

# 단말기 T-DMB용 안테나로 사용될 수 있는 Open Stub를 가지는 소형 Two-Wire Helical 안테나

## A Compact Two-Wire Helical Antenna with an Open Stub for a T-DMB Antenna of Mobile Devices

이동현 · 박세현\* · 김영일\* · 박위상

Dong-Hyun Lee · Se Hyun Park\* · Young Eil Kim\* · Wee Sang Park

### 요 약

본 논문에서는 모바일 장치의 T-DMB 안테나로 사용될 수 있는 급전 반대편에 open stub를 가지는 소형 two-wire helical 안테나를 제안하였다. Open stub의 길이를 조절하거나 open stub에 유전 물질을 발라 T-DMB 대역인 200 MHz에서 높이가 8 cm(200 MHz에서  $0.053 \lambda$ )인 안테나의 입력 임피던스를 쉽게 매칭시킬 수 있다. 이 안테나의 unbalanced 모드와 balanced 모드의 등가 회로를 이용하여 이 안테나의 등가 회로를 나타내고, 동작 원리를 설명하였다. 등가 회로의 해석을 토대로 open stub의 영향을 검증했다. 몇 가지 다른 파라미터 값을 가지는 안테나를 제작하였으며, 이 안테나의  $S_{11}$  및  $S_{21}$ 을 측정하였다. 제작된 안테나의 입력 임피던스 대역폭( $S_{11} \leq -10$  dB)은 196~204 MHz(8 MHz)로 T-DMB의 한 채널(6 MHz)을 만족한다. 이 안테나의 측정된  $S_{21}$ 은 -38.6 dB로 동일한 높이의 모노폴 안테나와 open stub를 가지지 않은 two-wire helical 안테나의  $S_{21}$ 보다 약 17 dB 높다.

### Abstract

We have presented a compact two-wire helical antenna adopted an open stub in opposite to a feeding point, which is for a T-DMB antenna of mobile devices. By adjusting the length of the open stub or pasting a dielectric material on the open stub, the input impedance around 200 MHz, bands of the T-DMB, can be easily control, even though the total height of the antenna is less than 8 cm( $0.053 \lambda$  at 200 MHz). The operating mechanism of the antenna is explained by using equivalent circuits of two modes, an unbalanced mode and a balanced mode. Based on the analysis of the equivalent circuits, the effects of using the open stub are validated. Several proposed antennas have been fabricated and measured. One of the fabricated antennas has -10 dB impedance bandwidth of 196~204 MHz(8 MHz) whose value covers one channel of the T-DMB(6 MHz). The measured  $S_{21}$  of the antenna is -38.6 dB which is about 17 dB higher than that of a monopole antenna whose height is same with the proposed antenna.

Key words : Helical Antenna, Open Stub, T-DMB

### I. 서 론

최근 단말기에서 T-DMB(Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting) 서비스가 제공됨에 따라 T-DMB

수신이 가능한 다양한 단말기가 출시되고 있다. 국내 T-DMB 사용 대역은 174~216 MHz로, 채널 7에서 13번까지 사용한다. 한 채널의 대역폭은 6 MHz이다. 현재 출시되고 있는 T-DMB용 단말기의 단점은

포항공과대학교 전자전기공학부(Department of Electronic and Electrical Engineering, Pohang University of Science and Technology)

\*삼성중합기술원 임베디드 시스템 솔루션 연구실(Embedded System Solution Lab., Samsung Advanced Institute of Technology)

· 논문 번호 : 20061103-07S

· 수정완료일자 : 2007년 1월 25일

상기의 T-DMB 사용 주파수 대역이 낮음에 따라 안테나가 차지하는 공간이 크다는 것이다. 현재 출시된 대부분의 T-DMB 안테나의 크기는 13 cm 이상이며, 단말기 내부에 장착하지 못하고, 단말기 외부로 적어도 10 cm 이상 돌출되어 있다. 최근 1~2년 사이 대부분의 단말기 안테나는 단말기의 디자인 관점에서 안테나를 내부로 장착하는 인테나(intenna)의 추세를 따르는 이 시점에서 이러한 T-DMB용 안테나의 높이를 줄이는 것은 T-DMB 서비스의 상용화를 위해 해결해야 하는 가장 큰 난제이다.

