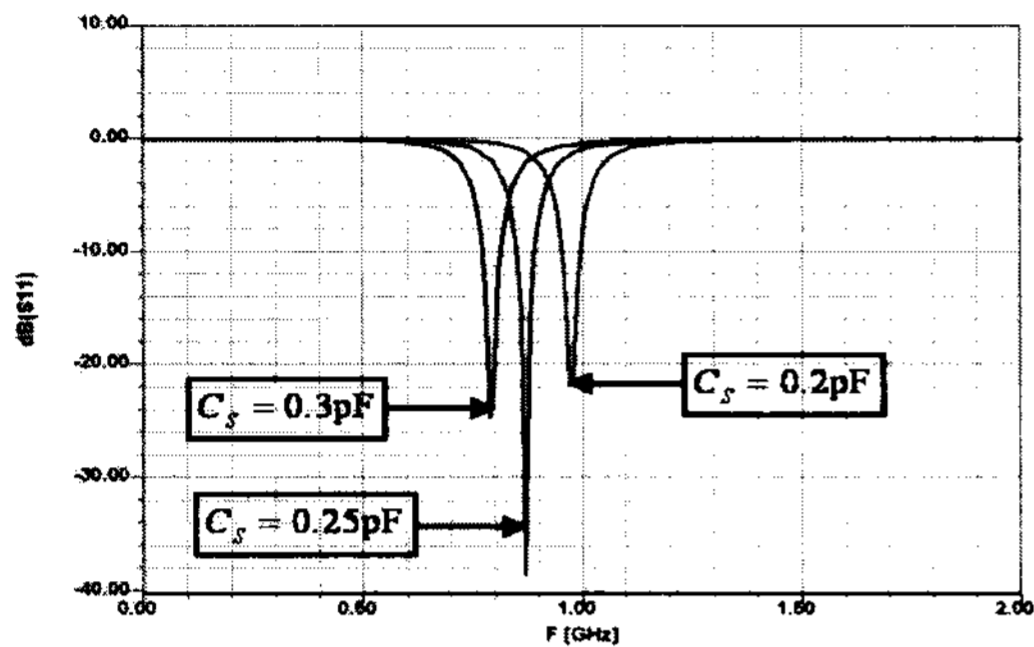
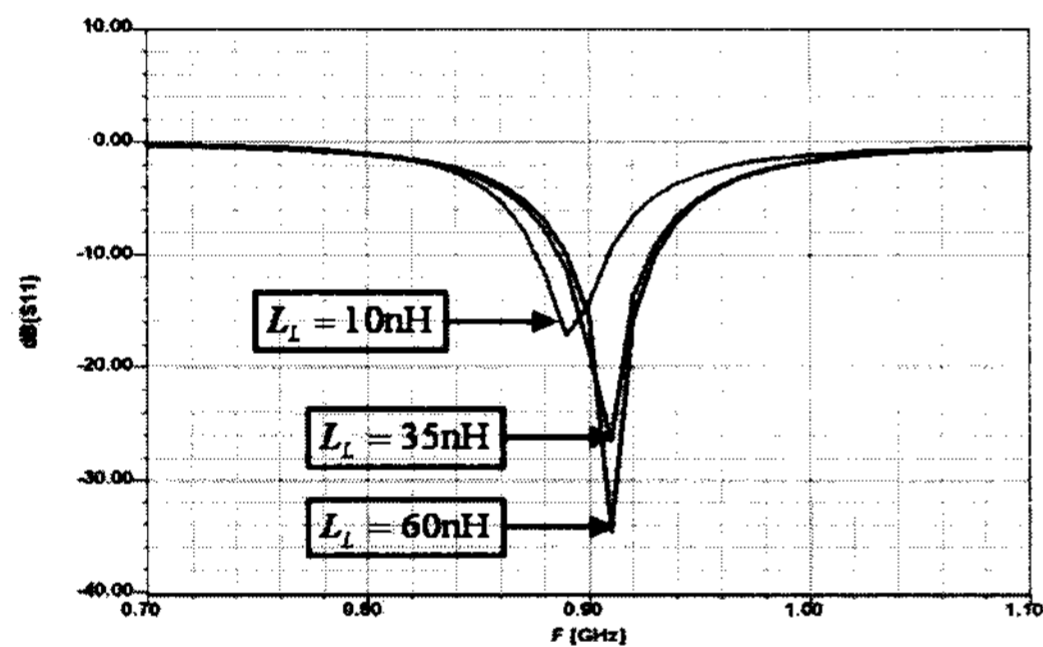


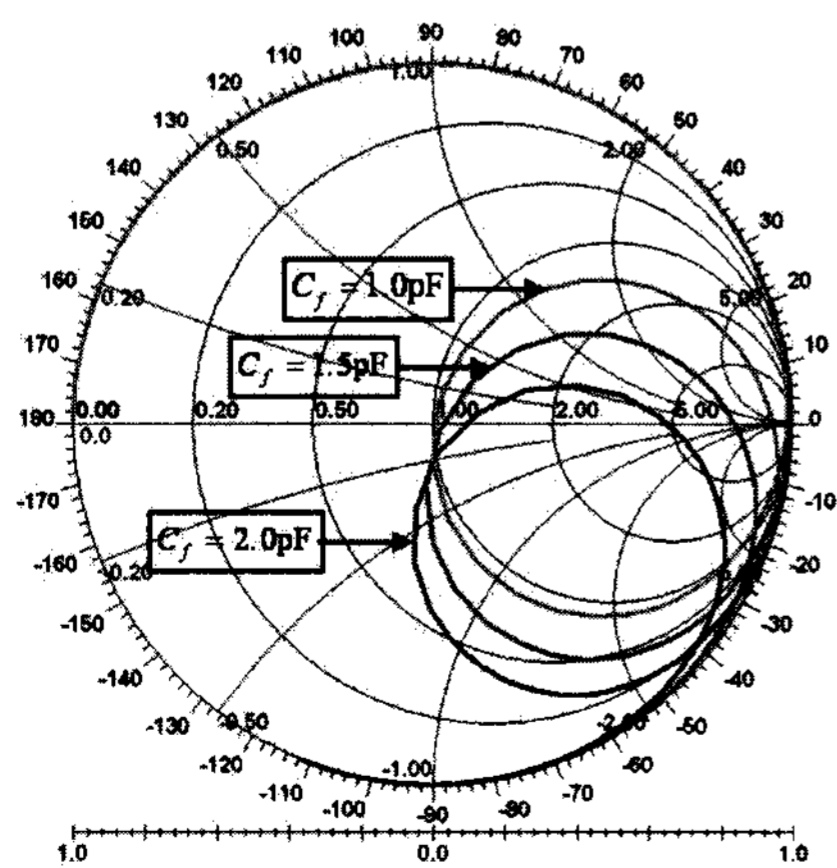
그림 3. 제안된 안테나의 등가회로
Fig. 3. The equivalent circuit of proposed antenna.



