

論文2003-40TC-9-5

# 동심원 복사구조를 갖는 광대역 원형 링슬롯 마이크로스트립 안테나

## (Wideband Annular Ring Slot Microstrip Antenna with Concentric Radiating Structure)

申昊燮\*, 金男\*, 李承燁\*\*, 安炳哲\*

(Ho-Sub Shin, Nam Kim, Seung-Yeop Rhee, and Bierng-Chearl Ahn)

### 요약

본 논문에서는 동심원 복사구조와 저임피던스 급전선로를 갖는 광대역 원형 링슬롯 안테나를 제안하였다. 이 안테나는 상대유전율 4.3과 두께 1 mm을 가진 FR-4 기판을 가지고 해석되었다. 제안된 안테나의 측정된 10 dB 임피던스 대역폭은 127.2%(2.17~9.76 GHz)로써 기존의 원형 링슬롯 안테나의 최고 82% 대역폭보다 훨씬 광대역이다. 또한 실험 결과와 시뮬레이션 결과는 잘 일치한다. 그리고 이 안테나는 원형 링슬롯 안테나보다 크기가 24% 작을 뿐만 아니라 전 주파수 대역에서 4 dBi이상의 고이득을 가진다.

### Abstract

The wideband annular ring slot antenna with concentric radiating structure and low impedance feedline has been presented. This antenna has been analyzed in compensation for FR-4 substrate with relative permittivity 4.3 and thickness 1 mm. As the measured 10 dB impedance bandwidth of the proposed antenna is 127.2%(2.17~9.76 GHz), its bandwidth is much broader than maximum 82% bandwidth of a conventional annular ring slot antenna. Experimental results from 2 to 10 GHz are shown to be in good agreement with the simulation. And this antenna has a high gain above 4 dBi from 2 GHz to 10 GHz as well as a 24% size reduction and 42% area reduction than a circular slot antenna.

**Keywords** : wideband, microstrip antenna, high gain, miniaturization

### I. 서론

우리는 지금 21세기 지식 정보화 시대에 살고 있으며, 지식 정보화 시대에서는 지식 정보산업이 가장 부가가치가 크다고 할 수 있다. 따라서 언제 어디서나 대용량의 정보를 교환할 수 있는 무선 통신 장비의 개발을 위해 광대역 안테나의 개발이 필수적이라 할 수 있겠다. 실제로 UWB(Ultra WideBand) 시스템과 SDR(Software Defined Radio) 기술 등이 많이 필요해지게 됨에 따라 광대역 안테나의 연구 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 그뿐만 아니라 인체방사파 측정, 전자파 장해 측정과 GPR(Ground Penetrating Radar)에도 초광대역 안테

\* 正會員, 忠北大學校 電氣電子컴퓨터工學部  
(Chungbuk Nat'l University, School of Electrical & Computer Engineering, Division of Information & Communication Engineering)

\*\* 正會員, 麗水大學校 電子通信·電氣工學部  
(Yosu Nat'l University, School of Engineering, Division of Electronic Communication and Electrical Engineering, Electronic Communication Engineering Program)

接受日字:2003年6月24日, 수정완료일:2003年8月26日

나가 필요하다. 또한 통신장비가 점점 휴대가능할 수 있게 됨에 따라 소형, 경량, 박형의 특징을 가지는 마이크로스트립 안테나에 대한 연구가 활발해지고 있다. 하지만 마이크로스트립 안테나는 대역폭이 좁아서 실제로 적용하기에는 어려운 단점을 가지고 있어서 대역폭을 개선하기 위해 여러 가지 방법들이 연구되고 있다<sup>[1]</sup>. 이러한 단점을 극복하기 위해서 기판의 두께를 증가시키는 방법<sup>[2]</sup>, 다층 기판을 사용하는 방법<sup>[3]</sup>, 대수 주기 배열 방법, 동일평면상에 여러개의 패치를 중복적으로 겹치는 방법, 기생소자가 용량성 결합으로 부가된 안테나를 사용하는 방법, 개구 결합 적층 마이크로스트립 안테나를 이용하는 방법<sup>[4, 5]</sup> 등 다양한 방법이 연구되고 있지만 안테나의 크기가 커진다는 문제점이 있으므로 안테나의 구조자체를 변화시켜서 대역폭을 넓히는 방법들이 제시되고 있다<sup>[6]</sup>.