안테나 크기를 줄이기 위해 소형 안테나를 생각할 수 있다. 하지만 소형 안테나는 입력 저항과 안테나 효율이 낮고, 입력 리액터스가 매우 커 안테나의 대역폭이 좁은 단점이 있다<sup>[1]</sup>. 최근에 발표되고 있는 소형 안테나는 주어진 구조에서 안테나의 효율 및 대역폭을 향상시키기 위해 구조가 정육면체에 가깝다<sup>[2]~[4]</sup>. 이러한 정육면체에 가까운 안테나 구조는 단말기에 장착하기에 부적합하다. T-DMB용 안테나가 단말기에 장착하기 위해서는 정육면체에 가까운 구조가 아닌 평면형 혹은 한 쪽으로 긴 직육면체의 구조가 바람직하다.

본 논문에서는 단말기에 장착될 수 있는 안테나의 장축의 길이가 8 cm 이하인 T-DMB용 안테나를 제안하였다. 제안한 안테나는 기본적으로 소형 안테나가 가지고 있는 낮은 입력 임피던스와 높은 리액턴스를 가진다는 문제점을 해결하기 위해 비교적 낮은 높이에서 넓은 대역폭을 나타내는 two-wire helical 안테나<sup>[5]</sup> 구조를 지닌다. 이와 함께 급전 부근에 open-stub를 두어 전기적으로 작은 구조인데도 매칭이 용이하도록 하였다. 본 논문의 2장에서 제안한 안테나의 구조와 이 안테나의 동작 원리에 대해서 자세히 설명한다. 3장에서는 제안된 안테나의 성능을 검증하기 위해 제작된 안테나의 특성을 살펴보고, 4장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 안테나의 구조 및 동작 원리

그림 1은 단말기 몸통에 장착된 제안한 안테나의 구조와 파라미터 값을 나타낸다. 제안된 안테나는 기본적으로 2개의 helix가 정반대로 꼬여져 위쪽에서 단락되어 있는 two-wire helical 안테나의 구조이다.

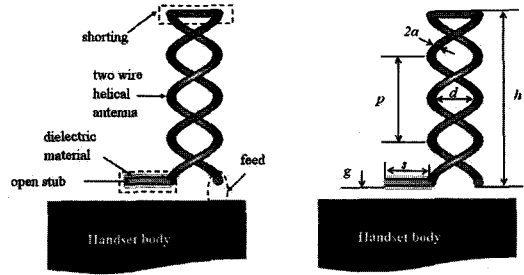


그림 1. 안테나의 구조 및 파라미터  
Fig. 1. The structure of the proposed antenna.

이와 함께 한 쪽 helix의 끝을 단말기 몸통과 평행하도록 하여 open stub가 존재하도록 하였다. 이 open stub를 이용하여 안테나의 입력 임피던스 정합시킬 수 있다. 급전은 한 쪽 helix와 단말기 몸통 사이에서 일어난다.

그림 2는 제안된 안테나에 흐르는 전류 흐름을 보여준다. 그림 2(a)에서 두 helix에 흐르는 전체 전류를  $I_1$ 과  $I_2$ 로 표시하였다. 그림 2(b)와 그림 2(c)는 unbalanced 모드와 balanced 모드로 동작할 때 두 helix에 흐르는 전류를 나타낸다. Unbalanced 모드는 두 helix에 흐르는 전류의 방향이 동일하게 흐르며, 실제 방사에 기여하는 안테나 모드이다. 한 쪽 helix에 흐르는 전류를  $I_u$ 라고 할 때 반대쪽 helix에 흐르는 전류는  $\nu I_u$ 이다. 이 때  $\nu$ 는 두 helix에 흐르는 전류 진폭의 비이다. Balanced 모드일 때에는 두 helix에 흐르는 전류는 반대 방향으로 흐르며, 방사에 기여하지 않는 전송선 모드로 동작한다. 이 때 흐르는 전류는  $I_b$ 로 나타냈다. 전체 모드에 흐르는 전류는 그림 2에서와 같이 이 두 모드에서 흐르는 전류의 합

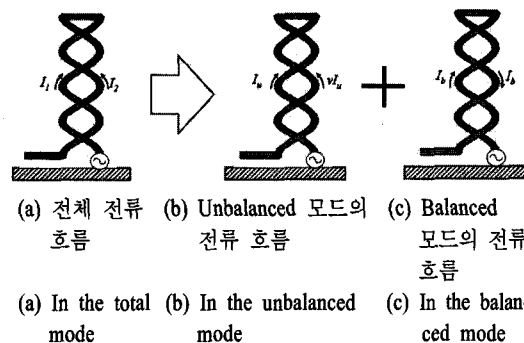


그림 2. 안테나의 전류 흐름  
Fig. 2. Current flow.

