

슬리브 정합 특성을 이용한 광대역 슬리브 모노폴 안테나 설계

류한철*

¹삼육대학교 카메카트로닉스학과

Design of a Broadband Sleeve Monopole Antenna by Using Matching Characteristics of the Sleeve

Han-Cheol Ryu*

¹Department of Car Mechatronics, Sahmyook University

요약 본 논문에서는 다수의 안테나가 필요한 다양한 기능의 광대역 무선 통신 시스템을 한 개의 안테나로 구현하기 위한 슬리브 모노폴 안테나의 광대역 특성 최적화 설계 방법을 제시하였다. 이를 위하여 슬리브 모노폴 안테나의 슬리브 부분이 개방형 스테르브로 동작한다는 이론적 해석을 바탕으로 내부 모노폴과 슬리브 부분으로 구성되는 슬리브를 동축 선로로 동작하도록 하고 동축 선로의 특성 임피던스를 조절하여 슬리브의 임피던스 변환회로의 기능을 증대하였다. 슬리브 모노폴 안테나의 넓은 대역폭 확보를 위하여 두꺼운 모노폴을 사용하였고 슬리브의 임피던스 정합 회로로의 특성을 향상하기 위하여 동축 선로 역할을 하는 슬리브의 반경과 슬리브 내부를 구성하는 유전체의 유전율을 조절하여 슬리브 모노폴 안테나의 임피던스 대역폭을 최적화하였다. 두꺼운 모노폴을 사용하고 슬리브를 최적화하여 설계한 슬리브 모노폴 안테나는 반사 계수 10 dB 기준으로 0.80 GHz ~ 2.43 GHz 대역폭을 만족하는 3:1이 넘는 광대역 특성을 보였다. 제한한 슬리브 모노폴 안테나는 상용 이동 통신 주파수 대역에서 다기능 시스템에서 요구되는 다수의 안테나를 한 개의 안테나로 대체 가능할 것으로 기대한다.

Abstract The optimization design method for the broadband operation of the sleeve monopole was proposed to unify the multiple antennas essential to the multi-functional broadband wireless communication systems into one antenna. The structure of the sleeve part was optimized to enhance the impedance matching characteristics based on the theoretical analysis that sleeve part can works as the open stub. The thick monopole was used for the broadband operation. The radius of the sleeve and the permittivity of the dielectric inside the sleeve was optimized to enhance the impedance matching characteristics for the broadband operation. The optimized sleeve monopole having thick monopole shows broadband characteristics over 3:1 bandwidth, from 0.8 to 2.43 GHz, which is suitable for the commercial wireless communication system. The proposed broadband sleeve monopole can reduce multiple antennas essential to the multi-functional broadband systems to one antenna.

Keywords : Broadband, Impedance Matching, Sleeve Monopole Antenna, Wireless Communication

1. 서론

최근 무선통신 기술과 시장의 발전으로 인하여 다양한 서비스의 대용량 무선 정보 전송이 가능하게 되었다. 이러한 다양한 대용량 무선 통신 서비스를 위해서는 무

선 통신 기기들의 다기능화와 광대역 특성 확보가 필수적이다. 또한, 다기능의 유연한 무선 시스템의 필요성의 증가로 인하여 중간주파수 혹은 기저 대역에서 샘플링이 이루어지고, 그 이후 단이 소프트웨어로 특징지어지는 무선 시스템인 SDR(Software Defined Radio)이 기술이

본 논문은 한국연구재단 이공분야기초연구사업(grant no. NRF-2013R1A1A1076113)으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Han-Cheol Ryu (Sahmyook University)

Tel: +82-2-3399-1801 email: hcryu@syu.ac.kr

Received August 26, 2015

Revised October 5, 2015

Accepted October 8, 2015

Published October 31, 2015

연구되고 있다. SDR 기술은 기존의 항공기, 차량에서 사용하던 다양한 방식의 통신 시스템과 연동이 가능하게 하고, 미래의 시스템에 대응하는 군용 통신 시스템의 구현에 있어 큰 역할을 수행하게 되리라 예측된다. 이러한 SDR 기술을 원활하게 구현하고, 다양한 대용량 무선 통신 서비스 구현을 위해서는 상용 무선 통신 시스템 대역에서의 광대역 안테나 개발은 필수적이다.

