

# 진행파 전류분포에 의한 원통형 모노폴의 광대역화 설계

김상열\* · 전중창\* · 김태수\*\*

\*진주산업대학교 · \*\*위덕대학교

## Wideband Design of Cylindrical Monopole with Traveling-Wave Current Distribution

Sang-Youl Kim\* · Joong-Chang Chun\* · Tae-Soo Kim\*\*

\*Jinju National University · \*\*Uiduk University

E-mail : jcchun@jinju.ac.kr

### ABSTRACT

Cylindrical monopole antenna is one of most promising candidates for multi-band applications such as PCS, WLAN, DMB, and UWB wireless services. In this research, we analyze the current distributions of operating modes for a cylindrical double-resonant monopole antenna. Two modes, the standing wave mode in a lower band and the traveling wave mode in a higher band, are identified from CST software simulations. Finally, design formulas are derived from the simulation results.

Key Word : cylindrical monopole antenna, double resonant, wideband antenna, standing wave mode, traveling wave mode

키워드 : 원통형 모노폴 안테나, 이중공진, 광대역 안테나, 정재파 모드, 진행파 모드

### I. 서 론

오늘날 정보통신 사회에서 무선통신 서비스의 종류와 응용분야는 날이 새롭게 개발되고 있다. PCS, IMT-2000, 무선 LAN 등과 같은 기존의 무선 이동통신 서비스 외에도 근래에는 DMB 및 UWB 통신이 새롭게 부각되어 방송, 데이터 통신 및 레이더 응용에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다. 따라서 여러 대역에서 동시에 사용될 수 있는 광대역 안테나는 제품의 생산원가를 줄이며, 사용자에게 편의성을 제공하므로 안테나의 광대역화 기술 또한 많은 연구자들의 관심을 끌고 있다. 1/4 파장 선형 모노폴 안테나는 구조가 간단하고 전방향성을 갖는 복사특성으로 인하여 가장 널리 사용되는 안테나 중의 하나이다.[1] 일반적으로 원통의 직경이 증가할수록 모노폴 안테나의 대역폭이 증가한다는 것은 잘 알려져 있지만, 기존의 방식으로는 대역폭이 협소하여, 최근에 각광을 받고 있는 UWB 대역까지 처리할 수는 없다.

지금까지 모노폴 안테나의 광대역화를 위해서 주로 평면형 모노폴 구조에 관한 연구가 많이 이루어져 왔다. 평면형 모노폴은 디스크 형태와 사

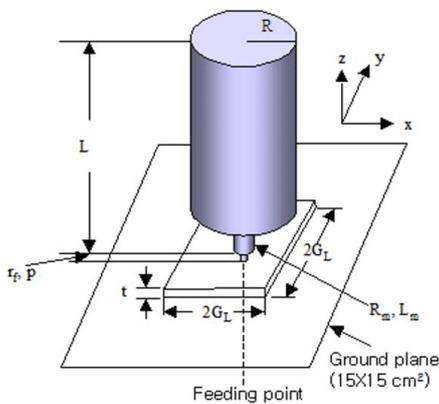
각형 형태에서 출발하여, 정사각형 평면을 사선으로 잘라 내거나, 노치를 가하여 광대역화를 이룩하는 연구결과가 발표 되었다.[2]

참고문헌 [3]에서는 원통형 모노폴 안테나의 기저부 커플링에 다단 구조를 도입함으로써 이중공진 현상을 유기하여 모노폴 안테나를 광대역화하는 기법과 공진 주파수를 결정하는 공식이 발표되었다. 본 연구에서는 이중공진 원통형 모노폴 안테나에 있어서 주파수 대역별 동작 모드를 해석 하였으며, CST 소프트웨어를 사용하여 저주파 대역에서의 정재파 모드와 고주파 대역에서의 진행파 모드를 확인하였다. 제작된 이중공진 안테나의 측정결과로부터, 각 모드의 유효범위를 분석 하였다.

