

# 유전자 알고리즘을 이용한 광대역 TEM 혼 안테나 설계

## Design of the Broadband TEM Horn Antenna Using a Genetic Algorithm

나영선 · 추호성 · 이주광\* · 강진섭\*

Youngsun Na · Hosung Choo · Joogwang Lee\* · Jinseob Kang\*

### 요 약

본 논문에서는 유전자 알고리즘을 이용하여 시간 영역 측정에 사용할 광대역 TEM 혼 안테나를 개발하였다. 안테나 개발에 고려된 설계 목표로는 2~10 GHz의 주파수 영역에서 -10 dB 이하(VSWR<2)의 입력단 반사 손실과, 대역폭 내에서 높은 복사 이득 그리고 낮은 이득 편차이다. 또한 TEM 혼 안테나의 전체 크기를 줄이며 휴대가 용이하도록 하기 위해 안테나 본체와 급전부를 연결할 광대역의 balun을 설계하였다. 제작된 TEM 혼 안테나의 주파수 영역 측정 결과 2~10 GHz에서 -10 dB 반사 손실을 만족하며, 기존의 삼각 플레이트 형태의 TEM 혼 안테나와 비교하였을 때 그 부피가 80 % 감소하였다. 안테나의 broadside 이득 값은 2~10 GHz 대역에서 12 dBi 기준으로 이득 편차가 6 dB 이하를 만족한다. 안테나의 시간 영역 측정 결과 group delay의 변화폭은 0.4 ns 이하를 만족하며, 펄스 측정시 송신과 수신 신호의 상승 시간은 각각 58.5 ps와 66.5 ps로 대략 10 % 이내의 변화를 보였다.

### Abstract

In this paper, we propose a broadband TEM horn antenna optimized using a genetic algorithm. The characteristics required for the TEM horn are the broad matching bandwidth from 2 GHz to 10 GHz and high gain in broadside with a small gain deviation within that bandwidth. In addition, a broadband balun is designed to improve the portability and to reduce the total size of the antenna. The measured return loss of the proposed TEM horn with the broadband balun is less than -10 dB(VSWR<2) from 2 GHz to 10 GHz. Compared to a conventional triangular type TEM horn, the proposed antenna shows about 80 % reduced volume and gives the broadside gain about 12 dBi with a gain deviation less than 6 dB from 2 GHz to 10 GHz. The time domain measurement shows less than 0.4 ns group delay and the pulse measurement using the transmitting signal with the rising time of 58.5 ps shows the received pulse with the rising time of 66.5 ps, which is less than 10 % rising time variation.

Key words : TEM Horn Antenna, Balun, Time-Domain Antenna, GenEtic Algorithm

### I. 서 론

최근 급속한 무선 통신 기술의 발달과 다양한 멀티미디어의 보급으로 인하여 고속, 대량 데이터 전송의 필요성이 증대되고 있는 추세이다. 이에 따라 광대역 통신 방식이 각광을 받고 있으며, Ultra-Wide-

Band(UWB) 통신 방식 등이 상용화 단계에 있다<sup>[1]</sup>. 이러한 UWB 통신 방식과 같은 광대역 통신은 펄스 형태의 신호를 이용하며, 수신된 신호의 왜곡을 줄이기 위해 비분산(non-dispersive) 특성을 갖는 시간 영역 안테나가 필요하다<sup>[2]</sup>. TEM 혼 안테나는 broadside 방향의 높은 지향성과, far-field에서의 적은 위상

「본 논문은 과학기술부 특정연구개발사업 중 "고성능안테나평가기술개발" 과제에 의해 지원받았습니다.」

홍익대학교 전자전기공학부(School of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University)

\*한국표준과학연구원 기반기표준부(Division of Physical Metrology, Korea Research Institute of Standards and Science)

· 논문 번호 : 20070105-005

· 수정완료일자 : 2007년 3월 12일

변화때문에 시간 영역 측정 안테나로 적합하며, 최근 UWB 통신 표준화 동향에 맞추어 연구 및 개발의 필요성이 더욱 증가하고 있다<sup>3)</sup>. 시간 영역 성능 측정에 표준 안테나로 사용될 TEM 혼 안테나는 UWB 전 주파수 대역인 3.1~10.6 GHz을 포함하는 정합 대역폭을 가져야 하며, 임펄스 신호의 왜곡 없이 송수신이 가능하여야 한다. 기존에 연구된 TEM 혼 안테나로는 테이퍼 정합된 삼각 플레이트 형태와 지수 함수 형태, 임피던스 매칭을 위한 저항 성분을 첨가한 형태 등이 있다<sup>4),5)</sup>. 그러나 삼각 플레이트 형태나 지수 함수 형태의 경우 부피가 크고, 제작이 어렵다는 단점이 있다. 또한 UWB 전 주파수 대역에서 임펄스 측정 용도의 TEM 혼 안테나에 대한 연구는 아직 미흡한 단계이다.

따라서 본 논문에서는 광대역 특성을 가지면서 소형화된 2단 구조의 시간 영역 측정용 TEM 혼 안테나 설계, 제작을 목표로 한다. 안테나의 설계 목표로는 2~10 GHz의 주파수 영역에서 -10 dB 이하의 입력단 반사 손실과, E-평면과 H-평면에서의 반전력 빔 폭이 각각 평균 20° 이상이며, 시간 영역에서 비분산 특성을 가지도록 동작 주파수 대역의 broadside 방향에서 최대 이득을 기준으로 6 dB 이하의 낮은 이득 편차를 갖는 것을 목표로 한다. 안테나 본체의 설계 변수들은 Pareto 유전자 알고리즘을 이용하여 최적화 하였으며, 접지면이 필요 없고 휴대가 용이한 형태로 TEM 혼 안테나를 제작하기 위하여 안테나 본체와 급전부를 연결할 광대역의 balun을 설계하였다.

