

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2015.15.6.239>

IIBC 2015-6-33

유전체 렌즈를 가진 3~6GHz대용 UWB 시누어스 안테나 개발

Development of UWB Sinuous Antenna with Dielectric Lens for 3~6 GHz Band Application

이동렬*

Dong Real Lee*

요 약 최근들어 임펄스 레이더에서 거리를 측정하기위한 센서로서 또는 비 압축 고속 영상데이터의 전송용으로 UWB 기술이 활발히 응용되고 있다. 그러나 UWB 기술은 대역이 옥타브 밴드로 매우 넓어서 시스템을 설계하기가 쉽지 않다. 특히 광대역 임피던스를 정합해야하는 안테나를 비롯한 RF분야에서 더욱 그렇다. 본 연구에서는 이러한 3~6GHz 옥타브 대역에서 사용할 수 있는 시누어스 안테나를 설계하고 제작하였다. 그리고 유전체 렌즈를 설계하여 부착하여 이득을 높이는 실험한 결과 3~6GHz 사용대역에서 6~10dBi의 높은 이득을 얻을 수 있었다. 제작된 유전체 부착 시누어스 안테나를 HD 비디오 데이터 전송에 사용하였다. 전송 결과 10mW의 무선전력으로 최대 전송 거리는 90m였다.

Abstract Recently, Impulse radars using UWB technologies are widely use for measuring distance, or for transmitting uncompressed high resolution videos. However, since the UWB band spans over octave bands, it is not easy to design such a system. Wide band impedance matching is required for antennas and other RF area. In this study, we designed and fabricated sinuous antenna for 3~6 GHz octave band application. We also designed and attached a dielectric lens to improved the directional gain of the antenna. The gain of the antenna was 6~10 dBi. The dielectric lens attached sinuous antenna was used to transmit HD video data. The maximum reach distance was 90 meter with 10mW power.

Key Words : antenna, UWB, sinuous antenna, directional gain, octave band, dielectric lens

1. 서 론

신호의 펄스폭이 좁아지면 필요한 대역폭은 늘어 나게 된다. 요즈음 펄스의 시간 폭을 매우 적게하여 신호를 발사하고 돌아오는 신호의 시간을 측정하여 거리를 측정하고 이것들을 서로 다른 위치의 여러 개의 안테나로 수행하여 각 안테나로 돌아오는 시간 차이를 이용하여 위

치를 알 수 있는 레이더 기술들이 개발되어 관련 칩들이 공개되고 이 칩들을 이용한 실내 환경에 적용하는 실내용 레이더 기술들이 개발되고 있다^[1].

또한 비디오 모니터와 수신 장치 간을 무선으로 연결하여 비 압축 영상신호들을 전송하는 초고속 영상신호 전송용 칩들도 등장하여 영상신호 전송장치로 활용되기 시작하였다^[2-3]. 이러한 경우 3~8GHz대로 허용된 UWB

*정회원, 중부대학교 정보통신학과
접수일자: 2015년 10월 29일, 수정완료: 2015년 11월 29일
게재확정일자: 2015년 12월 11일

Received: 29 October, 2015 / Revised: 29 November, 2015 /
Accepted: 11 December, 2015

*Corresponding Author : drlee@joongbu.ac.kr
Dept. of Information & Communications Engineering, Joongbu
University, Korea

주파수 대역에서 거의 3GHz대의 넓은 대역폭이 요구되어 일반 안테나로는 구현하기가 쉽지 않다.

일반적으로 안테나는 이득이 높아지면 대역이 좁아지고 사용 면적이 좁아지게 된다. 아래의 표 1.은 안테나 종류별 대역폭 및 이득특성을 나타낸 표이다. 여기서 대역폭특성이 100%가 넘는 안테나는 스파이럴 안테나^[4]와 시뉴어스 안테나^[6] 두 가지이다. 그런데 그중에서 이득특성이 가장 좋은 것은 시뉴어스 안테나이므로, 본 연구에서는 이 시뉴어스 안테나를 UWB 안테나로 선정하고 설계하기로 한다.

