

초광대역(UWB) 통신을 위한 포물선 엣지 형태의 평면 모노폴 안테나에 대한 연구

A Study on Parabolic Edge Planar Monopole Antenna for UWB Communication

장 대 순 · 허 정

Tae-Soon Chang · Jung Hur

요 약

본 논문은 UWB 통신을 위한 포물선 엣지(edge) 형태의 평면 모노폴 안테나에 대한 것이다. 평면 모노폴과 그라운드의 엣지를 포물선 구조로 하여 구조적으로 광대역 속성을 갖도록 하였다. 모노폴과 그라운드 엣지의 곡률을 변화시키면서 자기 상보(self-complementary) 구조에 가깝도록 설계하였다. 안테나는 모노폴과 그라운드가 동일 평면상에 존재하며, 동축 케이블 급전을 하였다. 유전 상수가 4.4인 FR4 유전체 기판을 사용하였고, 그 크기는 $26 \times 31 \times 1.6$ mm이다. 3.1~10.6 GHz에서 10 dB 이상의 반사 손실을 얻을 수 있었다. 복사 패턴은 모든 주파수에서 디폴 안테나의 복사 패턴과 비슷한 결과를 보이고 있으며, 측정한 결과에서 E-plane의 경우 최대 이득은 1.37~6.02 dBi의 값을 갖는다.

Abstract

In this paper, parabolic edge planar monopole antenna for UWB communication is presented. The antenna have broadband property structurally through planar monopole and ground which have parabolic edge. It is designed close to self-complementary structure as changing curvature of edge of monopole and ground. Monopole and ground of proposed antenna exist on coplanar plane, and excite as coaxial feeding. It used FR4 dielectric substrate of $\epsilon_r=4.4$, and the size is $26 \times 31 \times 1.6$ mm. Return loss is more than 10 dB in 3.1~10.6 GHz. Radiation pattern is about the same that of dipole antenna at all frequency. At measured result, max gain is 1.37~6.02 dBi at E-plane.

Key words : UWB Antenna, Parabolic Edge, Monopole Antenna

I. 서 론

UWB 통신용 소형 안테나 연구 결과가 많이 발표되고 있다. Johnna Powell^[1]은 모노폴과 그라운드가 모두 타원 형태를 가지는 안테나를 발표한 바 있다. 모노폴과 그라운드가 동일면에 존재하며, 모노폴 가운데에 타원형 slot load를 위치시켜 성능 비교를 하였다. 또한, single ended 형태뿐 아니라 differential ended 형태로도 변형하여 안테나 성능을 개선하였

다. Nikolay Telzhensky^[2]는 Johnna Powell이 제안한 안테나를 토대로 differential ended 형태의 안테나를 최적화시켰다. 이는 GA(Genetic Algorithm) 과정을 사용하여 여러 파라미터 조합을 변화시켜 안테나 구조의 최적화를 시도한 것이다. 최근에는 partial ground plane과 프랙탈 개념을 사용한 트리 구조의 안테나^[3], 변형된 슬롯 구조를 가지는 보우타이 안테나^[4], 1/4 파장 공진을 하는 open slot 구조를 가지는 안테나^[5], pellet 모양의 평면 모노폴 안테나^[6] 등이 제안

건국대학교 전자정보통신공학과(Department of Electronics, Information & Communication Engineering, Konkuk University)

· 논문 번호 : 20080313-031

· 수정완료일자 : 2008년 6월 11일

되었다. 본 연구는 포물선 모양의 가장자리를 갖는 평면 모노폴 안테나가 UWB 통신용으로 이용될 수 있는지를 분석해 본 것이다. 그라운드를 구성하고 있는 도체의 엣지와 모노폴의 엣지를 다양한 곡률의 포물선을 구성하여 자기 상보 구조 조건에 가깝도록 고안한 구조이다. 안테나의 크기는 26×31 mm로 정하였다. 기본 파라미터는 그라운드와 모노폴에서 적용된 두 개 포물선의 곡률, 그라운드와 모노폴 간의 gap이며, 이 파라미터를 변화시켜면서 안테나의 특성을 관찰하였다. 또한, 매칭 스텝을 사용하여 안테나의 임피던스를 쉽게 조절하고 정합시키고자 한다^[7]. 안테나 시뮬레이션을 위해 컴퓨터 시뮬레이션 소프트웨어인 HFSS를 사용하였다.

II. 안테나 구조 및 설계

기본 안테나의 구조는 평면형 모노폴 형태이다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 그라운드 도체와 모노폴 도체가 동일면에 존재하면서, 그라운드 부분에서 모노폴 복사체 사이로 슬롯이 형성된다. 일반적으로 안테나의 도체면과 슬롯이 각도로써 표현되는 기하학적 구조를 가질 때 자기 상보 구조로서 광대역 특성을 가지게 된다. 본 안테나에서 볼 수 있듯이 슬롯의 폭이 점진적으로 커지면서 두 포물선 간의 각도도 동시에 조금씩 커지는 형태를 볼 수 있다. 도체면과 슬롯의 엣지는 각각 식 (1), (2)와 같은 포물선 방정식으로 표현되었고, 이차항의 계수를 변화시켜 가며 각도를 조절하게 하였다. 각도가 커지므로 점점 더 넓어지는 대역폭에서 입력 임피던스의 실수 부분이 주파수의 변화에 대해서 덜 민감해지고 이를 통해 광대역 안테나의 특성을 얻을 수 있다.

그림 1은 제안된 포물선 형태의 그라운드와 모노폴 구성을 나타내고 있다. 그라운드는 포물선 A로 정하고 아래 식 (1)과 같이 변하도록 설계하였고, 마찬가지로 모노폴은 포물선 B로 표현하고, 식 (2)의 포물선 표현식을 통해서 구현하였다.

$$Y_A = a_A X_A^2 \quad (1)$$

$$Y_B = a_B X_B^2 + g \quad (2)$$

여기서, 계수인 a_A 와 a_B 는 포물선의 곡률을 변화시키는 파라미터로서 안테나의 전기적 특성을 변화시킬

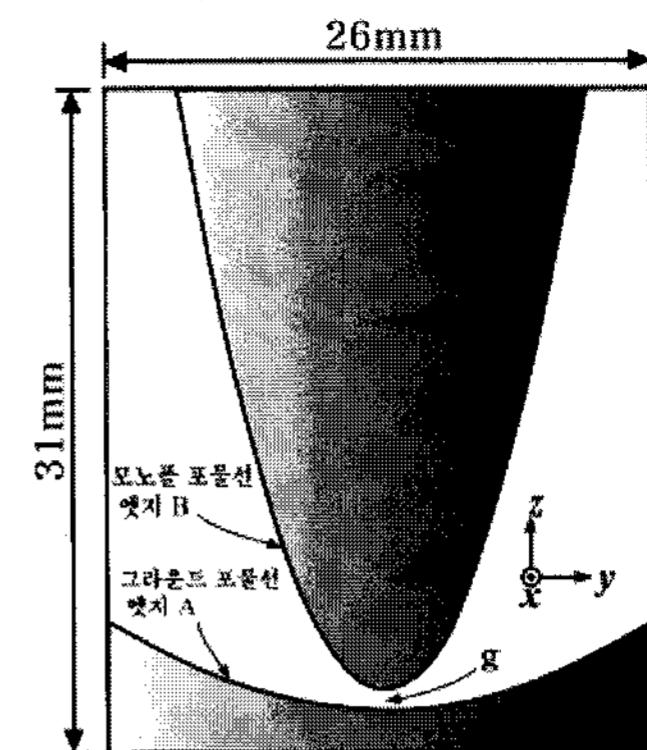


그림 1. 기준 안테나 구조

Fig. 1. Geometry of the reference antenna.

수 있다. 식 (2)에 있는 g 는 그라운드와 모노폴 간의 gap을 의미한다. 그라운드 포물선의 끝점과 그라운드 밑면과의 간격은 2 mm로 하였다. 안테나의 폭은 26 mm, 길이는 31 mm로 고정시켰다. 기판은 유전 상수가 4.4인 FR4를 사용하였고 두께는 1.6 mm이다. 금전은 동축 케이블로 하였다. 내부 도체는 모노폴 도체면에, 외부 도체는 그라운드 도체면에 연결하여 금전하였다. 동축 케이블은 semi-rigid 타입이고, 내부 도체 지름이 0.51 mm, 외부 도체 지름이 2.2 mm, 가운데 유전체가 테플론이다. 동축 케이블의 길이는 8 mm로 유지하여 적용하였다.