## II. Pareto 유전자 알고리즘을 사용한 안테나 본체 및 광대역 Balun 설계

시간 영역 성능 측정에 표준 안테나로 사용될 TEM 혼 안테나는 UWB 전 주파수 대역인 3.1~10.6 GHz을 포함하는 넓은 대역폭(VSWR<2)을 확보해야 한다. 이 같은 광대역 특성을 가지기 위해서는 혼 안테나의 특성 임피던스가 입력단의 입력 임피던스에서 개구면의 자유 공간 임피던스( $120\pi$ )로 점차 변해가는 정합 구조를 가져야 한다. TEM 혼 안테나는 진행파를 복사하는 안테나(traveling wave antenna)이기 때문에 안테나 구조를 평형 도파관으로 간략화하여 대략적인 특성 임피던스를 예측할 수 있다. TEM 혼

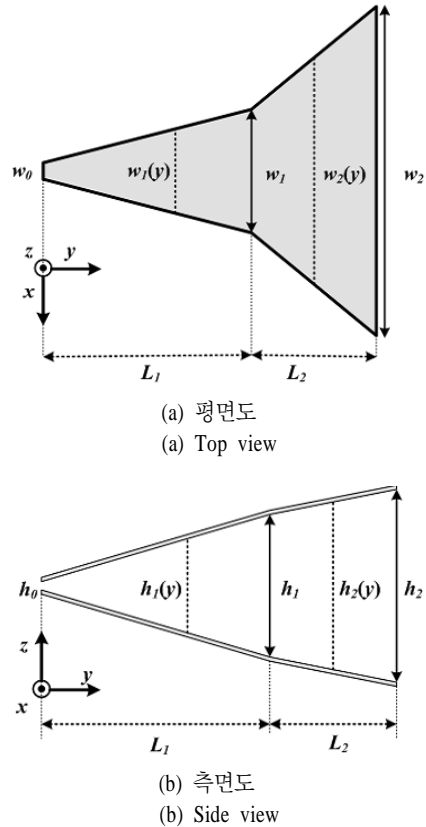


그림 1. TEM 혼 안테나의 기본 구조  
Fig. 1. The basic structure of the TEM horn antenna.

안테나의 특성 임피던스는 식 (1)과 같이 안테나의 높이와 너비에 의하여 나타낼 수 있고, 이 특성 임피던스의 변화율을 고려하여 안테나의 구조를 설계하면 원하는 정합특성을 얻을 수 있다<sup>6)</sup>. 식 (1)의  $y$ 는 안테나의 길이이고, 그림 1과 같이  $y$  좌표로 표시된다.

$$Z(y) = \frac{h(y)}{w(y)} 120\pi(\Omega) \quad (1)$$

TEM 혼 안테나의 복사 특성은 측정이 가능한 충분한 빔 폭을 확보하기 위하여 E-평면과 H-평면에서의 반전력 빔 폭이 각각 평균 20° 이상 되어야 하며, 시간 영역에서 비분산 특성을 가지도록 broadside 방향에서 높은 이득을 확보하며, 전 주파수 대역에서 최대이득을 기준으로 이득편차가 작고, 펄스의 왜곡 현상을 줄이기 위해서는 group delay의 변화폭은 1 ns 이하가 되어야 한다.

본 논문에서는 안테나의 크기를 소형화하면서도

광대역에서 입력단 반사 손실 특성과 복사 특성을 개선하기 위해 유전자 알고리즘을 이용하여 2단 형태의 TEM 혼 안테나의 본체를 최적화하였다. 유전자 알고리즘은 자연의 유전법칙을 이용한 최적화 기법으로 우성의 종이 다음 세대에도 살아 남고 교배를 통해서 더 좋은 우성 종을 도출하는 최적화 알고리즘의 하나이다<sup>[7]</sup>.

안테나의 크기는 길이 50 cm, 너비 20 cm, 높이 20 cm보다 작게 설계하도록 하였으며, 위와 같이 다수 설계 목표를 만족시키면서 효과적인 최적화를 수행하기 위해 Pareto 유전자 알고리즘을 사용하였다<sup>[8]</sup>. TEM 혼 안테나의 반사 손실 특성을 최적화하기 위해 입력 임피던스는 100 Ω을 사용하였고, 안테나의 구체적인 설계 변수들은 그림 1과 같이 각각  $a_1, a_2, b_1, b_2, w_1, w_2, h_1, h_2, L_1, L_2$ 로 나타내었다. TEM 혼 안테나의 급전부는 마이크로스트립 라인 임피던스 근사식인 식 (2)를 적용한  $h_0=2$  mm,  $w_0=3.54$  mm를 사용하였다<sup>[9]</sup>.