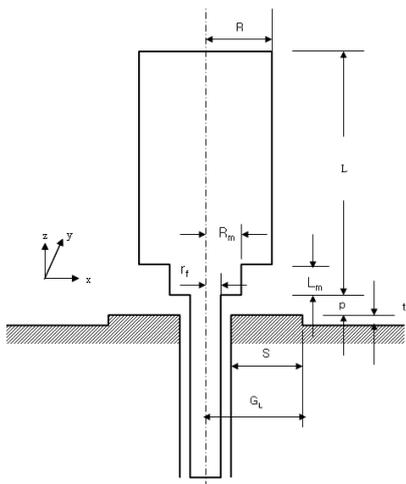
### II. 이중공진 원통형 모노폴의 구조

이중 공진형 원통 모노폴의 구조를 그림 1에 도시하였다.[3] 그림 1의 접지 안테나는 근원적으로 광대역 특성을 갖도록 하기 위해서 종래의 단순한 급전구조와는 달리 막대형 복사기와 평면형 접지면 사이에 다단 구조의 턱을 추가적으로 제

공함으로써 광대역 특성을 효과적으로 구현한다. 안테나 규격은 최저 공진주파수를 PCS 대역에 맞추기 위해서  $L=3.0$  cm,  $R=0.48$  cm,  $p=0.2$  cm,  $r_f=0.06$  cm,  $t=0.17$  cm,  $L_m=0.3$  cm,  $R_m=0.15$  cm,  $G_L=0.635$  cm로 설정하였다. 광대역 정합을 이루기 위한 원통 기저부의 길이  $L_m$ 과 반경  $R_m$ , 접지 돌출부  $G_L$  등의 치수를 조정하는 최적화 과정과 복사 패턴 등의 측정 결과는 참고문헌 [3]에 제시되어 있으며, 설명의 편의를 위해서 반사손실 측정결과는 그림 2에 다시 보였다. -10 dB 임피던스 대역폭은 1.74~3.05 GHz(하위 밴드)와 5.6~10.6 GHz(상위 밴드)로 구성된다. 참고문헌 [3]에 설명된 것과 같이 길이  $L$ 과  $R$ 은 하위 밴드 대역폭에 직접적인 영향을 미치는 반면에,  $L_m$ ,  $R_m$ ,  $G_L$ 의 치수들은 상위 공진대역의 결정에 직접적인 영향을 미치게 된다.



(a) 입체구조



(b) 단면도

그림 1. 이중공진 모노폴의 구조[3]

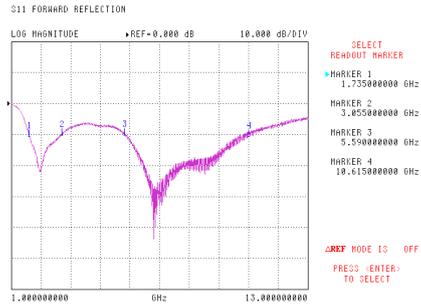


그림 2. 이중공진 안테나의 반사특성 측정결과[3] ( $L=3$  cm,  $R=0.48$  cm,  $L_m=0.3$  cm,  $R_m=0.15$  cm,  $p=2$  mm,  $r_f=0.6$  mm)

### III. 이중공진 모노폴의 동작모드 분석

측정결과와 CST 소프트웨어 시뮬레이션을 활용하여 이중공진 원통형 모노폴 안테나의 주파수 대역별 동작 모드를 해석 하고, 동작 주파수 및 각 모드의 유효범위를 분석하도록 한다.

