

# 저 입력 임피던스를 위한 선형 비 상보 2-암 슬롯 시누어스 안테나에 관한 연구

윤 성 현<sup>°</sup>

## Study on the Linear Non-Complementary 2-Arm Slot Sinuous Antenna for Low Input Impedance

Sung Hyun Yoon<sup>°</sup>

요 약

시누어스 안테나는 초 광대역을 요구하는 방향 탐지 시스템과 같은 응용에서 사용되는데, 안테나의 입력 임피던스가 높기 때문에 높이가 낮은 안테나 및 바룬의 설계에 애로점이 있다. 본 연구에서는 낮은 입력 임피던스를 얻기 위하여, Babinet's 원리를 이용하여, 2-18[GHz] 주파수 대역의 시누어스 안테나를 기존의 지수형 2-암 스트립 시누어스 안테나 대신에, 가장 큰 반경  $R_1=31.83mm$  과 가장 작은 반경  $R_p=1.7mm$  사이를 6개의 시누어스 셀을 균등한 등 간격으로 배치하는, 선형 2-암 슬롯 시누어스 안테나를 제안하고, 안테나 급전점에 188Ω 대신에 80Ω의 임피던스로 급전 할 경우의 -10dB 대역폭을 해석하였다. 스트립인 경우 전 주파수 범위에서 반사 손실이 -10dB 이상이지만, 슬롯인 경우는 약 4-18[GHz] 범위에서 -10dB 이하의 반사 손실을 얻었다.

**Key Words** : 2-arm strip sinuous antenna, 2-arm slot sinuous antenna, Babinet's principle Frequency independent antenna, Self complementary

ABSTRACT

Sinuous antenna is utilized in a number of application like direction-finding system that require ultra wideband, but because of high input impedance of the antenna, it is difficult to design low-profile antenna and balun. In this study, we used Babinet's principle and proposed linear 2-arm slot sinuous antenna that is divided sinuous 6 cell with equal spacing between the most largest radius  $R_1=31.83mm$  and the smallest radius  $R_p=1.7mm$  instead of exponential 2-arm strip sinuous antenna for 2-18[GHz] frequency band to obtain low input impedance, and we have studied -10dB bandwidth of antenna when has been fed by 80Ω instead of 188Ω at feeder point. As a result, we have obtained return loss below than -10dB for about 4-18[GHz] frequency range in the case of slot antenna, but at all frequency band, return loss was above -10dB in the case of strip antenna.

### I. 서 론

안테나의 입력임피던스, 복사패턴과 같은 특성은

주어진 동작 주파수의 과장 단위로 계산된 안테나 크기, 형태에 의해서 결정된다. 만약에 안테나의 물리적 구조를 임의의 비율로 크기를 작게 혹은 크게 변경해

※ 본 논문은 2015년도 제5단계 BB21 사업으로 지원을 받아 수행된 연구임.

° First and corresponding Author : Kyugnam College of Information & Technology Subdivision of Communication yoon1@eagle.kit.ac.kr, 정회원  
논문번호 : KICS2015-11-361, Received November 9, 2015; Revised November 24, 2015; Accepted November 24, 2015

도, 원래의 안테나 구조 형태를 유지하면, 과장단위의 안테나 크기는 모든 주파수에서 동일하므로 안테나의 특성이 주파수에 따라서 변하지 않는 주파수 독립 안테나 (Frequency Independent Antenna)가 된다<sup>[1]</sup>. 즉, 안테나의 모든 물리적 제원을 1/2배로 줄이고, 동작 주파수를 2배로 증가 시켜도, 안테나의 특성이 변화가 없다는 것이다. 또한, 평면구조의 도체 스트립과 유전체 표면을 상호 변경하였을 때 원래구조의 회전된 형태로 되는 것을 자기 상보 구조(Self-Complementary Structure)라 하며, Babinet의 원리에 의하면, 자기 상보 구조는 주파수 독립 입력 임피던스를 유지하는데, 이것은 원래 형태와 상보형태의 입력 임피던스가 같다면, 두 곱은 항상 주파수에 관계없이 일정하기 때문이다.