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\left(\frac{w_0}{h_0}\right) + 2}, \left(\frac{w_0}{h_0} \geq 1\right) \quad (2)$$

길이  $y$ 에 따른 각 단의 높이의 변화는  $w_1(y), h_1(y), w_2(y), h_2(y)$ 로 식 (3), (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} w_1(y) &= a_1 \times y + w_0, \\ h_1(y) &= b_1 \times y + h_0 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} w_2(y) &= a_2 \times (y - L_1) + w_1, \\ h_2(y) &= b_2 \times (y - L_1) + h_1 \end{aligned} \quad (4)$$

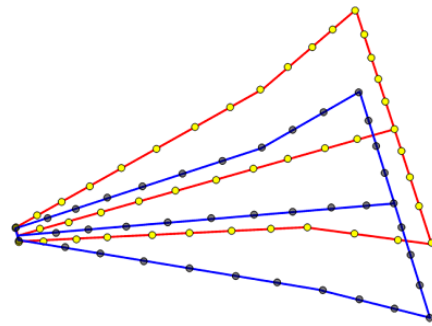
식 (3)과 식 (4)에서 구한 높이와 너비를 식 (1)에 적용하여  $y$ 에 따른 안테나의 특성 임피던스( $Z(y)$ )를 구할 수 있으며, 이를 식 (5)에 대입하면 안테나의 입력단 반사 손실을 계산할 수 있다<sup>[10]</sup>.

$$\Gamma_{Total}(\theta) = \frac{1}{2} \int_{y=0}^{L_1+L_2} e^{-2j\beta y} \frac{d}{dy} \ln\left(\frac{Z(y)}{Z_0}\right) dy \quad (5)$$

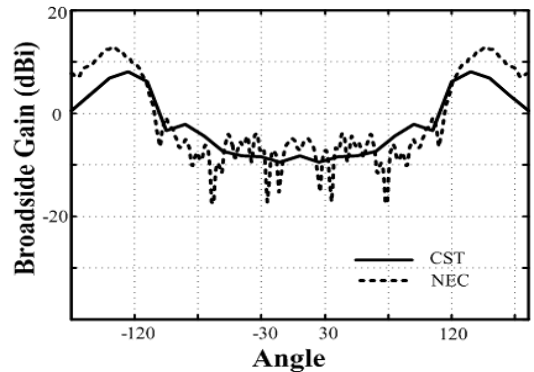
식 (5)에서 나온 각 주파수에 대한 반사 손실 값을 이용하여 Pareto 유전자 알고리즘에 사용될 첫 번째 비용평가함수인 Cost 1을 식 (6)과 같이 정의하였으며, Cost 1은 안테나의 입력단 반사 손실을 전체 주파수 영역에서 최소화하도록 한다.

$$\text{Cost 1} = \frac{\int_{f_{start}}^{f_{stop}} \Gamma(f) df}{|f_{start} - f_{stop}|} \quad (6)$$

해석 시간을 줄이면서 복사 특성을 대략적으로 예측하기 위해 안테나 구조를 wire 형태로 간략화 시켜서 해석하는 Numerical Electromagnetics Code(NEC) 툴을 최적화에 적용하였다. Wire 형태로 간략화 한 NEC 시뮬레이션 복사 특성 결과는 정확한 안테나 형태의 EM 계산이 가능한 Microwave Studio를 이용하여 검증하였다. 그림 2(a)는 TEM 혼 안테나를 NEC 툴에 적용하기 위해 wire 형태로 단순화 시킨 모델이며, 그림 2(b)는 NEC 툴에 의한 결과를 Microwave Studio를 이용하여 시뮬레이션한 패턴 결과와 비교한 것으로 간략화 시킨 모델 시뮬레이션 결과와



(a) NEC 근사화 모델  
(a) The approximate wire model for NEC



(b) NEC 근사화 모델 결과  
(b) NEC simulation result

그림 2. TEM 혼 안테나 NEC 근사화 모델과 결과 분석

Fig. 2. The approximate wire model for NEC simulation and its simulation result.

전체 구조를 시뮬레이션 한 결과가 유사한 것을 보여준다. 그림 2(b)에서 angle은 H-평면으로  $\phi$ 의 angle을 나타낸다.

복사 특성을 최적화하기 위해 두 번째 비용평가함수인 식 (7)을 만들어 유전자 알고리즘에 적용하였으며, Cost 2는 관찰 주파수 대역에서 E-평면과 H-평면 각각의 복사이득은 높고 반전력 빔 폭은 넓게 하도록 한다.

$$\text{Cost 2} = 1 - \left( \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M \text{Gain}(\theta_j, \phi_i)}{(f_N - f_1) \times (\theta_M - \theta_1) \times G_{\max}} + \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M \text{Gain}(\phi_j, f_i)}{(f_N - f_1) \times (\phi_M - \phi_1) \times G_{\max}} \right) \quad (7)$$

식 (7)에서 분모부분의  $N$ 은 전체 관찰 주파수의 수이며,  $M$ 은 전체 관찰하는  $\theta$ 와  $\phi$  방향의 수이다. 다시 말하여  $M$ 은  $\phi=90^\circ$ 일 경우 E-plane으로 스캔하는  $\theta$ 의 수이며, 또한  $\theta=90^\circ$ 일 경우 H-plane으로 스캔하는  $\phi$  수이다( $\theta$ 와  $\phi$ 의 수는 같다). 분자는  $\theta$ 방향과  $\phi$  방향에 대한 이득 값의 합으로 최대 이득 값  $G_{\max}$ 는 50 dBi로 설정하였고, 각 주파수별 안테나 broadside( $x$ - $y$  plane,  $\phi=90^\circ$ ) 방향에서 이득을 비교하여 복사 패턴에 null이 발생하는 설계 값은 최적화 과정에서 제외하였다. 150번 이상의 유전자 알고리즘의 반복 과정을 통해서 최적화된 결과를 얻을 수 있었고 설계변수는 표 1과 같다.

그림 3은 최적화된 TEM 혼 안테나 본체를 Microwave Studio를 이용하여 시뮬레이션한 결과로 1~10 GHz에서 입력단 반사 손실이 -10 dB 이하를 만족하며, 특히 2~10 GHz 대역에서는 -20 dB 이하의 낮은 반사 손실을 갖는 것을 알 수 있다.

