

## 2단 2-암 시누어스 안테나의 소형화에 관한 연구

윤 성 현<sup>\*</sup>

## Study of Miniaturization of 2 Stages 2-Arm Sinuous Antenna

Sung-Hyun Yoon<sup>\*</sup>

## 요 약

본 논문에서는 주파수 대역 0.8–6 GHz를 포함하는 2단 2-암 시누어스 안테나를 제안하였다. 제안한 안테나는 전체 반경 60mm중 1단 반경 50mm까지는 8개의 셀을 자기 상보구조(셀의 각 폭을 90°)로 설계하고 2단은 폭 10mm사이에 비 자기상보 구조로 0.5개의 셀 각 폭을 720°로 구성하였다. 측정 결과, 동일한 제원과 반경을 사용한 기존의 1단 2-암 시누어스 안테나는 반사손실 -10dB가 약 0.878 GHz에서부터 발생하였지만, 제안한 안테나는 반사손실 -10dB이 0.807 GHz 부터 발생하여, 시누어스 안테나의 소형화의 가능성을 제시하였다.

**Key Words** : 1 stage 2-arm sinuous antenna, 2 stages 2-arm sinuous antenna, active region, residual current, Frequency independent antenna, return loss, Input impedance

## ABSTRACT

This paper proposed a 2 stages 2-arm sinuous antenna that operates in frequency range 0.8–6 GHz. The proposed antenna's total radius is 60 mm, in which 1st stage's radius is 50mm which is designed as self-complementary structure(cell's angle width 90°) with 8 cell, and 2nd stage is composed of non-self-complementary structure with 0.5 cell of cell's angle width 720° in the radius width 10 mm. Measurement's result shows that -10dB return loss starts at 0.807 GHz, but 1 stage 2-arm sinuous antenna that use the same radius starts at about 0.878 GHz, so proposed the possibility of the miniaturization of the sinuous antenna.

## 1. 서 론

안테나의 입력 임피던스, 복사 패턴, 편파와 같은 특성은 주어진 동작 주파수의 파장 단위로 계산된 안테나 크기, 형태에 의해서 결정된다<sup>[1]</sup>. 만약에 안테나의 물리적 구조를 임의의 비율로 크기를 작게 혹은 크게 변경해도, 원래의 안테나 구조 형태와 동일하면, 안테나의 모든 특성이 주파수에 독립인 안테나(Frequency Independent Antenna)가 된다.<sup>[2,3]</sup> 즉, 안테나의 모든 물리적 제원을 1/2배로 줄이고, 동작 주파수를 2배로 증가 시켜도, 안테나의 특성이 변화가

없다는 것이다. 또한 주파수에 따른 안테나 성능의 연속적인 스케일링을 얻기 위하여, 안테나의 구조가 각(angle)에 의해서만 특징 지어진다. 이상적인 주파수 독립 안테나는 저주파의 한계와 고주파의 한계를 제거하기 위하여 무한대로 큰 개구와 무한소의 급전 영역을 가지며, 하나의 능동영역(active region)에서 완전한 복사가 일어나야 한다. 그러나 실제적인 안테나의 구조에서는 안테나 중심의 급전 점에 인가한 전류는 능동 영역(active region)에서 일부의 전류가 복사하고, 잔류 전류는 두 번째 능동 영역에서 복사가 발생하지만, 이 또한 완전히 복사가 일어나지 않고, 잔

\* “이 논문은 2016년도 Brain Busan 21 사업에 의하여 지원 되었음”

<sup>\*</sup> First and Corresponding Author : Kyugnam College of Information & Technology Subdivision of Communication yoon1@eagle.kit.ac.kr, 정희원

논문번호: KICS2016-11-367, Received November 30, 2016; Revised December 29, 2016; Accepted January 2, 2017

류 전류는 안테나의 종단까지 진행 한다<sup>[4]</sup>. 따라서 안테나의 크기가 충분히 커야 여러 개의 능동 영역을 통과함에 따라서 잔류 전류가 거의 0이 되어 종단에서 급전 점으로 되돌아오는 반사파 전류가 제거된다. 그러나 현실적으로 무한히 큰 안테나는 불가능하므로 가장 낮은 동작 주파수의 1차 능동 영역을 포함하는 크기로 절단한다. 이때 능동 영역에서 복사되지 않은 잔류 전류에 의해서 입력 임피던스, 복사 패턴의 성능 저하가 발생한다. 즉, 임피던스 대역폭은 안테나 종단에서 반사된 전류가 급전 점으로 돌아올 때 낮은 주파수 영역에서 진동을 발생시키고, 복사 패턴은 암의 끝에서 반사되는 잔류 전류에 의해서 영향을 받는다.<sup>[4]</sup> 따라서 이러한 영향을 최소화하기 위하여 가장 낮은 주파수에서 동작하는 안테나의 크기를 이론 치 보다 약 100%정도 크게 하는 경향이 있다. 본 논문에서는 0.8 - 6GHz 대역에서 현재 사용하고 있는 모든 통신 서비스의 주파수 대역을 포함하는 시누어스 안테나를 제안하였다. 제안한 안테나는 잔류전류의 영향을 최소화하기 위하여 시누어스 암을 2단으로 2개 영역으로 구분하여 설계 하였다. 안테나와 바룬의 설계 및 시뮬레이션은 CST MWS를 이용하여 수행하였고, 시제품의 특성 측정은 RHODE & SCHWARZ ZNB8 회로망 분석기를 이용하였다.