오늘날의 초 광대역 안테나<sup>[2]</sup>는 이러한 주파수 독립이면서 자기 상보구조의 안테나에 요구하는데, 이것은 모든 주파수에서 안테나의 입력 임피던스가 같다면, RF 에너지를 안테나에 결합시키는데 별도의 주파수에 따른 임피던스 변화가 없이 효율적으로 결합시킬 수 있기 때문이다. 이러한 특성을 가진 안테나의 한 종류로서 원형편파를 발생하는 다양한 형태의 스파이럴 안테나<sup>[2]</sup>인데, 오늘날 무선통신, 방향 탐지, 레이더 등 다양한 응용분야에서 사용되고 있다. 무한대의 2-암 스파이럴과 같은 평면 자기 상보 안테나의 입력 임피던스는 평균적으로 자유공간의 고유 임피던스의 절반인 188.5[Ω]이 되지만 실제적으로는 유한한 크기의 암을 가지므로 이 값은 안테나의 특성 예측의 기준이 된다. 가장 최근에 개발된 또 다른 주파수 독립이면서 자기 상보형 UWB 평면 안테나로서 시누어스 안테나<sup>[3]</sup>가 있다. 시누어스 안테나는 성능면에서 스파이럴 안테나의 모든 장점을 유지하면서, 스파이럴 안테나가 가지지 못한 특성인 서로 직교인 이중 편파를 발생시킬 수 있어 통신의 송수신에 있어서 편파 다이버시티, 감시 시스템, 방향 탐지 시스템 등 많은 분야에 활용되고 있다. 그러나, 시누어스 안테나는, 안테나의 입력 임피던스가 높기 때문에 높이가 낮은 안테나 및 바룬의 설계에 애로점이 있다. 즉, 안테나의 급전을 위해서는 평형-불평형 및 188.5[Ω]에서 50[Ω]으로의 임피던스 변환이 되는 바룬이 요구된다. 이와 같이 높은 입력 임피던스 188.5[Ω]에서 50[Ω]으로의 임피던스 변환을 요구하는 것이 스파이럴 혹은 시누어스 안테나의 단점이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 문헌 [4]에서는 평균 임피던스가 100[Ω]이되는 슬롯 안테나를 제시하였지만, 본 연

구에서는 2-암 시누어스 안테나의 급전으로 80[Ω]의 출력 임피던스를 가지는 바룬이 사용이 가능한 비자기 상보형 슬롯 시누어스 안테나를 제시하고자 한다.

## II. 시누어스 안테나 설계

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

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

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

여기서  $r, \phi$ 는  $p$ 번째 셀의 극 좌표에서 반경과 각도인데,  $-\alpha_p \leq \phi(r) \leq \alpha_p$  사이 값을 가진다.  $\alpha_p$ 는  $p$ 번째 셀의 각폭(angle width),  $\tau_p$ 는  $p$ 번째 셀의 축소율로서 1보다 작고, 다음과 같다.

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

여기서,  $R_p$ 와  $R_{p+1}$ 는 각각  $p$ 번째,  $p+1$ 번째 셀의 바깥쪽 반지름이다. 식(1)에서 모든 셀에서의 축소율 및 각폭을 동일하게 하고( $\tau_p = \tau$ ,  $\alpha_p = \alpha$ ) 시누어스 곡선을 그리기 위해서는 식(1)의 극 좌표를 이용해야한다. 그러나, 본 연구에서는 모든 시뮬레이션을 직각좌표를 이용하는 CST MWS를 이용하므로, 식(1)의 표현을 직각 좌표로 변환해야한다. 본 연구에서는 직각좌표에서 셀의 각폭  $\pm \alpha$  사이에서 셀의 반경이 지수 함수로 변화하는 시누어스 곡선을 위하여 식(1)을 다음과 같이 변경하였다.

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

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

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. 그림 1은 이러한 방법을 이용하여 각쪽  $\alpha = 45^\circ$ 로 하고  $R_p = 31.83mm$ ,  $R_1 = 1.77mm$ 인 경우 전체 셀 수인  $n = 6, 8, 10$ 개인 경우의 시누어스 곡선을 그린 것이다.

원하는 각 폭 및 셀 수를 가지는 시누어스 곡선이 그려지면 시누어스 안테나를 구성하는 시누어스 암을 그려야하는데, 이것은 시누어스 곡선을 좌우로  $\pm \delta$ 만큼 회전시켜서 얻어진다. 그림 2는 그림 1의 곡선을  $\delta = 22.5^\circ$ 인 경우 하나의 시누어스 암을 나타낸 것이다.

이러한 시누어스 암을  $180^\circ$  회전시켜 복사하면 2-암 시누어스 안테나가 되고,  $90^\circ, 270^\circ$  회전시켜 복사하여 추가하면 4-암 시누어스 안테나가 된다. 그림 3은 셀 수  $n = 10$ 인 경우의 최종적으로 설계된 2-암 및 4-암 시누어스 안테나를 보인 것이다.