(a) 설계변수 C_s 에 따른 반사손실 변화
(a) Variation of return loss against parameter of C_s .



(b) 설계변수 L_L 에 따른 반사손실 변화
(b) Variation of return loss against parameter of L_L .



(c) 설계변수 C_f 에 따른 임피던스 궤적 변화
(c) Variation of impedance loci against parameter of C_f .

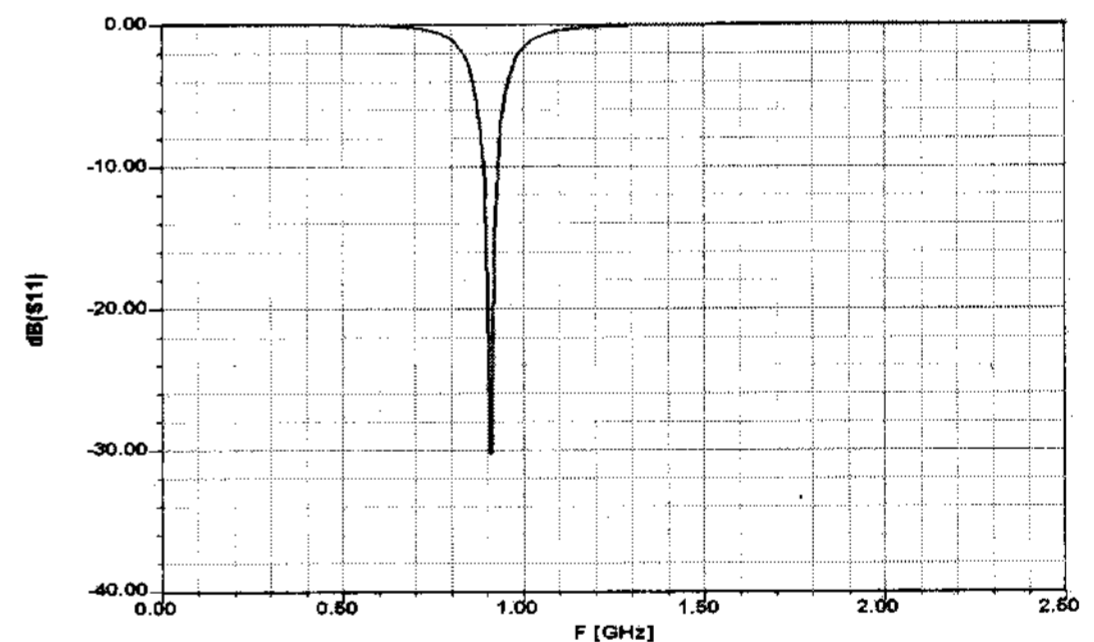
그림 4. 등가회로를 통한 제안된 안테나의 특성 변화
Fig. 4. The variation of characteristics of proposed antenna by equivalent circuit.

그림 3에 제안된 안테나의 등가회로를 나타내었다. L_L 은 소형 루프와 급전선로에서의 인덕턴스, L_S 는 SRR에 형성된 인덕턴스를 나타내고 C_f 는 급전선로에 의한 캐패시턴스 성분, C_s 는 SRR의 캐패시터 겹과 소형 루프와 SRR과의 상호 결합에 의한 캐패시턴스, C_g 는 급전선로와 SRR사이에서의 결합에 의한 캐패시턴스를 나타낸다.

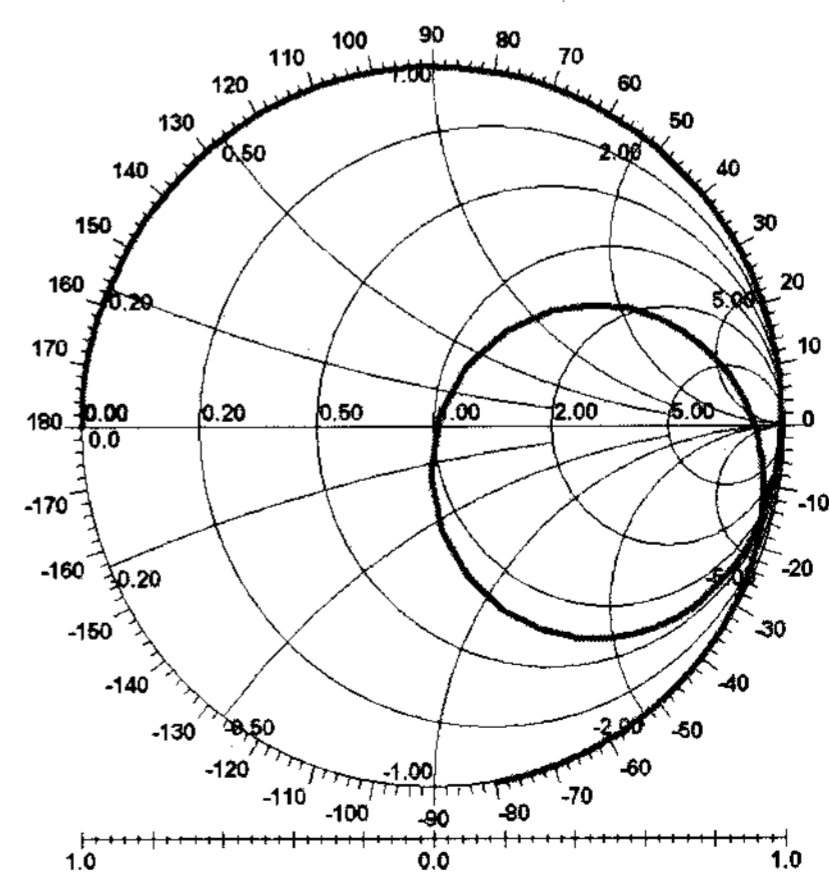
제안된 안테나의 설계에 앞서 등가회로를 통하여 안테나를 구성하고 있는 각 소자 값의 변화에 따른 동작 특성의 변화를 확인하였다. 그림 4에 등가회로에서 소자 값의 변화에 따른 안테나 동작특성의 변화를 나타내었다. 등가회로를 이용한 모의실험은 Ansoft사의 Designer V2.0을 사용하였다. 등가회로를 이용한 모의

표 1. 제안된 등가회로에서의 소자 값
Table 1. The values of equivalent circuit elements.