## II. 시누어스 안테나 설계

시누어스 곡선은 Duhamel<sup>[5]</sup>이 제시한 것처럼 극좌표에서  $n$ 개의 셀(cell)로 구성되는데, 식(1)은  $p$ 번째 셀( $1 \leq p \leq n$ )를 나타낸 것으로,

$$\phi(r) = (-1)^p \alpha_p \sin \left[ \frac{\pi \ln(r/R_p)}{\ln(\tau_p)} \right] \quad (1)$$

$$R_{p+1} \leq r \leq R_p$$

여기서,  $r, \phi$ 는  $p$ 번째 셀의 극좌표에서 반경과 각도인데,  $-\alpha_p \leq \phi(r) \leq \alpha_p$  사이 값을 가진다.  $\alpha_p$ 는  $p$ 번째 셀의 각 폭(angle width),  $\tau_p$ 는  $p$ 번째 셀의 축소율로서 1 보다 작고, 다음과 같이

$$\tau_p = \frac{R_{p+1}}{R_p} \quad (2)$$

여기서,  $R_p$  와  $R_{p+1}$ 는 각각  $p$ 번째,  $p+1$ 번째 셀의 바깥쪽 반지름이다. 식(1)에서 모든 셀에서의 축소율 및 각 폭을 동일하게 하고( $\tau_p = \tau, \alpha_p = \alpha$ ) 시누어스 곡선을 그리기 위해서는 식(1)의 극좌표를 이용해야한다. 그러나 본 연구에서는 모든 시뮬레이션을 직각좌표를 이용하는 CST MWS를 이용하므로, 식(1)의 표현을 직각좌표로 변환해야 한다. 본 연구에서는 직각좌표에서 셀의 각 폭  $\pm \alpha$  사이에서 셀의 반경이 지수함수로 변화하는 시누어스 곡선을 위하여 식(1)을 다음과 같이

$$x(\phi) = R_1 e^{(ar)} \cos \left( -\alpha \sin \left( \frac{\pi}{\beta} r \right) \right) \quad (3)$$

$$y(\phi) = R_1 e^{(ar)} \sin \left( -\alpha \sin \left( \frac{\pi}{\beta} r \right) \right) \quad (4)$$

변경하였고<sup>[6]</sup>, 여기서

$$a = \ln(R_p/R_1)/R_p \quad (5)$$

( $R_1, R_p$ 는 시누어스 곡선을 구성하는 가장 안쪽 및 최외각의 반경)

$$\beta = (R_p - R_1)/(\gamma \times n) \quad (6)$$

$$\gamma = (R_p - R_1)/R_p \quad (7)$$

$n$ 는 전체 셀의 수를 나타낸 것이다.

즉,  $a$ 는 시작 셀의 반경인  $R_1$ 에서부터 마지막 셀의 반경인  $R_p$  사이를 지수 함수적으로 증가시키는 증가율을 나타낸 것이고,  $\beta$ 는 균등간격으로 각도를 증가시키는 각도 증가율을 나타낸 것이다.

시누어스 안테나의 대역폭은 시누어스 곡선의 반경에 좌우된다. 시누어스 구조에서 자기상보 형 구조의 능동영역의 공진 주파수 파장은 근사적으로 다음과 같이<sup>[7]</sup>

$$2r(\alpha_p + \delta) \approx \frac{\lambda}{2} \quad (8)$$

여기서  $\alpha_p, \delta$ 는 라디안 단위이다.

따라서  $R_1, R_p$ 는 식(7)을 이용하면 다음과 같이

$$R_1 = \frac{\lambda_L/4}{\alpha_1 + \delta}, \quad R_p = \frac{\lambda_H/4}{\alpha_p + \delta} \quad (9)$$

여기서  $\lambda_L, \lambda_H$ 는 원하는 대역폭의 하한과 상한 주파수의 파장을 의미하는데, 급전 점 설계 시  $\lambda_H$ 가 제한되므로  $R_p = (\lambda_H/8)/(\alpha_p + \delta)$ 로 하는 것이 유리하다고 알려져 있다<sup>[8]</sup>. 현재 사용되고 있는 모든 통신 서비스의 주파수 대역은 0.8–5.8 GHz에 포함되므로<sup>[8]</sup>, 이 영역에서 동작하는 하나의 안테나를 2암 시누어스 안테나로 설계하면, 기판의 비유전율이 1인 경우, 자기상보 구조를 위하여,  $\alpha_p = 90^\circ, \delta = 45^\circ$ , 셀의 가장 작은 반지름은  $f_H = 5.8 \text{ GHz}$ 에 대응하는  $R_p = 2.7441 \text{ mm}$ , 가장 큰 셀의 반지름은  $f_L = 0.8 \text{ GHz}$ 에 대응하는  $R_1 = 39.7887 \text{ mm}$ 의 능동 영역으로 계산된다. 이때  $f_L = 0.8 \text{ GHz}$ 에 대응하는  $R_1 = 39.7887 \text{ mm}$  능동 영역에서 복사되지 않은 잔류 전류가 안테나 종단에서 반사되어, 급전 점으로 되돌아올 때 낮은 주파수 영역에서 입력 임피던스의 진동이 발생하므로, 임피던스 정합, 복사 패턴 및 이득의 성능 저하를 발생시킨다. 따라서 이러한 영향을 최소화하기 위하여 가장 낮은 주파수에서 동작하는 능동 영역의 반경  $R_1$ 의 크기를 이론치보다 크게 해야 한다. 그러나 식(8),(9)에서 셀의 각 폭  $\alpha_1$ 을 크게 하면, 자기 상보형의 구조는 상실되지만,  $R_1$ 의 크기를 작게 할 수 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 관점에서 본 연구에서는  $R_1$ 을 자기상보 구조로 동작하는  $\alpha_1 = 90^\circ$  각 폭 영역과, 비자기 상보 구조로 동작하는  $\alpha_1 = 720^\circ$  각 폭 영역, 두 단계로 나누어서 1차 능동 영역에서 복사되지 않은 잔류 전류의 경로를 길게 하여 안테나 종단에서 반사된 전류의 영향을 최소화하여 안테나의 크기를 소형화에 하고자한다. 그림.1(a)