시누어스 안테나의 대역폭은 시누어스 곡선의 반경에 좌우된다. 시누어스 구조에서 활성 공진 주파수 파

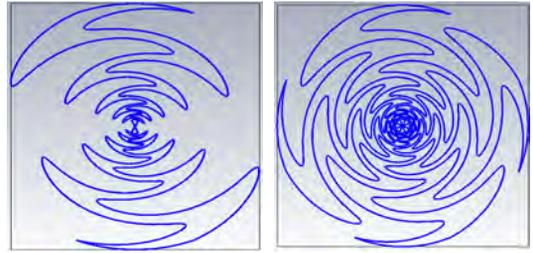


그림 3. 설계된 2-암 및 4-암 시누어스 안테나  
Fig. 3. designed 2-arm and 4-arm sinuous antenna

장은 다음과 같이 근사적으로 주어진다.<sup>[6]</sup>

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

여기서  $\alpha_p, \delta$ 는 라디안 단위.

따라서  $R_1, R_p$ 는 식(7)을 이용하면 다음과 같다.

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

여기서  $\lambda_L, \lambda_H$ 는 원하는 대역폭의 하한과 상한 주파수의 파장을 의미하는데, 급전점 설계 시  $\lambda_H$ 가 제한되므로  $R_p = (\lambda_H/8) / (\alpha_p + \delta)$ 로 하는 것이 유리하다고 알려져 있다<sup>[6]</sup>. 이러한 관점에서 본 연구에서는 주파수 대역 2-18GHz의 2-암 시누어스 안테나를 설계하기 위하여  $R_1 = 31.84mm$ ,  $R_p = 1.77mm$ 으로 선택하였다.

### III. 시누어스 안테나 해석

시누어스 안테나는 주파수 독립 안테나의 하나로서 높이가 낮은(low-profile) 평면 구조이면서, 광대역으로 이중 선형 편파 혹은 이중 원형 편파를 제공하므로, 군용 및 민수용으로 여러 분야에서 다양한 목적으로 사용되는 매우 유용한 안테나이다. 이러한 안테나의 문제점은 입력 임피던스가 높고, 평형형 급전을 요구하기 때문에 바른 설계 시 약  $270\Omega$ 에서  $50\Omega$ 의 임피던스 변환이 요구 되는데, 마이크로스트립 선로로 바른 구성시 이러한 높은 임피던스를 가지는 변환기 제작이 어렵다. 한편, Babinet의 원리를 이용하면 평면구조의 상보형 안테나의 입력 임피던스 사이에 관계는 다음과 같다<sup>[7]</sup>.

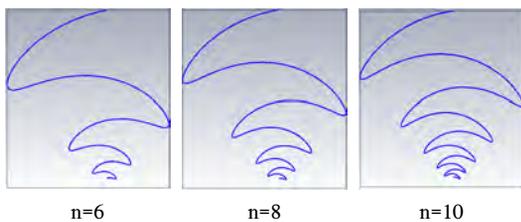


그림 1. 셀 수에 따른 시누어스 곡선  
Fig. 1. Sinuous curve due to cell number

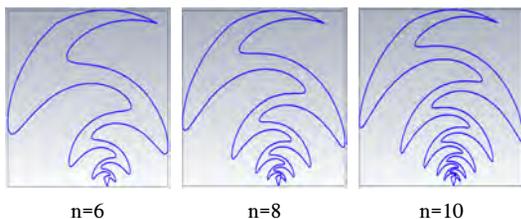


그림 2. 셀 수에 따른 시누어스 암  
Fig. 2. Sinuous arm due to cell number

$$Z_c = (120\pi)^2 / (4Z) \quad (10)$$

여기서  $Z$ 는 안테나의 입력임피던스,  $Z_c$ 는 상보형 안테나의 입력임피던스를 의미한다.

스트립 안테나와 슬롯 안테나가 자기 상보 (self-complementary)인 경우  $Z_c = Z = 188.5\Omega$  가 되어 높은 입력 임피던스 값을 가진다. 또한,  $N$ -암 시누어스 안테나의 자기 상보 조건은 다음 식으로 정의된다.<sup>[8]</sup>

$$\delta = \frac{\pi}{2N} \quad (11)$$

$$Z = \frac{60\pi}{\sin(\pi/N)} [\Omega] \quad (12)$$

즉, 2-암 자기 상보형 시누어스 안테나가 되기 위해서는,  $N=2$ 이므로  $\delta=45^\circ$  이고, 셀의 각쪽을  $\alpha=90^\circ$  로 하면 된다. 이때  $Z=188.5[\Omega]$ 이 된다. 그림 4는  $R_1=31.83\text{mm}$ ,  $R_p=1.77\text{mm}$ ,  $\delta=45^\circ$ ,  $\alpha=90^\circ$ , 9개의 셀, 인 경우 스트립 형 시누어스 안테나와 그의 자기 상보형인 슬롯 안테나를 직각 좌표에서의 표현식 식(3), (4)를 CST MWS를 이용하여 설계한 것이다.