TEM 혼 안테나의 전체 크기를 줄이며, 휴대가 용이하도록 하기 위해 불평형 급전부를 평형 구조로

표 1. TEM 혼 안테나의 설계변수

Table 1. Design parameters for the TEM horn antenna.

변수	값(mm)	변수	값(mm)
$w_0$	3.5	$h_0$	2
$w_1$	130	$h_1$	100
$w_2$	300	$h_2$	140
$L_1$	190	$L_2$	100

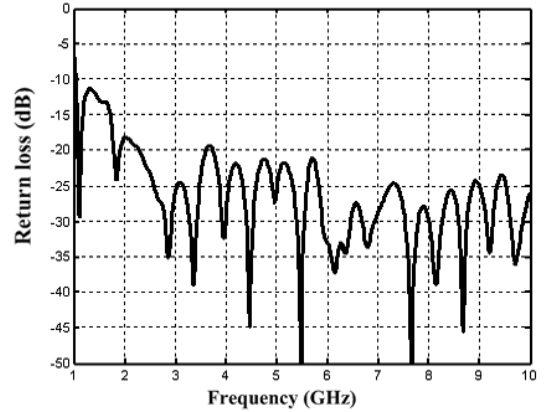


그림 3. TEM 혼 안테나 시뮬레이션 반사 손실

Fig. 3. The simulated return loss of the TEM horn antenna.

바꿔줄 수 있는 광대역 밸런을 유전자 알고리즘을 이용하여 설계하였다. TEM 혼 안테나용 광대역 밸런은 마이크로스트립 형태를 이용하였으며, 기판은 유전율 2.2, 두께 1.6 mm인 RT/Duroid 5880을 사용하였고, 기판의 위 아랫면은 구리 선로를 이용하였다<sup>[11]</sup>. 밸런의 설계변수는  $L_1, L_2, w_1, w_2, w_3$ 와 급전부의 위치  $P$ 이며, 입력단은 동축 케이블의 임피던스인 50  $\Omega$ 으로, 끝단의 임피던스는 TEM 혼 안테나의 입력 임피던스인 100  $\Omega$ 으로 하였고, 밸런의 기본 모델은 그림 4와 같다. 밸런의 최적화를 위하여 유전자 알고리즘을 사용하였으며, 평면 형태의 RF 회로 해석 시 연산속도와 정확성이 매우 좋은 IE3D 툴을 사용하여 성능을 예측하였다. 밸런의 입력단 반사 손실을 식 (8)에 대입하여 비용 평가 함수로 정의하였으며, 식 (8)에서 Cost 1은 전체 주파수 영역에서 입력단 반사 손실이 작은 값을 갖도록 최적화한다.

$$\text{Cost 1} = \frac{\int_{f_{\text{start}}}^{f_{\text{stop}}} \Gamma(f) df}{|f_{\text{start}} - f_{\text{stop}}|} \quad (8)$$

유전자 알고리즘을 사용하여 최적화된 밸런의 설계변수 값을 표 2에 나타내었다. 그림 5는 IE3D 툴을 사용하여 시뮬레이션한 밸런의 입력단 반사 손실과, 밸런의 입력에서 안테나 본체 부분에 결합되는 밸런의 출력 부분과의  $S_{21}$  결과 그래프이다. 반사 손실 값은 1~10 GHz 대역에서 -10 dB 이하를 만족하는 것을 알 수 있으며,  $S_{21}$  결과 그래프는 밸런과 안테나

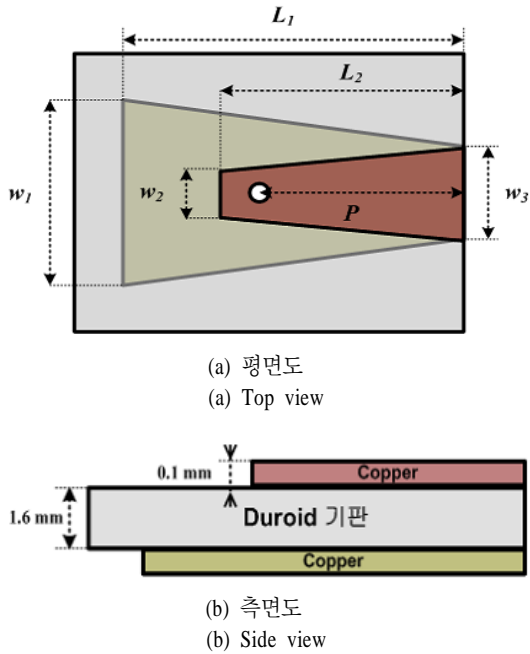


그림 4. 밸런의 기본 구조  
Fig. 4. The structure of the balun.

표 2. 광대역 balun의 설계변수  
Table 2. Design parameters for the broadband balun.

변수	값(mm)	변수	값(mm)
$w_1$	6.5	$w_2$	3
$w_3$	3.5	$P$	9
$L_1$	12.5	$L_2$	10.5

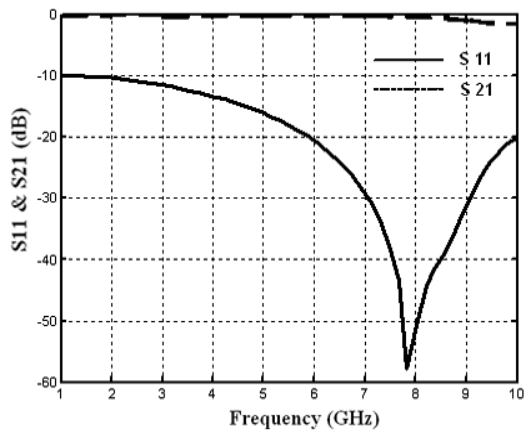


그림 5. Balun 시뮬레이션 반사 손실과  $S_{21}$   
Fig. 5. The simulated return loss and  $S_{21}$  of the balun.