III. 파라미터 변화에 대한 안테나의 특성 변화

표 1에서 안테나의 특성 변화에 관여하는 파라미터를 나타내었다. a_A 는 그라운드 엣지의 포물선 표현식의 계수로서 0에서 0.2까지 변화시켰다. a_B 는 모노폴 엣지의 포물선 표현식의 계수로서 0.05~1.1까지 변화시켰다. 계수가 커질수록 모노폴 도체의 단면적이 작아지며 그라운드 엣지와의 거리가 멀어짐

표 1. 안테나 파라미터

Table 1. Parameter of the antenna.

변수	내용	크기
a_A	그라운드 엣지의 포물선 표현식의 계수	0~0.2
a_B	모노폴 엣지의 포물선 표현식의 계수	0.05~1.1
g	모노폴과 그라운드 간의 gap	0.1~2 mm

으로 인해 안테나의 특성을 변화시킨다. g 는 모노폴과 그라운드 간의 gap을 의미하며, 0.1에서 2 mm까지 변화시키면서 안테나의 특성 변화를 관찰하였다.

3-1 그라운드 엣지의 곡률 변화

그림 2는 그라운드 엣지의 곡률을 변화시키며 반사 손실 특성을 관찰한 결과이다. 모든 경우의 수에 대한 시뮬레이션 결과에서 모노폴 엣지의 곡률 변수인 a_B 가 0.3, g 가 0.5 mm일 때 반사 손실 특성이 최적화되었다. 따라서 계수 a_B 는 0.3, g 는 0.5 mm일 때 a_A 에 대한 특성 변화를 살펴본 것이다. a_A 를 0~0.2로 증가시켜 가며 결과를 분석하였다. 여기서 계수가 0인 경우는 엣지가 포물선이 아닌 x축과 수평한 선분이 된다. 계수가 0, 0.01, 0.025, 0.035인 경우에는 공진 주파수나 반사 손실의 크기 변화 폭이 작은 것을 볼 수 있다. 0.05, 0.06, 0.075, 0.1로 변하면서 상반부 주파수 대역이 오른쪽으로 이동하는 경향을 보였다. 이는 계수가 커지면서 그라운드 도체의 엣지가 모노폴 도체의 엣지와 가까워지면서 두 도체 간에 이루는 각도가 점점 좁아지기 때문이라 사료된다. 계수가 0.2가 되면서 그라운드 도체와 모노폴 도체와의 간격이 매우 좁아지게 될 때 10 dB 이상의 반사 손실값을 얻을 수 없었다. 그림 3은 10 dB 대역폭을 표현한 그래프이다. 막대그래프는 반사 손실이 10 dB 이상인 주파수의 분포를 나타내며, 선그래프는 UWB 대역 내에서 반사 손실이 10 dB 이상인 주파수의 대역폭을 보여주고 있다. 선그래프를 통해서 볼 때 계수가 0~0.035일 경우에는 대역폭이 비슷한 값을 유

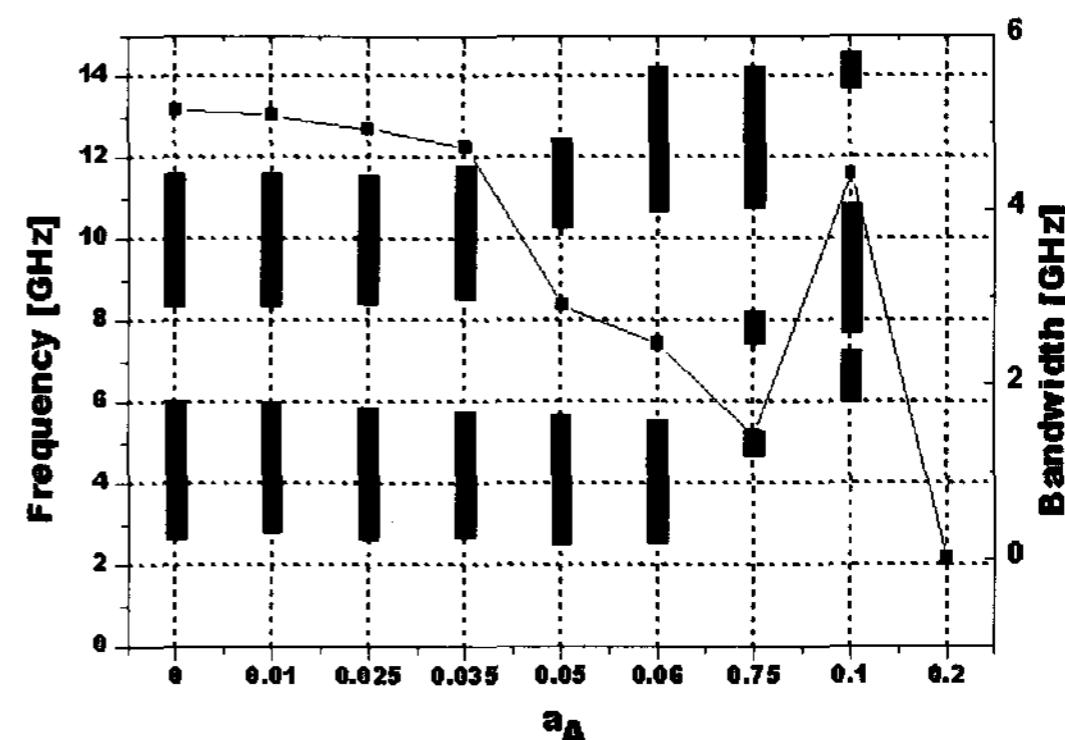


그림 3. a_A 의 변화에 따른 10 dB 안테나 대역폭(막대그래프: 10 dB 대역 주파수 분포, 선그래프: 10 dB 대역폭)

Fig. 3. 10 dB bandwidth of the antenna for various a_A (Bar graph: 10 dB bandwidth frequency distribution, line graph: 10 dB bandwidth).

지하고 있고, 0.1인 경우에는 중반부 주파수 대역에서 공진이 잘 일어나는 것을 확인할 수 있다. 계수가 0.2 이상으로 커지게 되면 모노폴 엣지와 근접하게 그라운드 도체가 형성되어 반사 손실 특성을 불안정하게 하는 것을 확인할 수 있다. 그림 4는 a_B 가 0.7일 때 a_A 의 변화에 대한 반사 손실의 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 모노폴 엣지의 곡률이 커지면서 전체적으로 그라운드 도체와 모노폴 도체 사이의 간격이 넓어지게 된다. 전반적으로 a_B 가 0.3일 때와 공진되는 주파수 영역이 비슷한 것을 확인할 수 있고, 하반부 주파수 대역보다 상반부 주파수 대역에서 임피던스 매칭이 잘 이루어지는 것을 확인할 수 있다.

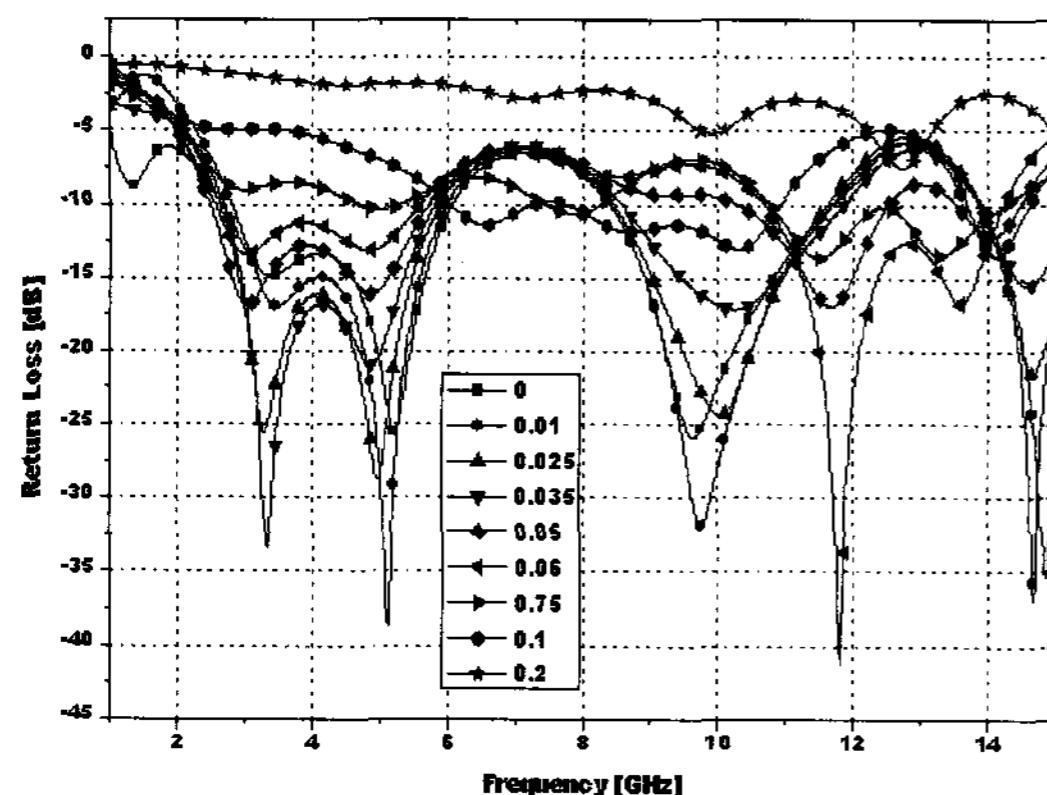


그림 2. a_A 의 변화에 따른 반사 손실($a_B=0.3$)
Fig. 2. Return loss for various a_A ($a_B=0.3$).