그림 5는 두 안테나의 입력 임피던스의 실수부와 허수부를 보인 것인데, 자기 상보 특성에 의해서 두 임피던스가 안테나의 종단에서의 반사 영향에 의한 낮은 주파수영역을 제외하고는, 거의 같음을 알 수 있다.

한편, 안테나의 크기는 사용되는 가장 낮은 주파수, 공간기의 길이, 바룬의 길이에 의해서 결정된다. 광대역 ETMB(Exponentially Tapered Microstrip Balun) 이 스파이럴, 시누어스 안테나의 급전으로 가장 효율적으로 사용되고 있는데, ETMB의 길이는 사용되는 대역폭의 가장 낮은 주파수의 반 파장과 같아야 전 주

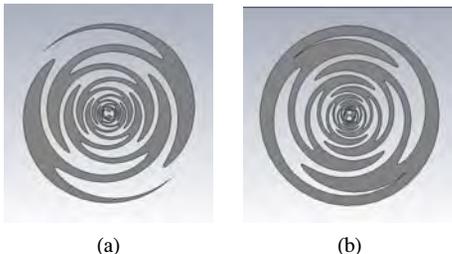


그림 4. (a) 지수형 스트립 (b) 자기 상보 슬롯 시누어스 안테나  
Fig. 4. (a) Exponential strip (b) self-complementary slot sinuous antenna

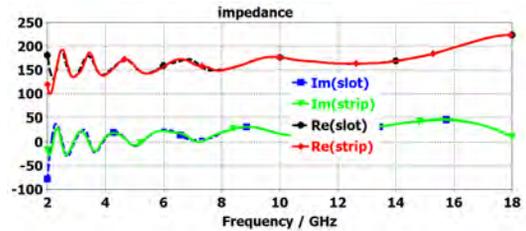


그림 5. 지수형 스트립 및 자기 상보 슬롯 시누어스 안테나의 입력 임피던스  
Fig. 5. Input impedance of the exponential strip and self-complementary slot sinuous antenna

파수 대역에서 효율적으로 작용한다. 그러나 테이퍼 선로의 임피던스 변환의 이론에 의하면, 불평형 포트의 임피던스와 평형형 포트의 임피던스가 비슷하면, ETMB의 길이는 매우 작게 할 수 있다. 결과적으로 시누어스 안테나의 입력 임피던스를 50Ω에 근접시키면, 길이가 매우 짧은 ETMB으로 급전을 시킬 수 있어 높이가 매우 낮은 시누어스 안테나를 얻을 수 있다. 즉,  $Z_L/Z_0$ 와 반사계수 크기  $|Γ_L|$ 가 주어지면, ETMB의 가장 짧은 길이  $l_{min}$ 은 다음과 같다<sup>[9]</sup>.

$$l_{min} = \frac{1}{4\beta|Γ_L|} \ln \frac{Z_L}{Z_0} \quad (13)$$

ETBM이 비 유전율  $\epsilon_r$ 의 기판에 설계되면 전파상수  $\beta = 2\pi\epsilon_r\lambda_0$  로 되어 식(12)는 다음과 같다.

$$l_{min} = \frac{\lambda_0}{8\pi\epsilon_r|Γ_L|} \ln \frac{Z_L}{Z_0} \quad (14)$$

여기서

$\lambda_0$ 는 안테나의 동작 주파수중 가장 낮은 주파수의 자유공간에서의 파장이고,  $\beta$ 는 기판의 매질에서의 전파상수를 의미한다.

즉,  $Z_L/Z_0$ 가 1에 근접할수록 ETMB의 길이를 짧아져서 안테나의 높이를 낮게 할 수 있다.

그러나 무한대의 도체 구조의 2-암 자기 상보형 시누어스 안테나인 경우, 평형형 급전을 요구하며, 입력 임피던스가 188.5Ω 이므로, 50Ω의 불평형 SMA 코넥터를 바룬의 입력 포트에 연결하고, 출력 포트를 평형형 안테나의 입력 포트에 연결하므로,  $Z_L/Z_0$ 를 1로 근접시키기 위해서는 시누어스 안테나의 입력 임피던스를 최소한으로 감소시키는 것이 요구된다. 한편, 그림 6.은 직각좌표에서 셀의 각쪽  $\pm\alpha$  사이에서 셀의

반경이 지수 함수로 변화시키는 대신에 선형적으로 변화하는 시누어스 곡선을 위하여 식(1)을 다음과 같이 변경하였다.

$$x(\phi) = (R_1 + ar)\cos(-\alpha\sin(\frac{\pi}{\beta}r)) \quad (15)$$

$$y(\phi) = (R_1 + ar)\sin(-\alpha\sin(\frac{\pi}{\beta}r)) \quad (16)$$

식(15), 식(16)은 식(3), 식(4)와 비교하면, 셀의 한 주기 동안 반경이 증가하는 비율이 선형적인 함수로 증가하는 것과 지수 함수적으로 증가하는 것이되는 모든 정의가 같다.