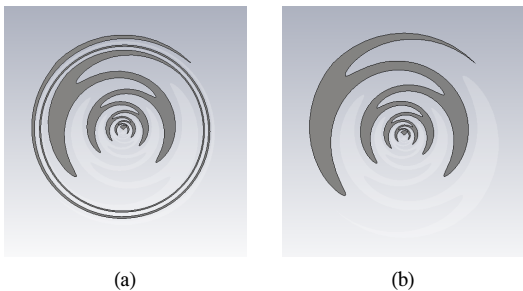


그림 1. (a) 1단 1-암 (b) 2단 1-암 시누어스  
Fig. 1. (a) 1 stage 1-arm (b) 2 stage 1-arm sinusoidal

는  $R_8 = 2.7441 \text{ mm}$ ,  $R_1 = 60 \text{ mm}$ 일 때의 1-암 시누어스를 보인 것이고, 그림 2는  $R_8$ 는 동일하게 하고,  $R_1 = 50 \text{ mm}$ 까지는  $\alpha_1 = 90^\circ$ 으로 하고, 50–60mm까지 반경은  $\alpha_1 = 720^\circ$ , 셀의 수를 0.5개로 한, 2단 시누어스의 1-암을 보인 것이다.

그림 2는 앞에서 언급한 동일한 반경 ( $R_1 = 60 \text{ mm}$ )의 제원에서 1단 및 2단 구조에서의 입력 임피던스 실수부와 허수부를 보인 것인데, 높은 주파수 영역에서는 두 구조의 차이가 없을 정도로 균일한 임피던스를 보이지만, 낮은 주파수 영역에서는 반사파의 영향이 다르다는 것을 알 수 있다. 즉, 2단 구조가 반사파의 영향인 입력 임피던스의 진동이 작다는 것을 알 수 있다. 그림 3은 자유공간에서 2-암 자기상보 구조 시누어스 안테나의 입력 임피던스를 188.5Ω으로 하고, 두 구조의  $S_{11}$ 을 계산한 것이다.

즉, 1단 구조인 경우 -10dB 반사손실이 약 1.02 GHz에서 발생하지만, 2단 구조에서는 약 0.89 GHz에서 발생하여 2단 구조에서 반사파의 영향이 작다는 것을 알 수 있다. 그림 4는 두 경우의 이득을 보인 것인데, 역시 낮은 주파수 영역에서 이득도 1단 보다는 2단의 경우가 더 안정적인 결과가 발생한다는 것을 알 수 있다.

그림 5는 0.8 GHz에서의 전류분포를 두 구조에서 보인 것인데, 안테나의 종단에서 전류분포가 1단 구조보다 2단 구조에서 더 작아 급전 점으로 반사되는

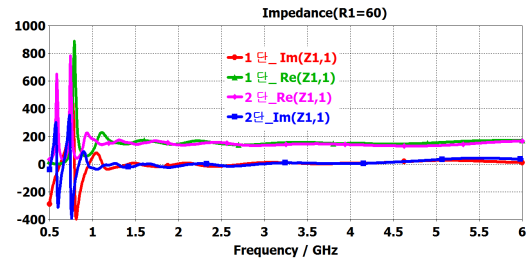


그림 2. 1단 및 2단 구조에서의 입력 임피던스  
Fig. 2. Input impedance of 1 stage and 2 stage structure

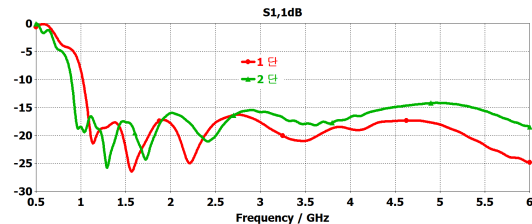


그림 3. 1단 및 2단 구조에서의  $S_{11}$   
Fig. 3.  $S_{11}$  of 1 stage and 2 stage structure

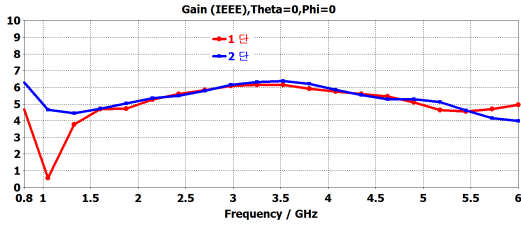


그림 4. 1단 및 2단 구조에서의 이득  
Fig. 4. Gain of 1 stage and 2 stages structure

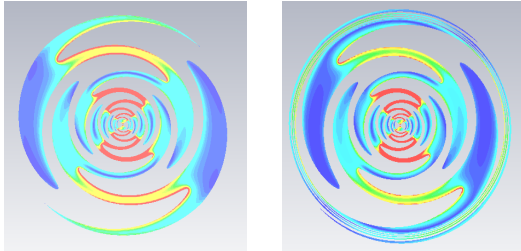


그림 5. 1단 및 2단 구조에서의 0.8[GHz] 전류분포  
Fig. 5. Current distribution of 0.8[GHz] at 1 stage and 2 stages structure

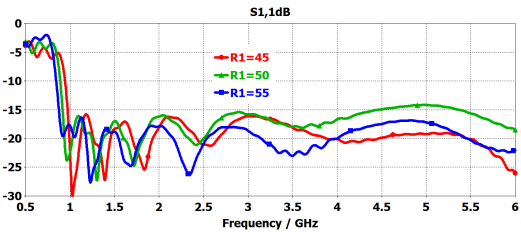


그림 6. 2단 구조에서 R1에 따른 S11  
Fig. 6. S11 according to R1 at 2 stages structure

전류가 작다는 것을 알 수 있다.

그림 6은 전체 반경 60mm 중 2단 구조의 시작 반경 R1에 따른 S11을 보인 것이다. 즉, R1=55는 1단 반경이 55mm이고, 55mm에서 60mm까지는 2단 반경이 되는 것이다. 그림에서 1단 반경이 클수록 -10dB가 더 낮은 주파수에서 발생한다는 것을 알 수 있다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 2단 2-암을 이용하여 시누어스 안테나의 소형화에 대한 연구를 하고자 한다.