본체가 손실 없이 정합이 잘 이뤄지는 것을 보여준다. 동작 주파수 대역 내에서 안테나의 이득이나 패턴 부분에 밸런의 영향이 매우 적음을 확인하였다.

### III. 안테나 성능 측정 결과

위와 같은 과정을 거쳐 설계된 TEM 혼 안테나는 그림 6에 나타내었으며, 회로망 분석기를 이용하여 제작된 안테나의 주파수 특성을 측정하였다. 전체 TEM 혼 안테나의 반사 손실은 Microwave Studio를 사용하여 시뮬레이션한 안테나의 본체 반사 손실 결과와 IE3D를 이용하여 시뮬레이션한 밸런의 반사 손실 결과를 그림 7과 같은 직렬 2 포트 네트워크로 구성하여 계산하였다. IE3D를 사용하여 구한 밸런의  $S$  파라미터 값을 식 (9)에 대입하여 A, B, C, D 매트릭스를 구한 후 식 (10)을 이용하여 그림 7과 같은 2 port circuit 회로에서의  $Z_1, Z_2, Z_3$ 를 구한다. 이 때 식 (9)의  $Z_0$ 는 밸런의 입력임피던스인 50  $\Omega$ 로 계산하며, 그림 7에서  $Z_4$ 는 CST 시뮬레이션을 이용하여 구한 TEM 혼 안테나 본체의 특성 임피던스 값이다. 위 과정에서 구한  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$ 로 전체 안테나의 특성 임피던스 값인  $Z_L$ 를 구할 수 있으며,  $Z_L$ 로부터 밸런이 연결된 TEM 혼 안테나의 전체 입력단 반사 손실을 계산할 수 있다<sup>[10]</sup>.

$$A = \frac{(1 + S_{11})(1 - S_{22}) + S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$$

$$B = Z_0 \frac{(1 + S_{11})(1 + S_{22}) - S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$$



그림 6. 제작된 TEM 혼 안테나 사진  
Fig. 6. Photograph of the fabricated TEM horn antenna.

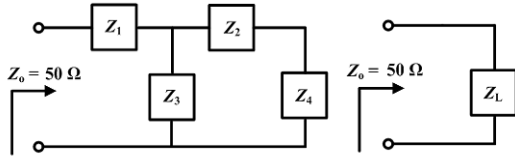


그림 7. 2 포트 Circuit 모델  
Fig. 7. 2 port circuit model.

$$C = \frac{1}{Z_0} \frac{(1 - S_{11})(1 - S_{22}) - S_{12}S_{21}}{2S_{21}},$$

$$D = \frac{(1 - S_{11})(1 + S_{22}) + S_{12}S_{21}}{2S_{21}}, \quad (9)$$

$$A = 1 + \frac{Z_1}{Z_3}, \quad B = Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1Z_2}{Z_3}$$

$$C = \frac{1}{Z_3}, \quad D = 1 + \frac{Z_2}{Z_3} \quad (10)$$

그림 8은 TEM 혼 안테나의 반사 손실을 시뮬레이션한 결과와 측정 결과이다. 점선은 밸런을 결합한 전체 TEM 혼 안테나의 계산된 입력단 반사 손실이고, 실선은 측정 결과이다. 1~10 GHz 대역에서 계산된 입력단 반사 손실과 측정 결과는 평균 3 dB 차이를 가지며 측정 결과 2~9 GHz의 대역에서 모두 -10 dB 미만의 입력단 반사 손실을 보여 밸런과 안테나 본체의 정합이 잘 이뤄지고 있음을 유추할 수 있다.

그림 9는 밸런을 결합한 전체 TEM 혼 안테나의

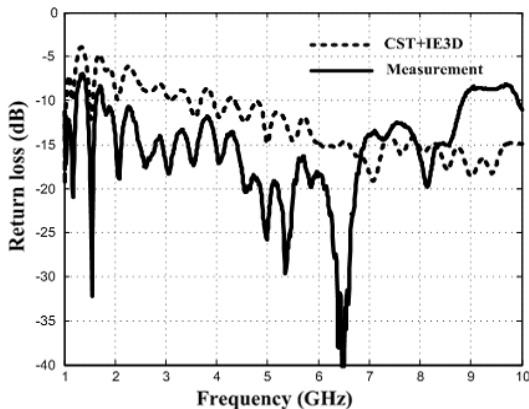


그림 8. 밸런을 결합한 TEM 혼 안테나의 반사 손실 측정 결과  
Fig. 8. The measured return loss of the TEM horn antenna with the balun.