그림 6은 그림 4의 제원과 동일하지만, 셀의 한 주기 동안 반경이 증가하는 비율이 선형적으로 일정한 간격으로 증가하는 식(15), 식(16)을 이용하여 스트립 및 자기 상보형 슬롯 안테나를 나타낸 것이고, 그림 7은 두 안테나의 입력 임피던스를 나타낸 것인데, 두 안테나의 입력임피던스를 구분하기 어려울 정도로 거의 같음을 알 수 있다.

그림 5와 그림 7을 비교하면, 한 셀의 주기 동안에 반경이 증가하는 비율을 지수 함수적인 경우보다 선형적인 함수로 증가하는 경우가 임피던스의 변화가 작고, 고주파에서 리액턴스 성분이 0에 가깝고, 안테나의 크기가 유한함에도 불구하고 완전한 상보 특성을 보인다는 것을 알 수 있다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 시누어스 곡선에 따른 반경이 선형적으로 변하는 식(14), 식(15)를 이용하여 시누어스 안테나의 입력 임피던스에 영향을 주는 셀 폭, 셀의 회전각, 셀 수 등을 고려하여 임피던스가 최소화 되는 조건을 해석하고, 50[Ω]에서 80[Ω]의 임피던스 변환 비율을 이용할 경우의 슬롯 시누어스 안테나의 성능을 해석하

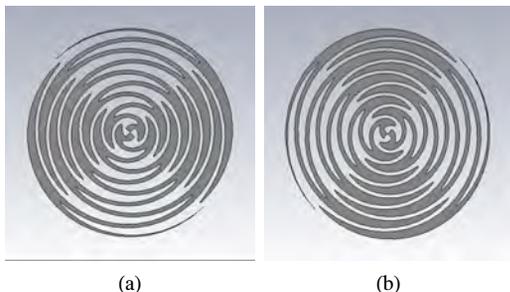


그림 6. (a) 선형 스트립 (b) 자기 상보형 슬롯 시누어스 안테나  
Fig. 6. (a) Linear strip (b) self-complementary slot sinuous antenna

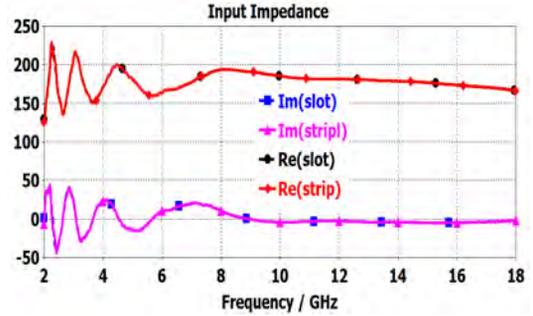


그림 7. 선형 스트립 및 자기 상보형 슬롯 시누어스 안테나 입력 임피던스  
Fig. 7. Input impedance of the linear strip and self-complementary slot sinuous antenna

고자 한다.

#### IV. 비 자기 상보 시누어스 안테나 해석

주파수 독립형 평면형 스트립 시누어스 안테나의 상보형은 슬롯 시누어스 안테나이므로, 식(10)에 의하면, 입력 임피던스가 매우 큰 스트립 형 시누어스 안테나의 상보형 안테나인 슬롯형 시누어스 안테나는 매우 작은 입력 임피던스를 가진다. 즉, 80[Ω]의 입력 임피던스를 가지는 슬롯 시누어스 안테나가 되기 위해서는 식(10)에 의해서 약444[Ω]의 입력 임피던스를 가지는 스트립 형 시누어스 안테나를 설계 후 상보형인 슬롯 형 시누어스 안테나로 변형하면 된다는 것이다. 즉, 매우 큰 입력 임피던스를 얻기 위해서는 자기 (self) 상보형이 아닌 비 자기(non-self) 상보형 스트립 시누어스 안테나가 되어야하고, 이것의 상보형인 슬롯 시누어스 안테나는 식(10)에 의해서 상대적으로 작은 입력 임피던스를 가진다. 또한, 시누어스 안테나의 입력 임피던스에 영향을 주는 요소는 최저, 최고 주파수 2[GHz] 및 18[GHz]에 대응하는 안테나 반경  $R_1, R_p$ , 셀 폭, 셀의 회전각, 셀 수 인데, 그림 8은  $R_1 = 31.83\text{mm}$ ,  $R_p = 1.77\text{mm}$ ,  $\delta = 10^0$ ,  $\alpha = 45^0$ , 셀 수=6개 인 경우 CST를 이용하여 스트립 인 경우와 슬롯인 경우의 입력 임피던스를 보인 것이다. 시누어스 안테나의 동일한 제원에서 슬롯형 안테나의 입력 임피던스가 스트립형 보다 매우 작음을 알 수 있다. 그림 9는 임피던스의 실수부와 허수부를 보인 것인데, 슬롯형의 허수부가 전 주파수 범위에 걸쳐서 0에 근접함을 알 수 있으며, 실수부도 스트립형에 비하여 매우 작음을 알 수 있다.