다양한 무선 통신용 안테나 중 비교적 구조가 간단하고 제작이 용이하면서 무선 통신 시스템에 적용이 용이한 모노폴 안테나의 연구가 활발히 진행되고 있다 [1-3], 그러나, 특정 주파수에서 일어나는 공진을 이용한 모노폴 안테나는 좁은 대역폭으로 인하여 광대역 응용에 많은 제약을 가지고 있다. 이러한 모노폴 안테나의 대역폭을 획기적으로 넓히기 위하여 슬리브 모노폴 안테나가 제안되었다. 슬리브 모노폴 안테나는 수직 도체 부분과 슬리브 부분으로 구성된 형태로 급전선으로 사용되는 동축 전송 선로를 연장하여 슬리브 부분을 구성하고, 수직 도체 부분의 길이와 설치 형태를 변화시킨 구조를 사용한다 [4]. 슬리브 모노폴 안테나는 R. W. P. King에 의하여 전류 분포와 임피던스에 대한 이론적인 해석이 수행되었고, King과 T. T. Wu에 의하여 임의의 급전점을 갖는 안테나에 대한 해석으로 일반화되었다 [5, 6]. 이러한 연구 결과에 의하여 슬리브 안테나는 직선 도체로만 구성된 안테나들에 비하여 동작 주파수 대역이 넓다.

본 논문에서는 상용 이동 통신 주파수 대역에서 사용이 가능한 슬리브 모노폴 안테나 설계를 위하여 슬리브의 구성 요소를 최적화함으로 입력 임피던스 변환 회로로서의 특성을 향상하여 임피던스 대역폭을 확대하고자 하였다.

2. 슬리브 모노폴 안테나 특성 분석

슬리브 모노폴 안테나의 형태는 Fig. 1(a) 와 같다. Fig. 1(b) 와 같이 동축선에 의해서 급전된다. 슬리브의 바깥쪽 면은 방사 소자로 동작하고, 안쪽 면은 동축선의 바깥쪽 도체로 동작한다[7]. 이론적으로는 슬리브의 길이는 영에서 모노폴 길이에 이르게 모두 가능하지만 실제적으로는 전체 모노폴 길이의 1/3 ~ 1/2 정도로 사용한다. 그 이유는 Fig. 1(c) 와 1(d) 에서 볼 수 있듯이 모노폴의 전기적 길이가 $\lambda/4$ 에서 $\lambda/2$ 사이로 변하더라도 가

상적인 급전점에서의 전류의 크기가 달라지지 않도록 하기 위해서이다. 이러한 슬리브 모노폴 안테나는 두 배의 주파수 대역에서 일정한 입력 임피던스를 가질 수 있다. Fig. 1(b)를 보면 슬리브 모노폴의 첫 번째 공진은 모노폴의 길이 ($h+L$)가 거의 $\lambda/4$ 일 때 일어난다. 그러므로 설계를 할 때 먼저 슬리브 모노폴의 첫 번째 공진을 원하는 전체 주파수 대역 중 아래쪽에 위치시킨 후 전체 물리적 크기 ($h+L$)를 결정한다. 그리고 변수 h/L 을 값을 결정해야 하는데 실험적으로 가장 적당한 값은 2.25이다. 이러한 경우 방사 패턴의 대역폭은 4:1을 만족한다 [6]. 그러므로 위의 조건을 만족한 슬리브 모노폴 안테나는 임피던스 대역폭에 의해서 그 대역폭이 결정된다.