원형 링슬롯 안테나는 원형 패치 안테나보다 크기를 줄일 수 있고 원형 패치 안테나보다 광대역 특성을 가진으로써 최고 82%의 대역폭을 가졌다<sup>[7, 8]</sup>. 또한 대역폭을 더 넓히기 위해 원형 링슬롯 내부에 비동심으로 원형 패치를 두고 저임피던스 급전구조를 사용한 방법이 제시되었다<sup>[9]</sup>. 본 논문에서는 원형 링슬롯 안테나의 대역폭을 더 넓히기 위해 원형 슬롯 내부에 동심으로 원형 패치를 두었고<sup>[10]</sup> 급전구조를 저임피던스 급전구조<sup>[4]</sup>로 설계하였다. 해석결과 임피던스 대역폭을 127.2%까지 넓힘으로써 안테나의 임피던스 대역폭을 획기적으로 개선시킬 수 있었다.

## II. 설계 이론

원형 링슬롯 안테나는 최저차 모드(TM<sub>11</sub>)의 공진주파수가 같은 크기의 원형 패치의 공진주파수보다 작기 때문에 원형 패치 안테나보다 더 작은 크기로 안테나를 설계할 수 있다. 왜냐하면 링슬롯에서 진행되는 전류의 평균길이가 최저차 모드에 대한 원형패치 내부에서 진행되는 전류의 평균길이보다 길기 때문이다<sup>[7]</sup>.

$$Q = w \frac{W_m + W_e}{P_l} \tag{1}$$

따라서 식 (2)에 의해 광대역 대역폭 특성을 가지게 되는 것이다<sup>[12]</sup>.

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{1}{Q_t} \tag{2}$$

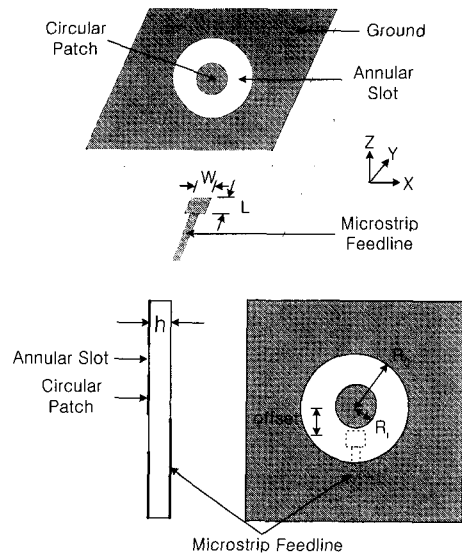


그림 1. 동심원 복사구조와 저임피던스 급전구조를 갖는 원형 링슬롯 안테나의 구조도(기판(FR-4 기판)의 유전율: 4.3, 기판의 두께: 1.0 mm)

Fig. 1. Geometry of the annular ring slot antenna with a concentric radiator and a low impedance feedline.

이식들에서  $W_m$ 은 인덕터 성분에 저장된 평균 자계 원형 패치에 비해 링슬롯은 에너지를 덜 저장시키므로 식 (1)에 의해 더 적은 Q값을 가진다<sup>[11]</sup>.

에너지이고  $W_e$ 는 커패시터 성분에 저장된 평균 전계 에너지이며,  $P_l$ 은 공진회로의 손실이다. 또한  $\Delta f$ 는 대역폭이고  $f_0$ 는 공진주파수이며,  $Q_t$ 는 안테나의 total quality factor이다.

본 논문에서는 더욱 광대역 특성을 갖게 하기 위해 동심으로 링슬롯을 내고 급전선을 저임피던스 급전구조를 갖는 안테나로 설계하였다. <그림 1>은 제안한 안테나의 구조도이다.

본 동심원 구조를 갖는 원형 링슬롯 안테나의 n차모드(1회전에 n사이클 변화,  $kr=n$ )의 공진주파수는 다음과 같다<sup>[13]</sup>.

$$f_r = \frac{nc}{\pi \sqrt{\epsilon_{eff}} (R_0 + R_i)} \tag{3}$$

여기서  $\epsilon_{eff} = (\frac{\lambda_0}{\pi(R_i + R_o)})^2$ 는 슬롯선로에서의 실효 유전상수이고<sup>[14]</sup> c는 빛의 속도이며,  $R_0$ 와  $R_i$ 는 각각 링의 밖과 안의 반지름이고  $\lambda_0$ 는 공진주파수에 대한 공진파장이다.