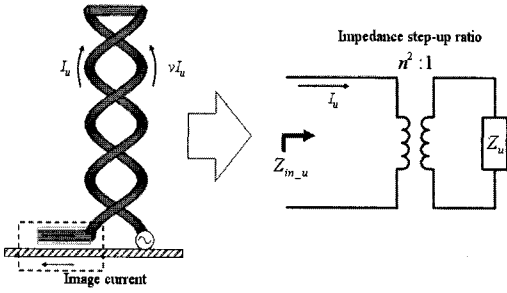


그림 3. Unbalanced 모드의 등가 회로  
Fig. 3. Equivalent circuit in the unbalanced mode.

으로 나타낼 수 있다.

이 안테나의 입력 임피던스는 두 모드로 동작할 때의 등가회로를 이용하여 구할 수 있다<sup>[5]</sup>. 우선 그림 3에 unbalanced 모드로 동작할 때 등가회로를 나타냈다. Unbalanced 모드로 동작할 때 두 helix의 전류는 동일하게 흐르게 된다. 이는 곧 안테나의 방사에 기여하는 모드이므로 open stub와 단말기 몸통에 발생하는 capacitance의 영향은 등가 회로에서 무시할 수 있다. 따라서 unbalanced 모드의 입력 임피던스는 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$Z_{IN,u} = n^2 Z_u \quad (1)$$

이 때  $Z_u$ 는 unbalanced 모드에서의 load 임피던스이고,  $n$ 은 helix에 의해 발생하는 impedance set up ratio이다. 따라서 Unbalanced 모드의 입력 임피던스는  $n$ 의 제곱에 비례하여 커진다.

그림 4에 balanced 모드로 동작할 때 등가 회로를 나타냈다.  $Z_0$ 의 특성 임피던스를 가지고, 길이  $l$ 만큼 끝이 단락된 전송선 앞에  $R$ 과  $C$ 가 직렬로 연결되어 있다. 이 때  $l$ 은 helix의 높이( $h$ )에 해당한다.  $R$ 은 open stub의 유전 물질로 인해 저항 성분이 발생하는 것을 고려한 것이고,  $C$ 는 open stub와 단말기 몸통 사이에서의 capacitance가 발생하는 것을 고려한 것이다. 따라서 balanced 모드의 입력 임피던스  $Z_{in,b}$ 는 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$Z_{in,b} = R - jX_c + jZ_0 \tan(\beta l) \quad (2)$$

여기서  $X_c = 1/(\omega C)$ 이다.  $Z_0$ 는 간단히 two-wire의 특성 임피던스라 생각할 수 있어, 아래의 수식으로 구할 수 있다.

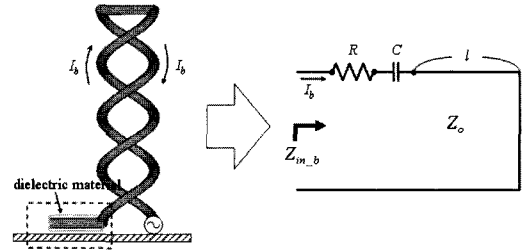


그림 4. Balanced 모드의 등가 회로  
Fig. 4. Equivalent circuit in the balanced mode.

$$Z_0 = \frac{\eta_0}{\pi} \times \cosh^{-1} \left( \frac{D}{2a} \right) \quad (3)$$

이 때  $\eta_0$ 는  $\sqrt{\mu_0/\epsilon_0}$ ,  $D$ 는 두 wire 사이의 간격,  $a$ 는 wire의 반경이다.  $D$ 는 10 mm,  $a$ 는 0.25 mm로 두면 위 식으로부터  $Z_0$ 는 약 443  $\Omega$ 이 된다.