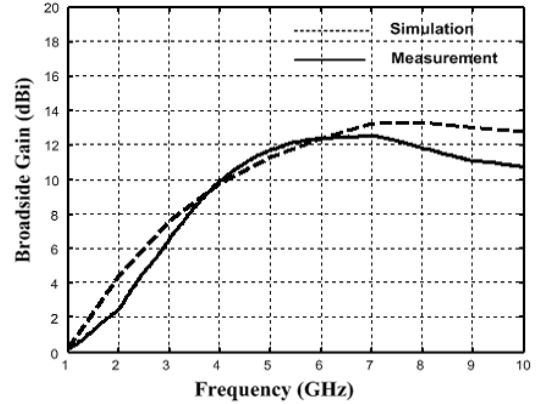
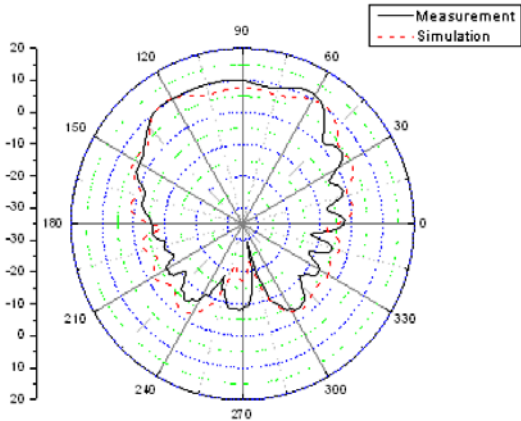


그림 9. TEM 혼 정면 방향에서의 이득(x-y plane,  $\phi = 90^\circ$ )  
Fig. 9. Broadside gain of the TEM horn antenna(x-y plane,  $\phi = 90^\circ$ ).

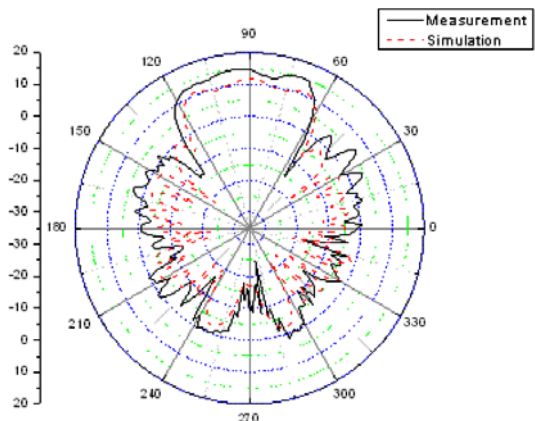
정면 방향(x-y plane,  $\phi = 90^\circ$ )에서 co-pole(z 방향 편파)로 측정된 이득과 시뮬레이션 결과를 비교한 그래프이다. 시뮬레이션은 점선으로 측정 결과는 실선으로 표시하였으며, 시뮬레이션과 측정 결과는 최대 2 dB 오차로 매우 비슷함을 알 수 있다. 또한 TEM 혼 안테나의 broadside(x-y plane,  $\phi = 90^\circ$ ) 방향에서 null이 없으며, 최대 이득 12 dBi 기준으로 전 주파수 대역에서 이득 편차가 6 dB 이하임을 보여준다.

그림 10은 전체 TEM 혼 안테나의 복사 패턴 시뮬레이션과 측정 결과이며, 3.5 GHz, 6.5 GHz, 9.5 GHz의 주파수를  $\phi = 90^\circ$ 일 경우 E-평면(y-z plane)으로,  $\theta = 90^\circ$ 일 때 H-평면(x-y plane)으로 각각 스캔한 결과이다. TEM 혼 안테나의 복사 패턴 시뮬레이션의 경우, E-평면의 반전력 빔 폭은 평균  $37^\circ$ , H-평면의 반전력 빔 폭은 평균  $37^\circ$ 이며, 측정 결과에서 E-평면의 반전력 빔 폭은 평균  $24^\circ$ 이며, H-평면의 반전력 빔 폭은 평균  $32^\circ$ 로 각각 반전력 빔 폭 평균이  $20^\circ$  이상의 빔 폭을 가지고 있는 것을 확인할 수 있다.

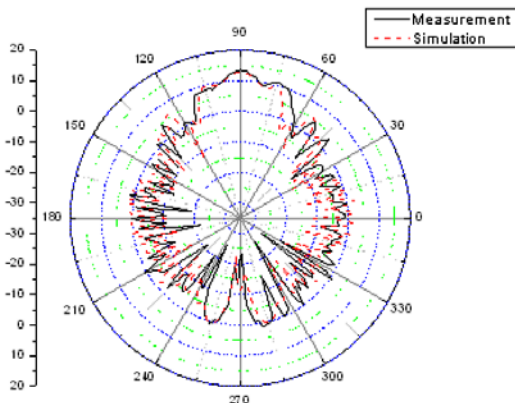
시간 영역 안테나는 주파수 특성뿐 아니라 시간 영역에서 신호의 왜곡이 최소화 되어야 하며, 왜곡의 정도는 group delay로 확인할 수 있다. Far-field에서 위상이 얼마나 선형인지를 알 수 있는 것이 group delay이며, group delay의 변화폭이 1 ns를 초과하면 펄스 왜곡이 초래된다. Group delay는 식 (11)로 정의되며,  $\phi$ 는 far-field 위상,  $f_n$ 는 주파수이다. 그림 11(a)는 TEM 혼 안테나를 1 m의 거리를 두고 수신된 안



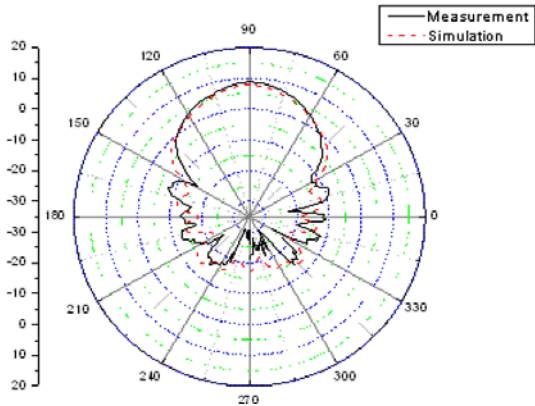
(a) E-평면 복사 패턴(3.5 GHz)  
(a) E-plane radiation pattern(3.5 GHz)