표 1. 안테나 종류별 대역폭 및 이득특성
Table 1. Bandwidth and gain characteristics of various antennas

안테나 종류	대역폭 특성		이득 특성		제작 특징	종합평가
다이폴 안테나	6%	x	2dBi	x	제작 용이	불가
슬리브 다이폴 안테나	10%	△	2dBi	x	제작 용이	불가
마이크로 스트립 안테나	3%	x	5dBi	o	인쇄 형	불가
스파이럴 안테나	100%	o	3dBi	x	인쇄 형	고려
디스크 안테나	30%	o	5dBi	o	기구 복잡	불리
시뉴어스 안테나	100%	o	5dBi	o	인쇄 형	적합

II. 시뉴어스 안테나 및 유전체 렌즈설계

1. 시뉴어스 커브를 갖는 셀(cell)과 대수주기적 셀을 그릴 수 있는 방정식

단일 시뉴어스 커브는 다음 식으로 구현할 수 있다.

$$\phi = (-1)^p \alpha_p \sin \frac{180 \ln(r_p/R_p)}{\ln(\tau_p)} \quad (1)$$

식(1)에서 (r, ϕ) 는 p번째 셀의 극좌표이다. α_p 는 p번째 셀의 각도 폭이고 τ_p 는 p와 p+1 셀 간의 크기율이다. 셀 -1 은 반경 R_1 을 갖는 제일 밖의 셀에 해당된다. 그러므로 $R_{p+1} \leq r \leq R_p$ 이고, $R_p = \tau_{p-1} R_{p-1}$ 이다. 대수 주기 설계 원칙을 따라가기 위해서 α_p 와 τ_p 는 상수이고, 방정식에서 얻어진 정현곡선은 다음 그림에서 정현 암

(Arm)을 만들기 위한 기본 도면이 된다.

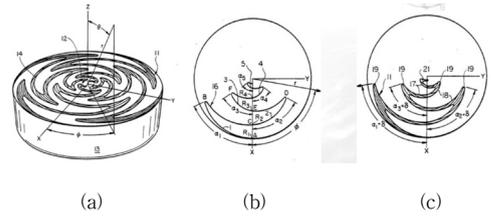


그림 1. 시뉴어스 안테나의 구조
(a)시뉴어스 안테나 패턴
(b) 기본 시뉴어스 곡선
(c) 한 개의 시뉴어스 암

Fig. 1. Structure of sinuous antenna
(a) Sinuous antenna pattern
(b) Basic sinuous curve
(c) One sinuous arm

2. 정현 패턴의 생성

위에서 얻어진 정현 패턴은 한 개의 정현 암을 만들기 위해 축에서 각도 $\pm \delta$ 만큼 회전 시켰다. 다른 반대편쪽 암을 만들기 위해서는 180도 회전시키면 된다.

제작을 위하여 설계 파라미터 설정값을 $\tau = 0.75$, $\alpha = 90^\circ$, $\delta = 45^\circ$, $f_L = 3.1GHz$, $f_H = 6.0GHz$ 로 하였다.

3. 자기상보(Self-complimentary) 시뉴어스 패턴과 입력 임피던스의 계산

정현구조르 위하여 $\alpha = 90^\circ$, $f_L = 3.1GHz$, $f_H = 6.0GHz$, $\tau = 0.75$ 로 만들었다.

$\delta = 45^\circ$ 로 정하여 자기상보 구조를 얻을 수 있었다. 이때의 입력 임피던스는 베비넷의 원리(Babinet's principle)^[6]에 의해(Booker)

$$Z_M = \frac{60\pi}{\sin(M\pi/N)} \Omega \quad (2)$$

(M : mode number, N : 암의 수)

식(2)에서 M=1, N=2이면 $Z_M = 133.5\Omega$ 이다.