$C$ 는 간단히 두 wire 사이의 capacitance로 생각할 수 있어 아래와 같이 표현된다.

$$C = \frac{\pi \epsilon_r \epsilon_0}{\cosh^{-1} \left( \frac{D}{2a} \right)} \times s \quad (4)$$

여기서  $s$ 는 open stub의 길이이다. 실제로는 wire와 평면판 사이의 capacitance이므로 이 차이를 고려하기 위해  $D$ 와  $a$ 에 prime을 붙였다.

전체 모드는 unbalanced 모드와 balanced 모드의 병렬 합으로 표현되므로 전체 모드의 등가 회로는 그림 5와 같이 표현된다. 따라서 전체 입력 임피던스는  $Z_{in,u}$ 와  $Z_{in,b}$ 의 병렬 합으로 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} = \frac{Z_{in,u} + Z_{in,b}}{Z_{in,u} Z_{in,b}} \quad (5)$$

소형 안테나는 일반적으로 낮은 입력 임피던스와

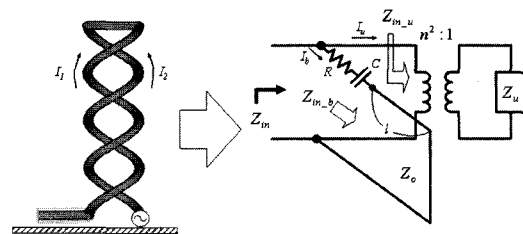


그림 5. 전체 모드의 등가 회로  
Fig. 5. Equivalent circuit in the total mode.

높은 리액턴스 값을 가진다. 단말기용 T-DMB 안테나로 사용하기 위해 높이를 10 cm 이하로 제한한다면 대부분의 안테나는 낮은 입력 임피던스와 높은 리액턴스 값을 가져 사용하기 어렵다. 일례로, 높이 10 cm의 모노폴 안테나의 경우 200 MHz에서 측정된 입력 임피던스는 약  $5.7 - j377 \Omega$ 으로 매우 낮은 입력 저항과 높은 리액턴스 값을 가져 T-DMB 안테나로 곧바로 사용하기 부적합하다. 제안한 안테나의 경우, 식 (5)에서 open stub에 유전 물질을 발라 입력 임피던스를 증가시킬 수 있고, open stub의 길이( $s$ )와 높이( $g$ )를 조절하여 리액턴스를 낮출 수 있다.

이를 설명하기 위해 open stub의 존재 유무에 따라 그리고  $X_c$ 값에 따른  $X_{in}$ 를 그림 6에 나타냈다. 그림에서 가로축은 안테나의 높이( $h$ )이다. 이때  $Z_{in,u}$ 는  $10 - j250 \Omega$ ,  $R$ 은  $0 \Omega$ 으로 두었다.  $Z_{in,u}$ 는 unbalanced 모드의 입력 임피던스이므로,  $R_{in,u}$ 는 높이 10 cm인 모노폴에 비해 높게 두었고,  $X_{in,u}$ 는 모노폴의 입력 리액턴스보다 낮게 두었다. 그림에서 open stub가 없는 경우( $X_c=0$ )일 때는  $X_{in}$ 이 0이 되는 지점은  $h$ 가 0일 때만 발생한다. Open stub가 존재할 때( $X_c \neq 0$ )는  $h$ 가 작더라도  $X_{in}$ 이 0인 지점이 나타난다. 그림에서부터  $X_c$ 가 작을수록 낮은 높이의 helix로  $X_{in}$ 를 0으로 만들 수 있음을 볼 수 있다. 즉, open stub를 휴대폰 몸체로 가까이 붙이거나 open stub의 길이를 증가시켜  $C$ 를 증가시킬수록 낮은  $h$ 로  $X_{in}$ 를 0으로 만들 수 있다.

그림 7에  $Z_{in,u}$ 이  $10 - j250 \Omega$ ,  $R$ 이  $50 \Omega$ ,  $X_c$ 가 150,

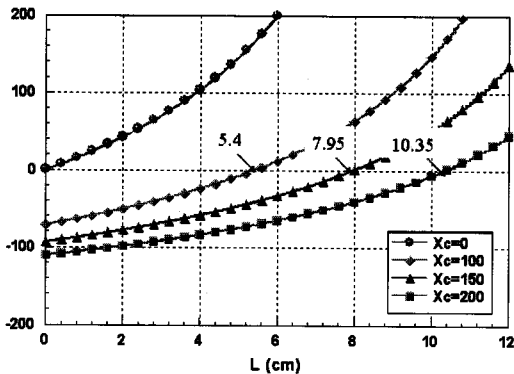


그림 6.  $X_c$ 에 따른 입력 리액턴스  
Fig. 6. Input reactance as function the antenna height ( $h$ ) with different  $X_c$ .