$kr=1$ 일 때 원형 링슬롯의 원주를 따라  $2\pi[\text{rad}]$ 의 위상이 변화하므로 TM<sub>11</sub> mode가 된다. 이 때 공진주파수를 계산하여 보자. 여기서  $r = \frac{R_o + R_i}{2}$ 는 원형 링슬롯의 내부반경과 외부반경의 평균치이고,  $k$ 는 파수이다.

이 경우 원형 링슬롯을 따라 1회전시 1사이클이 변화하므로  $2\pi$ 라디안의 위상이 변화한다. 1차모드의 공진주파수를 구해보자.

$$r = \frac{1}{k} = \frac{1}{\omega\sqrt{\mu\epsilon_{eff}}} = \frac{1}{2\pi f\sqrt{\mu\epsilon_{eff}}} \quad (4)$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi r\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{c}{2\pi r\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (5)$$

$$= \frac{c}{\pi(R_o + R_i)\sqrt{\epsilon_{eff}}}$$

여기서  $\epsilon_{eff}$ 는 슬롯선로에서의 실효유전상수이므로  $\frac{\epsilon_r + 1}{2}$ 가 된다<sup>[15]</sup>. 그러므로, 본 안테나의 슬롯선로에서의 실효유전상수는 2.65가 된다. 따라서, 본 안테나의 TM<sub>11</sub>모드의 공진주파수는 2.031 GHz가 된다. 이는 실제 측정치의 1차 공진주파수인 2.37 GHz와 14.3%의 오차가 난다.

### III. 최적화 설계

본 안테나의 설계변수로는 원형슬롯의 반지름( $R_o$ ), 원형패치의 반지름( $R_i$ ), 저임피던스 급전부분의 중심과 원형패치의 중심사이의 거리(offset), 저임피던스 급전부분의 길이(L)와 폭(W), 기판의 유전율과 높이 등이 있다. 시뮬레이션 툴은 안소프트사의 ENSEMBLE 5.0를 사용하였다.

<그림 2>는 offset에 따른 반사손실( $S_{11}$ ) 특성을 나타낸 것이다. offset이 낮은 주파수대역에서는 작은 변화를 보이지만 높은 주파수대역에서는 큰 변화를 보였다. offset이 18.34 mm일 때 초광대역 주파수대역(2.17 ~ 9.76 GHz)에 걸쳐서 반사손실값이 제일 많이 떨어지므로 임피던스 정합특성이 가장 좋다고 할 수 있다. 따라서 급전선로에 인가된 전력 이 가장 많이 공기중에 복사된다고 할 수 있다.

W에 따른 반사손실 특성을 <그림 3>에 나타내었다. W를 증가시키에 따라 대역폭의 낮은 주파수대에서는 별로 변화를 보이지 않지만 높은 주파수대에서는 많은 변화를 보였다. W가 10.5 mm일 때 전체적으로 반사손

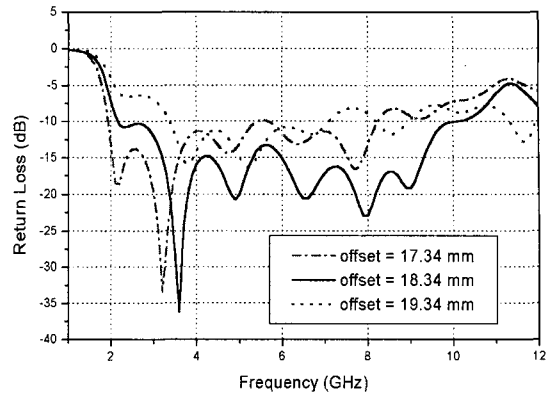


그림 2. 동심 원형 링슬롯 안테나의 offset에 따른 반사손실 변화 (계산치) ( $R_o = 26$  mm,  $R_i = 10$  mm,  $L = 12$  mm,  $W = 10.5$  mm)

Fig. 2. Calculated return loss as an offset variation of a concentric annular ring slot antenna. ( $R_o = 26$  mm,  $R_i = 10$  mm,  $L = 12$  mm,  $W = 10.5$  mm)