### III. 2 단 2-암 시누어스 안테나 해석

2단 2-암 시누어스 안테나를 제작하기 위해서는 기판 및 바론이 필요하다. 또한, N-암 시누어스 안테나의 자기 상보 구조는 식(10)을 만족하고, 이 경우 입력 임피던스는 식(11)로 정의된다.<sup>[9]</sup>

$$\delta = \frac{\pi}{2N} \quad (10)$$

$$Z = \frac{60\pi}{\sin(\pi/N)} \quad (11)$$

즉, 자유공간에서 2-암 자기상보 구조 시누어스 안테나가 되기 위해서는,  $N=2$ 이므로  $\delta=45^\circ$  이고, 셀의 각 폭을  $\alpha=90^\circ$  로 한다. 이때  $Z=188.5 \Omega$  이 된다. 그러나 유전체 기판을 사용할 경우 주파수에 따른 파장은 기판의 실효유전율( $\epsilon_{eff}$ )에 의해서 다음과 같

$$\lambda_L = \frac{c}{f_L \sqrt{\epsilon_{eff}}}, \lambda_H = \frac{c}{f_H \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (12)$$

줄어들어서 반경  $R_1, R_p$ 도 줄어들고, 입력 임피던스도 작아진다. 그림 7은 FR4 기판위에 전체 반경 60mm 중 1단의 암의 개수는 8개, 반경은 50mm 2단의 암의 개수 0.5개, 간격 10mm, 셀의 각 폭을  $720^\circ$  로 하여 설계한 2단 2-암 시누어스 안테나를 보인 것이다.

그림 8, 9는 FR4 기판 두께에 따른 2단 2-암 시누어스 안테나의 입력 임피던스의 실수부와 허수부를 보인 것인데, 기판의 두께가 두꺼울수록 저 주파수에서 진동 폭이 작고, 고 주파수 영역에서의 진동 폭이 크다는 것을 알 수 있다.

또한 그림 10, 11은 기판의 높이를 1mm로 하고, 비유전율에 따른 입력 임피던스를 보인 것인데, 비유전율이 클수록 진동이 크지만, 저 주파수에서 진동 폭이 작다는 것을 알 수 있다.

이러한 관점에서 본 연구에서는 2-암 시누어스 안테나의 소형화를 위하여 2단 2-암 시누어스를 이용하고, 두께 0.4mm, 비유전율 4.4인 FR4를 안테나의 기

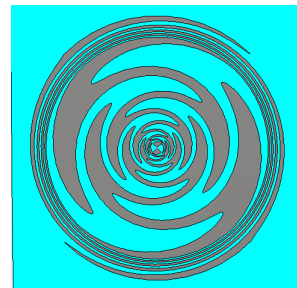


그림 7. 2단 2-암 시누어스 안테나  
Fig. 7. 2 stage, 2-arm sinusuous antenna

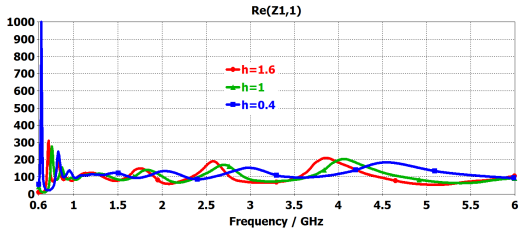


그림 8. 기판 두께에 따른 입력 임피던스 실수부  
Fig. 8. Real part of input impedance according to height of substrate

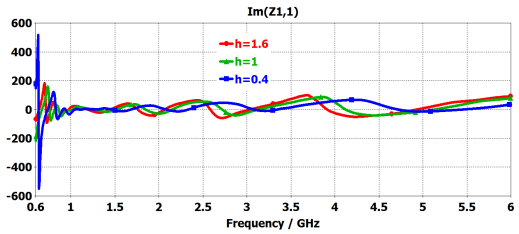


그림 9. 기판 두께에 따른 입력 임피던스 허수부  
Fig. 9. Imaginary part of input impedance according to height of substrate

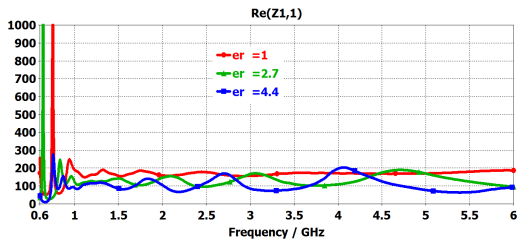


그림 10.  $\epsilon_r$ 에 따른 입력 임피던스 실수부  
Fig. 10. Real part of input impedance according to  $\epsilon_r$

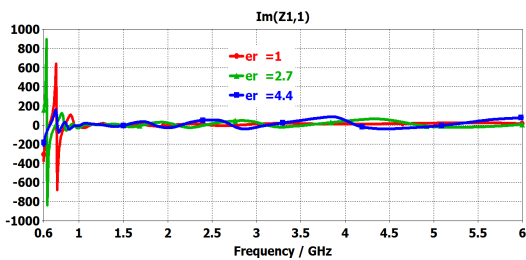
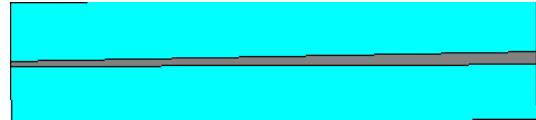
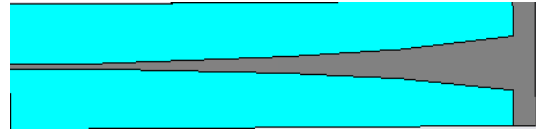


그림 11.  $\epsilon_r$ 에 따른 입력 임피던스 허수부  
Fig. 11. Imaginary part of input impedance according to  $\epsilon_r$

판으로 사용 한다. 또한 50  $\Omega$ 의 동축케이블로 급전하기 위하여 바룬이 필요한데, 본 연구에서는 그림 12와 같은 테이퍼 구조의 바룬을 사용한다. 즉, 포트 1의 임피던스 50  $\Omega$ , 포트 2의 임피던스는 110  $\Omega$ , 길이 140 mm, 폭 30 mm, 두께 1.6 mm의 FR4를 사용



(a)



(b)

그림 12. (a) 바룬의 윗면, (b) 바룬의 접지면  
Fig. 12. (a) Top of balun (b) Ground of balun

하였다.