그림 10은 두 안테나의 급전점의 임피던스를 80옴으로 한 경우의 반사손실을 보인 것인데, 스트립 형은

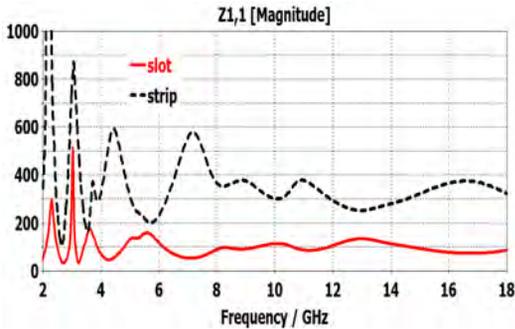


그림 8. 선형 스트립 및 비 자기 상보형 슬롯 시누어스 안테나의 입력 임피던스  
 Fig. 8. Input impedance of the linear strip and non-self complementary slot antenna

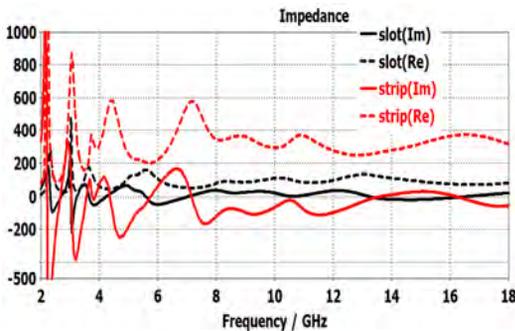


그림 9. 스트립 및 슬롯 시누어스 안테나 입력 임피던스의 실수부 및 허수부  
 Fig. 9. Real and imaginary part of the input impedance of strip and slot sinuous antenna.

임피던스 부정합이 매우 커져 전 주파수 범위에서  $-5dB$  이상이 되지만, 슬롯형 인 경우 약  $4[GHz]$  이하에서  $-10dB$  이상이고, 그이상의 주파수에서는  $-10dB$  이하로서 임피던스정합이 잘 된다는 것을 알 수 있다. 즉, 가장 낮은 주파수는  $2[GHz]$  이지만, 실제로 안정된 입력 임피던스는  $4[GHz]$  이상에서 얻어

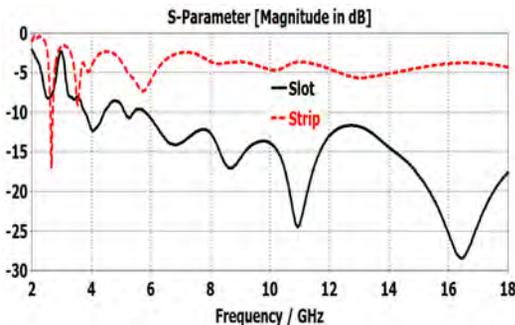


그림 10. 80옴 급전선 사용시, 스트립 및 슬롯 시누어스 안테나의 반사손실  
 Fig. 10. Return loss of the strip and slot sinuous antenna when using 80ohm feeder line.

진다는 것을 알 수 있다. 이것은 안테나를 구성하는 반경이 제한되어 낮은 주파수의 성분인 경우 그림 11 과 같이 스트립 혹은 슬롯의 끝부분에서 전류의 반사가 발생하기 때문이고, 높은 주파수인 경우 반사파 없이 진행파의 자유공간으로 전류의 복사가 발생하기 때문이다.

그림 12는 두 안테나의 이득을 보인 것인데, 역시  $4[GHz]$  이하에서 스트립 혹은 슬롯의 종단에서의 반사파에 의한 영향으로 이득이 감소함을 보이고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 안테나의 종단에서의 반사파의 영향을 최소화해야 한다. 그림 13은  $R_1 = 31.83mm$  를 1.0, 1.2, 1.4배로 증가 시킨 경우의 슬롯 안테나의 이득을 보인 것인데,  $R_1$  값이 클수록 낮은 주파수영역에서 이득이 커짐을 알 수 있다.