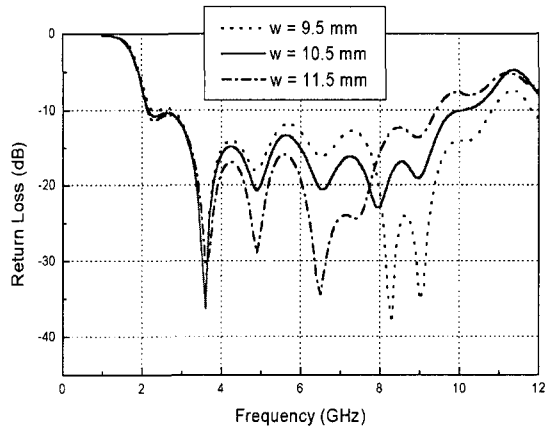


그림 3. 동심 원형 링슬롯 안테나의 저임피던스 급전선의 W에 따른 반사손실 변화 (계산치) ( $R_o = 26$  mm,  $R_i = 10$  mm,  $L = 12$  mm, offset = 18.34 mm)

Fig. 3. Calculated return loss as a function of W of low impedance feedline of a concentric annular ring slot antenna. ( $R_o = 26$  mm,  $R_i = 10$  mm,  $L = 12$  mm, offset = 18.34 mm)

실값이 가장 많이 떨어지므로 제일 좋은 특성을 보이고 있다. 이 때 급전선로와 링슬롯 간에 적절한 커플링이 일어나 보다 좋은 정합특성을 보여주는 것으로 생각된다.

L에 따른 반사손실 특성을 <그림 4>에서 볼 수 있다. L을 증가시키에 따라 대역폭의 낮은 주파수대에서는 별

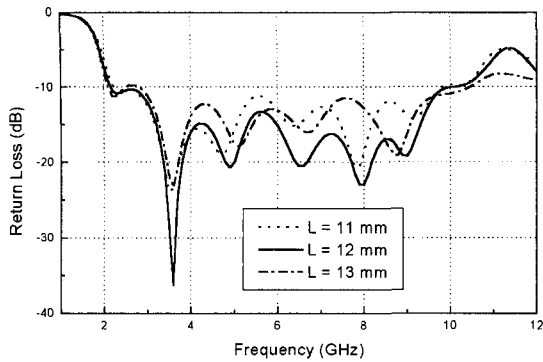


그림 4. 동심 원형 링슬롯 안테나의 저임피던스 급전선의 L에 따른 반사손실 변화 (계산치) ( $R_o = 26$  mm,  $R_i = 10$  mm,  $W = 10.5$  mm, offset = 18.34 mm)

Fig. 4. Calculated return loss as a function of L of low impedance feedline of a concentric annular ring slot antenna. ( $R_o = 26$  mm,  $R_i = 10$  mm,  $W = 10.5$  mm, offset = 18.34 mm)

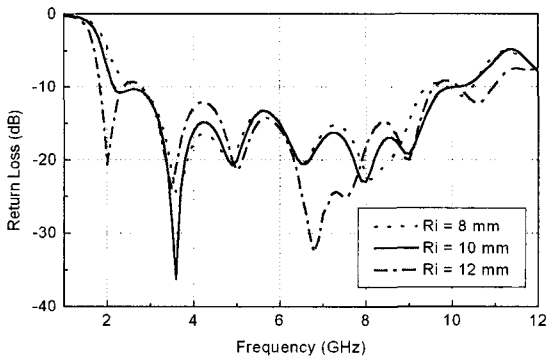
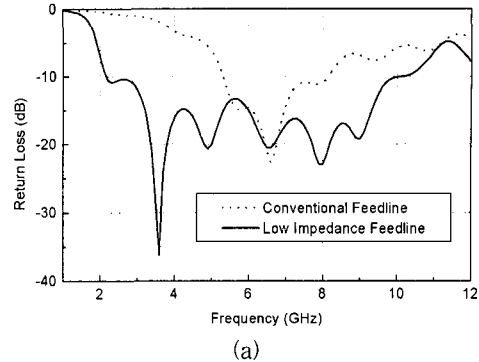


그림 5. 동심 원형 링슬롯 안테나의  $R_i$ 에 따른 반사손실 변화 (계산치) ( $R_o = 26$  mm,  $L = 12$  mm,  $W = 10.5$  mm, offset = 18.34 mm)