인덕턴스 (nH)		캐패시턴스 (pF)		
L_L	L_S	C_f	C_S	C_g
41.4	134.7	1.2	0.23	0.025



(a) 반사손실
(a) Return loss.



(b) 입력 임피던스
(b) Input impedance

그림 5. 등가회로 모의실험 결과
Fig. 5. The equivalent circuit simulation results.

실험 결과 소형 루프에서의 인덕턴스 성분인 L_L 에 의해 임피던스 정합 특성이 결정되고 SRR의 캐패시터 갭에 형성되는 캐패시터 성분인 C_S 에 의해 제안된 안테나의 동작주파수가 결정됨을 알 수 있다.

표 1에 제안된 등가회로에서의 최적화된 설계변수들의 소자 값을 나타내었다. 제안된 안테나의 설계 중심 주파수는 911MHz로 하였다. 그림 5에 등가회로로부터 얻어진 안테나의 반사손실 및 입력 임피던스 특성을 나타내었다.

3. 3차원 모의실험 결과

설계변수들의 변화에 따른 제안된 안테나의 특성변화를 파악하고 안테나구조를 구체화시키기 위하여 상용 소프트웨어인 CST사의 MWS 2006을 모의실험에 사용하였다. 그림 6에 SRR의 캐패시터 갭의 간격(g)과 길

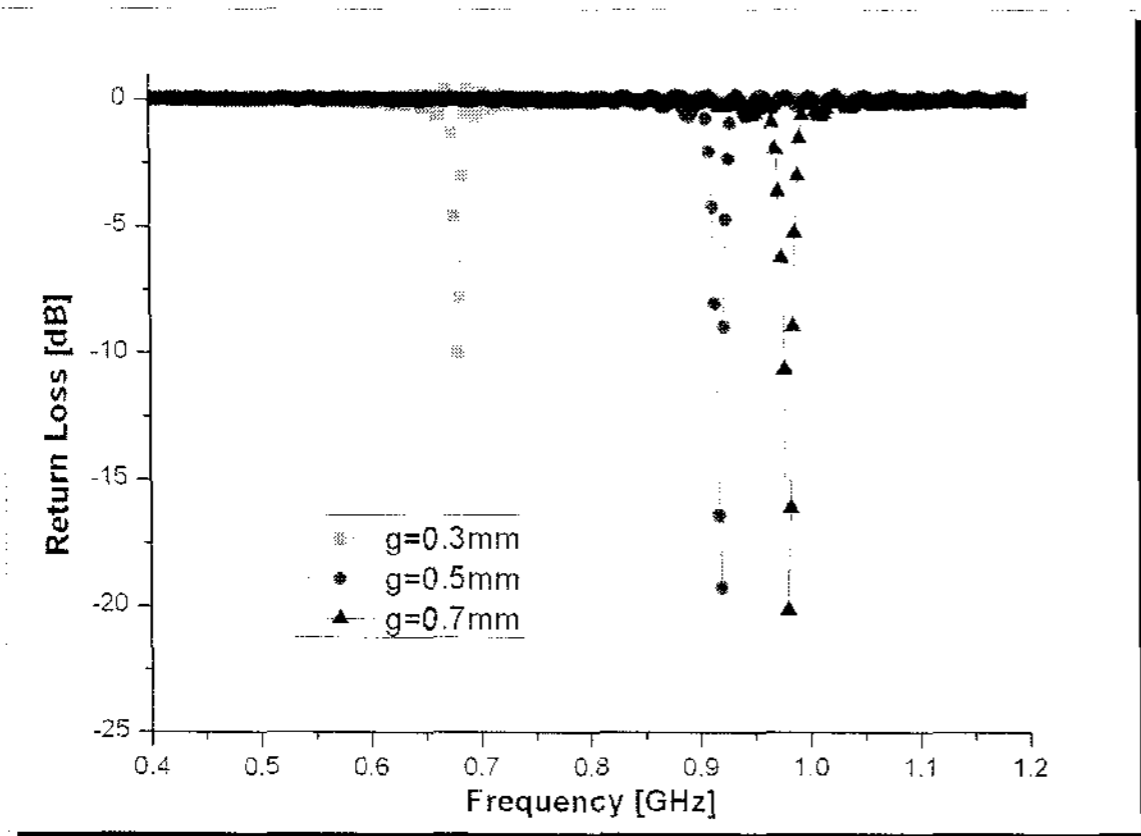
이(L_S)에 따른 반사손실 변화를 나타내었다.

