

## 독립적인 이중 공진 모드 합성을 이용한 광대역 SDR 무전기 안테나 설계

유병길<sup>\*1)</sup> · 동문호<sup>2)</sup> · 조지행<sup>2)</sup> · 한성우<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 삼성탈레스 통신시스템그룹

<sup>2)</sup> 국방과학연구소 제2기술연구본부

### A Wide Band Antenna Design using the Synthesis of Independent Dual Resonance Modes for Manpack SDR(Software Defined Radio)

Byunggil Yu<sup>\*1)</sup> · Moo-Ho Dong<sup>2)</sup> · Ji-Haeng Cho<sup>2)</sup> · Sung-Woo Han<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> *Communication System Group, Samsung Thales, Korea*

<sup>2)</sup> *The 2nd Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea*

(Received 7 November 2013 / Revised 7 January 2014 / Accepted 17 January 2014)

#### ABSTRACT

In this paper, we have proposed a wide band antenna for manpack SDR(Software Defined Radio). The proposed antenna consists of feeding post, flexible gooseneck and two radiating elements composed of a upper and lower radiators. The upper radiator has a longer electrical length than the lower radiator in order to operate in the lower frequency. Also, the resonant frequency and impedance characteristics of the antenna can be adjusted independently for two radiators. Therefore, the proposed antenna can be achieved wide impedance bandwidth by the combination of two independent resonance modes. To analyze the characteristics of the antenna in the design process is employed the equivalent circuit theory and EM(Electro-Magnetic) simulation. The measurement results show that the proposed antenna have the sufficient wide bandwidth, above -3.4dBi of the gain and fairly good radiation pattern over the wide bandwidth.

Key Words : SDR(Software Defined Radio), Wide Band Antenna(광대역 안테나), the Synthesis of Dual Resonance Modes(이중 공진 모드 합성)

#### 1. 서론

최근 군 전술통신 휴대단말 무전기는 음성 뿐만 아니라 고속 데이터 통신이 가능한 수준으로 발전을 하고 있으며, 다대역 및 다채널 특성을 갖고 있어 다양한 임무 목적에 따른 다수의 무전기 운용에서 탈피가 가능하게 되었다. 이러한 장점들을 갖는 대표적인 무

\* Corresponding author, E-mail: ybg\_77@naver.com  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

전기는 광대역 SDR(Software Defined Radio) 무전기로 다기능의 무선 시스템 구현이 가능하다. 하지만, 이러한 통신장비의 효율성을 극대화 하기 위해서는 하나의 안테나로 다채널 특성을 지원하는 광대역특성의 안테나가 반드시 필요하다. 또한 안테나는 무선링크 성능에 가장 큰 영향을 미치기 때문에 높은 이득과 전방향성 방사패턴 특성을 가져야 한다<sup>[1]</sup>.

기존의 휴대단말 무전기 안테나들은 휩(Whip) 구조의 모노폴(Monopole) 또는 다이폴(Dipole) 방사체를 갖는다. 모노폴 방사체는 1/4파장에서 공진하므로 다이폴 구조에 비해 약 50% 소형화를 할 수 있는 장점이 있지만, 접지면에 의한 성능 변화가 크다는 단점을 가지고 있다. 다이폴 방사체는 모노폴에 비해 접지면에 비교적 둔감한 특성의 장점을 가지고 있지만 모노폴에 비해 상대적으로 안테나의 크기가 커지는 단점을 가지고 있다. 한편 모노폴과 다이폴 방사체는 모두 협대역 특성을 가지고 있기 때문에 다대역 및 다채널 특성을 지원하기 위해서는 광대역화 설계가 필요하다.