실제로 임피던스는 중심에서의 급전으로 인하여 어느 정도 낮아진다.

4. 주파수 범위

정현 구조에서 능동공진 영역의 반경은 다음과 같다.

$$r = \frac{\lambda}{4(\alpha + \delta)} \quad (\alpha \text{와 } \delta \text{는 radian}) \quad (3)$$

그러므로 최외각의 반경 R_1 은 다음과 같다.

$$R_1 = \frac{\lambda_L}{4(\alpha + \delta)} \quad (4)$$

여기서 급전점은 $\lambda_H/4$ 보다 작아야 높은 쪽 주파수 λ_H 에서 잘 동작한다. 따라서 대역폭은 λ_L 에 의해 정해진다.

5. 급전 구조

시뉴어스 안테나 구조상 평행선(balanced line)으로 급전되므로 50Ω SMA 커넥터에 마이크로스트립 라인(Microstrip line)이 연결되고, 50Ω 마이크로스트립에서 50Ω 동축선로에 연결되고 이 동축선로에 광대역 밸룬(balun)^[7]을 사용하여 급전한다.

6. 유전체 렌즈의 설계

유전체 렌즈 안테나는 광학렌즈와 유사하다. 따라서 안테나용 렌즈는 기하학적 광학의 광선 해석방법으로 설계된다. 예로써 등방성 소스(source) 즉 최초의 안테나에서 복사된 구면파를 평면파로 변환하는 볼록렌즈를 설계하는 것이다. 렌즈를 통과한 렌즈 수직면상의 파들의 전장은 동일 위상이 되도록 렌즈를 설계한다. 다시 말해서 소스에서 렌즈를 통과한 렌즈축의 평면상까지의 전기적 길이가 동일하도록 렌즈를 설계하면 된다^[8-11].

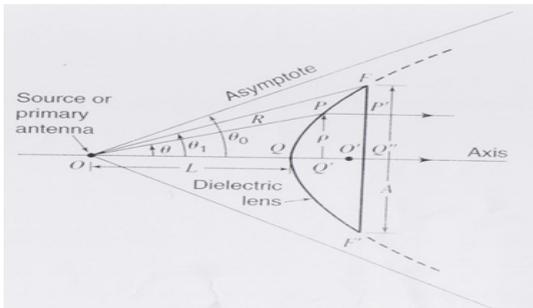


그림 2. 유전체 렌즈의 광로좌표
 Fig. 2. optical path coordinates of the dielectric lens

이것을 전기적(광학적) 통과길이의 동일성 원리(Fermat's 원리) 라고 한다.

그림 2.에서 \overline{OP} 는 $\overline{O'Q}$ 와 같아야만 한다. $\overline{OQ} = L$ 그리고 $\overline{OP} = R$ 라고 하고 유전체 렌즈 주위는 공기라고 한다면,

$$\frac{R}{\lambda_0} = \frac{L}{\lambda_0} + \frac{R \cos \theta - L}{\lambda_d} \quad (5)$$

이 식(5)에서 λ_0 = 공기중 파장이고, λ_d = 렌즈 내의 파장이다. 이 식에 λ_0 를 곱하면 다음과 같다.

$$R = L + n(R \cos \theta - L) \quad (6)$$

여기서 $n = \frac{\lambda_0}{\lambda_d}$ = 굴절율이고, 유전체에서 $n = \sqrt{\epsilon_r}$ 이 된다.

이 식(6)에서 R을 구하면 다음과 같다.

$$R = \frac{(n-1)L}{n \cos \theta - 1} \quad (7)$$

이 식(7)이 렌즈 표면의 모양을 나타내는 식이다. 여기서 L은 렌즈의 초점길이이고 이 식은 쌍곡선의 방정식이 된다. $R = \infty$ 인 경우 $\cos \theta_0$ 는 다음과 같다.

$$\cos \theta_0 = \frac{1}{n} \quad (8)$$

식(8)에서 θ_0 는 쌍곡선의 점근선이 된다. 점 O는 쌍곡선의 초점이고 O'는 다른 초점이 된다. 점 원(point-source)이 초점에 있는 경우는 3차원 렌즈 표면은 쌍곡선의 축을 회전시킨 쌍곡선 면이 된다.

