

로딩 코일을 이용한 광대역 슬리브 모노폴 안테나의 설계

강상원^{o*}, 최광제^{**}

* 건국대학교 전자공학과 석사과정, ** 한라대학교 전기·전자·제어공학부

The Design of the Broadband Sleeve Monopole Antenna using loading Coil

Sang-won Kang^{o*}, Gwang-Je Choe^{**}

* Dept. of Electronics Eng., Konkuk Univ., ** School of Electrical Eng., Halla Univ.

Abstract

In this paper, a broadband sleeve monopole antenna using a loading coil in sleeve is proposed. The antenna of the proposed structure has the same of the single sleeve monopole antenna, except for using the coil instead of the inner conductor in sleeve. As a result, it is found that the bandwidth is 1.239~2.154 GHz(above 53.9%) for $S_{11} = -10\text{dB}$ (VSWR<2), and the antenna impedance is good for a communication system and feeder which the impedance has 50Ω.

I. 서론

현재의 이동통신에서 단말기용 안테나로 많이 사용되고 있는 안테나는 패치형(Patch type) 안테나와 모노폴(Monopole) 안테나이며, 특히 모노폴 안테나는 이동통신용 안테나의 조건을 만족할 뿐만 아니라 제작하기 쉽고 비용이 저렴하며 대역폭도 패치형 안테나보다 넓은 편이어서 가장 많이 사용되고 있다^[1]. IMT-2000과 기존의 PCS를 하나의 안테나로 사용하는 경우에는 안테나의 대역폭이 기존의 안테나 보다 광대역이어야 한다. 안테나의 설계 조건에 의하면 IMT-2000과 PCS를 하나의 안테나로 사용할 경우 그 대역폭은 전압정재파비가 2미만(VSWR<2)에서 22.7% 정도^[2]인 안테나가 필요하다. 따라서 기존의 모노폴 또는 슬리브 모노폴 안테나보다 대역폭이 넓은 안테나의 개발이 필요한 상황이다.

본 논문에서는 다주파수용 안테나로 사용할 수 있는 슬리브 모노폴의 구조^[3]에서 슬리브의 내부 도체의 일부분을 인덕터로 작용하는 코일로 변형하여 대역폭이 53.9%(VSWR<2)이고 안테나의 동작 주파수 대역 내에서 안테나의 임피던스의 저항에 50Ω계의 통신기기와 급전선에 적용 가능한 안테나를 설계 제작하였다.

II. 로딩 코일을 이용한 광대역 슬리브 모노폴 안테나의 설계

2-1 슬리브 모노폴 안테나

슬리브 모노폴 안테나의 구조는 그림 1과 같이 복사기(Radiator)라고 하는 수직도체 부분과 동축케이블과 같은 구조를 갖는 슬리브라고 하는 부분으로 구성된다.

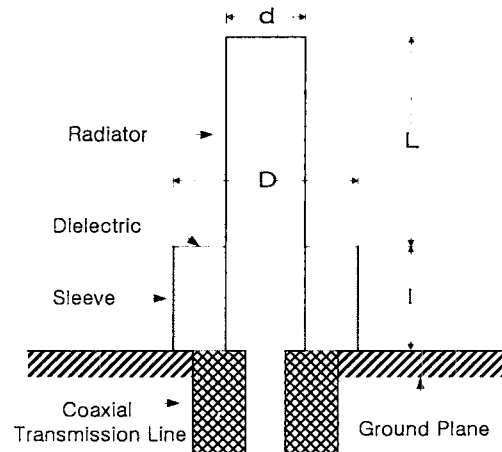


그림 1. 슬리브 모노폴 안테나의 구조

Fig. 1. Configuration of a sleeve monopole antenna .