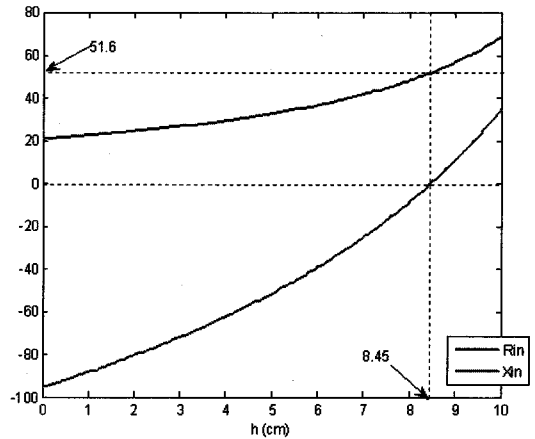


그림 7. Helix의 높이에 따른 입력 임피던스  
Fig. 7. Input impedance as function the helix height( $h$ ).

$Z_0$ 가  $433 \Omega$ 일 때 안테나의  $Z_{in}$ 을 나타냈다. 안테나의 높이가 8.45 cm일 때  $X_{in}$ 은 0이고  $R_{in}$ 은 51.6  $\Omega$ 이다. 이는 open stub에 유전 물질을 발라  $R$ 을 발생시켜, 입력 임피던스를 50  $\Omega$ 에 매칭시킬 수 있음을 의미한다.

### III. 제작 및 측정 결과

제안한 안테나의 성능을 검증하기 위해 다양한 설계 파라미터를 가지는 안테나를 제작하였으며, 제작한 안테나의  $S_{11}$ 과  $S_{21}$ 을 측정했다.  $S_{21}$ 은 높이 40 cm인 모노폴 안테나와 1.8 m의 간격을 두고 측정하였다. 이 때 사용된 모노폴 안테나의 대역폭은 180~210 MHz이다. 대표적인 몇 개의 안테나에 대한 파라미터 값과 측정된  $S_{11}$  및  $S_{21}$ 을 표 1에 요약했다.

표 1에서 case 1, case 2 그리고 case 3은 제안된 안테나이다. 세 경우 모두 피치 간격인  $p$ 를 10 mm로,  $d$ 는 10 mm로 두었다. Case 1과 case 2는 높이가 6 cm이고, case 3은 높이가 8 cm인 경우이다. Case 1은 유전 물질이 있을 때이고, case 2는 유전 물질이 없을 때이다. 유전 물질을 바른 case 1이 open stub의 길이 ( $s$ )가 짧더라도  $S_{11}$ 이  $-4.41$  dB로 case 2보다 더 우수하다. 이는 case 1의 유전 물질로 인해 식 (4)에서  $s$ 가 짧더라도 높은  $C$ 를 발생하고, 식 (2)에서의  $R$ 이 발생했기 때문이다. 하지만 case 1과 case 2 두 경우 모두 높이가 낮아  $R_{in,u}$ 이 작다. 이런 경우 비록 open stub를 조절하여  $X_{in}$ 을 0으로 만들 수는 있지만  $R_{in}$ 을 50  $\Omega$

표 1. 제작된 안테나의 특성

Table 1. Summary of the proposed antennas.

(mm)	Case 1	Case 2	Case 3	Ref 1	Ref 2
2a	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
p	10	10	10	모노폴	short
g	≈ 0	≈ 0	≈ 0		5
d	10	10	10	80	80
h	60	60	80	80	80
s	10	15	2	×	×
유전 물질	○	×	×	×	×
$S_{11}$ at 200 MHz (dB)	-4.41	-3.8	-11.7	-0.21	-0.1
$S_{21}$ at 200 MHz (dB)	-41.7	-41.9	-38.6	-55.3	-55.2