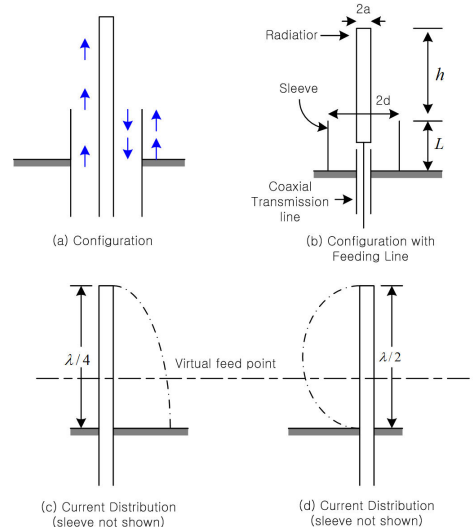


Fig. 1. Sleeve monopole (a) configuration with indication of current polarity, (b) configuration with feeding line, and Different current distributions on the center conductor are shown in (c) and (d)

Table 1. Specifications for Optimum Pattern Design of a Sleeve Monopole

Pattern bandwidth	4:1
$h+L$	$\lambda/4$ at low end of band
h/L	2.25
a/d	3.0

$h+L \leq \lambda/2$ 일 때는 Fig. 1 (a)의 화살표 방향과 같이 h/L 의 변화에 상관없이 슬리브의 바깥면의 전류 방향이 모노폴 자체에 유기되는 전류 방향과 동위상으로 유기된

다. 그러나 전체 전기적 길이가 더 커지게 되면 모노폴에 유기되는 전류와 슬리브 바깥 쪽에 유기되는 전류의 위상이 동일하게 유지되기 어렵다. 최적의 성능을 내기 위한 슬리브 모노폴 안테나의 사양을 Table 1에 나타내었다 [5, 8].

슬리브 모노폴 안테나의 슬리브의 역할을 해석함에 있어 복잡한 수식이 사용되는 전자계 해석을 적용하지 않고, 안테나의 구조적인 특징과 공진 현상 등을 근거로 하는 등가회로를 이용하였다. 즉, 슬리브 부분이 임피던스 변환 회로인 개방형 스테르브로 동작한다는 슬리브 역할의 이론적인 해석을 제시하였다. 슬리브 모노폴 안테나는 수직 도체 부분과 슬리브 부분으로 구성된 형태로 급전선으로 사용되는 동축 전송 선로를 연장하여 슬리브 부분을 구성하고, 수직도체 부분의 길이와 직경 및 설치 형태를 변화시킨 구조를 사용한다. 이러한 안테나는 급전선과 슬리브 부분을 구성하는 동축 선로의 특성 임피던스를 다르게 설정하여 슬리브 부분이 임피던스 변환회로의 역할이 가능하도록 하였다 [9]. 슬리브 모노폴 안테나의 입력 임피던스는 수직도체 부분의 임피던스와 슬리브 부분의 임피던스 합으로 주어지므로 슬리브 부분의 임피던스를 잘 조절하면 주파수 변화에 따른 임피던스의 변화가 크지 않게 되어 광대역 특성을 갖게 된다 [10, 11].

제한한 안테나는 Fig. 2와 같이 동축 전송 선로 형태의 슬리브 부분과 동축의 내도체를 연장한 금속 도체 부분으로 구성된 기존의 슬리브 안테나 구조와 유사하지만 슬리브 부분의 특성 임피던스와 급전선으로 사용된 동축 전송 선로의 특성 임피던스를 다르게 조절할 수 있다. 즉, 수직 접지 안테나의 외부에 동심원통을 부가하여 개방형 스테르브로 동작하도록 구성하였다.