기존의 대역폭 개선 및 광대역화 기법은 일반적으로 L-C 정합회로<sup>[2]</sup> 및 페라이트 코어<sup>[3]</sup>를 이용한 설계가 주로 이용되었다. L-C 정합회로는 인덕터와 캐패시터 소자의 직/병렬 회로를 적용한 방법이다. 하지만 이 방법은 임피던스의 리액티브(Reactive) 성분의 증가를 초래하여 안테나의 방사 손실 증가시키며, 임피던스 정합이 되어도 방사체의 비 공진 영역에서는 급격한 이득 감소를 초래한다. 또한 광대역 특성을 얻기 위해서는 정합단의 단수가 증가해야 하기 때문에 무게 및 부피가 증가하는 단점을 가지고 있다. 페라이트 코어(Ferrite core)를 이용한 설계 방법은 입력과 출력의 코일 턴수(Turn number) 비율을 조절하여 임피던스 정합 및 대역폭의 개선을 달성할 수 있다. 하지만, 페라이트 코어의 자체 손실에 의한 안테나 이득 저하와 사용 주파수 대역이 매우 한정적이다. 최근에는 500MHz 대역까지 사용할 수 있는 페라이트 코어가 개발되어 있지만 주파수가 높아질수록 높은 손실과 낮은 투자율 특성 때문에 적용이 매우 어렵다<sup>[4]</sup>.

본 논문에서는 이러한 단점들을 극복할 수 있는 광대역 안테나와 광대역화를 쉽게 설계 할 수 있는 독립적인 방사체 공진 모드 조절 방법을 제안하였다. 독립적인 방사체 공진 모드 특성은 등가회로 이론과 EM 시뮬레이션 분석을 통해 검증하였으며, 실제 제작 및 측정을 통하여 성능을 확인하였다.

## 2. 제안된 안테나 구조

Fig. 1은 제안된 안테나의 전체 형상을 나타낸다. 안테나의 전체 구성은 광대역 SDR 무전기와 연결될 수 있는 RF 커넥터와 이동 시 장애물에 의한 충격 완화를 위해 휘어질 수 있는 거위목, 안테나의 방사 역할을 하는 상단 및 하단 방사체로 구성된다. 안테나 전체 길이는  $0.64\lambda_0$  이다. ' $\lambda_0$ '은 동작주파수 내의 중심주파수에 대한 파장(Wavelength)을 나타낸다. Table 1은 안테나 세부 구조의 설계 파라미터 크기 값을 나타낸다.

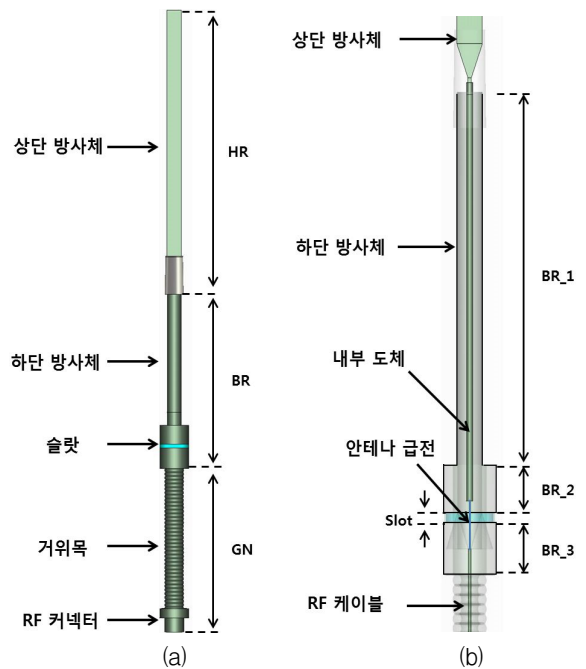


Fig. 1. Geometry of the proposed antenna (a) Overview (b) Inside composition of bottom radiator

거위목은 내부에 RF 커넥터와 연결된 50[Ω] 특성 임피던스의 케이블이 삽입되어 있으며, 이것은 하단 방사체의 내부도체와 연결된다. 하단 방사체는 원통형으로 내부 및 외부 도체로 구성되며, 내부 도체는 거위목 내부의 RF 케이블과 상단방사체의 연결부 역할을 한다. 내부 도체와 외부도체 사이에는 PE 재질(유전율 $\approx 2.1$ )로 채워져 있다. 따라서 내부 도체와 외부 도체는 전기적으로 개방(Open)되어 있다.