슬리브 모노폴 안테나에 대한 해석은 R. W. P. King과 T. T. Wu에 의하여 안테나의 전류분포와 임피던스에 대하여 해석되었고^[4], A. J. Poggio와 P. E. Mayes는 이중 슬리브 구조를 갖는 슬리브 모노폴 안테나에 대한 연구를 발표하였다^[5]. 이러한 연구 발표에 의한 슬리브 모노폴 안테나의 복사패턴, 임피던스, 전류분포의 복사특성은 사용파장 λ , 슬리브의 길이 l , 복사기의 길이 L , 슬리브의 직경 D 및 복사기의 직경 d 와 관계되며 슬리브 모노폴 안테나의 공진은 $L + l \approx \lambda/4$ 에서 발생하고, $L/l = 2.25 D/d = 3.0$ 때 최적의 복사패턴을 얻을 수 있으며, 안테나 임피던스는 슬리브의 특성임피던스와 관계가 있다^{[4][5][6]}. 슬리브 모노폴 안테나에 대한 이러한 해석과 동축케이블에 대한 해석에 의하면 슬리브 부분은 선단이 개방된 개방 스타브라는 점과 $\lambda/4$ 수직 접지 안테나는 직렬 공진회로로 해석함을 종합하면, 그림 1의 슬리브 모노폴 안테나는 그림 2와 같은 회로로 동가화 할 수 있다^[3].

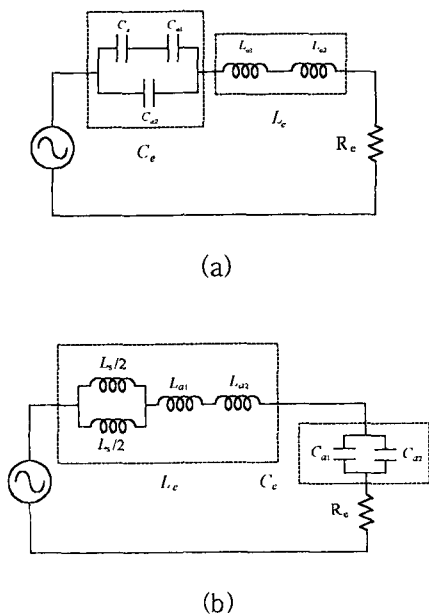


그림 2. 슬리브 모노폴 안테나의 동가회로

Fig. 2. The Equivalent circuits for the sleeve monopole antenna.

그림 2에서 C_s 와 L_s 는 슬리브의 내도체와 외도

체 사이에 존재하는 커패시턴스와 인덕턴스, C_{a1} 은 슬리브의 외도체와 접지평면 사이에 존재하는 커패시턴스, C_{a2} 는 복사기와 접지평면 사이에 존재하는 커패시턴스, L_{a1} 은 전파를 복사하는 슬리브 외도체 외표면의 인덕턴스, L_{a2} 는 복사기의 인덕턴스이다.

그림 2의 커패시턴스와 인덕턴스들의 값은 슬리브와 복사기 길이의 비 L/l 복사기와 슬리브 직경의 비 D/d 를 변화시키면 그 값들이 변화하게 되고, 슬리브 부분의 유전체(dielectric)를 변화시키면 슬리브의 특성임피던스가 변화되기 때문에 안테나의 직렬 공진 주파수를 변화시킬 수 있게 되어 $\lambda/4$ 수직 접지 안테나보다 광대역인 안테나로 동작하게 된다.

2-2 로딩 코일을 이용한 광대역 슬리브 모노폴 안테나의 설계

일반적인 슬리브 모노폴 안테나의 최적 설계 사양은 표1과 같다^[6].

표 1. 슬리브 모노폴 안테나의 최적 설계 사양
Table 1. Specifications for optimum design of a sleeve monopole antenna.

구분	크기 관계
$L + l$	$\lambda/4$ at low end of band
L/l	2.25
D/d	3.0

본 논문에서는 표1의 최적 설계 사양을 유지하면서 슬리브 내에 코일의 부가에 의하여 인덕턴스 성분이 과도하게 증가하는 것을 방지하기 위하여 복사기와 슬리브 길이의 비인 L/l 을 1.24로 변형하였다.