캐패시터 갭의 간격과 길이의 변화가 안테나의 공진 주파수 변화의 중요한 요소임을 확인할 수 있었다. 캐

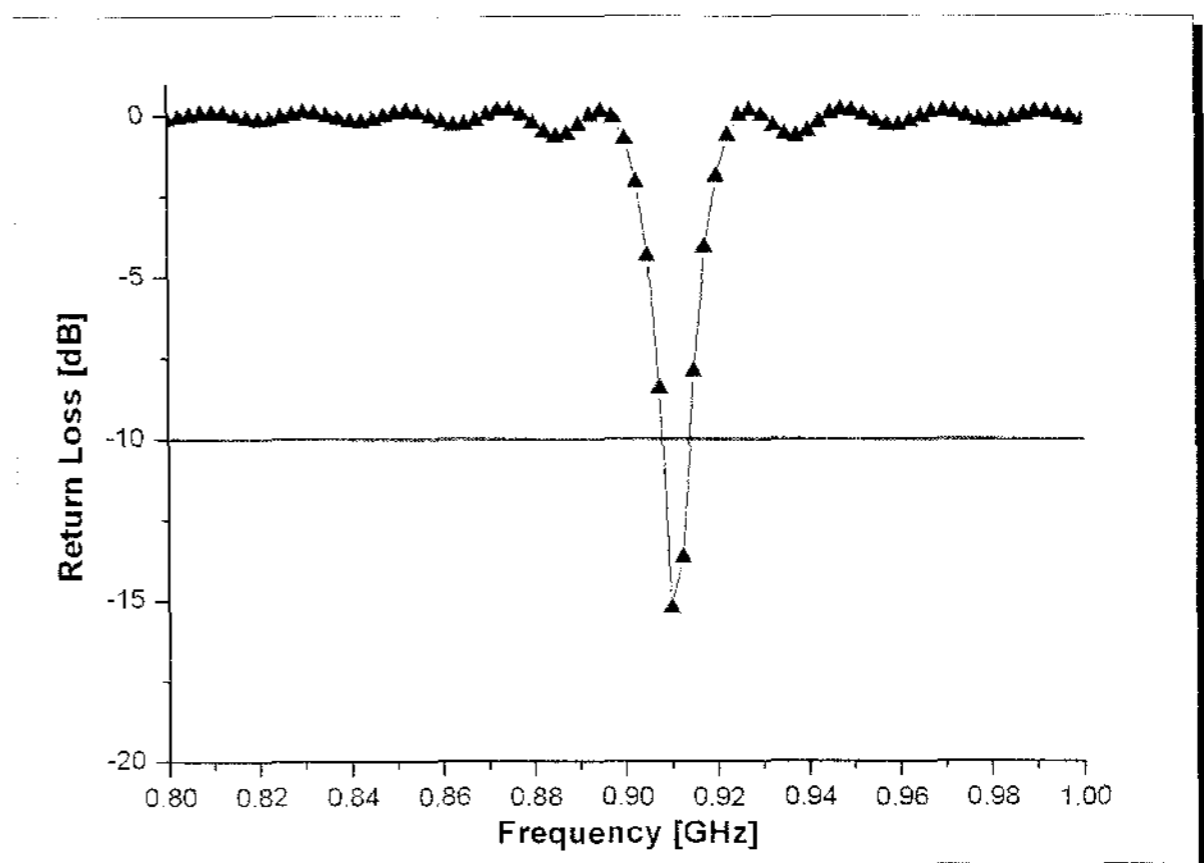
표 2. 최대이득 및 방사효율 변화

Table 2. Variation of maximum gain and radiation efficiency.

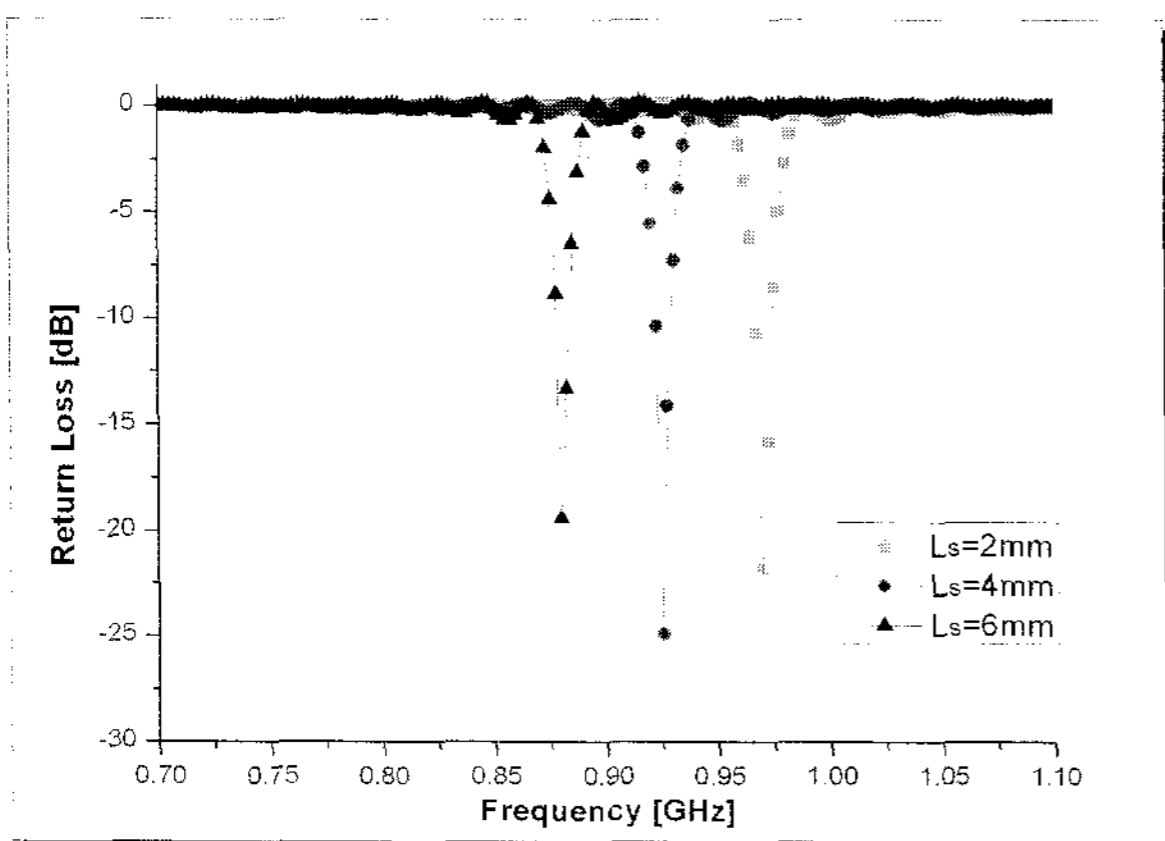
설계변수 (mm)	공진주파수 (GHz)	방사효율 (%)	최대이득 (dBi)
$g = 0.3 (L_S = 4.3)$	0.68	36	0.6
$g = 0.5 (L_S = 4.3)$	0.92	57	1.6
$g = 0.7 (L_S = 4.3)$	0.98	61	1.69
$L_S = 2 (g = 0.5)$	0.97	60	1.68
$L_S = 4 (g = 0.5)$	0.925	58	1.61
$L_S = 6 (g = 0.5)$	0.88	54	1.5