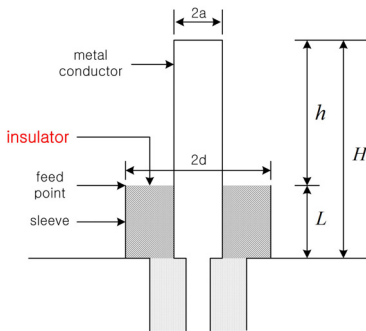


Fig. 2. Configuration of a proposed sleeve monopole

이러한, 슬리브 모노폴 안테나는 수직 접지 안테나의 외부에 동심원통을 부가하여 개방형 스테르브로 동작하도록 구성된 구조의 안테나로 생각하여 분석할 수 있다. 따라서 제한한 안테나는 슬리브 부분의 길이가 수직 접지 안테나의 전체 길이 $\lambda_{01}/4$ (λ_{01} : 수직접지 안테나의 고유 파장) 보다 작고, 끝부분이 개방된 형태이므로 수직 접지 안테나의 기저부에 직렬로 커패시터를 부가한 것 그리고 입력 부분에 직렬로 연결된 저항이 연결된 것으로 생각하여 Fig. 3(b)와 같이 등가화할 수 있다. Fig. 3(b)에서 C_s 와 R_s 는 슬리브 부분의 커패시턴스와 레지스턴스이고, C_e , L_e , R_e 는 수직 접지 안테나의 등가 정수들을 나타낸 것이다. 따라서 슬리브 모노폴 안테나의 최저 직렬 공진 주파수를 f_1 이라고 하면, 다음과 같은 관계로 나타낼 수 있다.

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_e C_e'}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_e \left(\frac{C_e C_s}{C_e + C_s} \right)}} \quad (1)$$

식 1에서 C_s 는 개방형 스테르브의 임피던스를 구하는 식 2에 의하여 정해진다.

$$Z_{AA'} = -jZ_o \cot(\beta l) \quad (2)$$

Z_o 는 동축선의 특성 임피던스로 식 3으로 나타낼 수 있다.

$$Z_o = \frac{\eta}{2\pi} \ln \frac{d}{a} \quad (3)$$

where, $\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$

이 식에서 ϵ , μ 는 슬리브에 들어가는 유전체의 유전율과 투자율이고, a 는 모노폴의 반경, d 는 슬리브의 반경이다. 그러므로 슬리브 내부에 들어가는 유전율과 투자율 그리고 슬리브의 반경을 변화시켜 동축선의 특성 임피던스를 조절할 수 있다. 따라서 식 1의 f_1 은 수직접지 안테나의 고유주파수 f_{01} 보다 높게 된다. 슬리브 부분의 리액턴스가 용량성일 경우에 슬리브의 용량 C_s 는 안테나를 f_{01} 보다 높은 주파수에서 사용하는 경우 안테나의 임피던스와 직렬 결합하여 증가되는 인덕턴스 성분을 상쇄

시킴으로써 안테나의 임피던스가 순수 저항만 가지도록 하는 임피던스 변환 회로의 역할을 하게 된다. 그러므로 Fig. 3(a)와 같은 구조의 안테나는 안테나로 동작하는 내도체 확장 부분인 BC와 안테나로 동작하는 슬리브의 외도체 외표면 A'B'은 직경과 길이가 다르기 때문에 두 부분의 임피던스는 다르다. 또한 슬리브 부분의 내도체 AB와 외도체 A'B'의 내표면은 임피던스 변환 회로로 동작하게 된다.

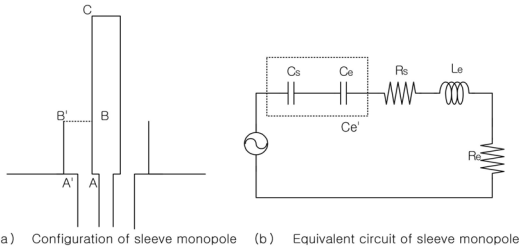


Fig. 3. (a) Configuration and (b) equivalent circuit of a proposed sleeve monopole

3. 슬리브 모노폴 광대역 안테나 설계

상용 이동 통신 주파수 대역에서 사용이 가능한 광대역 슬리브 모노폴 안테나를 설계하기 위하여 반경은 0.033λ 의 두꺼운 모노폴 안테나를 구성하고 광대역 특성을 최적화하였다. 최적화를 위한 초기 광대역 슬리브 모노폴 안테나의 설계 조건을 Table 2에 나타내었다. Ansys사의 전자기파 시뮬레이터인 HFSS를 이용하여 초기 설계 조건으로 계산한 슬리브 모노폴 안테나의 반사 계수는 Fig. 4와 같다. 기준 파장의 길이를 주파수 1 GHz 기준에서 계산한 슬리브 모노폴 안테나의 10 dB 기준 대역폭은 0.86 GHz ~ 2.48 GHz 로 1.62 GHz의 넓은 대역폭을 얻을 수 있었다. 그러나 낮은 주파수 대역에서 상용 이동 통신인 셀룰라 통신을 사용할 수 없는 특성을 보이므로 동작 주파수 대역을 아래쪽 주파수 대역으로 낮추기 위하여 기준 파장의 길이를 0.95 GHz에서 계산한 값으로 인자들을 변화시켰다.