으로 매칭시킬 수 없다. 따라서  $S_{11}$  특성이 좋지 않게 관측된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 case 3에서 안테나의 높이를 8 cm로 증가시켰다. Open stub의 길이가 2 mm만 되어도 매칭이 잘 되어  $S_{11}$ 이 -11.7 dB로 우수하다. -10 dB 미만의 입력 임피던스 대역폭은 196~204 MHz(8 MHz)로 T-DMB 채널의 한 대역폭인 6 MHz를 만족한다.  $S_{11}$ 의 성능과 마찬가지로  $S_{21}$  측정 결과에서도 case 3이 -38.6 dB로 가장 우수한 성능을 보인다. 이는 Ref 1과 Ref 2의  $S_{21}$ 에 비해 약 17 dB 높은 값이다.

Ref 1은 높이가 8 cm인 모노폴 안테나이고, Ref 2는 d가 5 mm인 제안된 안테나의 open stub가 없는 two-wire helical 안테나이다<sup>[5]</sup>. 200 MHz에서 Ref 1과 Ref 2의  $S_{11}$ 은 거의 0 dB이고,  $S_{21}$ 은 -55 dB 이하이다. 이는 앞서 설명한 소형 안테나가 낮은 입력 임피던스와 높은 리액턴스 특성을 가지는 문제점을 잘 보여준다.

Case 1과 case 2가 case 3에 비해 상대적으로 우수하지 못한 것처럼 보이지만, Ref 1과 Ref 2의 성능과 비교했을 때에는 우수함을 알 수 있다.

그림 8과 그림 9에 표 1의 제작된 안테나의 주파수에 따른  $S_{11}$ 과  $S_{21}$ 의 분포를 각각 나타냈다. Case 3의 경우, 대역폭( $S_{11} \leq -10$  dB)는 196~204 MHz (8 MHz)이다.

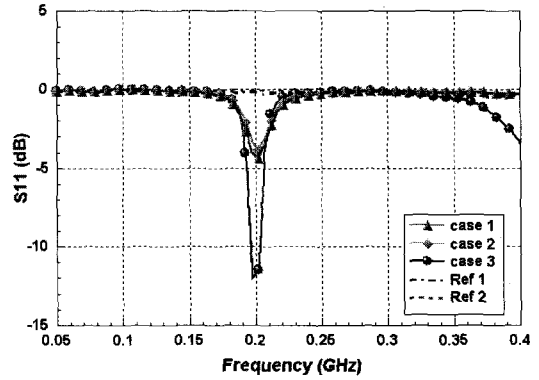


그림 8. 제작된 안테나의  $S_{11}$   
Fig. 8.  $S_{11}$  of the fabricated antennas.

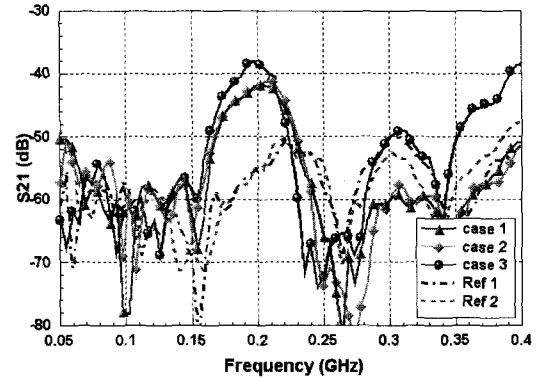


그림 9. 제작된 안테나의  $S_{21}$   
Fig. 9.  $S_{21}$  of the fabricated antennas.

제안한 안테나의 방사 패턴을 측정했으나, 측정 주파수 대역이 낮아 측정 cable의 영향을 많이 받고 사용한 chamfer의 열악한 환경으로 인해 측정 시마다 수 dB의 오차가 발생하여 측정된 방사 패턴 결과는 넣지 않았다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 open stub를 가지는 two-wire helical 안테나를 제안하였다. 제안한 안테나의 높이는 8 cm 이하로 200 MHz에 동작 가능하므로 단말기용 T-DMB 안테나로 사용될 수 있다. 안테나의 동작 원리를 unbalanced 모드와 balanced 모드로 분리하여 각 모드의 등가 회로를 이용하여 설명하였다. 제안된 안테나의 open stub를 조절하여 소형 안테나가 가지고 있는 원천적인 문제점인 낮은 입력 임피던스와

높은 리액턴스를 조절할 수 있음을 보였다. 다양한 안테나를 제작하였으며, 200 MHz에서 동일한 높이의 모노폴 안테나와 일반적인 two-wire helical 안테나에 비해 우수한 성능을 보임을 보였다. 제작된 안테나 중 하나는 T-DMB 한 채널의 대역폭을 만족하며, 동일한 높이의 모노폴 혹은 two-wire helical 안테나에 비해  $S_{21}$ 이 약 17 dB 이상 높았다.