#### (a) 정재파 모드(standing wave mode)

정재파에 의한 공진 모드는 안테나 표면에 흐르는 전류는 전류경로의 실효길이  $L_L = L + p + R - r_f$ 가 신호 파장  $\lambda$ 의 1/4 근처인 하위 대역에서 형성된다. 그림 3은 2GHz에서 표면전류 분포의 시뮬레이션 결과를 보이고 있다. 입력신호의 위상에 따라 표면전류의 크기와 방향을 관찰할 수 있으며, 안테나 끝단의 개방에 의하여 정재파가 형성됨을 볼 수 있다. 따라서 하위대역에서의 동작형태는 정재파 모드(Standing-wave mode)로 동작함을 알 수 있다. 이 모드에서 공진주파수는 아래 식으로써 예측할 수 있다.

$$f_{OL} = \frac{7.2}{L + p + R - r_f} = \frac{7.2}{L_L} \text{ (GHz)} \quad (1)$$

그림 2의 측정 결과로부터 제작된 안테나가 이 동작형태에서 동작하는 유효범위를 계산하면 하위대역에서의 주파수 동작 범위 1.74~3.05GHz, 파장은 17.2~9.8이므로  $L_L$ 의 길이 3.62를 대입하면 다음과 같다.

$$0.21\lambda \leq L_L \leq 0.37\lambda \quad (2)$$

이 정재파 공진 모드의 대역폭은 55.2%에 이르며, 광대역 효과는 복사 도체의 반경  $R$ 을 증가시킨 데에 기인한다.