렌즈의 크기는 안테나 크기($50 \times 50 \text{mm}^2$) 이내의 범위로, 전체 크기를 ($50 \times 50 \text{mm}^3$) 이내로 잡고 설계하였다. 또한 정밀 가공이 가능한 유전체와 유전율과 손실이 매우 적은 유전체를 선정하여 설계를 하였다. 사용된 유전체의 유전율 ϵ_r 과 초점거리에 의해 렌즈의 크기가 설정되므로 초점거리 50mm로 설정하였고 폴리카보네이트(Polycarbonate) 유전체로 설계하여 제작하였다.

7. 유전체 렌즈의 설계 사양

시뉴어스 안테나의 크기가 ($50 \times 50 \text{mm}^2$) 이므로 렌즈의 크기는 ($50 \times 50 \text{mm}^2$) 의 밑면적을 갖도록 하였다. 그리고 설계된 안테나 렌즈는 주파수 3.1GHz에서 6.0GHz까지의 대역에서 동일한 복사특성과 VSWR(Voltage Standing Wave Ratio)을 갖고 있음을 실험을 통하여 확인하였다. 우선 유전체 렌즈 설계 이론으로 포물면 렌즈를 제작한 후 아래 그림 3과 같이 사각기둥의 형태로 렌즈를 제작하였다.

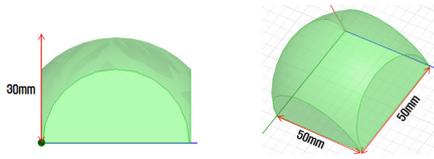


그림 3. 제작된 유전체 렌즈의 구조
Fig. 3. Structure of the fabricated dielectric lens

IV. 프로토타입 개발 및 평가

프로토타입에 적용된 값은 ($\tau = 0.75$, $\alpha = 90^\circ$, $\delta = 45^\circ$, $f_L = 3.1 \text{GHz}$, $f_H = 6.0 \text{GHz}$)이며 완성된 안테나의 크기는 $50 \text{mm} \times 50 \text{mm} \times 15 \text{mm}$ 이다.

다음의 그림 4는 설계 제작한 시뉴어스 안테나 사진이고, 그림 5는 조립이 완료된 안테나 사진이다.

그림 6은 유전체 렌즈를 부착하여 완성된 안테나 사진이다.



그림 4. 설계 제작한 시뉴어스 안테나
Fig. 4. The designed and fabricated sinuous antenna



그림 5. 조립 완료된 안테나
Fig. 5. Final assembled antenna

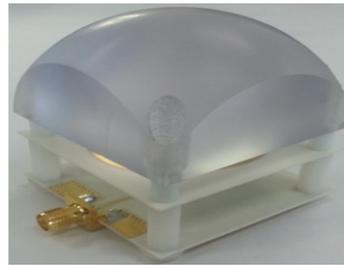


그림 6. 유전체 렌즈가 장착된 UWB 시뉴어스 안테나
Fig. 6. UWB sinuous antenna equipped with dielectric lens

개발된 안테나의 성능을 측정하기 위해서 유전체가 있는 경우와 없는 경우에 대해서 S11의 값을 측정하였으며 아래의 그림 7.은 렌즈가 없는 안테나의 S11 그래프이고, 그림 8.은 렌즈가 없는 안테나의 VSWR 그래프이고, 그림 9.는 렌즈가 없는 안테나의 방사 패턴 및 이득 그래프이다.