Table 1. Design parameter of proposed antenna

파라미터	크기(λ)
HR	0.304λ <sub>0</sub>
BR	0.186λ <sub>0</sub>
GN	0.175λ <sub>0</sub>
BR_1	0.155λ <sub>0</sub>
BR_2	0.02λ <sub>0</sub>
BR_3	0.022λ <sub>0</sub>
Slot	0.005λ <sub>0</sub>

### 3. 제안된 안테나 분석

#### 3.1 등가회로 도출 및 분석

Fig. 2는 제안된 안테나의 등가회로이다. 상단 방사체는 병렬 공진 회로, 하단 방사체는 직렬 공진 회로로 구성된다. 전기적인 길이가 긴 상단방사체는 저주파수대역에서 공진하고, 하단 방사체는 고주파수 대역에서 공진한다. 각각은 전기적으로 직접 연결되어 있지 않은 구조를 가지며, 슬롯(Slot)을 통한 상호 인덕턴스 M에 의해 전자계 에너지 결합도를 갖는다.

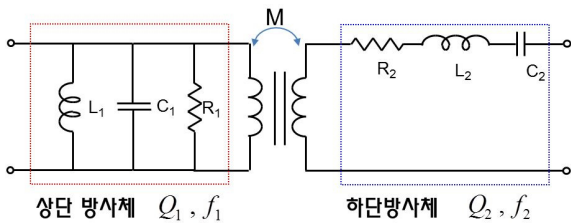


Fig. 2. Equivalent circuit of radiator

Fig. 2의 등가회로는 병렬과 직렬의 공진 회로가 상호 인덕턴스에 의해 결합된 구성으로 입력 임피던스를 계산하면 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_{in} = \frac{1}{j\omega L_1} + j\omega C_1 + \frac{1}{R_1} + \frac{(\omega M)^2}{j\omega L_2 + \frac{1}{j\omega C_2} + R_2} \quad (1)$$

이때 등가회로의 Q(Quality factor) 값은 식 (2)와 같다.

$$Q_1 = \frac{R_1}{\omega L_1}, \quad Q_2 = \frac{1}{\omega R_2 C_2} \quad (2)$$

식 (2)을 (1)에 대입하여 정리하면 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_{in} = \frac{1}{R_1} \left[ 1 + jQ_1 \left( \frac{\omega^2 - \omega_1^2}{\omega_1^2} \right) \right] + \frac{(\omega M)^2}{R_2 \left[ 1 + jQ_2 \left( \frac{\omega^2 - \omega_2^2}{\omega_2^2} \right) \right]} \quad (3)$$

식 (3)에서 각 방사체의 공진 주파수는 저주파수와 고주파수의 두 대역으로 구분될 수 있다. 각 대역 공진 시 저주파수에서는 각주파수(ω)와 저항성분은 식 (4)와 같이 되고 고주파수에서는 식 (5)와 같이 된다.

$$\omega = \omega_1, \quad R_2 \approx 0, \quad M \approx 0 \quad (4)$$

$$\omega = \omega_2, \quad R_1 \approx 0 \quad (5)$$

Fig. 2의 저항 R은 방사체의 방사 저항과 같다. 따라서 R<sub>1</sub>은 상단 방사체의 방사저항, R<sub>2</sub>는 하단 방사체의 방사 저항이 된다. 식 (4)의 의미는 상단 방사체 공진 주파수에서 하단 방사체는 공진 하지 않기 때문에 방사저항은 거의 0이 된다. 또한 하단 방사체는 상단 방사체에 비해 전기적 길이가 작기 때문에 상단 방사체 공진 시 상호 인덕턴스는 무시 할 수 있다. 식 (5)는 반대로 하단 방사체의 공진 주파수에서 상단 방사체의 방사 저항이 거의 0, 상호 인덕턴스는 상단 방사체가 하단 방사체에 비해 전기적 길이가 길기 때문에 무시할 수 없다.

식 (4)와 (5)를 식 (3)에 각각 대입하여 정리하면 저주파수 대역에서의 임피던스는 식 (6), 고주파수대역에서의 입력임피던스는 식 (7)과 같이 정리될 수 있다.

$$Z_{in1} \approx R + jX = \frac{1}{R_1} \quad (6)$$

$$Z_{in2} \approx R + jX = \frac{(\omega_2 M)^2}{R_2} \quad (7)$$

식 (6)의 결과는 저주파수 대역 공진 시 오직  $R_1$ 에 의해서만 임피던스가 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 이것은 하단 방사체에 의해 상단 방사체의 임피던스 영향이 없음을 의미한다.