그림 14는  $R_1$ 에 따른 입력 임피던스를 보인 것인

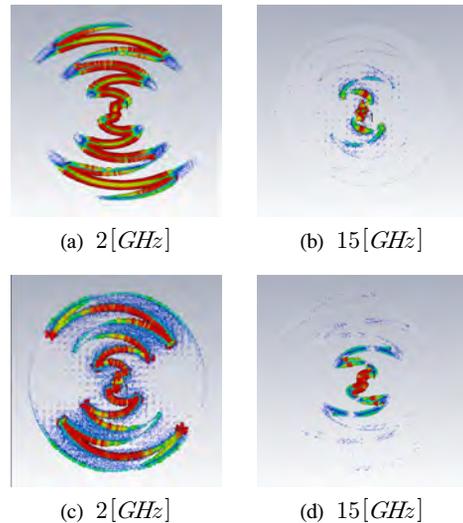


그림 11. 스트립형(a)(b) 와 슬롯형(c)(d) 시누어스 안테나의  $2[GHz]$  와  $15[GHz]$ 의 전류 분포  
 Fig. 11. Current Distribution of strip (a)(b) and slot (c)(d) sinuous antenna at  $2[GHz]$  and  $15[GHz]$

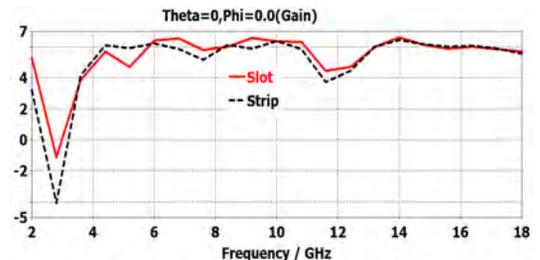


그림 12. 스트립 형과 슬롯 형 시누어스 안테나의 주파수에 따른 이득  
 Fig. 12. Gain according to frequency of the strip type and slot type sinuous antenna

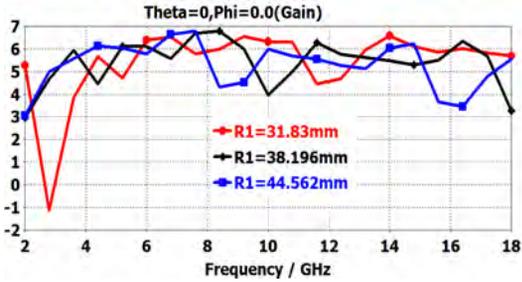


그림 13.  $R_1$ 에 따른 슬롯형 시누어스 안테나의 이득  
Fig. 13. Gain of the slot type sinuous antenna according to  $R_1$

데,  $R_1$ 값이 클수록 낮은 주파수에서 안정된 입력 임피던스를 보임을 알 수 있다. 그림 15는 안테나의 급전점에서의 임피던스를 80옴으로 한 경우  $R_1$ 에 따른 S-파라메타를 보인 것인데,  $-10dB$  이하의 주파수 폭이 넓어짐을 알 수 있다. 그림 16은 선형 편파의 정도를 나타내는 축비를 나타낸 것이다. 일반적으로 원형파와 선형 편파의 기준은  $3dB$  축비로 하는데, 전 주파수 범위에 걸쳐서  $5dB$  이상으로서, 2-암 선형 편파

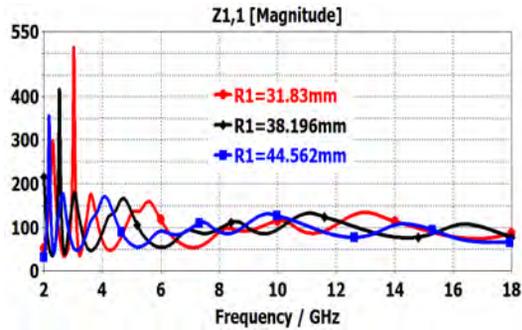


그림 14.  $R_1$ 에 따른 슬롯형 시누어스 안테나의 입력 임피던스  
Fig. 14. Input impedance of the slot type sinuous antenna according to  $R_1$

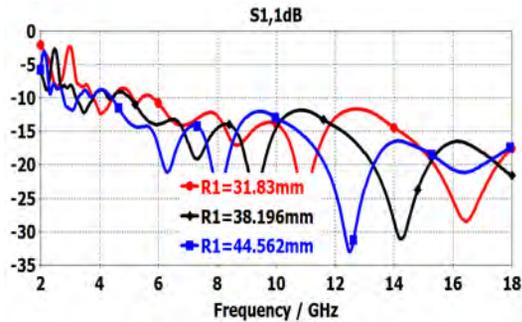


그림 15.  $R_1$ 에 따른 슬롯형 시누어스 안테나의  $S_{11}$  파라메타  
Fig. 15.  $S_{11}$  parameter of the slot type sinuous antenna according to  $R_1$