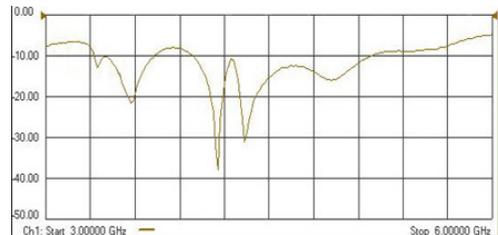


그림 7. 렌즈가 없는 안테나의 S11
Fig. 7. S11 of the antenna without dielectric lens

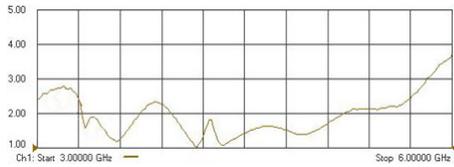


그림 8. 렌즈가 없는 안테나의 VSWR
 Fig. 8. VSWR of the antenna without dielectric lens

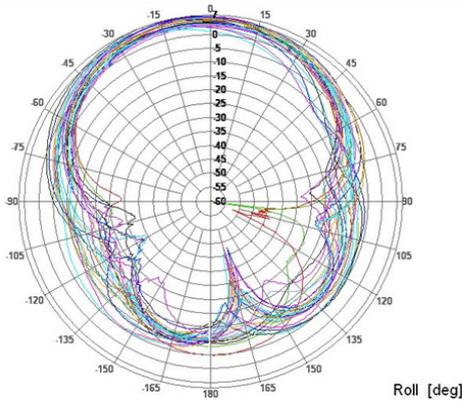


그림 9. 렌즈가 없는 안테나의 방사패턴 및 이득
 Fig. 9. Radiation pattern and gain of the antenna without dielectric lens

다음의 그림 10.은 렌즈가 부착된 안테나의 S11 그래프이고, 그림 11.은 렌즈가 부착된 안테나의 VSWR 그래프이다. 그리고 그림 12.는 렌즈가 부착된 안테나의 방사 패턴 및 이득 그래프이다.

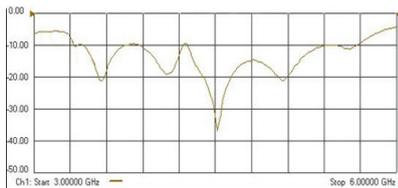


그림 10. 렌즈가 부착된 안테나의 S11
 Fig. 10. S11 of the antenna with dielectric lens

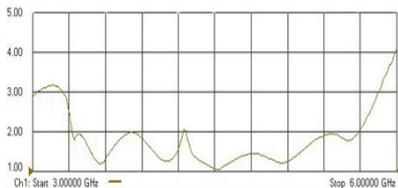


그림 11. 렌즈가 부착된 안테나의 VSWR
 Fig. 11. VSWR of the antenna with dielectric lens

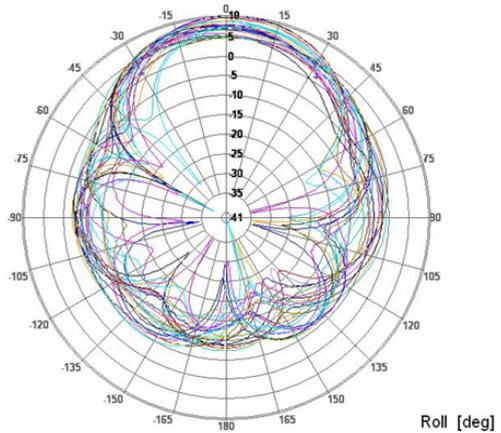


그림 12. 렌즈가 부착된 안테나의 방사패턴 및 이득
 Fig. 12. Radiation pattern and gain of the antenna with dielectric lens