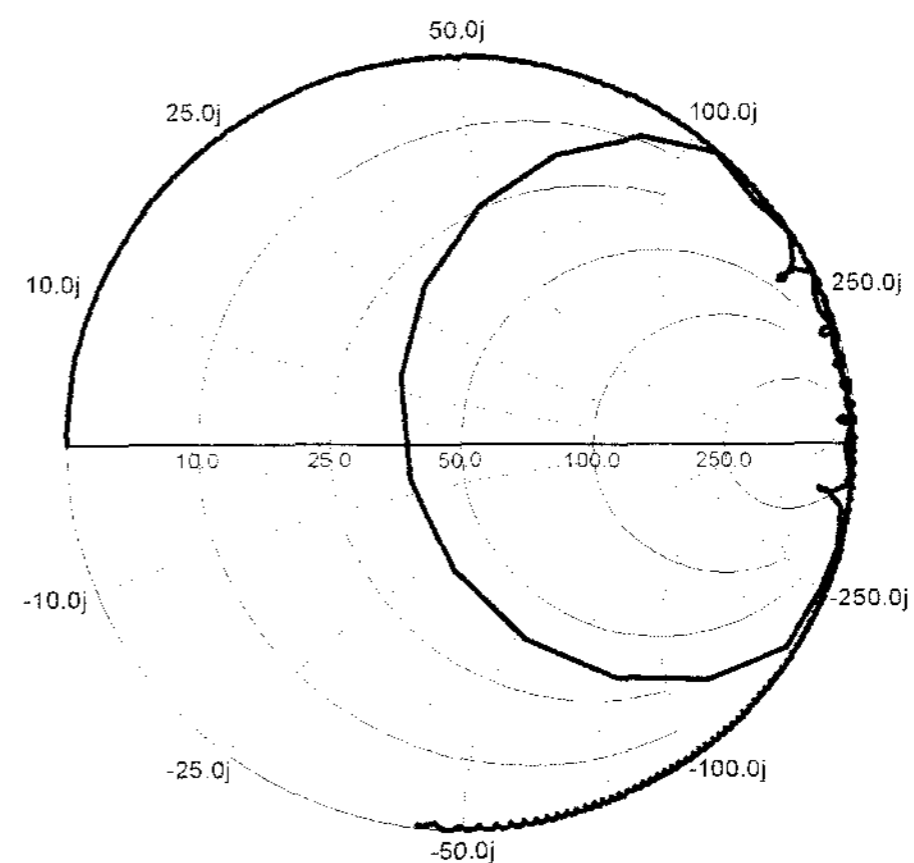
(a) 캐패시터 갭의 간격(g)에 따른 반사손실 변화
(a) Variation of return loss against parameter of g .



(a) 반사손실
(a) Return loss.



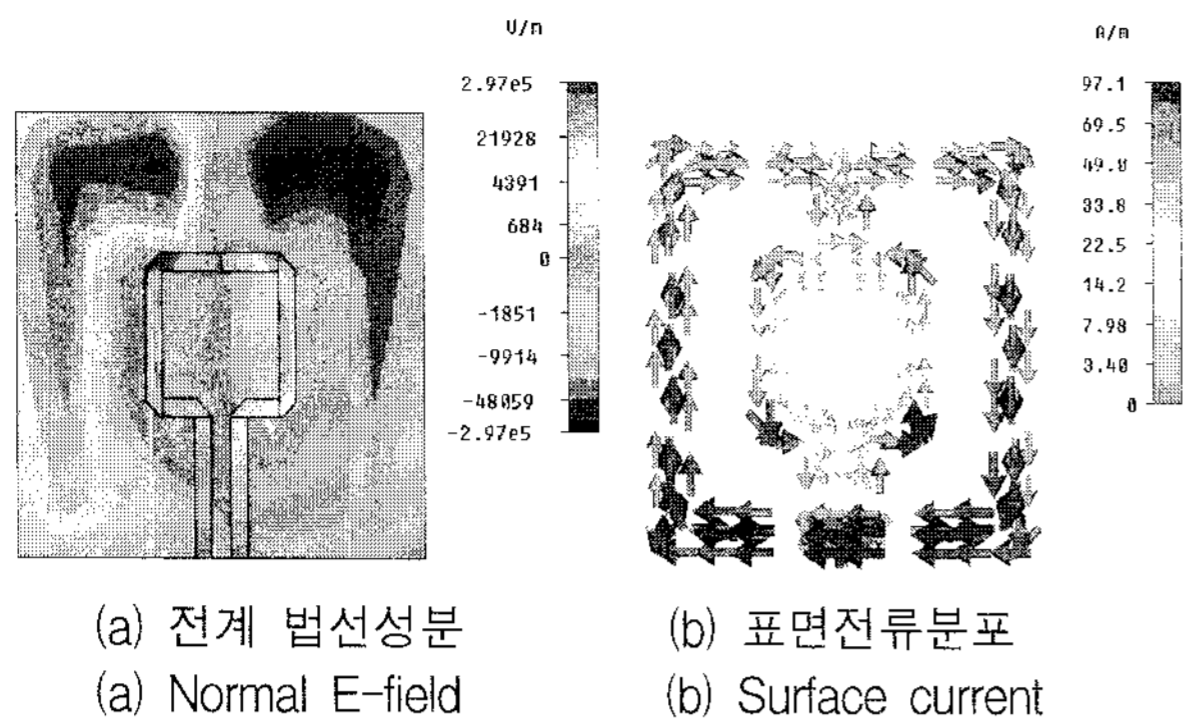
(b) 캐패시터 갭의 길이(L_S)에 따른 반사손실 변화
(b) Variation of return loss against parameter of L_S



(b) 입력 임피던스
(b) Input impedance.

그림 6. 제안된 안테나의 반사손실 변화
Fig. 6. The variation of return loss of proposed antenna.

그림 7. 3차원 전자계 모의실험 결과
Fig. 7. The 3-D field simulation results.



(a) 전계 법선성분 (a) Normal E-field (b) 표면전류분포 (b) Surface current

그림 8. 전자기장 및 표면전류 분포
Fig. 8. The simulated field and surface current distribution.

패시턴스 성분이 증감함에 따라 공진주파수가 하향됨을 알 수 있다. 표 2에 캐패시터 갭의 간격과 길이에 따른 제안된 안테나의 이득 및 방사효율 변화를 나타내었다. 캐패시턴스 성분의 증가에 따라 안테나가 저장하는 에너지가 많아져 이득 및 효율이 저하되므로 안테나의 이득 및 효율을 고려하여 캐패시터 갭의 길이와 간격을 결정하여야 한다.