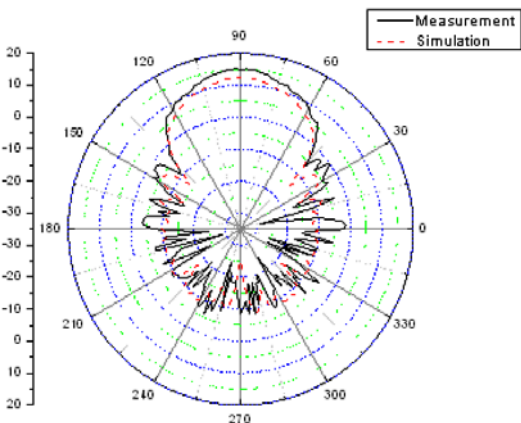
(b) E-평면 복사 패턴(6.5 GHz)  
(b) E-plane radiation pattern(6.5 GHz)



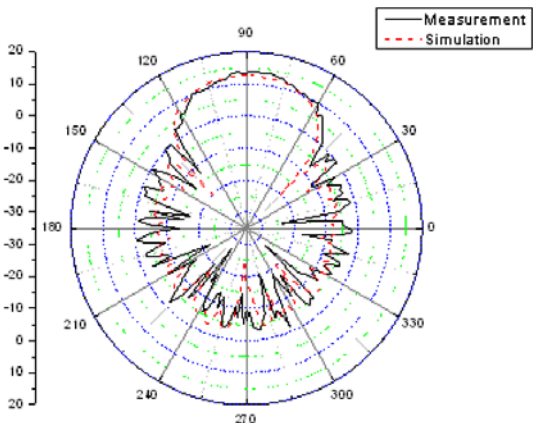
(c) E-평면 복사 패턴(9.5 GHz)  
(c) E-plane radiation pattern(9.5 GHz)



(d) H-평면 복사 패턴(3.5 GHz)  
(d) H-plane radiation pattern(3.5 GHz)



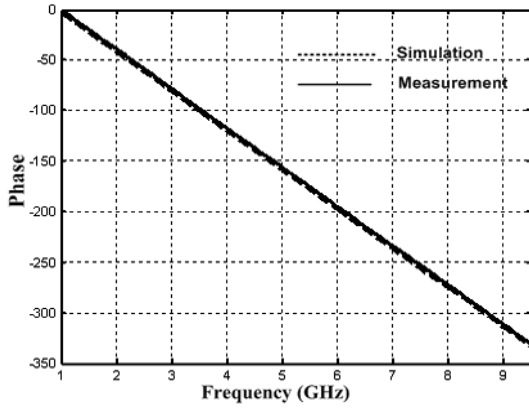
(e) H-평면 복사 패턴(6.5 GHz)  
(e) H-plane radiation pattern(6.5 GHz)



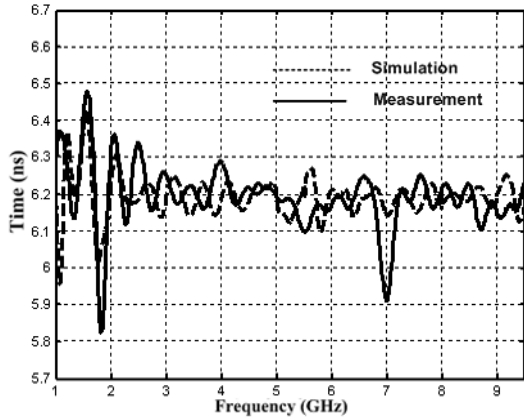
(f) H-평면 복사 패턴(9.5 GHz)  
(f) H-plane radiation pattern(9.5 GHz)

그림 10. TEM 혼 안테나의 복사 패턴

Fig. 10. The radiation patterns of the TEM horn antenna.



(a) TEM 혼 안테나의 phase  
(a) The phase of the TEM horn antenna



(b) TEM 혼 안테나의 group delay  
(b) The phase of the TEM horn antenna

그림 11. TEM 혼 안테나의 phase와 group delay  
Fig. 11. The phase and group delay of the TEM horn antenna.

테나에서의 phase의 시뮬레이션과 측정 결과이며, 그림 11(b)는 phase로부터 계산된 group delay 결과이다. 측정 결과 1~10 GHz 대역에서의 group delay의 변화폭이 0.4 ns 이하로 1 ns를 초과하지 않으며, 시뮬레이션 결과와 비슷하게 나오는 것을 확인할 수 있다.

$$\tau_g = -\frac{\partial \phi}{2\pi \partial f} \quad (11)$$

그림 12는 제안된 TEM 혼 안테나를 사용하여 송수신한 신호의 시간 영역 측정 결과이다. 펄스 발생기로부터 나온 신호를 송신용으로 사용된 TEM 혼

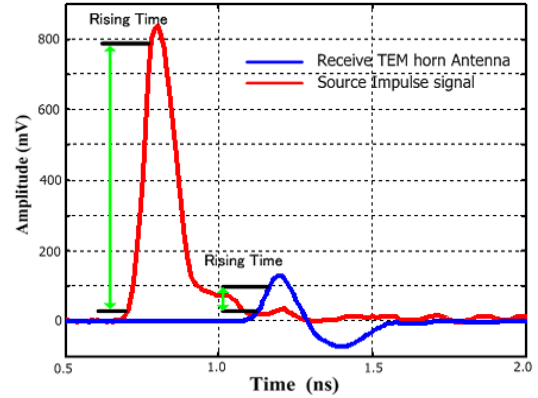


그림 12. 시간 영역 측정 결과  
Fig. 12. The measured time domain results.