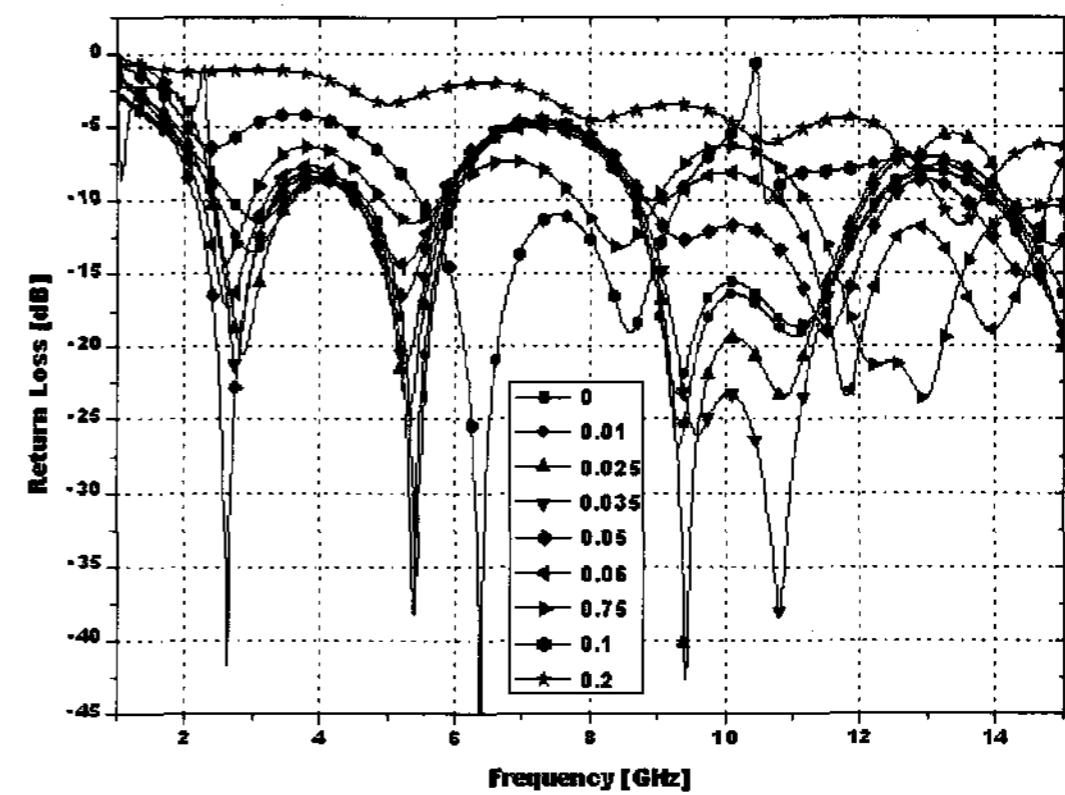


그림 4. a_A 의 변화에 따른 반사 손실($a_B=0.7$)
Fig. 4. Return loss for various a_A ($a_B=0.7$).

3-2 모노폴 엣지의 곡률 변화

모노폴 엣지의 곡률을 결정하는 a_B 의 변화에 대한 반사 손실 특성을 살펴보자 한다. 앞서 그라운드 엣지의 포물선의 곡률을 변화시키면서 대역 내에서 상반부와 하반부 주파수에서 안정된 반사 손실을 얻을 수 있었다. 그림 5는 a_A 가 0.01일 때의 결과이다. g 는 전의 경우와 마찬가지로 0.5 mm일 때의 경우를 본 것이며, a_B 를 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.7, 0.9, 1.1로 증가시켜 가며 반사 손실 특성을 관찰하였다. 전반적으로 UWB 대역 내에서 2개의 공진이 나타나고 있으며, 곡률이 변화됨에 따라 임피던스 변화가 잘 나타나고 있다. a_B 가 0.05일 경우를 제외하고는 나머지 경우에서 공진 주파수의 이동이 미세하였고, 공진이 일어나는 주파수 대역에서 반사 손실의 크기 변화를 확인할 수 있다. 그림 6은 10 dB 대역폭을 표현한 그래프이다. a_B 가 0.1, 0.2, 0.3, 0.4일 경우에는 반사 손실이 10 dB 이상인 대역폭이 4.85~4.89 GHz로 거의 일정하게 나타나고 있다. 그 외의 경우에는 위의 경우보다 현저하게 대역폭이 줄어들며, 임피던스 매칭도 잘 이루어지지 않고 있다. 계수가 0.05인 경우는 그라운드 도체 엣지와 모노폴 도체 엣지가 가까워 슬롯과 도체를 이루는 각의 차이가 작아져 광대역 특성을 저해하는 것으로 사료된다. 계수가 0.1~0.4인 경우, 약 6~8.5 GHz의 주파수 대역에서 반사 손실 특성이 5 dB 이상으로 커지지 않고 있다. 따라서, UWB 대역 내에서 4.85~4.89 GHz의 대역폭을 가지므로 UWB 대역에 비해서 약 35 % 정도 작은 반사 손실 값을 나타내고 있다. 계수가 0.3일 때 10 dB 대역폭이 4.89 GHz로 가장 넓게 나타났으며, 반사 손실 특성도 가장 안정화되어 있는 것을 확인할 수 있다.

그라운드와 모노폴의 엣지의 곡률을 변화시키며 고찰해 본 결과, 그라운드 포물선 엣지의 곡률이 정해진 상태에서 모노폴 포물선 엣지의 곡률을 변화시켰을 경우 공진 주파수의 이동은 미세하였으며, 임피던스 매칭에 영향을 주는 것을 확인하였다. 공진 주파수의 이동은 그라운드 포물선 엣지의 곡률 변화에 따라 주로 이루어졌으며, 두 도체 간의 이루는 각이 두 곡률에 의해 좌우되므로 곡률의 변화가 대역폭을 결정하는 중요한 요소가 된다.