3~6GHz대역에서 사용할 수 있는 시뉴어스 초 광대역 UWB 안테나를 제작하고 유전체 렌즈를 부착하여 이득을 3~5dBi 높이게 되었다. 이때 안테나 제작에 사용한 기판은 유전율 3.38, 두께 32mil인 테프론 기판을 사용하였으며, 유전체 렌즈로는 유전율 3.4인 폴리카보네이트를 사용 하였다. 측정 결과 렌즈가 없는 시뉴어스 안테나는 사용대역에서 3~5dBi의 이득 특성을 나타냈으며, 렌즈를 추가한 결과 6~10dBi의 높은 이득특성을 얻을 수 있었다. 이러한 이득특성은 단일 안테나로는 매우 높은 이득 특성이며 실제 시중의 다이폴 안테나에 비하여 6dBi이상의 이득특성을 가지므로 2배 이상의 전송거리를 전송할 수 있는 수치이다.

실제로 제작된 안테나는 HD 비디오 데이터 전송에 사용되어 10mW의 무선전력으로 최대 90m까지 전송될 수 있음을 확인하였다.

V. 결 론

비 압축 고속 영상데이터를 전송하기 위한 용도로 UWB 기술이 활발히 응용되고 있는데, 이 UWB 기술은 대역이 옥타브 밴드로 매우 넓어서, 시스템을 설계하기가 광대역 임피던스를 정합해야 하는 안테나를 비롯한 RF분야에서는 특히 더욱 더 쉽지 않다. 본 연구에서는 이러한 3~6GHz 옥타브 대역에서 사용할 수 있는 시뉴어스 안테나를 설계하고 제작하였고 유전체 렌즈를 설계하여 부착하여 이득을 높이는 실험한 결과 3~6GHz 사용대

역에서 6~10dBi의 높은 이득을 얻을 수 있었다.

References

- [1] Kwan-Hyeong Lee, "Study on Target Direction and Range Estimation using Radar Single Pulse," The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication, vol. 14, no. 6, pp. 107-112, Dec. 2014.
- [2] Young-Man Kwon, Myung-Jae Lim, Byung-Hun Oh, "Fast Video Stabilization Method Using Integral Image," The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication, vol. 10, no. 5, pp. 13-20, Oct. 2010.
- [3] Hyoungyill Park, Yongtae Shin, "Design of High-Speed VPN for Large HD Video Contents Transfer," The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication, vol. 12, no. 4, pp. 111-118, Aug. 2012.
- [4] Han Byul Kim, Jin Hyuk Kim, Keum Cheol Hwang, Jae Ho Shin, "UHF Cavity-backed Spiral Antenna for Partial Discharge Diagnosis," The Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers, vol. 49, no. 12, pp. 89-94, Dec. 2012
- [5] R. H. DuHamel, "Dual Polarized Sinuous Antennas," U. S. Patent #703042, Feb. 19, 1985.
- [6] H. G. Booker, "Slot Aerials and their Relation to Complementary Wire Aerials [Babinet's Principles]," J. IEE(London) (Part III A), 1946, pp.620-627.
- [7] M. Gans, Do Kaifez and V. H. Rumsey, "Frequency Independent Balun," IEEE Proc., Vol. 53, June 1965, pp. 647-648.
- [8] B. S. Westcott, "General Dielectric-Lens Shaping Complex Cordinates," Proc. of the IEE, Vol. 133, pp.122-126. 1986.
- [9] C. Salema, C. Fernandes and R. K. Jha, Solid Dielectric Horn Antennas, Artech House, Boston 1998.
- [10] C. J. Sletten, (ed.), Reflector and Lens Antennas - Analysis and Design Using Personal Computer, Artech House, Norwood, 1988.
- [11] S. Bishay et al. "Lens Antennas with Amplitude Shaping or Sine Condition," Proc. of the IEE, Vol. 135, No. 3, pp.276-279. 1989

저자 소개

이 동 렬(정회원)



- 1995.3 ~ 현재 : 중부대학교 정보통신학과
- <주관심분야 : 광통신, 무선통신, 소프트웨어공학, 데이터베이스, 사물인터넷>