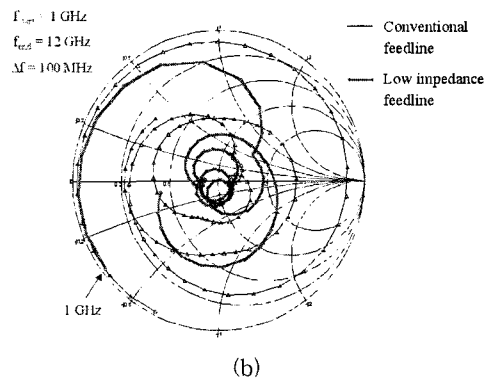
Fig. 5. Calculated return loss as a function of  $R_i$  of a concentric annular ring slot antenna. ( $R_o = 26$  mm,  $R_i = 10$  mm,  $L = 12$  mm,  $W = 10.5$  mm)

로 변화를 보이지 않지만 높은 주파수대에서는 많은 변화를 보였다. L이 12 mm일 때 전체적으로 반사손실값이 가장 많이 떨어지므로 제일 좋은 특성을 보이고 있다.

동심 원형 링슬롯 안테나의 내부 반지름  $R_i$ 에 따른 반사손실 특성을 <그림 5>에 나타내었다. 중간주파수대에서는 별 차이를 보이지 않고 있지만 낮은 주파수대와 높은 주파수대에서는 많은 변화를 보이고 있다. 최저차 모드( $TM_{11}$ )의 공진주파수는 예상한대로 내부 반지름  $R_i$



(a)



(b)

그림 6. 기존의 마이크로스트립 급전구조와 저임피던스 급전구조를 갖는 원형 링슬롯 안테나의 특성 비교 (계산치) (a) 반사손실 (b) 임피던스 궤적

Fig. 6. Comparison of the annular ring slot antenna with a conventional feedline and a low impedance feedline. (a) return loss (b) impedance loci

표 1. 급전구조에 따른 대역폭 비교

Table 1. Comparison of the bandwidth for a feedline.

	주파수 구간 (GHz)	대역폭	
		GHz	%
Conventional Feedline	5.3 ~ 8.1	2.8	41.8
Low Impedance Feedline	2.2 ~ 9.8	7.6	126.7

가 커짐에 따라 슬롯내의 평균전류길이가 커짐에 따라 작아짐을 볼 수 있다.  $R_i$ 가 10 mm일 때 가장 광대역 주파수구간에 걸쳐서 반사손실값이 가장 많이 떨어지므로 임피던스 정합이 가장 잘 된다고 할 수 있다.

<그림 6>는 최적화된 기존의 마이크로스트립 급전구조를 갖는 원형 링슬롯 안테나와 최 적화된 저임피던스

급전구조를 갖는 원형 링슬롯 안테나의 반사손실과 임피던스 제적 특성을 비교한 것이다. <그림 6(a)>와 <표 1>에서 저임피던스 급전구조를 갖게 되면서 약 3배이상의 대역폭을 갖게 되는 것을 볼 수 있다. 이는 마이크로스트립 선로의 폭이 연속인 기존의 급전구조에서 선로의 폭이 불연속인 저임피던스 급전구조로 변경하면서 광대역의 주파수에 걸쳐 다중공진이 일어나고 임피던스 정합이 잘되기 때문이다. 또한 기존의 연속 마이크로스트립 급전선로나 저임피던스 급전선로를 갖는 원형 링슬롯 안테나의 임피던스 특성의 비교분석을 위해 스미스차트상에서 임피던스 제적을 <그림 6(b)>에 나타내었다. 기존의 급전선로를 저임피던스 급전선로로 교체하면서 임피던스 제적이 스미스차트의 중심에서 훨씬 가깝게 여러번 회전하는 것을 볼 수 있다. 따라서 임피던스 정합특성이 획기적으로 개선되면서 초광대역 특성을 갖게 되는 것이다.