#### (b) 진행파 모드(traveling wave mode)

진행파에 의한 비공진 모드에서 안테나 표면에 흐르는 전류는 주파수가 증가하여 복사기의 상부

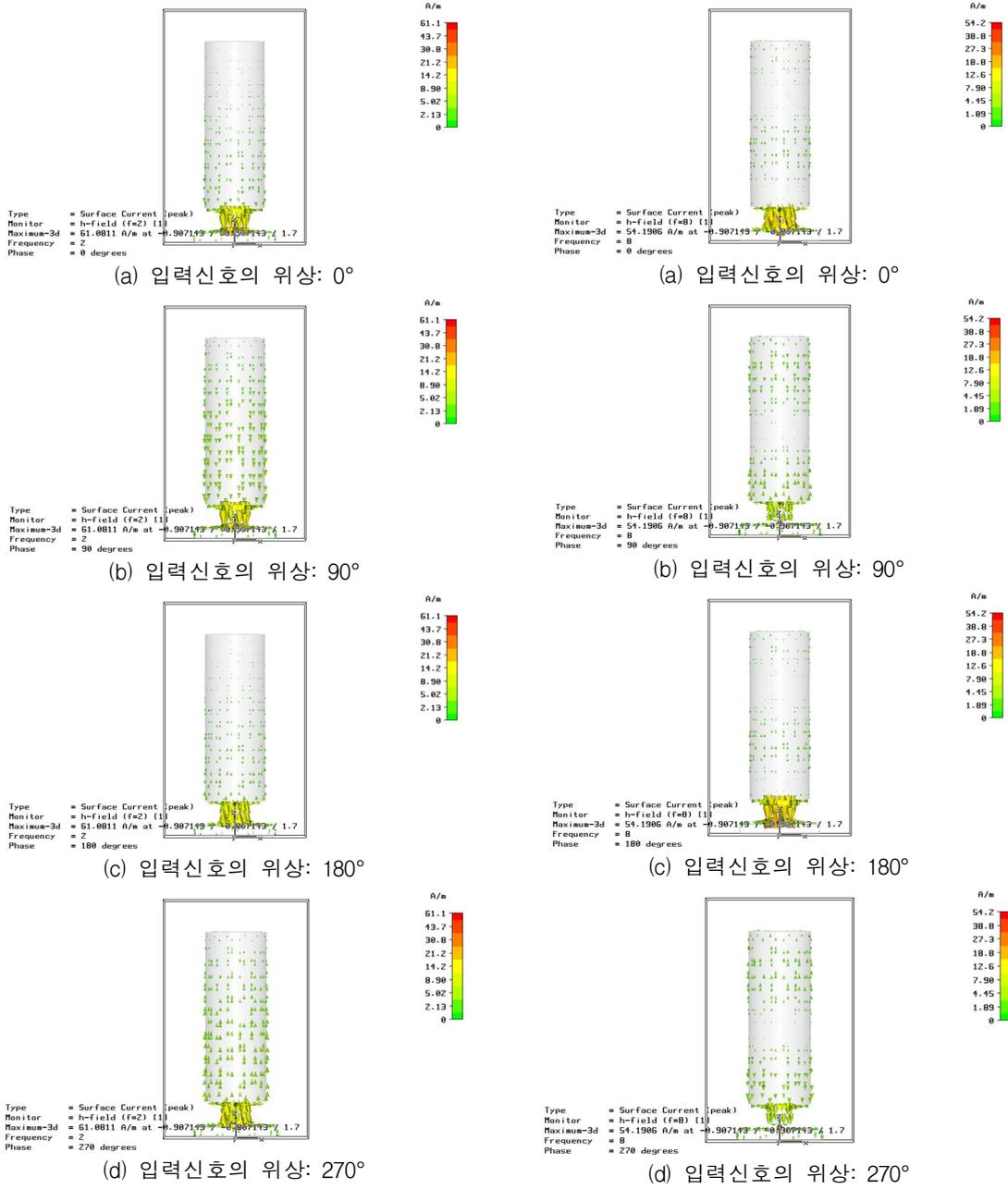


그림 3. 2 GHz에서의 표면전류 분포 (정재파 모드)

그림 4. 8 GHz에서의 표면전류 분포 (진행파 모드)

도체 길이  $L_a = L - L_m$ 가 신호 파장( $\lambda$ )의 1~2 배, 복사기의 상부도체의 원주길이( $C = 2\pi R$ )가 파장( $\lambda$ ) 근처인 상위 대역에서 형성된다. 그림 4 는 8 GHz에서 표면전류 분포의 시뮬레이션 결과를 보이고 있다. 입력신호의 위상 변화에 따라 진행파가 형성됨을 볼 수 있다. 따라서 상위대역에서의 동작형태는 진행파 모드(Traveling-wave mode)로 동작함을 알 수 있다. 이 모드에서 공진 주파수는 아래 식과 같이 기저부의 치수  $L_H = L_m + b + R - r_f$ 에 의하여 결정된다.

$$f_{oH} = \frac{7.2}{L_m + b + R - r_f} = \frac{7.2}{L_H} \text{ (GHz)} \quad (3)$$

그림 2의 측정 결과로부터 이 동작형태에서 동작하는 유효범위를 계산하면 하위대역에서의 주파수 동작 범위 5.59~10.62 GHz, 파장은 5.36~2.82GHz이므로  $L_H$ 의 길이 0.92를 대입하면 다음과 같다.

$$0.171\lambda \leq L_H \leq 0.326\lambda \quad (4)$$

이 진행과 모드의 대역폭은 62.4%에 이르며, 도체 길이  $L_a$ 에서 비공진 진행과가 형성됨으로 인하여  $L_H$ 부분의 전류 위상이 균일한 대역이 확대됨으로써 광대역 효과가 얻어지고 있다.

(c) 물리적 동작원리 비교

하위대역과 상위대역에서 안테나 동작형태가 변하여 광대역 효과를 나타내는 특성을 가지는 안테나는 헬리컬 안테나이다. 다음은 이중공진 실린더형 안테나와 헬리컬 안테나의 하위와 상위대역에서의 물리적 동작원리에 대해서 비교했다.

상위대역에서 진행과가 형성되는 물리적 원리는 헬리컬 안테나에서 헬릭스의 원주 및 권선 수가 증가함에 따라 축 모드(axial mode) 진행과가 형성되는 것과 동일한 것으로 판단된다. 원통형 모노폴이 진행과 모드에서 동작하면, 도체의  $L_a$  부분에 흐르는 전류는 반과장마다 위상이 반대가 되므로  $L_a$  부분은 에너지 복사에 효과적으로 기여하지 못하고,  $L_H$  부분에 흐르는 전류에 의하여 실질적인 복사가 발생한다. 상위대역에서 제작된 안테나의 원주길이 C와  $L_a$ 는 과장 대비 범위는 다음과 같다.

$$0.56\lambda \leq C \leq 1.1\lambda \tag{5}$$

$$1.05\lambda \leq L_a \leq 2.0\lambda \tag{6}$$

식 (5)를 헬리컬 안테나가 축 모드에서 동작할 원주길이인  $0.75\lambda \leq C \leq 1.33\lambda$ 와 비교하면, 본 연구에서 제작된 안테나의 원주 허용범위가 5% 정도 더 넓은을 볼 수 있다.