Table 2. Specifications for Sleeve Monopole

Frequency for λ		1 GHz	0.95 GHz
a	0.033λ	10 mm	10.5 mm
$h+L$	$\lambda/4$	75 mm	78.9 mm
L	$(h+L)/3.25$	23.1 mm	24.3 mm
d	$2.7a$	27 mm	28.4 mm

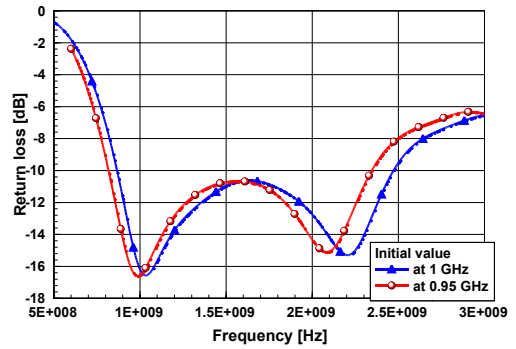


Fig. 4. Return loss of sleeve monopole antenna

이 결과 10 dB 기준 대역폭이 0.82 GHz ~ 2.35 GHz로 1.53 GHz를 얻을 수 있었다. 그러나 두 경우 모두 동작 주파수 중간 주파수 대역인 1.63 GHz 근처 주파수에서 10 dB에 가까운 값을 가져 불안정한 특성을 보인다. 이러한 불안정한 안테나 반사 계수를 슬리브의 임피던스 정합 회로의 특성을 이용하여 개선하였다. 먼저, Fig. 5는 Fig. 2의 h/L 인자, 즉 슬리브 길이를 변화시키면서 계산한 안테나의 반사 계수이다. $h/L = 2.25$ 에서 이중 공진 형태가 두드러지고, h/L 이 2.25보다 작아지면 즉, 슬리브의 길이가 늘어남에 따라 아래쪽 대역의 공진 특성이 나빠지고, 위쪽 대역의 공진 특성이 좋아짐을 알 수 있다. 이와 반대로 h/L 이 2.25보다 커지면 즉, 슬리브의 길이가 줄어 듬에 따라 위쪽 대역의 공진 특성이 나빠지고, 아래쪽 대역의 공진 특성이 좋아짐을 알 수 있다. 그러므로 h/L 의 값이 2.25일 때 양쪽 주파수에서 균일하게 공진하여 최적점임을 알 수 있다. 이러한 이유는 슬리브 전체 길이의 전기적 길이가 $\lambda/4$ 와 $\lambda/2$ 일 때의 가상 급전점의 전류 세기가 비슷한 슬리브의 길이 L 이 고정되어 있기 때문이다.

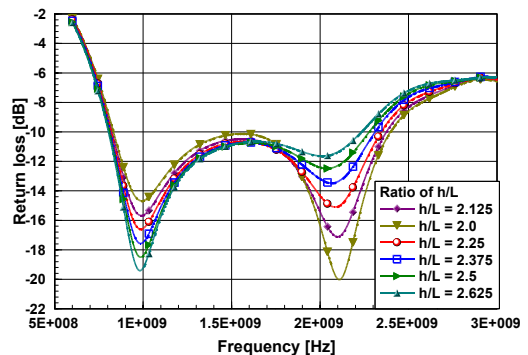


Fig. 5. Return loss of sleeve monopole antenna

슬리브 모노폴의 광대역 특성을 가장 잘 나타내는 h/L 값을 2.25로 고정하고, 슬리브의 임피던스 변환회로의 특성을 살펴보기 위하여 슬리브의 내부 유전율과 외부 도체의 반경을 조절하였다. 이는 정합회로 역할을 하는 슬리브의 동축선 특성 임피던스가 동축선 내부에 존재하는 유전체의 유전율과 동축선의 내경과 외경의 비로 결정이 되기 때문이다. 슬리브 내부의 유전율 변화에 따른 슬리브 모노폴 안테나의 스미스 차트 임피던스 특성을 Fig. 6에 나타내었다.