그림 13(a)는 반사손실과 삽입손실을 시뮬레이션 하기 위한 백투백(back to back) 구조의 바룬을 보인 것이며, 그림 13(b)는 FR4의 loss tangent를 0.025로 두고, 반사손실과 삽입손실을 시뮬레이션 결과이다. 삽입손실은 0.8 GHz에서 약 -1.87dB이고, 6 GHz에서 약 -6.7dB이 발생하였고, 전 주파수 영역에서 약 -20dB 이하의 반사손실 특성이 나타났다. 그림 14는 그림 12의 바룬을 그림 7의 2단 2-암 시누어스 안테나에 연결한 상태를 보인 것이다.

그림 15는 전체 반경을 60mm로 한, 1단 2-암 시누어스 안테나와 2단의 간격을 50mm에서 60mm로 한 2단 2-암 시누어스 안테나의 실수부와 허수부 임피던스의 시뮬레이션 결과를 보인 것인데, 2단 2-암은 실수부가 관심의 전 주파수 영역인 0.8 GHz에서

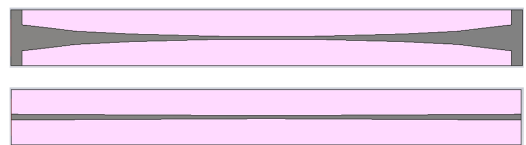


그림 13. (a) 바룬의 백투백 구조  
Fig. 13. (a) Back to back structure of the balun

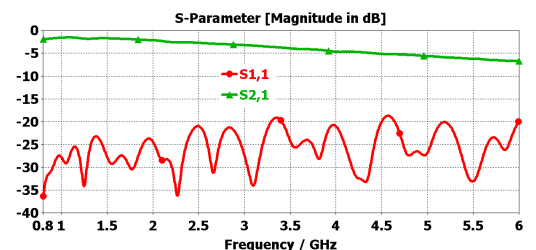


그림 13. (b) 설계된 바룬의 반사손실 및 삽입손실  
Fig. 13. (b) Return loss and reflection loss of the designed balun

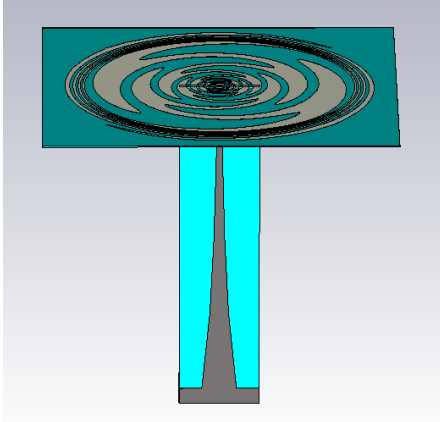


그림 14. 바룬이 연결된 시누어스 안테나  
Fig. 14. Sinuous antenna connected with the balun

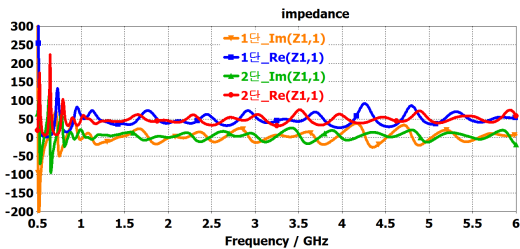


그림 15. 시누어스 안테나의 실수부와 허수부  
Fig. 15. Real part and imaginary part of sinuous antenna

6 GHz까지 최소 30 Ω에서 최대 75 Ω 사이를 진동하며, 허수부는 -17 Ω에서 25 Ω 사이를 진동하지만, 1단 2-암의 실수부는 최소 25 Ω에서 최대 92 Ω 사이를 진동하고, 허수부도 38 Ω에서 -27 Ω 사이를 진동한다는 것을 알 수 있었다. 그러므로 2단 2-암 시누어스 안테나의 입력 임피던스가 평균적으로 좀 더 50 Ω에 접근하므로, 관심의 전 주파수 영역에서 50 Ω의 동축케이블에 잘 정합이 된다고 사료된다.

그림 16은 앞에서 언급한, 두 종류의 시누어스 안테나의 반사손실을 보인 것인데, -10 dB 이하의 반사손실이, 2단 2-암에서는 약 0.8 GHz에서 발생하였지만, 1단 2-암에서는 약 0.95 GHz에서 발생하므로, 반사손실 -10 dB가 0.8 GHz에서 발생하게 하기 위해서는 안테나 반경을 60 mm보다 크게 해야 한다는 것을 알 수 있다. 그림 17, 18, 19는 전체 반경을 60 mm로 고정하고, 1단의 반경을 50, 52, 54, 56 mm 까지 증가 시킨 경우 임피던스의 실수부, 허수부, 반사손실을 보인 것인데, 1단의 반경이 증가 할수록 진동이 발생하는 주파수는 저주파 쪽으로 이동하며, -10 dB 이하의 반사손실이 발생하는 주파수도 저 주