안테나에 인가하고 수신용 TEM 혼 안테나의 출력을 디지털 오실로스코프로 측정하였다. TEM 혼 안테나의 경우, 송신과 수신의 transfer function이 서로 다르게 나타나며, 송신할 경우는 신호를 미분 형태로 보내며, 수신할 경우는 변화 없이 받게 된다<sup>[3]</sup>. 펄스 측정시 송신과 수신 신호의 상승 시간은 각각 58.5 ps와 66.5 ps로 대략 10% 이내의 변화를 보였다. 시간 영역 측정 결과와 group delay 결과로부터 제안된 TEM 혼 안테나는 펄스의 왜곡을 최소화하며 신호를 송수신하는 것을 확인하였다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 테이퍼 정합 공식과 Pareto 유전자 알고리즘을 이용하여 최적화된 2단 형태의 TEM 혼 안테나를 개발하였다. 또한 TEM 혼 안테나에 결합할 수 있는 마이크로 스트립 형태의 광대역 밸런을 유전자 알고리즘과 IE3D 툴을 이용하여 설계하였다. 제안된 안테나를 주파수 영역에서 측정한 결과로부터 2~10 GHz 주파수 대역에서 입력단 반사 손실은 -10 dB 이하이며, broadside에서 이득은 전 주파수 대역에서 null이 없고 이득 편차는 최대 이득 12 dBi 기준으로 6 dB 이하를 만족함을 확인하였다. TEM 혼 안테나의 복사 패턴 측정 결과 E-평면에서의 반전력 빔 폭은 평균 24°이며, H-평면에서의 반전력 빔 폭은 평균 32°이다. 안테나의 시간 영역 측정 결과 group delay의 변화폭은 0.4 ns 이하이며, 펄스 측정시 송신과 수신 신호의 상승 시간은 각각 58.5 ps와 66.5



ps로 대략 10 % 이내의 변화를 보였다. 시간 영역 측정 결과 펄스의 왜곡을 최소화하며 신호를 송수신하는 것을 확인하였으며, 본 논문에서 개발한 밸런을 결합한 TEM 혼 안테나는 UWB 통신 및 시간 영역 측정 시스템에 활용할 수 있다.

### 참 고 문 헌

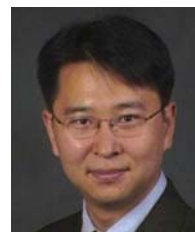
- [1] L. Yang, G. B. Giannakis, "Ultra-wideband communications", *IEEE Signal Proc. Mag.*, vol. 21, pp. 26-54, Nov. 2004.
- [2] K. Siwiak, D. Mckeown, *Ultra-wideband Radio Technology*, New York: John Wiley & Sons, 2004.
- [3] H. Schantz, *The Art and Science of Ultra-Wideband Antennas*, London: Artech House, 2005.
- [4] M. Kanda, "The effects of resistive loading of TEM horns", *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 24, pp. 246-255, May 1982.
- [5] K. Chung, S. Pyun, and J. Choi, "Design of an ultra-wideband TEM horn antenna with a microstrip-type balun", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 53, pp. 3410-3413, Oct. 2005.
- [6] R. T. Lee, G. S. Smith, "A design study for the basic TEM horn antenna", *IEEE Antennas Propagat. Mag.*, vol. 46, pp. 86-92, Feb. 2004.
- [7] D-W. Duan, Y. Rahmat-Samii, "A generalized diffraction synthesis technique for high performance reflector antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 43, pp. 27-40, Jan. 1995.
- [8] A. H. F. Dias, J. A. de Vasconcelos, "Multiobjective genetic algorithms applied to solve optimization problems", *IEEE Trans. Magnetics*, vol. 38, pp. 1133-1136, Mar. 2002.
- [9] S. Evans, F. N. Kong, "TEM horn antenna: input reflection characteristics in transmission", *IEE Proc. Optics and Antennas*, vol. 130, pp. 403-409, Oct. 1983.
- [10] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, New York: John Wiley & Sons, 1998.
- [11] B. Climer, "Analysis of suspended microstrip taper baluns", *IEE Proc. Microwave Antennas Propagat.*, vol. 135, pp. 65-69, Apr. 1988.

### 나 영 선



2005년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)  
 2005년 3월~현재: 홍익대학교 전자정보통신공학과 석사과정  
 [주 관심분야] TEM 혼 안테나, 혼 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한 안테나 설계

### 추 호 성



1998년 2월: 한양대학교 전과공학과 (공학사)  
 2000년 8월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학석사)  
 2003년 5월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학박사)

2003년 6월~2003년 8월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (Post Doctor)

2003년 8월~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 조교수  
 [주 관심분야] 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한 안테나 설계, RFID용 태그 및 리더 안테나

### 이 주 광



1984년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학사)

1994년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

2000년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

1986년 7월~현재: 한국표준과학연구원 기반표준부 전자그룹 책임기술원

[주 관심분야] 전자파 측정표준(감쇠량, 펄스특성, 시간영역 안테나), EMC 측정표준

### 강 진 섭



1987년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학사)

1989년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

1994년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

1994년 3월~1995년 3월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 위촉연구원

1995년 3월~1996년 2월: University of Illinois at Urbana-Champaign, Dept. of Electrical and Computer Eng., Post-doctoral Research Associate

1996년 3월~1998년 2월: 충북대학교 전기전자공학부 초빙 조교수

1998년 3월~현재: 한국표준과학연구원 기반표준부 전자그룹 책임연구원

[주 관심분야] 전자파 측정표준(임피던스, 고이득 안테나 특성), 전자파 산란 및 역산란, 수치해석