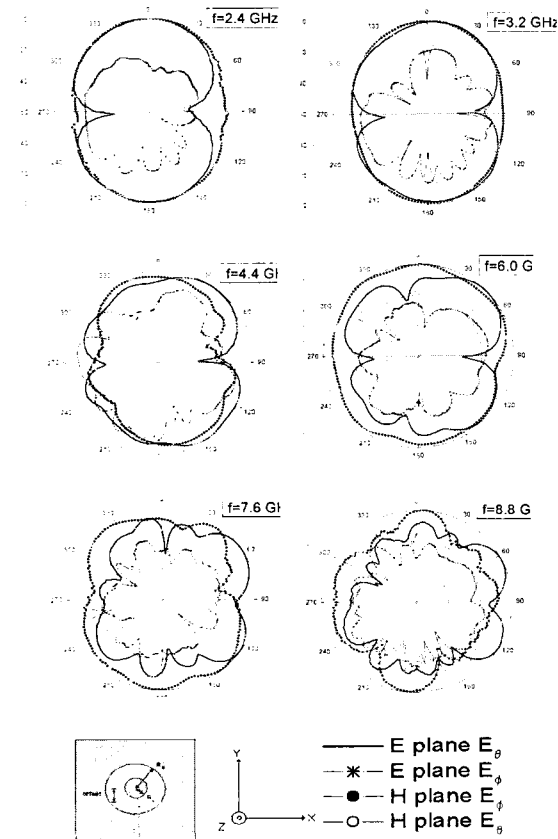


그림 7. 동심원 원형 링슬롯 안테나의 복사패턴 측정결과  
Fig. 7. Measured radiation patterns of a concentric annular ring slot antenna.

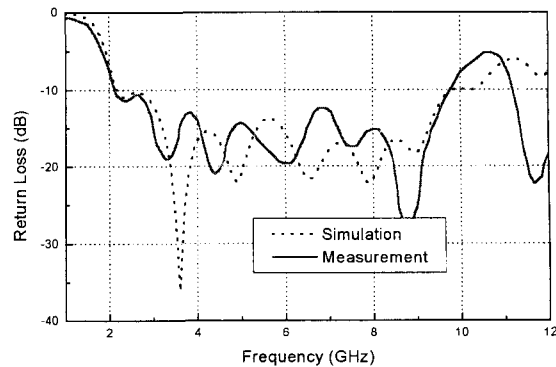


그림 8. 최적화된 안테나의 반사손실의 계산치와 측정치의 비교

Fig. 8. Comparison of the calculated and measured return loss of an optimized antenna.

표 2. 최적화된 안테나의 반사손실의 계산치와 측정치의 비교

Table 2. Comparison of the calculated and measured result of an optimized antenna.

	주파수 구간 (GHz)	대역폭	
		GHz	%
Simulation	2.2 ~ 9.8	7.6	126.7
Measurement	2.17 ~ 9.76	7.59	127.2

최적화된 안테나의 공진주파수에서의 전개면 복사패턴(E-Plane)과 자계면 복사패턴(H-Plane)의 측정치를 <그림 7>에서 볼 수 있다. 낮은 주파수대역에서는 전개면 복사패턴과 자계면 복사패턴이 전후방으로 거의 균일하게 복사되며, 각각 안테나면과 수직인 방향에서 최대복사가 일어난다. 하지만 주파수가 높아지면서 고차모드의 발생으로 인해 최대복사방향이 변경이 되고 부엽이 발생하게 된다. 전개면 복사패턴의 경우 고차편파레벨은 전주파수대역에 걸쳐서 -10 dB이하의 값을 갖지만 자계면 복사패턴의 경우 고차편파레벨이 동일편파레벨보다 커지는 주파수대역이 존재하게 된다. 또한 제안된 안테나의 전개면 복사패턴을 보면 낮은 주파수에서는 비교적 대칭구조를 이루다가 주파수가 4 GHz이 상으로 높아지면서 비대칭구조를 이루면서 복사패턴모양이 많이 변화되는 것을 볼 수 있다. 이는 안테나가 X축을 기준으로 비대칭구조이고 모드가 기본모드에서 고차모드로 변경되기 때문이다. 그러나 자계면 복사패턴을 보면 주파수가 높아짐에 따라 모양이 약간 변경되기는 하지

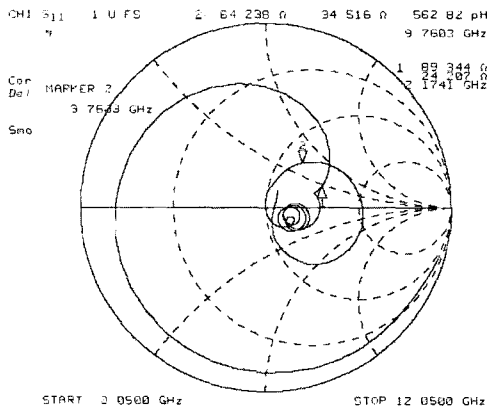


그림 9. 최적화된 안테나의 임피던스 궤적 (측정치)  
Fig. 9. Impedance locus of an optimized antenna. (measurement).