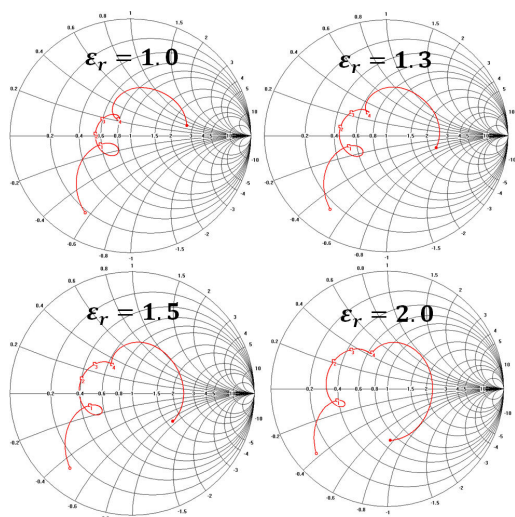


Fig. 6. Smith Chart input impedance of sleeve monopole antenna by varying permittivity

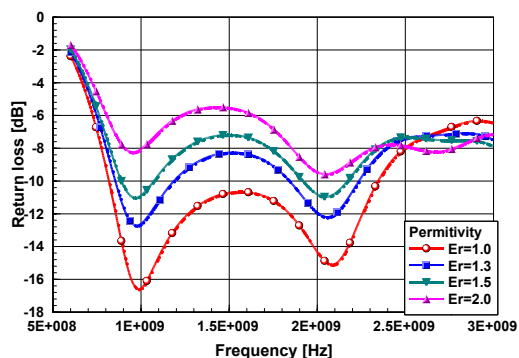


Fig. 7. Return loss of sleeve monopole antenna by varying permittivity

슬리브 내부 유전율이 높아짐에 따라 관심 주파수 대역에서의 임피던스의 실수값이 점점 낮아지고, 허수값은 0점에서 점점 멀어지는 경향이 있다. 이는 슬리브 내부

유전율이 높아짐에 따라 동축선의 특성 임피던스 값이 낮아짐으로써 입력 임피던스의 실수값이 작아지고 개방형 스테르브의 역할이 줄어든 것이 원인이다. Fig. 7에 Fig. 6의 유전율 변화에 따른 반사계수 특성을 나타내었다.

이와 같은 영향은 동축선의 외경 변화에서도 볼 수 있다. 동축선의 내경은 모노폴의 직경으로 고정되어 있고, 외경은 슬리브의 직경으로 조절하여 동축선의 특성 임피던스를 변화시켰다. Fig. 8은 슬리브 반경의 변화에 따른 슬리브 모노폴 안테나의 스미스 차트 임피던스 특성 변화를 나타낸 것이다. 안테나의 임피던스 특성은 슬리브의 직경이 감소함에 따라 나타나는 변화는 유전율 변화에 의한 변화와 유사하게 나타난다. 이는 내부 유전율을 증가시키는 것과 슬리브의 반경을 감소하는 것이 동축선의 특성 임피던스를 낮추는 동일한 역할을 하기 때문이다. 슬리브의 반경을 증가시키면 관심 주파수 대역에서 입력 임피던스를 증가시키는데 영향을 미치므로, 슬리브 반경이 증가함에 따라 관심 주파수 대역에서의 임피던스의 실수값이 점점 높아지고, 허수값은 0 점에서 점점 가까워지는 경향을 볼 수 있다. 그러므로, 50 Ω에 정합하기 좋은 최적점은 슬리브의 직경이 모노폴 직경의 3배 정도임을 알 수 있다.