하위대역에서 정재파 모드의 형성 조건은 전체 도선길이가  $\lambda/4$ 인 헬리컬 스텝(stub) 안테나의 정상모드(normal mode)에서와 유사한 점이 확인되었다. 표 1과 2에 전기적 크기에 따라 진행과와 정재파 모드에서 동작 가능한 두 안테나를 비교 분석한 결과를 요약하였다.

표 1 진행과 모드의 안테나 비교

| 구 분           | 이중공진 원통형 모노폴 안테나                     | 축 모드 헬리컬 안테나                          |
|---------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 전압 및 전류 위상 변화 | 연속천이                                 | 연속천이                                  |
| 동작주파수 (유효범위)  | $0.56\lambda \leq C \leq 1.1\lambda$ | $0.75\lambda \leq C \leq 1.33\lambda$ |
| 진행과로의 변화      | 원주와 원통기저부의 치수                        | 원주와 권선의 수                             |

표 2 정재파 모드의 안테나 비교

| 구 분           | 이중공진 원통형 모노폴 안테나                      | 정상 모드 헬리컬 안테나    |
|---------------|---------------------------------------|------------------|
| 전압 및 전류 위상 변화 | 위상이 일정                                | 위상이 일정           |
| 동작주파수 (유효범위)  | $0.21\lambda \leq L \leq 0.37\lambda$ | $\lambda \ll L$  |
| 동작형태          | 접지면에 급전된 모노폴 안테나                      | 접지면에 급전된 모노폴 안테나 |

IV. 결론

본 논문에서는 기저 커플링 구조에 다단 구조를 도입함으로써 광대역 특성이 구현된 이중공진형 원통 모노폴 안테나에 대하여 주파수 대역별 동작 모드를 해석 하였다. CST 소프트웨어의 표면전류 분포 시뮬레이션을 통하여 하위대역에서는 정재파 모드, 상위대역에서는 진행과 모드가 형성되는 것을 확인하였으며, 제작된 안테나의 반사특성 측정 결과를 바탕으로 각 동작 모드가 형성될 수 있는 기구적 치수범위를 분석하였다. 고주파 대역에서는 진행과 모드가 형성될 조건은 헬리컬 안테나에서 축 모드가 형성될 조건과 유사하며, 정재파 모드의 형성 조건은 전체 도선길이가  $\lambda/4$ 인 헬리컬 스텝(stub) 안테나의 수직모드(normal mode)에서와 유사한 점이 확인되었다.

본 논문에서 실험한 안테나의 동작대역폭은 1.74-3.05 GHz(54.7%), 5.6-10.6 GHz(61.7%)로서 PCS, IMT-2000, WiBro, WLAN, DMB, High-band UWB 등의 무선 서비스에 사용될 수 있다.

참고문헌

[1] C. Balanis, Antenna Theory, Wiley, pp. 133-202(Chapter 4), pp. 451-453, 1997.  
 [2] S. Su, K. Wong, C. Tang, "Ultra-Wideband Square Planar Monopole Antenna for IEEE 802.16a Operation in the 2-11 GHz Band," Microwave Opt. Technol. Letters, Vol. 42, No. 6, pp. 463-466, Sept. 2004.  
 [3] 김상열, 이현수, 전중창, "광대역화를 위한 원통형 모노폴 안테나의 이중공진 구조 설계," 한국정보전자통신기술학회 하계종합학술대회, pp. 162-165, 2008.  
 [4] 김상열, 전중창, "이중공진형 원통 모노폴 안테나의 모드 해석," 한국정보전자통신기술학회 추계종합학술대회, pp. 183-186, 2008.