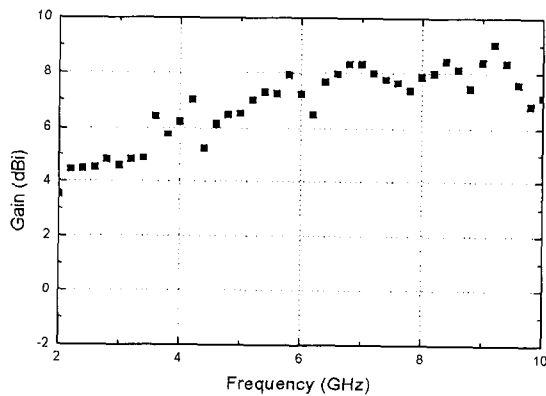


그림 10. 최적화된 안테나의 이득 (측정치)  
Fig. 10. Measured Gain of an optimized antenna.

만 주파수 대역에 걸쳐서 비교적 대칭패턴을 이루고 있는데 이는 안테나가 Y축을 기준으로 대칭구조이기 때문이다.

<그림 8>에는 최적화된 안테나의 반사손실의 계산치와 측정치를 비교한 결과를 나타내었다. -10 dB를 기준으로 최저주파수와 최고주파수가 거의 일치함을 알 수 있다. 공진주파수의 차이가 좀 있는데 이는 RF의 특성상 미세한 구조의 차이가 생겨도 특성이 변하는 집과 설계치를 따르는 정확한 안테나의 제작이 어려운 점으로 인해 생겨나는 것으로 생각된다. <표 2>에 -10 dB 반사손실을 기준으로 최적화된 안테나의 계산치와 측정치의 주파수구간과 대역폭을 비교하여 나타내었다.

최적화된 원형 링슬롯 안테나의 스미스차트상에서의 임피던스 궤적 측정치를 <그림 9>에 나타내었다. 대역

폭(2.17~9.76 GHz)내에서 임피던스 궤적이 스미스차트의 중심에서 아주 가깝게 아주 작은 크기의 커플링 반경을 가지면서 6바퀴 돌았음을 볼 수 있다. 따라서 초광대역의 주파수대역에 걸쳐서 좋은 임피던스 정합특성을 갖게 되는 것이다.

최적화된 안테나의 주파수에 따른 이득의 변화를 <그림 10>에 나타냈다. 2 GHz에서 10 GHz까지 4~10 dBi의 비교적 고이득을 가짐을 알 수 있다. 이것은 단일 패치 안테나의 이득이 약 4~7 dBi이고<sup>[16]</sup> 단일소자 고이득 안테나의 이득이 5 dBi이상이며<sup>[17, 18]</sup>, 반사판을 부착시키지 않은 점을 감안할 때 상당한 고이득이라고 할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 소형·고이득·초광대역 특성을 갖는 S밴드와 C밴드의 전대역에서 그리고 X밴드의 일부에서 사용가능한 동심원 형태의 원형 링슬롯 안테나를 제시하였다. 크기를 줄이고 광대역 특성을 가지게 하기 위해 동심원으로 슬롯 내부에 원형패치를 두었고 급전선로를 저임피던스 특성을 갖는 불연속 마이크로스트립 선로를 사용하였다. 최적화된 안테나의 대역폭은 -10 dB를 기준으로 약 5:1(2.17 ~ 9.76 GHz)의 초광대역 특성을 가지며, 원형패치 안테나보다 크기가 작고 훨씬 광대역이다.

본 안테나는 기존의 마이크로스트립 안테나보다 대역폭을 획기적으로 개선시켰고 소형·고이득의 특성을 가짐으로써 UWB·SDR·GPR 뿐만 아니라 하나의 안테나로 전자파장해 측정, 광대역 이동통신 및 통신 시스템 등 여러 가지 용도로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] S. H. David, "A survey of broadband microstrip patch antennas," *Microwave J.*, pp. 60-84, Sept. 1996.
- [2] E. Chang, S. A. Long, and W. F. Richards, "An experimental investigation of electrically thick rectangular microstrip antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 34, no. 6, pp. 767-773, June 1986.
- [3] Z. F. Liu, P. S. Kooi, L. W. Li, M. S. Leong,