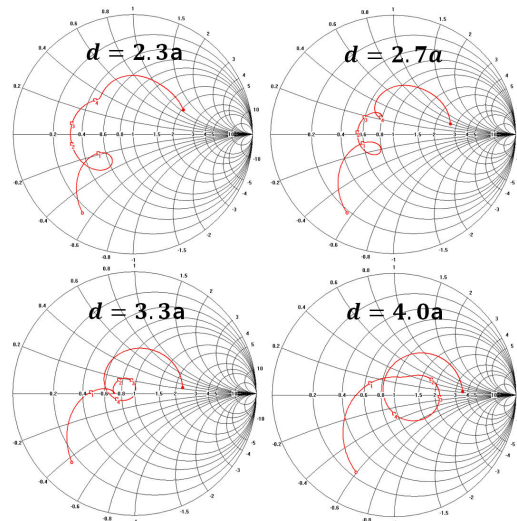


Fig. 8. Smith Chart input impedance of sleeve monopole antenna by varying radius of sleeve

Fig. 9에 Fig. 8의 슬리브 반경 변화에 따른 반사계수 특성을 나타내었다. Fig. 9에서 볼 수 있듯이 슬리브 모노폴 안테나의 대역폭은 $d = 3.3a = 34.7$ mm에서 최대

대역폭을 가진다. 슬리브의 임피던스 정합 특성을 조절하여 최적화된 슬리브 모노폴 안테나는 반사 계수 10 dB 기준으로 대역폭이 0.80 ~ 2.43 GHz로 3:1이 넘는 광대역 특성을 보였다. 제안한 슬리브 모노폴 안테나는 슬리브의 임피던스 정합 특성을 최적화하여 상용 이동 통신 주파수 전 대역에서 좋은 반사계수 특성을 보였다.

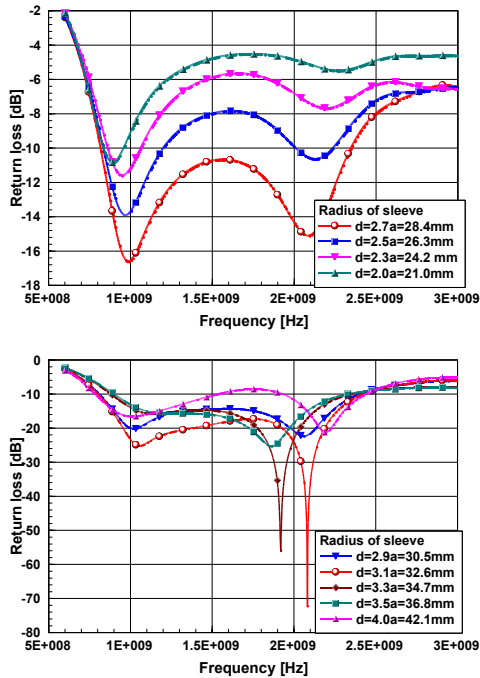


Fig. 9. Return loss of sleeve monopole antenna by varying radius of sleeve

4. 결론

본 논문에서는 다수의 안테나가 필요한 다양한 기능의 광대역 무선 통신 시스템을 한 개의 안테나로 구현하기 위한 슬리브 모노폴 안테나의 광대역 특성 최적화 설계 방법을 제시하였다. 이를 위하여 슬리브 모노폴 안테나의 슬리브 부분이 개방형 스티브로 동작한다는 이론적 해석을 바탕으로 내부 모노폴과 슬리브 부분으로 구성되는 슬리브를 동축 선로로 동작하도록 하고 동축 선로의 특성 임피던스를 조절하여 슬리브의 임피던스 변환회로의 기능을 증대하였다. 슬리브 모노폴 안테나의 넓은 대역폭 확보를 위하여 두꺼운 모노폴을 사용하였고 슬리브의 길이를 조절하여 슬리브 모노폴 안테나의 이중 공진