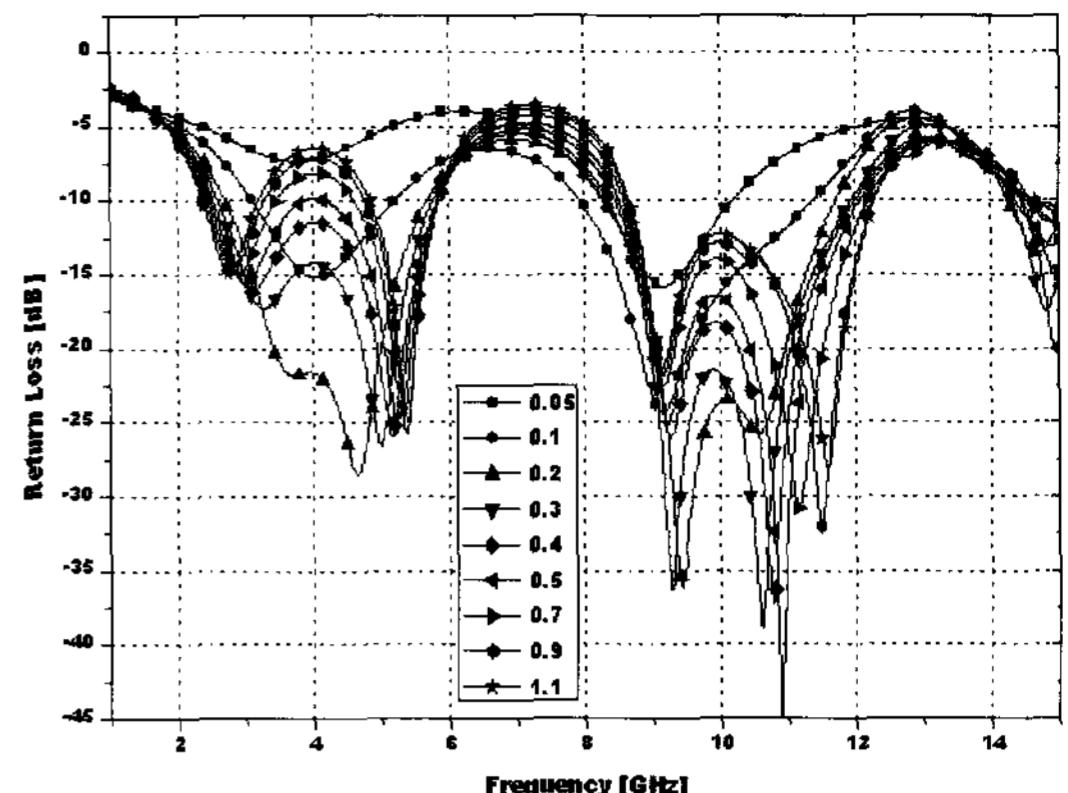


그림 5. a_B 의 변화에 따른 반사 손실($a_A=0.01$)

Fig. 5. Return loss for various a_B ($a_A=0.01$).

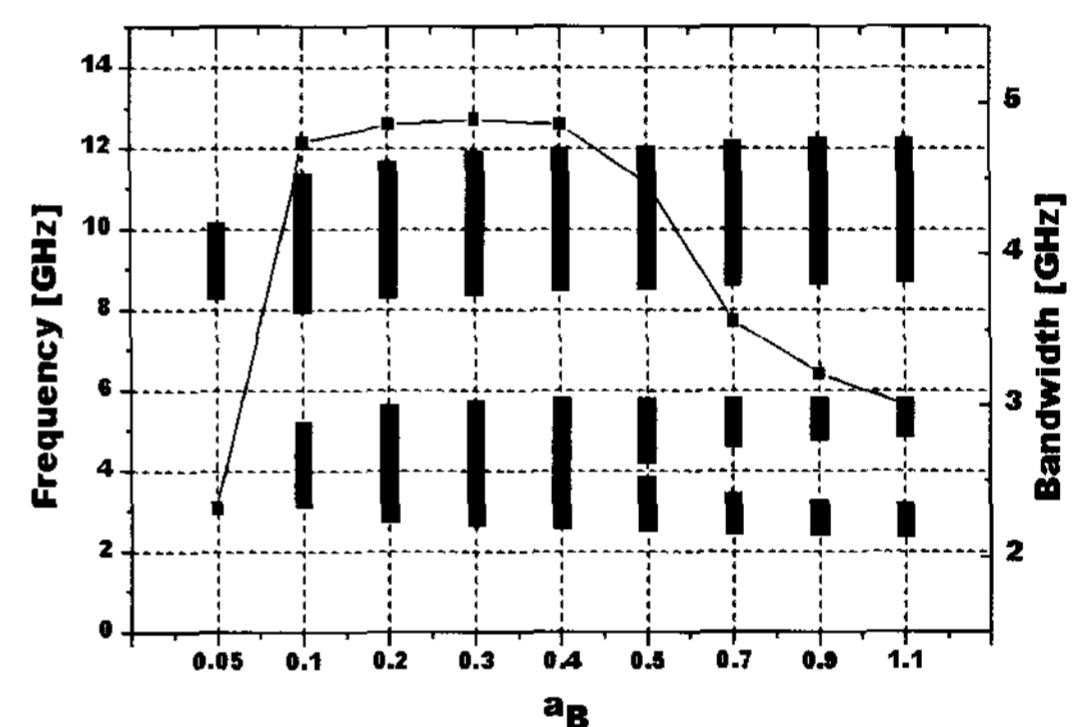


그림 6. a_B 의 변화에 따른 10 dB 안테나 대역폭(막 대그래프: 10 dB 대역 주파수 분포, 선그래프: 10 dB 대역폭)($a_A=0.01$)

Fig. 6. 10 dB bandwidth of the antenna for various a_B (Bar graph: 10 dB bandwidth frequency distribution, line graph: 10 dB bandwidth)($a_A=0.01$).

3-3 Gap의 의한 변화

위의 곡률 변화의 결과에서 a_A 가 0.035, a_B 가 0.3인 경우에 g 를 0.1 mm, 0.5 mm, 1 mm, 1.5 mm, 2 mm로 변화시키며 반사 손실 특성을 살펴보았다. 그림 7은 g 값의 변화에 따른 반사 손실 특성을 보여주고 있다. 그림 8에서는 이에 대한 10 dB 대역폭을 보여주고 있다. 0.1 mm에서 1.5 mm까지는 비슷한 대역폭을 보여주고 있으나, 그 이상의 gap을 가질 때에는 다소 10 dB 대역폭이 줄어들고 있다. 이 경향은 다른 곡률을 가지는 안테나의 경우에도 거의 동일하게 나타나고 있는 것을 확인하였다. 대부분의 시뮬레이션에서 gap이 0.5 mm인 경우에 10 dB 대역폭이 가장 넓고,

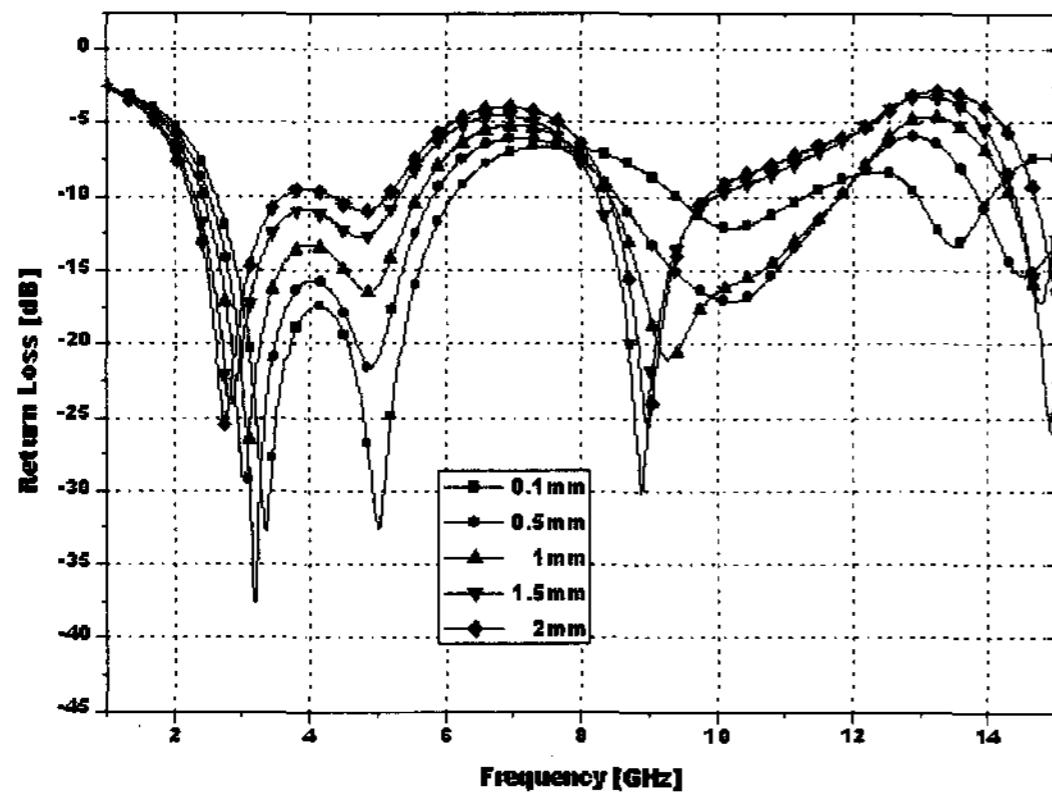


그림 7. Gap의 변화에 따른 반사 손실

Fig. 7. Return loss for various gap.