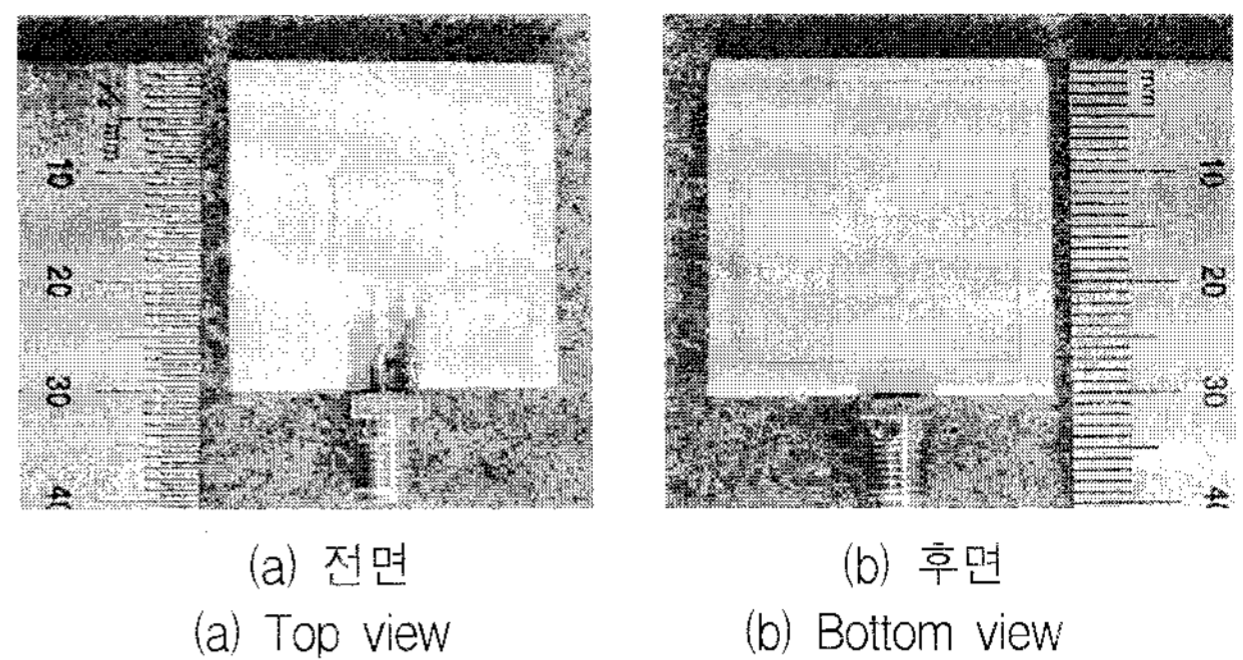
그림 7에 모의실험을 통하여 얻어진 최적화된 안테나의 반사손실 및 입력 임피던스 특성을 나타내었다. 모의실험 결과와 등가회로를 이용하여 계산한 결과는 유사한 특성을 나타내고 있으므로 제안된 안테나의 등가회로는 적합함을 확인하였다.

그림 8에 911MHz에서 제안된 안테나의 전자기장 분포를 나타내었다. SRR의 캐패시터 갭에 의한 캐패시턴스 성분과 소형 루프와 SRR에서의 인덕턴스 성분을 확인할 수 있었다. 제안된 안테나는 모의실험결과 911MHz에서 최대이득 1.58dBi, 최대방사효율 57.6%를 보였다.

III. 제작 및 측정결과

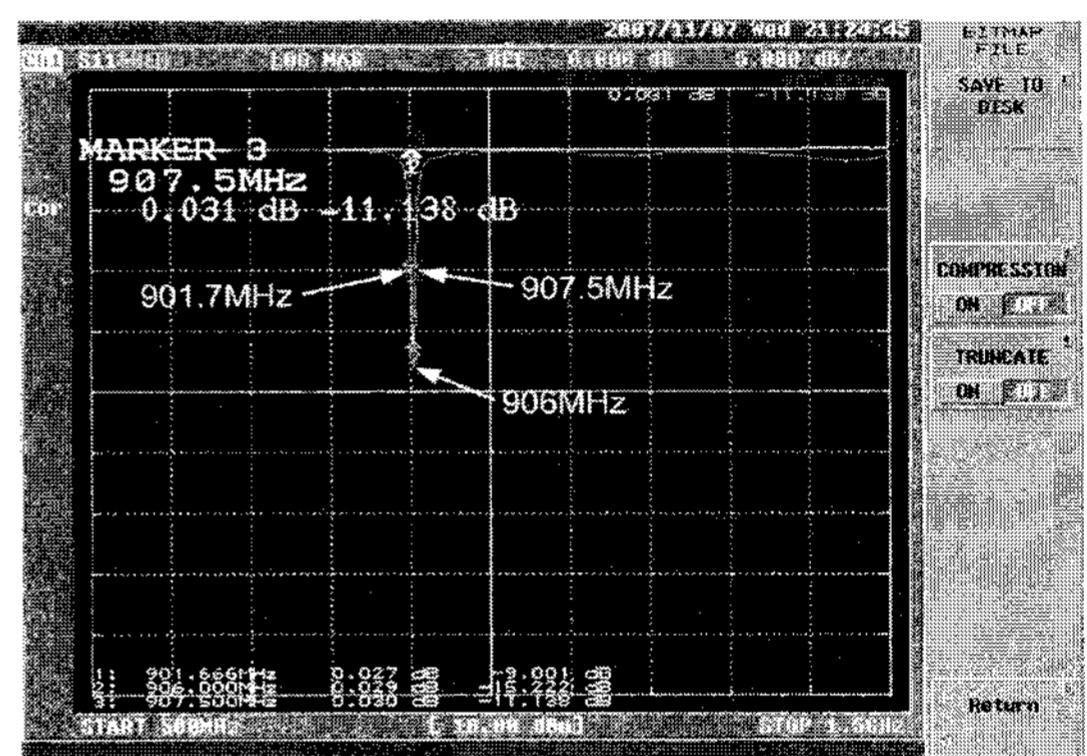
제안된 안테나제작에는 Taconic사의 두께 60mil의 비유전율(ϵ_r)이 2.2 인 테플론 기판을 사용하였고 급전선로에 50Ω 동축 프로브를 연결하여 직접 급전시켰다. 전기적 소형 루프 안테나의 인덕턴스 성분과 기판 뒷면에 SRR 구조를 이용하여 얻어진 캐패시턴스 성분을 결합시켜 제안된 안테나가 LC 공진구조를 이루도록 하였다. 접지면을 사용하지 않는 소형 루프 안테나구조를 기본 안테나로 사용하였으며, SRR 형태의 덮개 구조로 안테나를 정합시키도록 하였다.