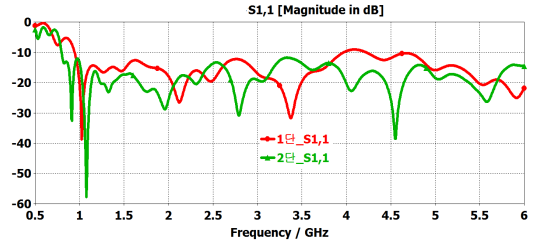


그림 16. 제안된 안테나의 반사손실  
Fig. 16. Return loss of the proposed antenna

파수 쪽으로 이동한다는 것을 알 수 있다. 즉, 1단 반경이 50 mm인 경우, 약 0.8 GHz에서 -10 dB의 반사손실이 발생하지만, 56 mm인 경우 약 0.7 GHz에서 반사손실 -10 dB가 발생한다. 따라서 안테나의 전체 반경을 더 줄일 수 있다는 것을 의미한다. 이것은 관심 영역의 가장 작은 주파수인 0.8 GHz의 첫 번째 능동 영역 반경인 39.7887 mm에서 복사되지 않은, 잔류 전류는 1단의 반경이 클수록 2단으로 들어오는 전류가 작아져서, 안테나의 종단에서 급전 점으로 되돌아오는 전류가 작아지기 때문이다. 따라서 이론적으로는 동일한 전체 반경인 경우 1단의 반경을 최대한 크게 하고, 2단의 시누어스 암의 회전 각 폭을 최대한 크게 하면 소형화 된 시누어스 안테나를 만들 수 있다. 그러나 그렇게 할 경우, 좁은 간격에 2단의 시누어스 암이 존재하기 때문에 암과 암 사이의 간격이 매우 좁아져서 설계 및 제작의 어려운 점이 있다.

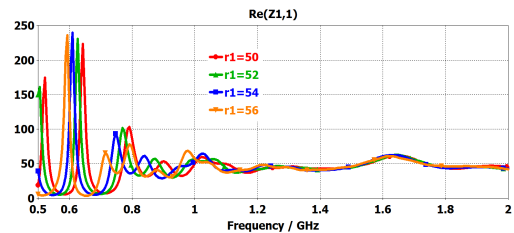


그림 17. 1단 반경에 따른 입력 임피던스 실수부  
Fig. 17. Real part of the input impedance according to radius of 1 stage

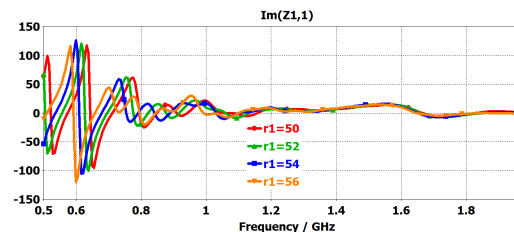


그림 18. 1단 반경에 따른 입력 임피던스 허수부  
Fig. 18. Imaginary part of the input impedance according to radius of 1 stage

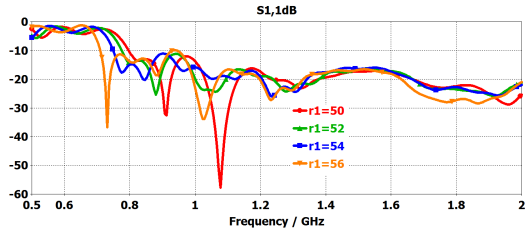


그림 19. 1단 반경에 따른 반사손실  
Fig. 19. Return loss according to radius of 1 stage

#### IV. 비론 및 시누어스 안테나 제작 및 측정

본 연구에서 제안한 2단 2-암 시누어스 안테나의 시뮬레이션을 위한 안테나 및 비론의 파라미터는 표 1 과 같고, 이러한 파라미터를 이용하여 시제품을 제작 하였다.

우선 설계한 비론의 특성을 측정하기 위하여 그림 13(a)의 백투백 비론을 FR4 기판에 제작하고, 그림 20(a)와 같이 RHODE & SCHWARZ ZNB8 회로망 분석기를 이용하여 측정하였다. 그림 20(b)는 측정된 삽입손실 및 반사손실의 데이터를 보인 것인데, 삽입 손실은 0.8 GHz에서 약  $-1.0dB$ 이고, 6 GHz에서 약  $-5.8dB$ 이 발생하였는데, 이는 시뮬레이션 결과 보다 양호한 결과이다. 그러나 반사손실은 부분적으로 약  $-20dB$  이상의 반사손실이 발생하였다.

본 연구에서는 제안한 안테나의 우수성을 비교하기 위하여 그림 21은 기존의 1단 2-암 시누어스 안테나 와 본 연구에서 제안한 2단 2-암 시누어스 안테나를 보인 것이다. 전체 반경은 60 mm로 동일하지만, 2 단 2-암 시누어스 안테나는 60 mm 중, 1단 반경을

표 1. 제안한 안테나 파라미터 값  
Table 1. Parameter values of the proposed antenna

파라메타	값	파라메타	값
동작주파수 대역	0.8-6 GHz	1st 단 $\alpha_p$	$90^\circ$
1st 단 암의 개수	2개	1st 단 $\delta$	$45^\circ$
1st 단 셀의 개수	8개	1st 단 $\tau_p$	0.71
2nd 단 암의 개수	2개	2nd 단 $\alpha_p$	$90^\circ$
2nd 단 셀의 개수	1/2개	2nd 단 $\delta$	$720^\circ$
안테나 반지름	60 mm	안테나 기판 및 두께	FR4 0.4 mm
1st 단 반지름	50 mm	비론 기판 및 두께	FR4 1.6 mm
2nd 단 간격	10 mm		