- and T. S. Yeo, "A method for designing broad-band microstrip antennas in multi-layered planar structures," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 47, no. 9, pp. 1416-1420, Sept. 1999.
- [4] S. D. Targonski, R. B. Waterhouse, and D. M. Pozar, "Design of wide-band aperture-stacked patch microstrip antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 46, no. 9, pp. 1245-1251, Sept. 1998.
- [5] H. S. Shin and N. Kim, "A wide-band and high-gain one-patch microstrip antenna coupled with an H-shaped aperture," *Electronics Letters*, vol. 38, no. 19, pp. 1072-1073, Sept. 2002.
- [6] H. F. Lee and W. Chen, *Advanced in Microstrip and Printed Antennas*, John Wiley & Sons, Inc., 1997.
- [7] W. C. Chew, "A broadband annular ring microstrip antenna," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. 30, no. 5, pp. 918-922, Sept. 1982.
- [8] 서영훈, 박익모, "광대역 특성을 갖는 변형된 원형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나," *한국전자과학회 논문지 제 11권 제 5호*, pp. 773-781, 2000년 8월
- [9] 신호섭, 김남, "비동심원 복사구조와 저임피던스 급전구조를 갖는 광대역 마이크로스트립 안테나," *한국전자과학회 종합학술발표회 논문지 제 11권 제 1호*, pp. 82-85, 2001년 11월
- [10] A. Sangiovanni, J. Y. Dauvignac and C. Pichot, "Embedded dielectric resonator antenna for bandwidth enhancement," *Electronics Letters*, vol. 33, no. 25, pp. 2090-2091, Dec. 1997.
- [11] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, Addison-Wesley, Inc., 1998.
- [12] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, John Wiley & Sons, Inc., 1997.
- [13] K. D. Stephan, N. Camilieri, and T. Itoh, "A quasi-optical polarization-duplexed balanced mixer for millimeter-wave applications," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 31, no. 2, pp. 164-170, Feb. 1983.
- [14] G. Dubost, "Theoretical radiation resistance of an isolated slot ring resonator," *Electronics Letters*, vol. 23, no. 18, pp. 928-930, Aug. 1987.
- [15] K. C. Gupta, R. Garg, I. Bahl, and P. Bhartia, *Microstrip lines and slotlines*, Artech House, Inc., 1996.
- [16] R. Q. Lee and K. F. Lee, "Experimental study of the two-layer electromagnetically coupled rectangular patch antenna," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. 38, no. 8, pp. 1298-1302, Aug. 1990.
- [17] N. Kaneda, W. R. Deal, Y. Qian, R. Waterhouse, and T. Itoh, "A broad-band planar quasi-yagi antenna," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. 50, no. 8, pp. 1158-1160, Aug. 2002.
- [18] S. Egashira and E. Nishiyama, "Stacked microstrip antenna with wide bandwidth and high gain," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. 44, no. 11, pp. 1533-1534, Nov. 1996.

## 저 자 소 개



申昊燮(正會員)

1995년 8월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업(공학사). 1998년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업(공학석사). 1998년 9월~2003년 8월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업(공학박사). <주관심분야 : 전자과

해석, 안테나 설계, 전파전파, EMI/EMC>



金男(正會員)

1981년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1983년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1988년 8월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사).

1992년 8월 ~ 1993년 8월 : 미

Stanford 대학 방문교수. 1989년 2월~현재 : 충북대학교 정보통신공학과 교수. <주관심분야 : 전자과 해석, 전파전파, EMI/EMC, DS/CDMA>



李承燁(正會員)

1986년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1988년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 1993년 8월 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학박사). 1993년 9월~현재 : 국립여수대학교 전자통신공학과

부교수. <주관심분야 : 안테나 해석 및 설계, 초고주파 회로설계, 전자파 해석, 광을 이용한 마이크로파 소자 제어>



安炳哲(正會員)

1981년 2월 : 서울대학교 전기공학과(공학사). 1983년 2월 : 한국과학기술원 전기전자공학과(공학석사). 1992년 12월 : U. of Mississippi, 전기전자공학과(공학박사). 1983년~1986년 : (주)금성정밀 주임

연구원. 1992년~1994년 : 국방과학연구소 선임연구원. 1995년~현재 : 충북대학교 전파공학과 부교수. <주관심분야 : 전자파 응용, 안테나, 레이돔, 고주파 부품 설계, 전자장 수치해석>