식 (7)의 결과는 고주파수 대역 공진 시 단지 상호 인덕턴스 M에 의해 하단 방사체 임피던스가 영향 받는다는 것을 알 수 있다. 그러므로 각 주파수에 대한 임피던스 특성은 분리하여 독립적으로 조절할 수 있음을 확인 할 수 있다.

### 3.2 EM 시뮬레이션 분석

등가회로 및 각 수식에서 증명한 내용을 검증하고 각각의 공진특성이 독립적으로 조절이 가능함을 증명하기 위해 EM 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션은 고주파수 특성에 영향을 줄 수 있는 설계 파라미터를 변화시키면서 저주파수와의 상호 영향성을 확인하였다. 특성 파라미터는 임피던스의 실수(Real) 및 허수(Imaginary)성분과 반사손실(Return loss)의 변화를 확인하였다.

Fig. 3은 설계 파라미터 slot의 위치 변화에 대한 시뮬레이션 결과이다. 단, slot의 크기는 변화시키지 않았다. 제안된 안테나는 slot을 통해 상호 인덕턴스 M에 의해 영향을 받기 때문에 slot의 위치 변화는 상호 인덕턴스 M의 크기 값을 변화시킴을 의미한다. slot의 위치변화는 Fig. 1의 설계 파라미터 BR\_2와 BR\_3의 크기 변화와 같고 각  $0.01\lambda_0$ 의 크기만큼 변화시켰다. slot의 위치가 위로 올라갈수록 BR\_3의 크기는 커진다.

Fig. 3의 결과를 통해 제안된 안테나는 저주파수 대역은 거의 변화가 없고, 고주파수 대역에서만 실수 성분의 변화가 일어남을 확인할 수 있다. 이러한 실수 성분의 변화는 결과적으로 고주파수 대역의 공진주파수 변화보다는 반사손실의 변화만을 일으킨다. 반사손실의 결과는 Fig. 3 (c)를 통해 확인할 수 있다.

Fig. 4는 하단 방사체 길이 변화에 대한 시뮬레이션 결과 이다. 하단 방사체 길이 변화는 하단 방사체 등가공진회로의 인덕턴스 변화를 의미하며, 이것은 하단 방사체의 공진주파수가 변화 될 수 있음을 확인할 수 있다. 하단 방사체의 크기 변화 파라미터는 BR\_1이며  $0.1 \sim 0.15\lambda_0$ 까지 변화 시키면서 시뮬레이션 하였다.

Fig. 4의 결과를 통해 제안된 안테나는 하단 방사체의 크기를 변화시켜도 저주파 대역에는 거의 영향을 주지 않고 고주파 대역의 자체 공진 주파수만이 변화

될 수 있음을 알 수 있다.

그러므로 제안된 안테나는 Fig. 3과 4에서 알 수 있듯이 고주파수 대역은 저주파수 대역과 분리하여 독립적으로 조절할 수 있어 광대역 안테나를 매우 쉽게 설계할 수 있다.