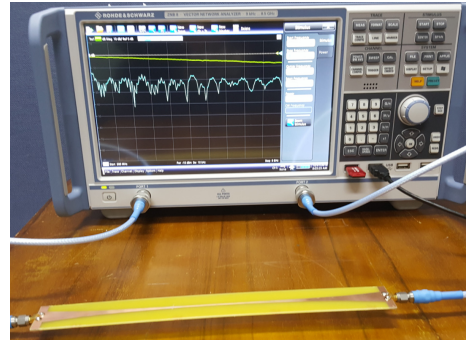


그림 20. (a) 비론의 실험 셋업  
Fig. 20. (a) Experiment set up of the balun

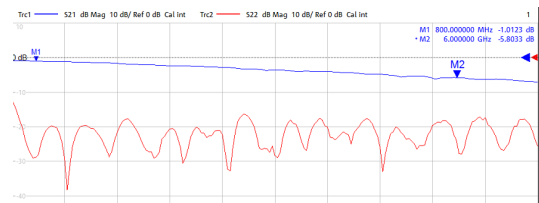


그림 20. (b) 비론의 삽입손실 및 반사손실의 측정값  
Fig. 20. (b) Measurement values of the insertion loss and return loss of balun

50 mm, 2단의 간격을 10 mm, 2단 셀의 각 폭  $\alpha$ 를  $720^\circ$ 로 하여 제작하였다.

그림 22(a)는 시누어스 안테나에 길이 140[mm], 폭 30[mm], 두께 1.6[mm]의 비론을 연결하고, 두 안테나의 입력 임피던스를 측정하기 위한 실험 셋업을 보인 것이고, 그림 22(b), 22(c)는 측정된 두 안테나의 입력 임피던스의 실수부 및 허수부 데이터를 보인 것이다. 그림 22(b)에서 기준선의 임피던스는 50Ω 이고, y축 눈금이 칸 당 10Ω 으로 설정 하였었고, Trc1 이 1단 2-암 입력 임피던스 실수부(파란색)이고, Trc2 가 2단 2-암 시누어스 안테나의 입력 임피던스 실수부 (붉은색)를 나타낸 것이다. 즉, 0.8 GHz 근처의 낮은 주파수 영역을 제외하고는 2단 2-암 시누어스 안테나

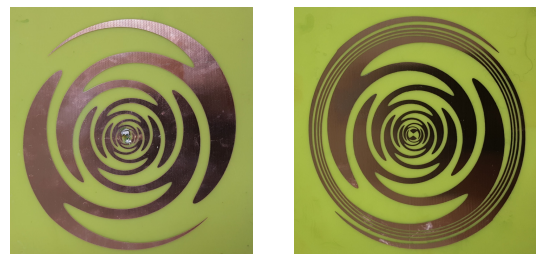


그림 21. 1단 2-암 및 2단 2-암 시누어스 안테나  
Fig. 21. 1 stage 2-arms and 2 stages 2-arms sinuous antenna

는 전 주파수 영역에서 최대 약  $70\Omega$ 에서 최소  $35\Omega$  사이를 진동하고, 1단 2-암 시누어스 안테나는 최대 약  $78\Omega$ 에서 최소  $35\Omega$  사이를 진동한다는 것을 알 수 있었다. 또한, 그림 22(c)의 허수부 측정에서는, 1단인 경우가 최대  $25\Omega$ 에서  $-25\Omega$  사이를 진동하였

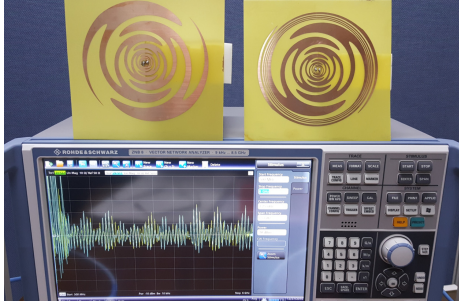


그림 22. (a) 시누어스 안테나의 실험 셋업  
Fig. 22. (a) Experiment set up of the sinusoidal antenna

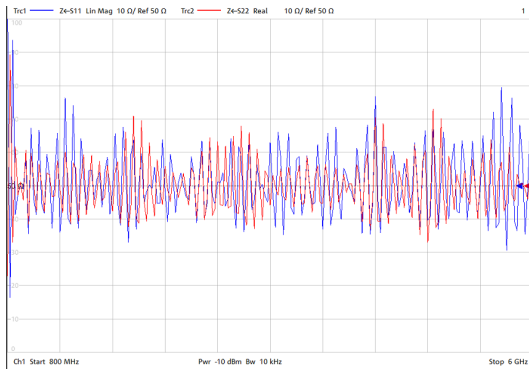


그림 22. (b) 1단 및 2단 시누어스 안테나의 실수부 입력 임피던스 비교  
Fig. 22. (b) Comparison of real part of the input impedance of the 1 stage and 2 stages sinusoidal antenna

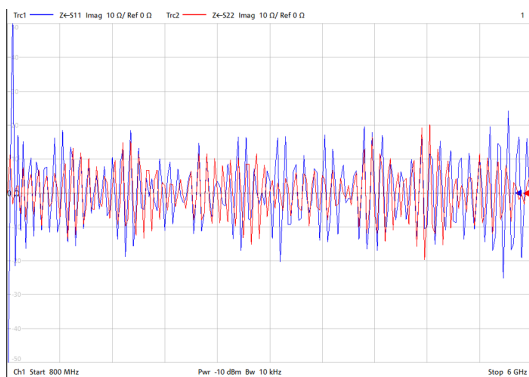


그림 22. (c) 1단 및 2단 시누어스 안테나의 허수부 입력 임피던스 비교  
Fig. 22. (c) Comparison of imaginary part of the input impedance of the 1 stage and 2 stages sinusoidal antenna

고, 2단인 경우가 최대  $20\Omega$ 에서 최소  $-20\Omega$  사이를 진동하였다. 더군아  $0.8\text{ GHz}$  근처에서는  $10\Omega$  이하이지만, 1단 인 경우는 최대  $50\Omega$  까지 진동하는 것을 알 수 있다. 따라서 2단 2-암 시누어스 안테나가 평균적으로  $50\Omega$ 에 잘 정합되었다고 사료된다.