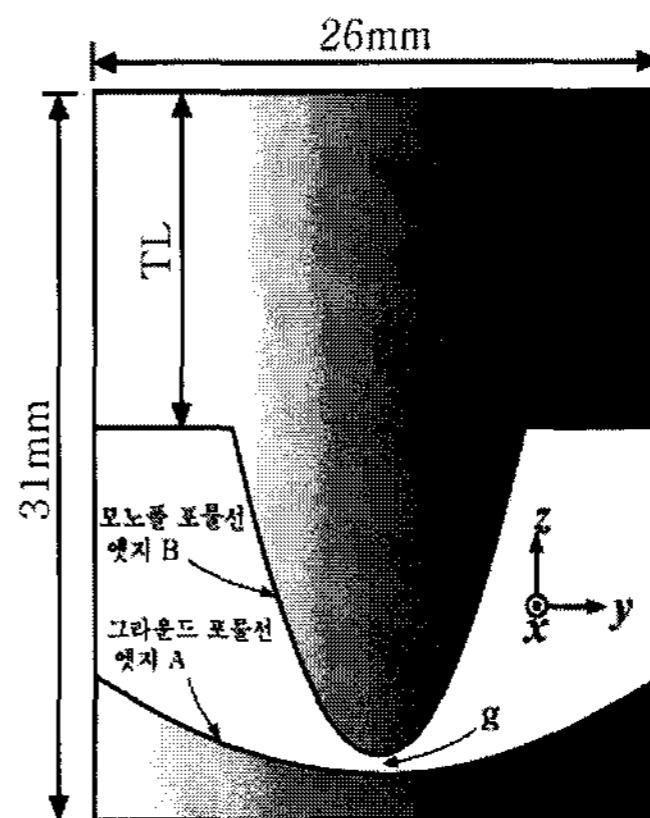


그림 9. 매칭 스텝을 추가한 안테나 구조

Fig. 9. Geometry of the antenna adding matching step.

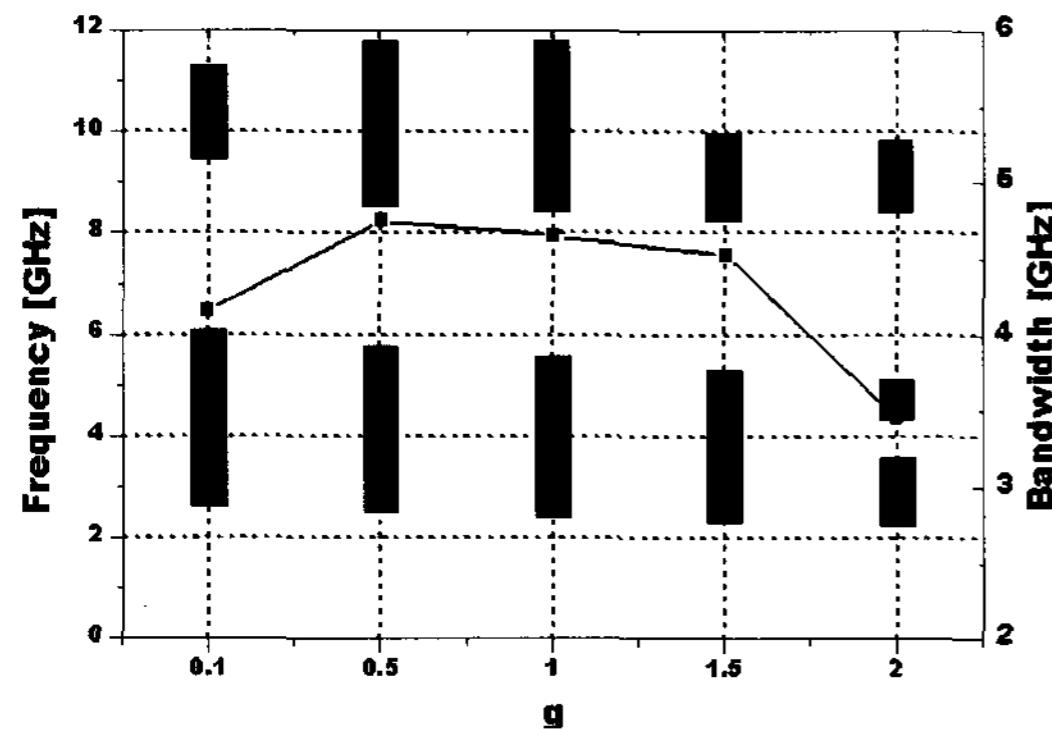


그림 8. Gap의 변화에 따른 10 dB 안테나 대역폭(막 대그래프: 10 dB 대역 주파수 분포, 선그래프: 10 dB 대역폭)

Fig. 8. 10 dB bandwidth of the antenna for various gap(Bar graph: 10 dB bandwidth frequency distribution, line graph: 10 dB bandwidth).

가장 안정된 반사 속성을 보이고 있다.

3-4 매칭 스텝

중반부 주파수 대에서 목표로 하는 10 dB 대역폭을 얻지 못해서 모노폴 도체면의 위쪽 부분에 매칭 스텝을 주는 방법을 선택했다. 매칭 스텝의 폭을 변화시키므로 안테나의 매칭을 유도하였고, UWB 전 대역에서 반사 속성을 만족하도록 시도했다. 그림 9에서는 기준 안테나에서 매칭 스텝을 추가한 것을 보였다. 모노폴 도체 위쪽 모서리에서부터 폭을 증가시키며 결과를 분석한 것이다. TL은 매칭 스텝의 폭을 나타낸 값이다. TL을 8~23 mm까지 3

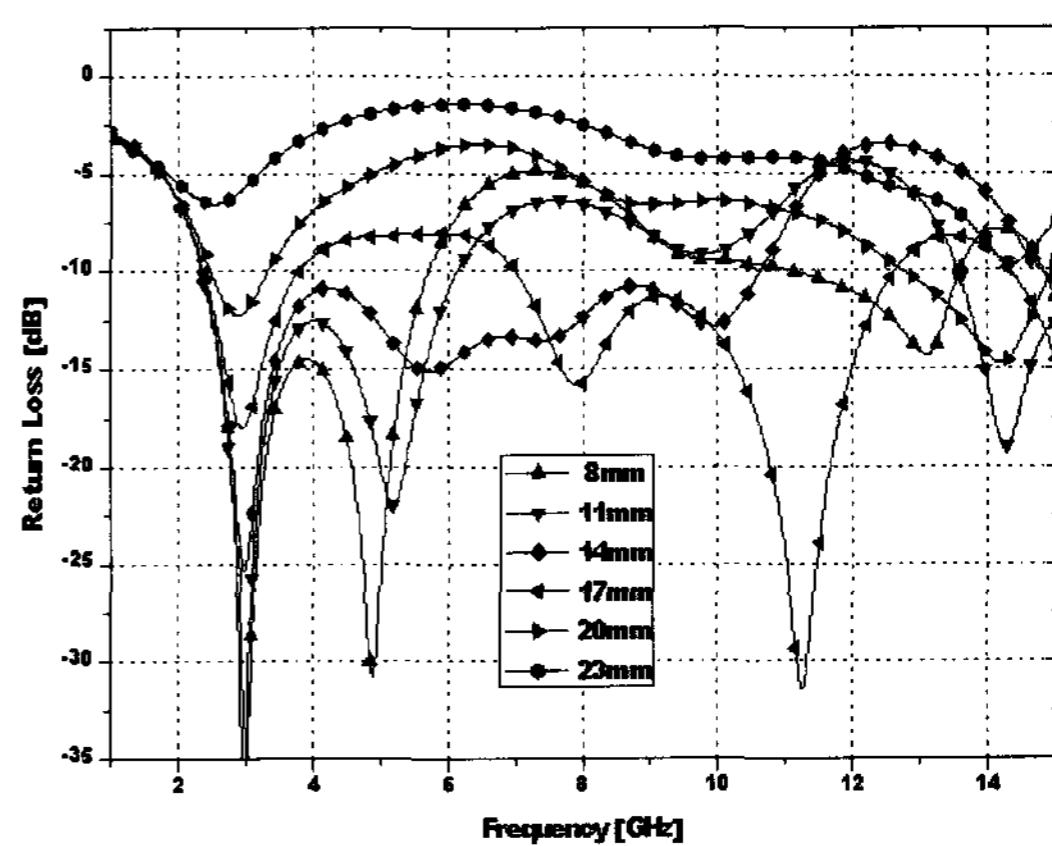


그림 10. TL의 변화에 따른 반사 솔루션

Fig. 10. Return loss for various TL.

mm씩 증가시키면서 반사 솔루션 변화를 관찰하였다. 다른 파라미터의 경우 a_A 는 0.035, a_B 는 0.3, g 는 0.5 mm이다. 그림 10에서 이에 대한 시뮬레이션 결과를 볼 수 있다. 왼쪽에 있는 공진풀이 TL이 증가함에 따라 상반부 주파수 쪽으로 이동되는 특성을 볼 수 있으며, 공진풀의 반사 솔루션 값이 현저하게 작아지고 있다. TL이 17 mm 이상인 경우에는 대역폭이 현저하게 줄어들고 있다. 그림 11에서 10 dB 대역폭을 보여주고 있다. TL이 14 mm인 경우 가장 안정된 반사 솔루션 특성을 얻고 있다. 이 경우 반사 솔루션이 10 dB 이상인 대역폭이 2.435~11.0275 GHz까지로 나타났으며, UWB 전 대역을 만족하는 결과를 얻을 수 있다.