III. 제작 및 측정

3.1 제작

슬리브 내에 로딩 코일을 부가하는 경우 안테나의 주파수 특성이 개선되어 안테나의 대역폭이 넓어지게 됨을 실험적으로 입증하기 위하여 일반적인 슬리브 모노폴 안테나와 슬리브 내에 로딩 코일을 부가한 안테나를 각각 제작하여 실험하였다.

제안한 안테나의 특성과 비교하기 위하여 제작한 일반적인 슬리브 모노폴 안테나의 구조는 그림 3와

같으며 각 부분의 사양은 표 2와 같다.

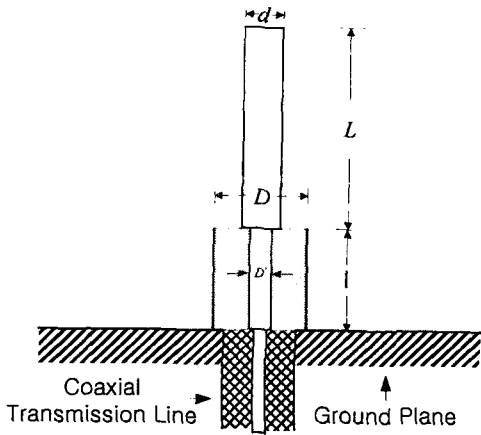


그림 3. 일반적인 슬리브 모노폴 안테나의 구조
Fig. 3. Configuration of an ordinary sleeve monopole antenna.

표 2. 일반적인 슬리브 모노폴 안테나의 사양
Table 2. Specifications for an ordinary sleeve monopole antenna.

구 분	기 호	크 기
안테나의 전장	$L + l$	47 mm
복사기의 길이	L	26 mm
슬리브의 길이	l	21 mm
복사기의 직경	d	5 mm
슬리브 외도체의 직경	D	15 mm
슬리브 내도체의 직경	d	3 mm
유전체의 비유전율	ϵ_r	≈ 1.8
공진주파수(계산값)	f_o	$\approx 1595\text{MHz}$

제안한 안테나의 구조는 그림 4와 같으며 슬리브 내에 코일을 추가함으로써 슬리브 내부의 구조를 변형된 것을 제외한 각 부분의 사양은 표 2와 동일하며, 변형된 슬리브 내부의 사양은 표 3과 같다.

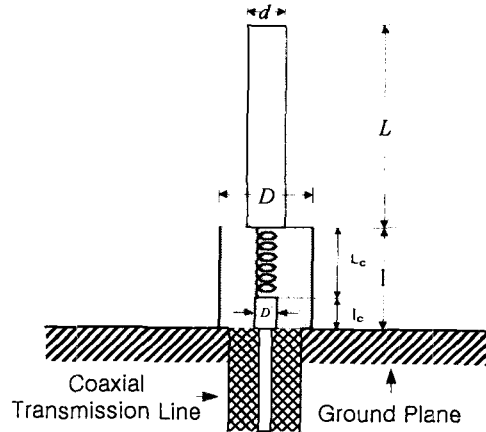


그림 4. 제안한 슬리브 모노폴 안테나의 구조
Fig. 4. Configuration for a proposed sleeve monopole antenna.

표 3. 제안한 슬리브 모노폴 안테나의 슬리브 부분의 사양
Table 3. Specifications for the sleeve of a proposed sleeve monopole antenna.

구 분	기 호	크 기
코일 도선의 직경	d_c	1.5 mm
코일의 외부 직경	D_c	5 mm
코일의 감이수	n	약 5 회
코일의 길이	L_c	14 mm
슬리브 내도체의 길이	l	7 mm

3-2 측정결과 및 고찰

그림 3와 같은 구조의 일반적인 슬리브 모노폴 안테나에 대한 반사손실 S_{11} 의 측정결과는 그림 5과 같으며, 안테나 임피던스에 대한 측정 결과는 그림 6과 같다.