그림 9에 실제 제작된 안테나를 나타내었다. 그림 10

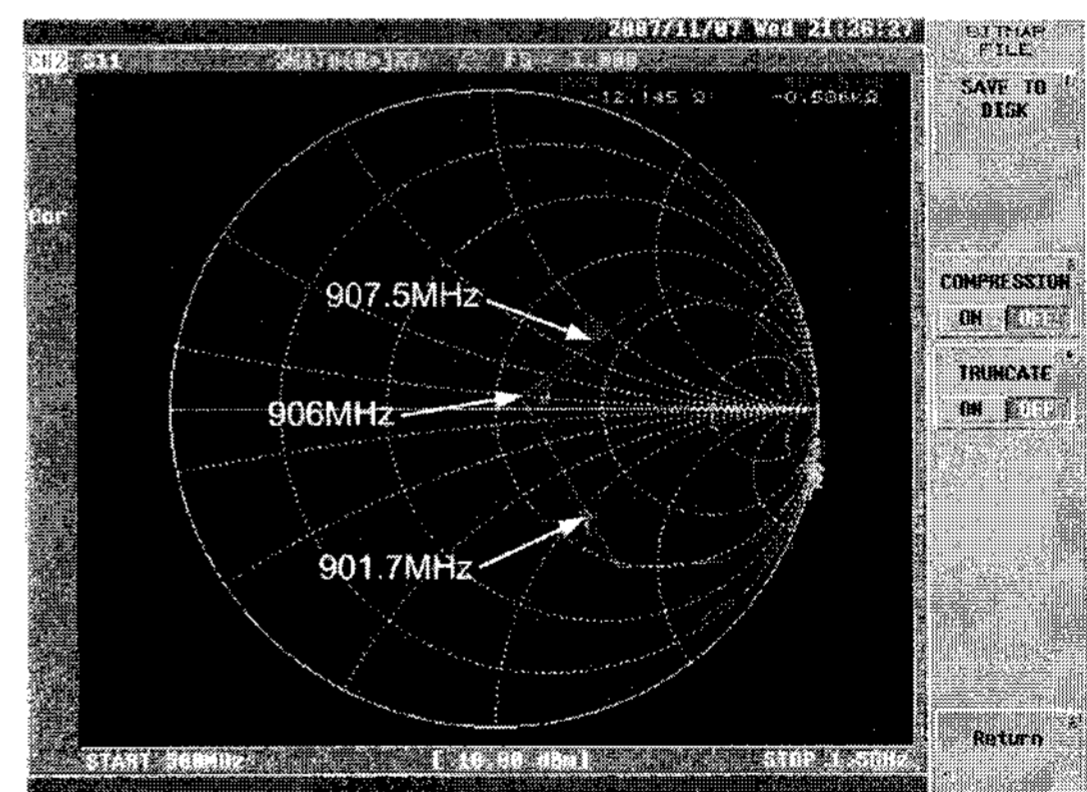


(a) 전면 (a) Top view (b) 후면 (b) Bottom view

그림 9. 제작된 안테나의 사진
Fig. 9. The photo of fabricated antenna.



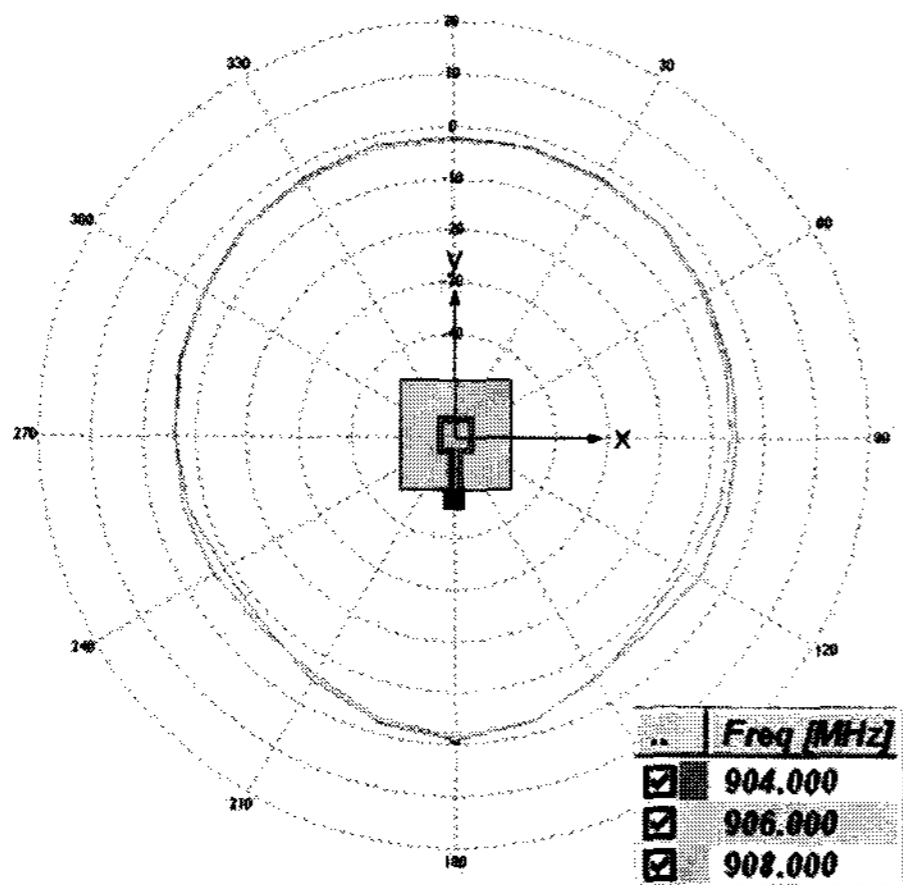
(a) 반사손실 (a) Return loss.



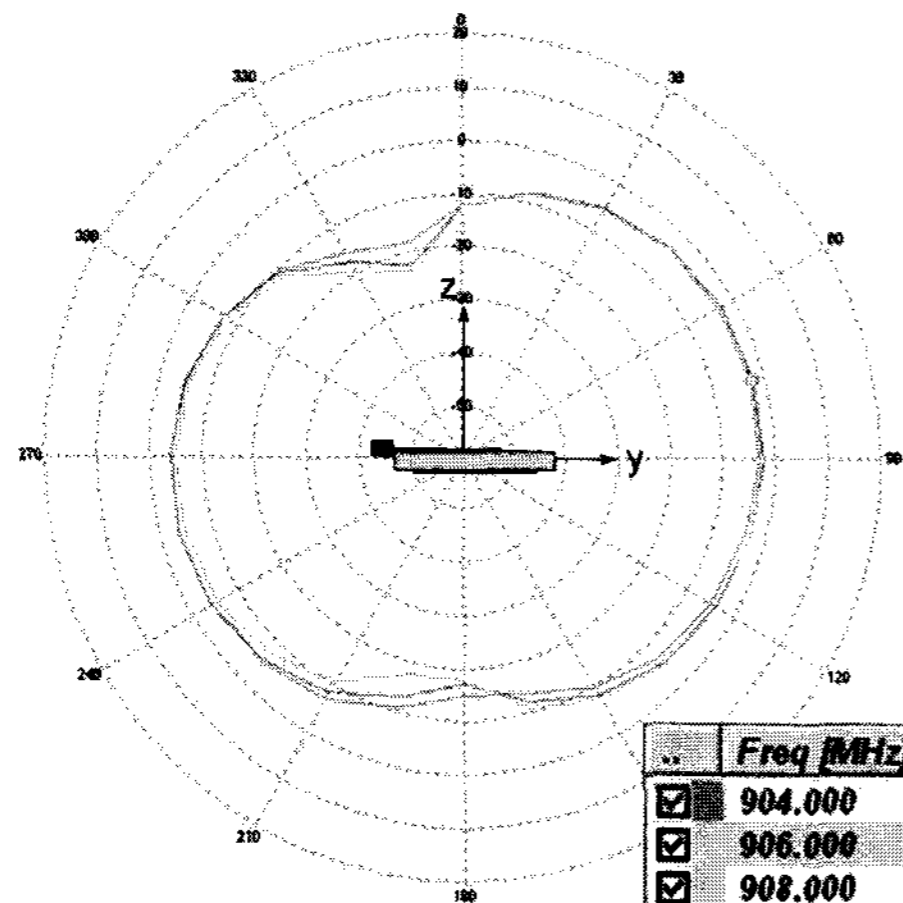
(b) 입력 임피던스 (b) Input impedance.