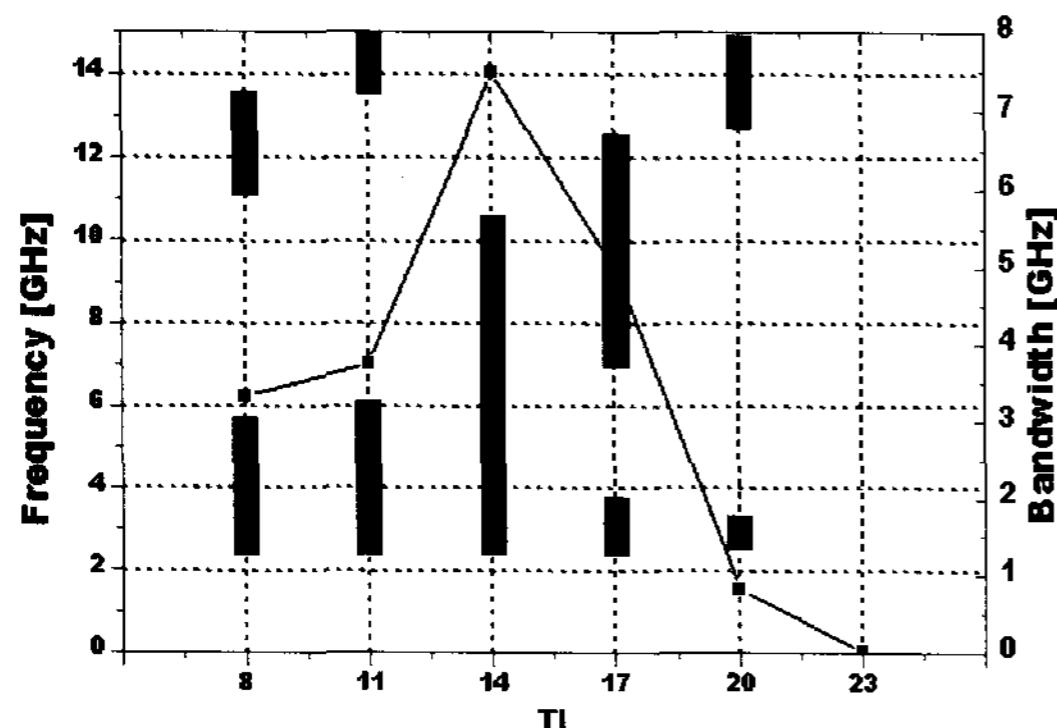


그림 11. TL의 변화에 따른 10 dB 안테나 대역폭 (막대그래프: 10 dB 대역 주파수 분포, 선 그래프: 10 dB 대역폭)

Fig. 11. 10 dB bandwidth of the antenna for various TL(Bar graph: 10 dB bandwidth frequency distribution, line graph: 10 dB bandwidth).

표 2. 최적화된 안테나 파라미터

Table 2. Optimized parameter of the antenna.

파라미터	값
a_A	0.035
a_B	0.3
g	0.7 mm
TL	14 mm

TL을 포함하여 이상 4개의 변수를 변화시키며, 안테나 특성을 최적화한 결과 표 2와 같은 결과를 얻을 수 있다.

IV. 안테나 제작 및 측정

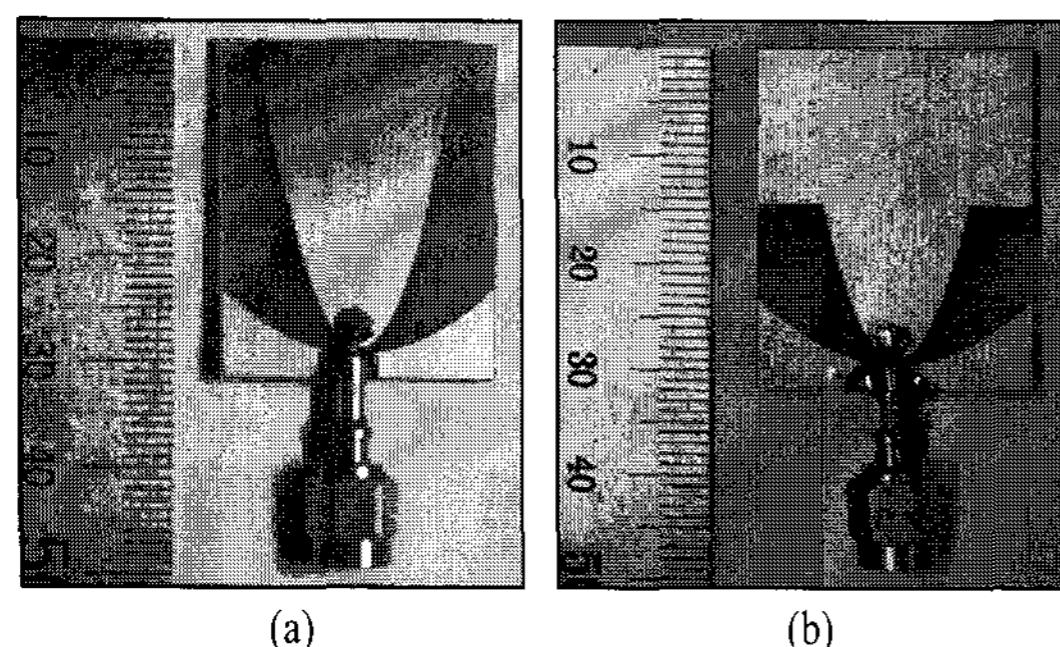
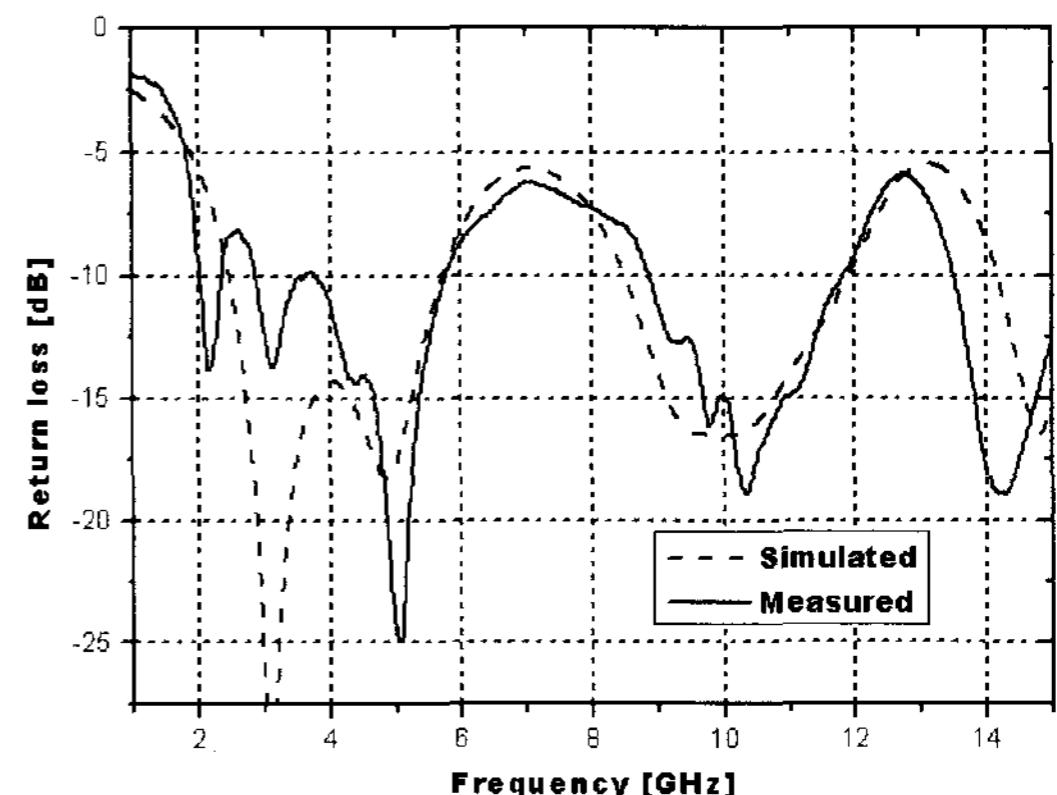