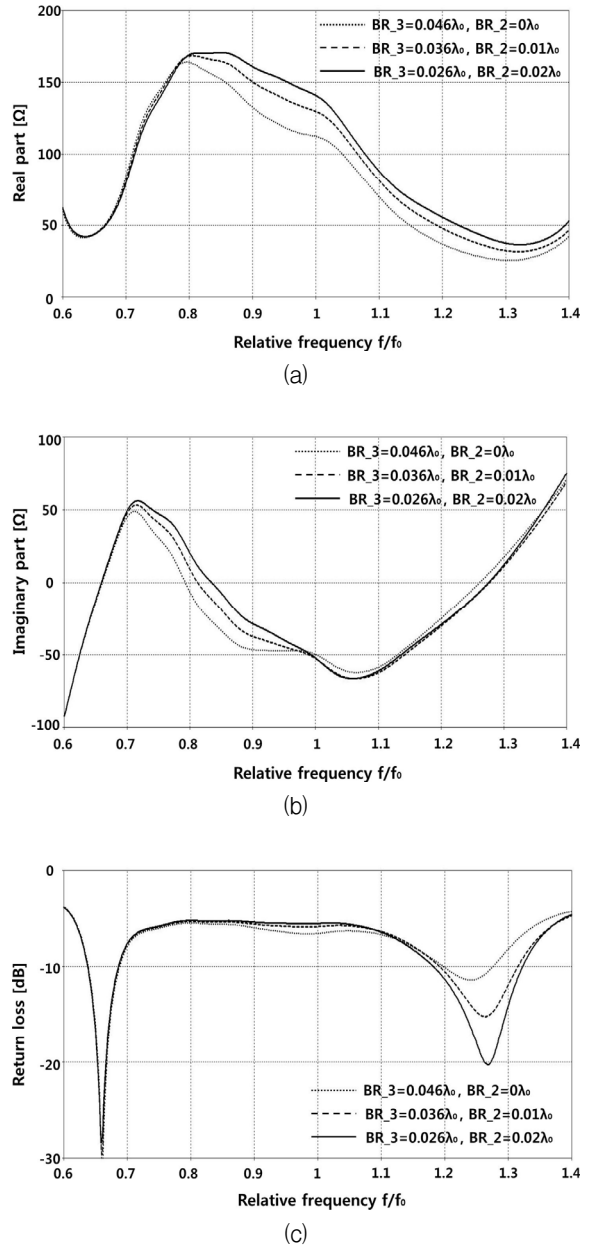
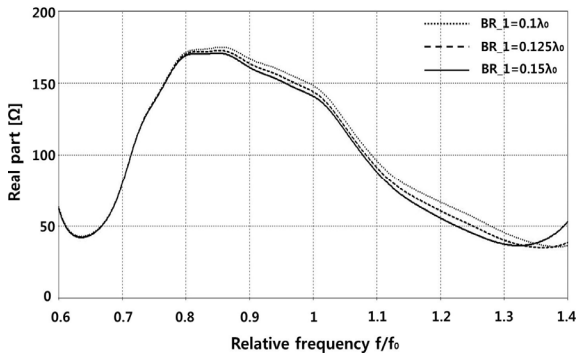
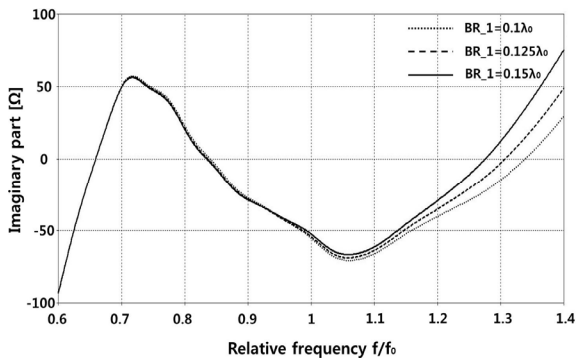


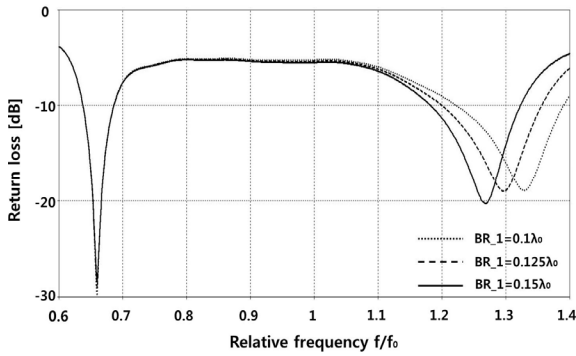
Fig. 3. Return loss properties of parameter variation (a) Real part (b) Imaginary part (c) Return loss



(a)



(b)



(c)

Fig. 4. Properties of size variation of bottom radiator  
(a) Real part (b) Imaginary part (c) Return loss

#### 4. 제작 및 측정

Fig. 5는 제안된 안테나의 사진이다. 거위목은 Fig. 5와 같이 구부릴 수 있으며, 상단 방사체는 접이가 가

능하다. 따라서 이동 시 장애물에 의한 충격을 완화시켜 전술 운용의 효율성을 증가시킬 수 있다.