그림 10. 제작된 안테나의 특성 측정결과
Fig. 10. The measured characteristic results of fabricated antenna.

에 측정된 안테나의 반사손실 및 입력 임피던스 특성을 나타내었다. 측정결과 공진주파수는 906MHz이고 임피던스 대역폭($VSWR \leq 2$)은 5.8MHz (901.7 - 907.5MHz)를 나타내었다. 그림 11에 제작된 안테나의 방사패턴을 나타내었다. 일반적인 전기적 소형 안테나와 유사한 준 등방성의 방사패턴을 보였고 906MHz에서 최대이득 -0.59dBi, 최대방사효율 42.85%를 얻었다.



(a) x-y 평면
(a) x-y plane.



(b) y-z 평면
(b) y-z plane.

Frequency [MHz]	Peak Value	3D Avg [dBi]	Gain [dBi]	Efficiency [%]
904.000	-3.46	-6.70	-6.70	21.47
906.000	-2.30	-5.49	-5.49	28.37
908.000	-1.05	-4.20	-4.20	36.10
904.000	-0.59	-3.69	-3.69	42.85
906.000	-0.68	-4.00	-4.00	39.92
908.000	-1.32	-4.83	-4.83	33.01

그림 11. 제작된 안테나의 방사패턴 측정결과
Fig. 11. The measured radiation pattern results of fabricated antenna.

모의실험 결과에 비해 공진주파수가 5MHz 하향되었고 이득은 2.17dBi, 방사효율은 14.75% 감소하였다. 이는 공정상에서의 오차 및 측정 시 급전부에서의 손실로 사료된다.

IV. 결 론

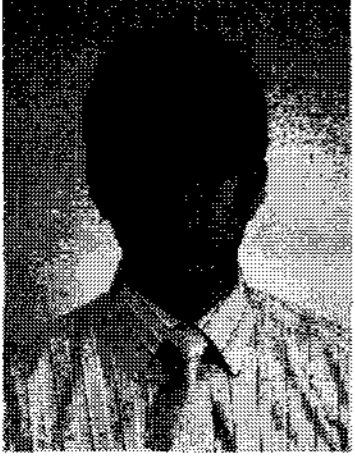
본 논문에서는 SRR 덮개 구조를 갖는 정사각형 전기적 소형 루프 안테나를 설계 및 제작하였다. 제작된

전기적 소형 루프 안테나의 ka 값은 전기적 소형안테나의 기준인 $ka < 1$ 보다 매우 작은 0.34를 얻었다. 제안된 안테나의 공진주파수는 906MHz이고 임피던스 대역폭($VSWR \leq 2$)은 5.8MHz (901.7 - 907.5MHz)을 얻었다. 제안된 안테나의 방사패턴을 측정된 결과 일반적인 전기적 소형안테나와 유사한 준 등방성의 방사패턴을 나타내었고 안테나의 등가회로 모델이 제시되어졌다. 기존의 전기적 소형안테나의 단점인 안테나 정합 문제를 SRR 덮개 구조를 사용하여 해결함으로써, 접지면 환경을 요구하지 않는 안테나 시스템에 제안된 안테나 구조가 효율적으로 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] H. A. Wheeler, "Fundamentals limitations of small antennas", Proc. IRE, vol. 35, pp. 1479-1484, Dec. 1947.
- [2] L. J. Chu, "Physical limitations of omnidirectional antennas", J. Appl. Phys., vol. 19, pp. 1163-1175, Dec. 1948.
- [3] R. C. Hansen, Electrically small, superconductive, and superconducting antennas, Wiley Inter-Science, 2006.
- [4] R. W. Ziolkowski and A. Erentok, "Metamaterial-based efficient electrically small antennas", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 54, pp. 2113-2130, Jul. 2006.
- [5] R. W. Ziolkowski, "Metamaterial-based antennas : research and developments", IEICE TRANS. ELECTRON., vol. E89-C, pp. 1267-1275, Sep. 2006.
- [6] A. Erentok and R. W. Ziolkowski, "Two-dimensional efficient metamaterial-inspired electrically-small antenna", Microwave Opt Tech Lett., vol. 49, pp. 1669-1673, Nov. 2006.
- [7] 김호용, 김중관, 김정환, 김용진, 이흥민, "메타물질 구조 기반 전기적 소형 모노폴 안테나의 설계", 전자과학회 추계학술발표대회, vol. 30, pp. 577-580, 2007년.
- [8] CST STUDIO SUITE™ 2008 MWS (Micro Wave Studio), CST Corporation.

 저 자 소 개



김 용 진(학생회원)
 2007년 경기대학교 전자공학부
 (학사)
 2007년~현재 경기대학교
 전자공학부 석사과정
 <주관심분야 : 안테나 설계 및 해석,
 RF 수동소자, Metamaterials>



김 정 한(학생회원)
 2007년 경기대학교 전자공학부
 (학사)
 2007년~현재 경기대학교
 전자공학부 석사과정
 <주관심분야 : 안테나 설계 및 해석,
 RF 시스템, Metamaterials>



이 흥 민(정회원)
 1972년 연세대학교 전자공학과
 (학사)
 1974년 연세대학교 전자공학과
 (석사)
 1990년 연세대학교 전자공학과
 (박사)

1991년~현재 경기대학교 전자공학부 교수
 <주관심분야 : 안테나 설계 및 해석, 전파전파,
 RF 수동소자, Metamaterials>