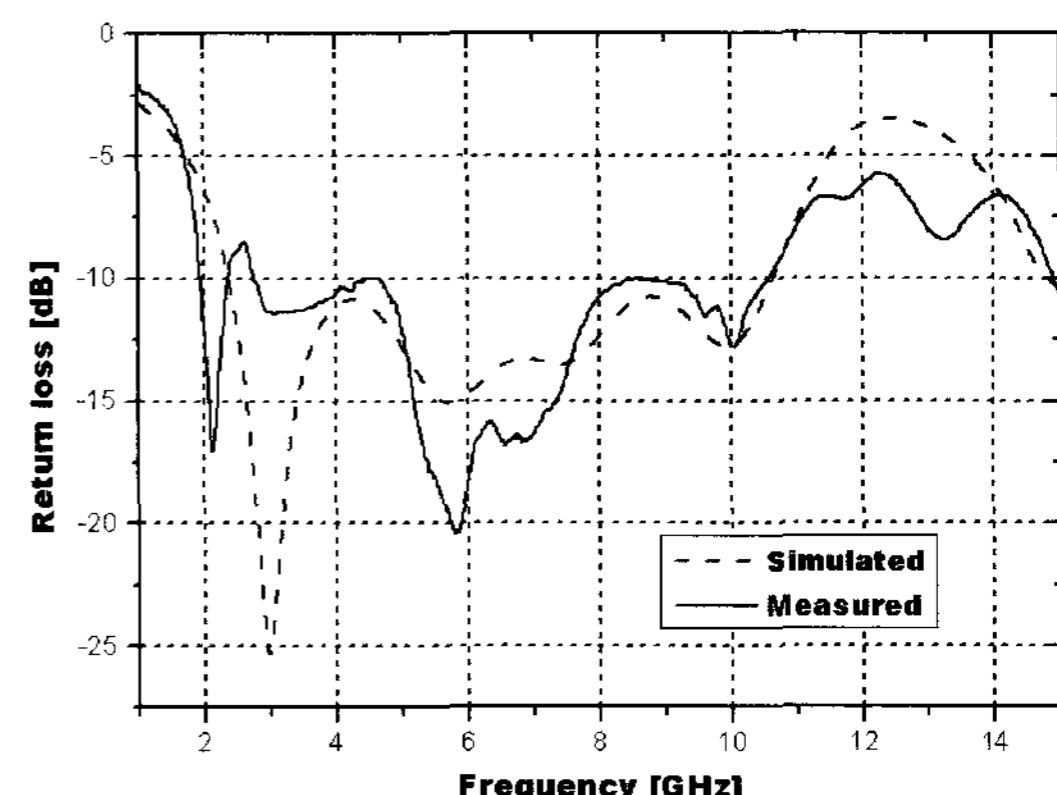
그림 12. 제작한 (a) 기준 안테나 및 (b) 매칭 스텝을 준 안테나의 실물 사진

Fig. 12. Photograph of fabricated antenna (a) Reference antenna and (b) the antenna adding matching step.



(a) 기준 안테나

(a) Reference antenna



(b) 매칭 스텝을 준 안테나

(b) The antenna adding matching step

그림 13. 시뮬레이션과 측정 결과를 비교한 반사 손실

Fig. 13. Return loss compared simulated result with measured result.

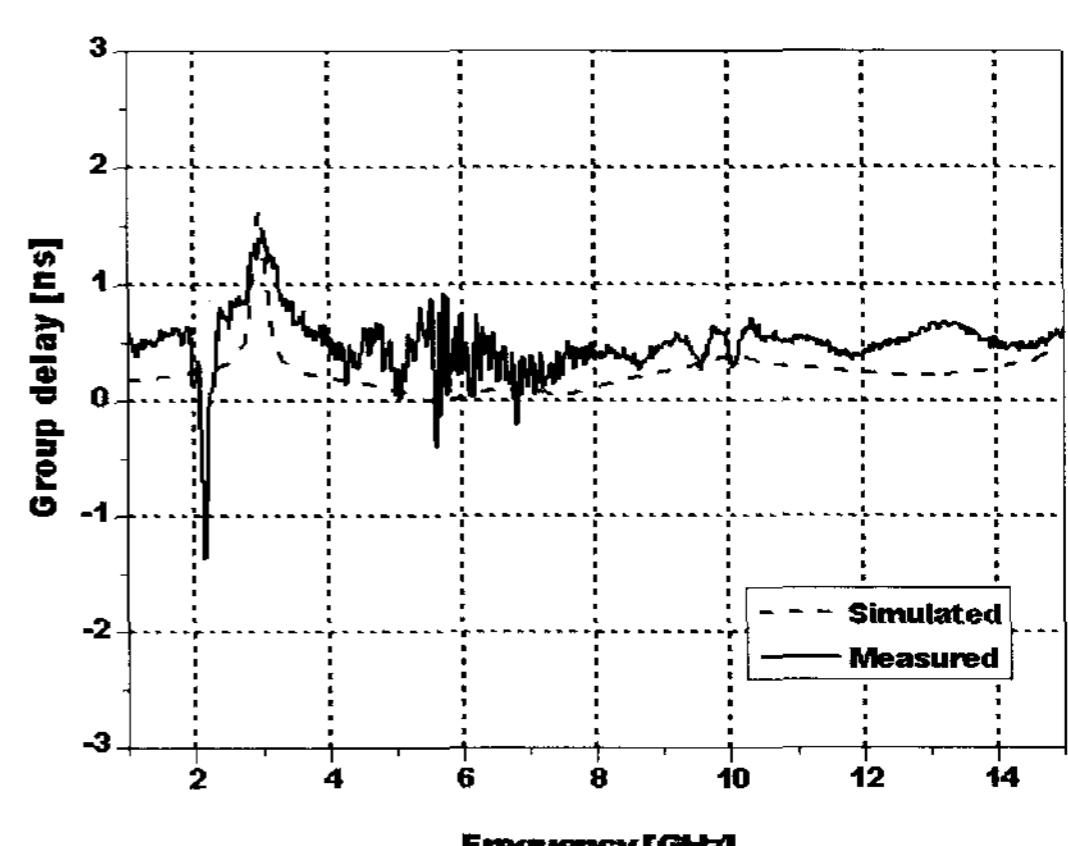


그림 14. 시뮬레이션과 측정 결과를 비교한 군지연

Fig. 14. Group delay compared simulated result with measured result.