특성을 조절하였다. 또한, 슬리브의 임피던스 정합 회로의 특성을 향상하기 위하여 동축 선로 역할을 하는 슬리브의 반경과 슬리브 내부를 구성하는 유전체의 유전율을 변화시켜 슬리브의 동축 선로 특성 임피던스를 조절하였다. 슬리브 모노폴 안테나의 슬리브 구조 조절을 통한 안테나 임피던스 궤적 변화를 스미스차트에서 분석하여 설계한 안테나의 광대역 특성 확보가 가능하도록 슬리브 구조를 최적화하였다. 두꺼운 모노폴을 사용하고 슬리브를 최적화하여 설계한 슬리브 모노폴 안테나는 반사 계수 10 dB 기준으로 0.80 GHz ~ 2.43 GHz 대역폭을 만족하는 3:1이 넘는 광대역 특성을 보였다. 제안한 슬리브 모노폴 안테나는 상용 이동 통신 주파수 대역에서 다기능 시스템에서 요구되는 다수의 안테나를 한 개의 안테나로 대체 가능할 것으로 기대한다.

References

- [1] J. Liang, C. C. Chiau, X. Chen, and C. G. Parini, "Study of a Printed Circular Disc monopole Antenna for UWB Systems", *IEEE Trans. Ant. Propag.* Vol. 53, pp. 3500-3504, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TAP.2005.858598>
- [2] M. Ojaroudi, Sh. Yazdanifard, N. Ojaroudi, and M. Naser-Moghaddasi, "Small Square Monopole Antenna With Enhanced Bandwidth by Using Inverted T-Shaped Slot and Conductor-Backed Plane", *IEEE Trans. Ant. Propag.* Vol. 59, pp. 670-674, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TAP.2010.2096386>
- [3] S. Velan, E. F. Sundarsingh, M. Kanagasabai, A. K. Sarma, C. Raviteja, R. Sivasamy, and J. K. Pakkathillam, "Dual-Band EBG Integrated Monopole Antenna Deploying Fractal Geometry for Wearable Applications", *IEEE Ant. Wire. Propag. Lett.* Vol. 14, pp. 249-252, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/LAWP.2014.2367010>
- [4] W. L. Stuzman, G. A. Thiele, "Antenna Theory and Design", *John Wiley & Sons*, 1981.
- [5] R. W. P. King, "Asymmetrically Driven Antennas and the Sleeve Dipole", *Proceedings of the I. R. E.*, Vol. 38, pp.1154-1164, 1950.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/jrproc.1950.233110>
- [6] A. J. Poggio, P. E. Mayes, "Pattern Bandwidth Optimization of the Sleeve Monopole Antenna," *IEEE Trans. Antennas Prop.*, Vol. AP-14, pp. 643-645, 1966.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TAP.1966.1138764>
- [7] R. Johnson and H. Jasik, *Antenna Engineering Handbook*, Second Ed., *New York : McGraw-Hill*, 1984.
- [8] H. D. Chen, "Compact Broadband Microstrip-Line-Fed Sleeve Monopole Antenna for DTV Application and Ground Plane Effect", *IEEE Ant. Wire. Propag. Lett.* Vol. 7, pp. 497-500, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/LAWP.2008.2004213>

- [9] R. W. P. King, T. T. Wu, "The Cylindrical with Arbitrary Point", *IEEE Trans., Antenna Prop.*, vol. AP-13, pp.710-718, 1965.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TAP.1965.1138531>
- [10] J. D. Kraus, "Antennas", *McGraw-Hill*, New York.
- [11] V. Zachou, C. G. Christodoulou, M. T. Chryssomallis, D. Anagnostou, and S. Barbin, "Planar Monopole Antenna with Attached Sleeves," *IEEE Ant. Wire. Propag. Lett.* Vol. 5, pp. 286-289, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/LAWP.2006.876970>

류 한 철(Han-Cheol Ryu)

[정회원]



- 2000년 2월 : 한양대학교 전자.전자통신.전파공학과군(공학학사)
- 2002년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
- 2011년 2월 : 한국과학기술원 정보통신공학과 (공학박사)
- 2002년 2월 ~ 2013년 2월 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 2013년 3월 ~ 현재 : 삼육대학교 카메카트로닉스학과 조교수

<관심분야>

전자공학, 전자파, 정보통신