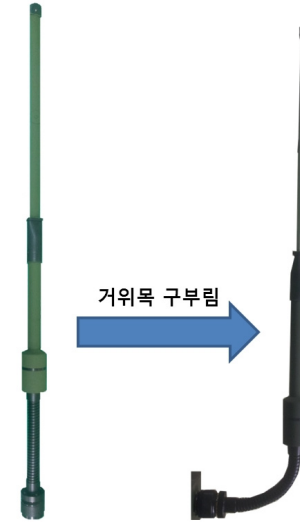


Fig. 5. Manufactured antenna

측정은 휴대단말 크기와 유사한 접지면(크기 : 가로×세로×높이 =  $0.09\lambda_0 \times 0.24\lambda_0 \times 0.26\lambda_0$ )에 장착하여 성능을 측정하였다. 측정은 정재파비, 이득, 방사패턴을 측정하였다. Fig. 6은 측정된 정재파비(VSWR)를 나타낸다. 정재파비는 3.5:1 이하를 기준으로 대역폭은 약 130% 이상의 광대역 특성을 나타내었다.

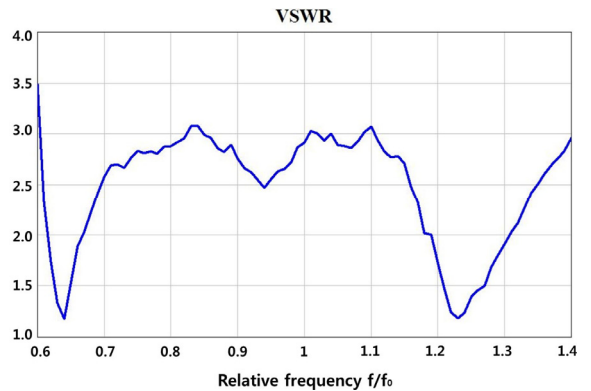


Fig. 6. Measured VSWR

Fig. 7은 측정된 안테나 이득을 나타낸다. 동작주파수 내에서 최소 -3.4dBi 최대 4dBi 이상의 이득 성능을 나타내었다.

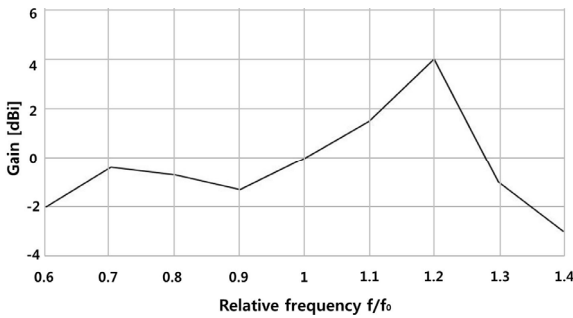


Fig. 7. Measured antenna gain

Fig. 8은 측정된 방사패턴을 나타낸다. 방사패턴은 수직, 수평 패턴을 측정하였다. 동작 주파수 전 대역에서 전방향성 특성을 나타냄을 확인할 수 있다. 특히 주파수에 변화에 대한 방사패턴 특성변화가 크지 않다. 기존의 안테나들은 고차모드에서 널(null)점이 증가하여 방사패턴의 왜곡 현상이 매우 큰 것과 비교됨을 확인할 수 있다. 따라서 제안된 안테나는 실제 군전술 운용 시 안정적인 통신 영역을 제공할 수 있는 장점을 가진다.

### 5. 결론

본 논문에서는 L-C 정합회로 및 페라이트 발륜을 이용한 기존의 광대역화 기법과 다르게 방사체 구조를 이용한 광대역 특성의 안테나를 제안하였다. 제안된 방사체는 상단과 하단 방사체로 구분되며, 각각 다른 주파수에서 공진하는 직렬과 병렬 공진 회로 특성을 갖도록 설계 되어 있다. 또한 각 방사체간의 상호 영향성이 매우 작도록 설계되어 방사체의 공진 모드를 독립적으로 조절할 수 있도록 하였다. 그러므로 본 논문에서 제안된 설계 방법은 공진 주파수 및 임피던스 특성을 독립적으로 조절이 가능하기 때문에 광대역 안테나 설계를 매우 쉽게 할 수 있다. 설계 방법 검증은 등가회로 이론 분석과 EM 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 제안된 안테나는 실제 제작 및 측정을 통해 성능을 확인하였고, 측정된 이득은 최소 -3.4dBi 이상, 대역폭은 130% 이상의 결과를 얻었다. 또한 동작 주파수 전 대역에서 균일한 방사패턴 성능을 가지고 있어 안정적인 통신영역을 확보 할 수 있는 장점을 가지고 있다.