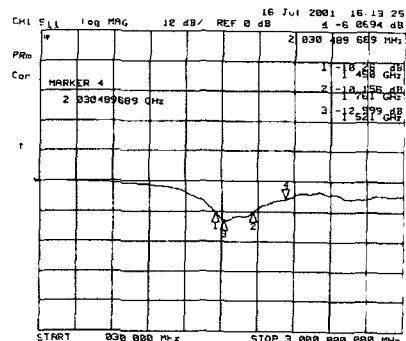


그림 5. 그림 3의 일반적인 슬리브 모노폴 안테나의 S_{11} 측정결과

Fig. 5. Measurement result of S_{11} for the ordinary sleeve monopole antenna in Fig. 3.

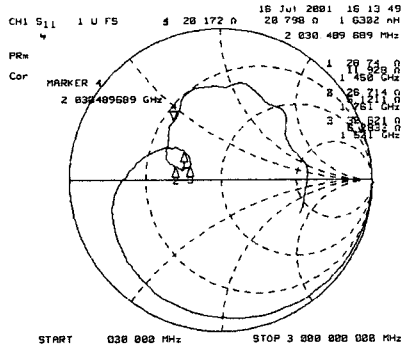


그림 6. 그림 3의 일반적인 슬리브 모노폴 안테나의 임피던스 측정결과

Fig. 6. Measurement result of the impedance for the ordinary sleeve monopole antenna in Fig. 3.

그림 4와 같은 제안한 슬리브 모노폴 안테나에 대한 반사손실 S_{11} 의 측정결과는 그림 7과 같으며, 안테나 임피던스에 대한 측정 결과는 그림 8과 같다.

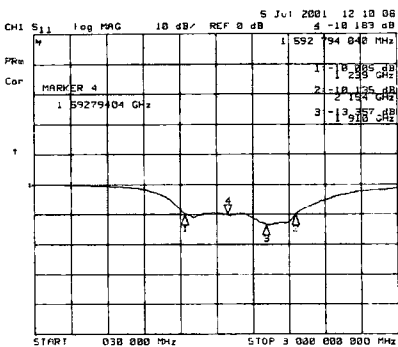


그림 7. 그림 4의 제안한 슬리브 모노폴 안테나의 S_{11} 측정결과

Fig. 7. Measurement result of S_{11} for the proposed sleeve monopole antenna in Fig. 4.

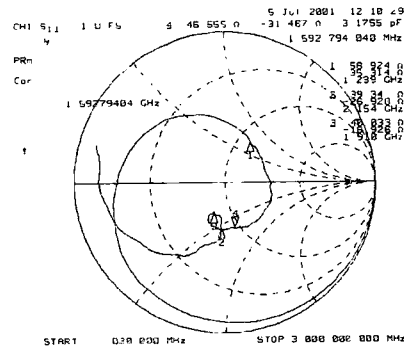


그림 8. 그림 4의 제안한 슬리브 모노폴 안테나의 임피던스 측정결과

Fig. 8. Measurement result of the impedance for the ordinary sleeve monopole antenna in Fig. 4.

이상의 측정결과들을 비교하면 표 4와 같다. 표 4에서 보는 바와 같이 일반적인 슬리브 모노폴 안테나의 공진주파수는 이론적인 계산값인 1595MHz와 비슷한 1521MHz이지만 제안한 안테나인 로딩 슬리브인 경우에는 1910MHz로 S_{11} 이 최저값이기는 하지만 공진주파수라고 하기에는 안테나 이론과는 거리가 있다.

표 4. 측정결과 값의 비교
Table 4. Comparison of measured results

구 분	일반 슬리브	로딩 슬리브
공진 (S_{11} 최저) 주파수	1521 MHz	1910 MHz
-10dB 상한주파수	1761 MHz	2154 MHz
-10dB 하한주파수	1450 MHz	1239 MHz
-10dB 대역폭	311 MHz	915 MHz
-10dB 대역폭 백분율	19.4 %	53.9 %

따라서 본 논문에서는 각각의 안테나에서 상한 주파수와 하한 주파수 및 대역폭에 대하여 고찰하고자 한다.