제안한 안테나의 제작 상의 어려움으로 인해 피치 간격이 10 mm인 안테나만 제작하였는데, 만일 피치 간격을 좀 더 조밀하게 제작한다면 helix의 turn 수가 증가되는 것이므로 식 (1)에 의해 안테나의 입력 임피던스가 증가하여 더 우수한 성능을 나타내는 안테나를 얻을 수 있을 것이다.

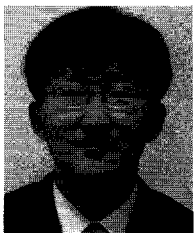
### 참 고 문 헌

[1] Warren L. Stutzman, Gary A. Thiele, *Antenna Theo-*

*ry and Design*, Wiley, pp. 82-83, 1998.

- [2] J. H. Jung, I. Park, "Electromagnetically coupled small broadband monopole antenna", *IEEE Antennas Wireless Propagat. Lett.*, vol. 2, pp. 349-351, 2003.
- [3] J. A. Dobbins, R. L. Rogers, "Folded conical helix antenna", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 49, pp. 1777-1781, Dec. 2001.
- [4] H. D. Foltz, J. S. McLean, and G. Crook, "Disk-loaded monopoles with parallel strip elements", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 46, pp. 1894-1896, Dec. 1998.
- [5] K. Noguchi, S. Betsudan, T. Katagi, and M. Mizusawa, "A compact broad-band helical antenna with two-wire helix", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 51, pp. 2176-2181, Sep. 2003.

### 이 동 현



2003년 2월: 아주대학교 전자공학부 (공학사)  
 2003년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 석·박사 통합과정  
 2006년 12월~2007년 12월: Visiting Scholar, Wireless Communications

Research Group (WiCR), Loughborough University (UK)

[주 관심분야] 안테나 이득 향상을 위한 주기구조 설계 및 해석, Metamaterial 소형 안테나, 마이크로스트립 안테나 설계 및 해석, T-DMB 안테나, UWB 안테나, RFID 리더 및 태그 안테나

### 박 세 현

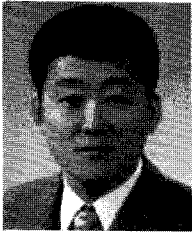


2000년 2월: 한국해양대학교 전과 공학과 (공학석사)  
 2003년 9월: 동경공업대학 전기전자공학 전공 (공학박사)  
 2003년 10월~2004년 8월: 동경공업대학 Post Doctor  
 2004년 9월~현재: 삼성종합기술원

전문연구원

[주 관심분야] Waveguide Slot Array Antenna, Millimeter Wave Antenna, Computational Electromagnetic Analysis, Small Antenna Design, MIMO Antenna Design

### 김 영 일



1989년 2월: 충남대학교 물리학과  
(이학사)

1991년 2월: 충남대학교 물리학과  
(이학석사)

1991년 2월~1996년 9월: 경북대학  
교 센서기술연구센터 선임연구원

1996년 10월~2001년 2월: 삼성전

자(주) 중앙연구소 책임연구원

2001년 2월~현재: 삼성종합기술원 전문연구원

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, RFID, UWB 등

### 박 위 상



1974년 2월: 서울대학교 전자공학  
과 (공학사)

1982년 6월: University of Wisconsin  
Madison 전자공학과 (공학석사)

1986년 8월: University of Wisconsin  
Madison 전자공학과 (공학박사)

1976년 7월~1978년 11월: 삼성전

자공업주식회사

1984년 1월~1986년 8월: University of Wisconsin-Madison,  
TA 및 RA

1986년 8월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 교수  
[주 관심분야] Design of Microstrip Antennas, Full-Wave

Analysis of Microstrip Structures, Design of Passive Microstrip Devices by Network Modeling, Measurement and Simulation of EMI/EMC for Cellular Phones