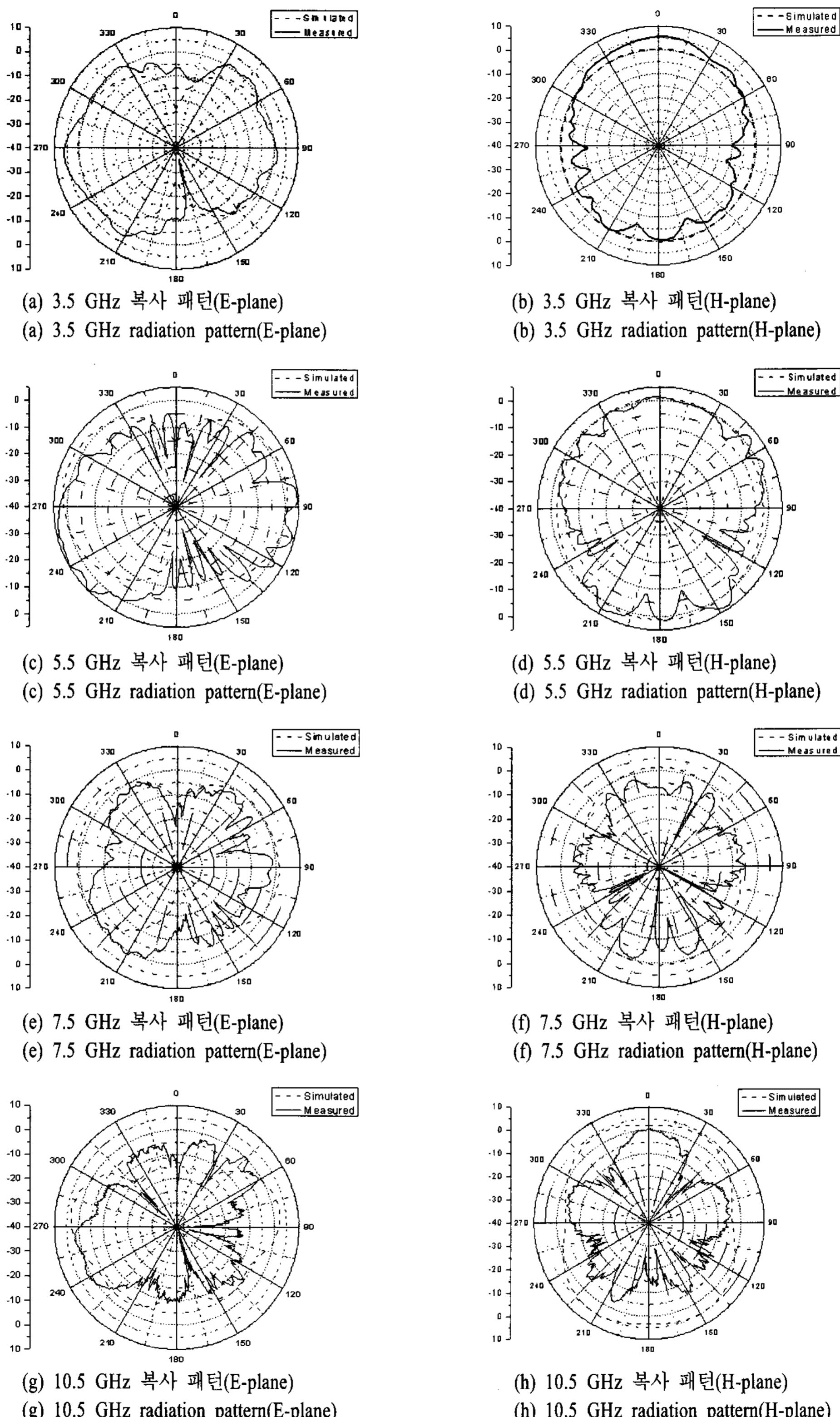


그림 15. 시뮬레이션과 측정 결과를 비교한 복사 패턴

Fig. 15. Radiation pattern compared simulated result with measured result.

그림 12에 제작한 안테나의 실물 사진을 나타내었다. (a) 매칭 스텝을 주기 전에 해당하는 안테나의 실물 사진이며, (b)는 매칭 스텝을 준 안테나이다. 안테나 측정은 HP8720C network analyzer를 사용하였다. 그림 13(a)에서 그림 12(a) 안테나의 시뮬레이션 결과와 측정 결과에 대한 반사 손실 비교 그래프를 볼 수 있다. 그림 13(b)에서 매칭 스텝을 준 안테나에서 동일하게 비교한 그래프를 볼 수 있다. 그림 13(a)에서 반사 손실 특성이 비교적 잘 일치하는 것을 볼 수 있다.

시뮬레이션 결과, 2.47~5.69 GHz(3.22 GHz), 8.49 ~11.9 GHz(3.41 GHz)에서 10 dB 이상의 반사 손실 값을 얻고 있으며, 측정 결과 2.87~5.74 GHz(2.87 GHz), 8.87~11.8 GHz(2.93 GHz)로 반사 손실 값이 나타났다. 10 dB 대역폭이 시뮬레이션에서는 6.63 GHz, 측정 결과에서는 5.8 GHz로 약 13 % 적게 나타났다. 그림 13(b)에서는 시뮬레이션 결과, 2.38~10.62 GHz(8.24 GHz)에서 10 dB 이상의 반사 손실 값을 가졌고, 측정 결과 2.76~10.57 GHz(7.81 GHz)의 값을 얻었다. 측정치가 시뮬레이션 결과보다 약 5 % 작은 10 dB 대역폭을 얻었으며, UWB 대역보다는 약 5 % 큰 대역폭을 얻었다.

그림 14에서는 군 지연의 시뮬레이션 값과 측정 값을 비교한 것을 확인할 수 있다. 시뮬레이션과 측정한 데이터에서 모두 1 ns 이하의 변화량을 보이고 있어 UWB 통신시 선형적인 응답을 기대할 수 있다.

그림 15에서는 매칭 스텝을 추가한 안테나 복사 패턴의 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 보여주고 있다. 3.5, 5.5, 7.5, 10.5 GHz의 각 주파수 별로 E-plane (x-z 평면)과 H-plane(x-y 평면)에서의 복사 패턴을 나타낸 것이다. 측정한 데이터는 한국전파진흥원의 AE-MI anechoic chamber에서 측정하여 얻은 것이다. 시뮬레이션의 경우, 4개 주파수에서 모두 비슷한 복사 패턴 형태를 보이고 있으며, E-plane에서의 복사 패턴의 경우 0도와 180도에서 null이 생기고 디아폴 안테나의 복사 패턴과 비슷한 결과를 보이고 있다. H-plane의 경우는 null이 발생하지 않고 무지향성 복사 패턴을 보이고 있다. 측정한 결과를 보면 3.5, 5.5 GHz의 경우 시뮬레이션 결과와 비교적 비슷한 복사 패턴을 보이고 있으며, 7.5, 10.5 GHz의 주파수에서 복사 패턴이 다소 차이를 보이고 있다. 이는 측

정상의 오차로 사료된다. 측정 결과에서 E-plane의 경우 각 주파수에서 최대 이득은 각각 6.02, 4.84, 1.37, 1.74 dBi이다.

V. 결 론

본 논문에서는 UWB 통신을 위한 포물선 엣지 형태의 평면 모노폴 안테나를 설계하였다. 모노폴 도체와 그라운드 도체가 동일면에 존재하면서, 평면 모노폴과 그라운드의 엣지를 포물선 구조로 하였다. 그라운드 부분에서 모노폴 복사체 사이로 슬롯이 형성되며 도체면과 슬롯이 각도로써 표현되는 기하학적 구조를 가지므로 자기 상보 구조와 유사한 구조로서 광대역 특성을 가지게 하였다. 그라운드 도체와 모노폴 도체의 포물선 엣지 곡률의 변화에 따라 두 도체 간의 이루는 각이 좌우되므로 두 곡률이 공진 주파수와 대역폭을 결정하는 중요한 요소가 된다. 또한, 모노폴 도체 위에 매칭 스텝을 주므로 안테나 임피던스 매칭을 유도하였다. 유전 상수가 4.4인 FR4 유전체 기판을 사용하였고, 그 크기는 $26 \times 31 \times 1.6$ mm이다. 제작한 안테나의 실제 측정 결과 2.76 ~10.57 GHz(7.81 GHz)의 10 dB 이상 반사 손실 값을 얻었다. 복사 패턴은 모든 주파수에서 디아폴 안테나의 복사 패턴과 비슷한 결과를 보이고 있으며, 측정한 결과에서 E-plane의 경우 최대 이득은 1.37~6.02 dBi의 값을 갖는다.

참 고 문 헌

- [1] Johnna Powell, "Antenna design for ultra wideband radio", *Master of Science in Electrical Engineering at the Massachusetts Institute of Technology*, May 2004.
- [2] Nikolay Telzhensky, Yehuda Leviatan, "Planar differential elliptical UWB antenna optimization", *IE-EE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 54, no. 11, pp. 3400-3406, Nov. 2006.
- [3] Jong K. Park, Hee S. An, and Jung N. Lee, "Design of the tree-shaped UWB antenna using fractal concept", *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 50, no. 1, pp. 144-150, Jan. 2008.
- [4] A. Mehdipour, K. Mohammadpour-Aghdam, R. Fa-

- raji-Dana, and A. R. Sebak, "Modified slot bow-tie antenna for UWB applications", *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 50, no. 2, pp. 429-432, Feb. 2008.
- [5] W. S. Chen, K. Y. Ku, "Bandwidth enhancement of open slot antenna for UWB applications", *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 50, no. 2, pp. 438-439, Feb. 2008.
- [6] C. H. Chan, T. K. Lee, and W. S. Chan, "Printed UWB pellet-shape microstrip-fed monopolar antenna for 3.1 to 17 GHz", *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 50, no. 2, pp. 490-494, Feb. 2008.
- [7] H. K. Lee, J. K. Park, and J. N. Lee, "Design of a planar half-circle-shaped UWB notch antenna", *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 47, no. 1, pp. 9-11, Oct. 2005.

장 대 순



2001년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학사)
2003년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학석사)
2003년 3월~현재: 건국대학교 전자공학과 박사과정
[주 관심분야] 안테나 설계, UWB system, 유전체 공진기 등

허 정



1981년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1983년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
1991년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학박사)
1991년 4월~현재: 건국대학교 전자공학과 교수
[주 관심분야] 안테나, RF 및 마이크로파 회로 등