일반 슬리브 모노폴 안테나에 있어서 -10dB 상한 주파수는 1761MHz이지만 제안한 안테나에서는 2154MHz로 상한 주파수쪽이 개선되고, 일반 슬리브 모노폴 안테나에 있어서 -10dB 하한주파수는 1450MHz이지만 제안한 안테나에서는 1239MHz로 하한 주파수쪽이 개선되어 안테나 대역폭이 약 3배

넓어지게 됨을 알 수 있다.

제작한 일반 슬리브 모노폴 안테나의 급전점 임피던스의 저항 성분이 26~33Ω에서 변화되고 있는 것에 비하여 제안한 로딩 슬리브 모노폴 안테나인 경우에는 약 35~60Ω정도에서 변화되고 있기 때문에 50Ω계의 통신기구나 급전선에 적절함을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 일반적인 슬리브 모노폴 안테나에서 슬리브 부분은 길이가 $\lambda/4$ 이하인 선단이 개방된 스테터로 동작하기 때문에 그 리액턴스 성분은 커패시턴스로 된다. 이러한 슬리브의 내도체에 인덕턴스 성분인 코일을 부가하는 경우 코일 자체의 인덕턴스는 하한 주파수를 개선할 것이고 코일 구조상 존재하는 분포 커패시턴스는 상한 주파수를 개선할 것이기 때문에 안테나의 대역폭이 개선되어 넓어질 것으로 예상하였다. 이러한 예상은 표4에서 보는 바와 같이 상한 주파수는 211MHz, 상한 주파수는 393MHz 개선되어 안테나 대역폭이 약 3배 개선되었다.

제안한 로딩 슬리브 모노폴 안테나의 대역폭은 일반 슬리브 모노폴 안테나의 대역폭을 포함하며 상한 주파수와 하한 주파수가 개선되었다는 점에서 제안한 로딩 슬리브 모노폴에 대한 예상을 실험적으로 증명하였다고 할 수 있다.

또한 PCS와 IMT-2000을 하나의 안테나로 사용할 경우에는 대역폭이 22.7%(VSWR<2) 정도의 안테나가 필요로 하지만 실용 안테나의 설계조건(VSWR<1.5)을 만족시키려면 VSWR<2인 조건에서 대역폭은 40%정도 되어야한다는 실용안테나의 설계조건에 대하여 제안한 로딩 슬리브 안테나는 그 대역폭이 53.9%이므로 실용 안테나의 설계조건을 만족할 뿐만 아니라 안테나 임피던스 측면에서도 정합회로설계를 용이하게 할 수 있기 때문에 상용화는 쉽게 이루어질 수 있을 것으로 예상된다.

참고 문헌

- [1] K. Fujimoto, J. R. James, *Mobile Antenna Systems Handbook*, Artech House, 1994.
- [2] J. I. Moon, S. O. Park, K. Y. Park, "Broad-band sleeve monopole type antenna for dual-band PCS/IMT-2000", *Electronics Letters*, Vol. 36, No. 22, pp. 1829-1830, October, 2000.
- [3] 허정, 최홍주, 최광제, 김영권, "개방스태터브의 특

성을 갖는 슬리브 모노폴 안테나에 관한 연구", *Telecommunications Review*, 7(5), pp. 563-572, 1997. 9-10.

- [4] R. W. P. King, T. T. Wu, "The cylindrical with arbitrary point", *IEEE Trans., Antenna Propagation*, vol. AP-13, pp. 710-718, 1965.
- [5] A. J. Poggio, P. E. Mayes, "Pattern Bandwidth Optimization of the Sleeve Monopole Antenna", *IEEE Trans., Antenna Propag.*, vol. AP-14, pp. 643-645, 1966.
- [6] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, John Wiley & Sons, 1981.
- [7] E. C. Jordan, K. G. Balmain, *Electromagnetic waves and Radiation systems*, Prentice-Hall, 1968.