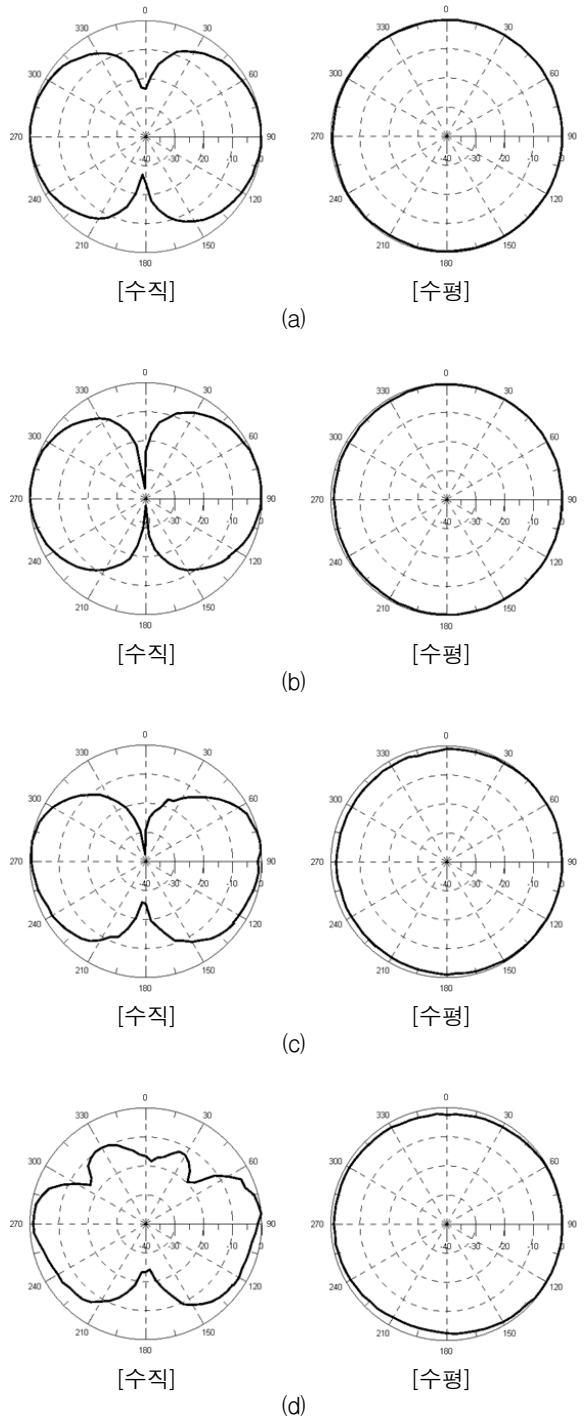


Fig. 8. Measured radiation pattern : (a) Relative frequency : 0.6 (b) Relative frequency : 0.9 (c) Relative frequency : 1.1 (d) Relative frequency : 1.4

## References

- [1] R. W. P. King, The Theory of Linear Antenna, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1956.
- [2] Y. Li, Z. Zhang, W. Chen, Z. Feng, "A Switchable Matching Circuit for Compact Wideband Antenna Designs," IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. 58, pp. 3450-3457, 2010. 11.
- [3] T. R. O'Meara, R. L. Sydnor, "A Very-Wide-Band Balun Transformer for VHF and UHF," Proc. IRE, Vol. 46, pp. 1848-1860, 1958. 11
- [4] H. Mosallaei, K. Sarabandi, "Magneto-dielectrics in Electromagnetics: Concept and Applications," IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. 52, pp. 1558-1567, 2004. 6.