그림 23은 제작된 두 안테나의 반사손실을 측정한 것이다. 그림 16의 시뮬레이션 결과는 1단 인 경우  $-10\text{ dB}$  이하의 반사손실이  $0.95\text{ GHz}$ , 2단인 경우  $0.8\text{ GHz}$ 에서 발생하였는데, 측정 결과는 1단인 경우  $0.878\text{ GHz}$ , 2단인 경우  $0.807\text{ GHz}$ 에서  $-10\text{ dB}$  이하의 반사손실이 측정되어 시뮬레이션 결과와 비슷한 측정값을 얻었다.

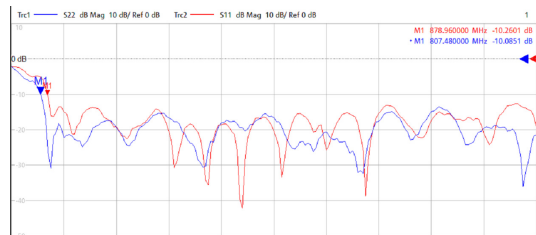


그림 23. (a) 1단 및 2단 2-암 시누어스 안테나의 반사 손실 측정  
Fig. 23. (a) Measurement of return loss of 1 stage and 2 stages 2-arm sinusoidal antenna



그림 23. (b) 두 안테나의 확대된 반사손실  
Fig. 23. (b) Enlarged return loss of the two antenna

## V. 결론

본 논문에서는  $0.8-6[\text{GHz}]$  주파수 범위에서 동작하는 2단 2-암 시누어스 안테나를 제안하여 안테나의 소형화의 가능성을 제시하였다. 즉, 기존의 방법은 안테나 반경  $R$ 에  $n$ 개의 셀을 동일한 각 폭을 적용하여 2-암 시누어스 암을 만들었다. 이렇게 할 경우 가장 낮은 동작 주파수의 능동영역이 안테나의 반경에 해당되는데, 이 능동영역에서 완전한 복사 발생하지 않고, 잔류 전류가 발생하고, 이 잔류전류가 안테나의 종단에서 급전 점으로 반사가 발생하여 안테나의 성



능을 악화시킨다. 이 문제를 해결하기 위하여 기존의 방법은 이론적인 안테나의 반경 보다 약 2배 정도로 크게 하기 때문에 안테나의 크기가 매우 커진다. 그러나 본 연구에서는 안테나의 반경을 2단으로 나누어 1단은 기존의 자기 상보의 조건이 만족하도록 하고, 추가적 2단은 0.5개의 셀과 셀의 각 폭을  $720^{\circ}$ 로 매우 크게 한 2단 2-암 시누어스 안테나를 제시하였다. 이렇게 할 경우, 능동영역에서 발생하는 잔류전류의 이동 경로가 길기 때문에 안테나 종단에 도달하고, 급전점으로 다시 반사되는 잔류 전류가 작아져서 입력 임피던스의 진동이 작아짐을 알 수 있었다. 즉, 안테나의 반경이 60 mm인 1단 2-암 시누어스 안테나를 제작하여 측정하였는데, 약 0.878 GHz 부터 안정된 입력 임피던스의 진동이 발생하였다. 따라서 0.8 GHz 부터 안정된 입력 임피던스를 얻기 위해서는 안테나의 반경을 더 크게 해야 한다. 그러나 본 연구에서는 전체반경 60 mm 중 1단의 반경은 50 mm, 2단의 간격을 10 mm로 하고, 그 사이에 0.5개 셀을  $720^{\circ}$ 로 회전시켜서 제작한 2단 2-암 시누어스 안테나는 약 0.8[GHz] 부터 안정된 입력 임피던스의 진동이 발생하여 시누어스 안테나의 반경을 줄일 수 있는 가능성을 확인하였다.

### References

[1] S.-W. Park, N. Kim, S.-Y. Rhee, and S. Lee, "The broadband spiral slot antenna fed by coplanar waveguide," in *Proc. KICS Int. Conf. Commun.*, pp. 2270-2273, Jun. 2008.

[2] Constantine A. Badlands, *Antenna theory analysis and design*, pp. 413-439, John Wiley & Sons, 1982.

[3] S. H. Yoon and J. K. Kim, "Performance analysis of the uni-directional radiation equiangular antenna over EBG surface," *J. KICS*, vol. 40, no. 8, pp. 1622-1630, Aug. 2015.

[4] B. Shanmugam, "Investigation and performance of a cavity backed novel modified balun free archimedean spiral antenna and planar array implementation," Thesis, M.S. San Diego State University, Spring, 2012.

[5] R. H. Duhamel, *Dual polarized sinuous*

*antenna*, U.S. Patent 4,658,262, Apr. 1987.

[6] S. H. Yoon, "Study on the linear non-complementary 2-arm slot sinuous antenna for low input impedance," *J. KICS* vol. 40, no. 12, pp. 1622-1630, Dec. 2015.

[7] A. Manna, P. Baldonero, and F. Trotta, "Novel UWB low-profile sinuous slot antenna," *EUCAP*, pp. 783-786, 2011.

[8] H. S. Lee and T. H. Yoo, "A ultra-wideband two-arm self-complementary sinuous antenna," *KJKIEES*, pp. 257-267, Mar. 2015.

[9] R. C. Johnson and H. Jasik, *Antenna Engineering Handbook*, 3<sup>rd</sup> Ed., chapter 14, McGraw-Hill, 1993.

### 윤 성 현 (Sung-Hyun Yoon)



1984년 2월: 동아대학교 전자공학과 졸업 (공학학사)  
 1986년 2월: 동아 대학교 전자공학과 졸업(공학석사)  
 1991년 2월: 동아대학교 전자공학과 졸업(공학박사)  
 1989년 9월~현재: 경남정보대학교 정보통신계열 교수

<관심분야> RF 및 안테나