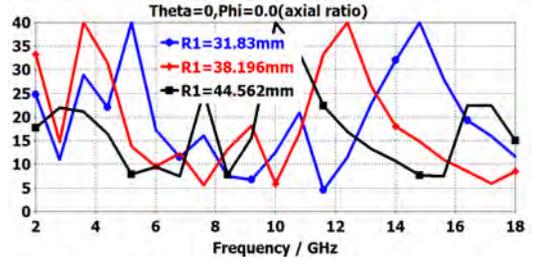


그림 16.  $R_1$ 에 따른 슬롯형 시누어스 안테나의 축비  
Fig. 16. Axial ratio of the slot type sinuous antenna according to  $R_1$

슬롯형 시누어스 안테나가 선형편파를 유지한다고 고려되며,  $R_1$ 이 증가 함에 따라서 선형성도 증가하는 것을 알 수 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는  $2-18[GHz]$  주파수 범위에서 동작하는 선형 편파 2-암 시누어스 슬롯형 안테나를 임의 급전점인 중심으로부터 안테나의 크기인 반경을 기준의 지수 함수적으로 증가시키는 대신에 선형적으로 증가시키는 방법을 제안하고, CST를 이용하여 설계하고 해석하였는데, 자기 상보형인 경우 기존의 지수 함수적인 시누어스 안테나 경우보다, 안정된 입력 임피던스를 얻을 수 있었다. 또한 Babinet의 원리를 이용하여, 시누어스 안테나의 단점인 높은 입력 임피던스를 낮은 임피던스로 변환시키기 위하여 비 자기 상보형인 선형 슬롯 시누어스 안테나를 제시하였다. 기존의 180옴의 급전선 대신에 80옴의 급전선으로 급전 할 경우  $-10dB$  이하의 반사손실이 발생하는 주파수 범위가 약  $4-18[GHz]$  가 얻어졌는데, 안테나 반경을 증가 시킴으로서  $-10dB$  영역이 낮은 주파수영역으로 이동함으로써 대역폭을 증가 시킬 수 있다. 따라서 바론의 설계시 큰 입력 임피던스 변환의 부담을 줄일 수 있고, 실제 안테나를 제작 시 바론의 길이를 짧게 하여 안테나의 높이가 낮은 시누어스 안테나 제작이 가능하다고 사료된다. 본 연구는 자유공간의 가정하에 이루어졌고, 향후 연구 방향은 유전체 기판을 사용하여 대부분의 응용에서 요구되는 단방향 복사 및 4-암 이중 선형 편파, 원형 편파 제작으로 하고 있다.

### References

[1] Constantine A. Balanis, *Antenna theory analysis and design*, Jhon Wiley & Sons, pp.

413-439, 1982.

- [2] S. H. Yoon, "Performance analysis of the uni-directional radiation equiangular antenna over EBG surface," *J. KICS*, vol. 40, no. 08, pp. 1622-1630, Aug. 2015.
- [3] H. S. Lee and T. H. Yoo "Ultra-wideband sinuous antenna for UHF band application," *2013 KICS Autumn Conf.*, pp. 633-634, Nov. 2013.
- [4] X. Begud, J. P. Daniel, and G. Dubost, "Design of wideband dual polarized slot antenna," *Researchgate Conf.*, Apr. 2000.
- [5] R. H. Duhamel, *Dual polarized sinuous antenna*, U.S. Patent 4,658,262, Apr. 1987.
- [6] A. Manna, P. Baldonero, F. Trotta, " Novel UWB low-profile sinuous slot antenna," *EUCAP*, pp. 783-786, 2011.
- [7] M. Vahdani and X. Begaud, "A directive ultra wideband sinuous slot antenna," *EuCAP 2006*, pp. 1-6, Nice, France, Nov. 2006.
- [8] R. C. Johnson and H. Jasik, *Antenna Engineering Handbook* 3<sup>rd</sup> Ed., chapter 14, McGraw-Hill, 1993.
- [9] David M. Pozar, *Microwave Engineerig*, New York, Wiley, pp. 318-325, 1990.

윤 성 현 (Sung Hyun Yoon)



1984년 2월 : 동아대학교 전자  
공학과 졸업 (공학학사)

1986년 2월 : 동아 대학교 전자  
공학과 졸업(공학석사)

1991년 2월 : 동아대학교 전자  
공학과 졸업(공학박사)

1989년 9월~현재 : 경남정보대  
학교 정보통신계열 교수

<관심분야> RF 및 안테나