

논문 2013-50-8-37

# 군 지연 및 충실도를 이용한 IR-UWB용 테이퍼 슬롯 안테나 방사패턴 분석.

( Analysis of IR-UWB Tapered Slot Antenna Radiation Pattern using  
the Group delay and Fidelity )

김 근 용\*, 고 영 목\*, 박 경 진\*, 강 은 균\*\*, 이 대 우\*, 박 종 현\*, 나 극 환\*

( Keun-Yong Kim<sup>Ⓞ</sup>, Yong-Mok Ko, Kyoung-Jin Park, Een-Kyun Kang, Dae-Woo Lee, Jong-Hyun  
Park, Keuk-Whan Ra )

## 요 약

본 논문에서는 IR-UWB를 위한 테이퍼 슬롯 안테나를 Ansoft인 HFSS를 사용하여 설계 및 제작 하였고 안테나의 군 지연 및 충실도를 사용하여 광대역 안테나의 빔 폭에 대해 연구를 제안하였다. 이를 위해 Network Analyzer에서 획득한 데이터를 Chirp Z-transform을 사용하여 시간영역에서의 분석을 하였고 시뮬레이션은 CST microwave studio를 이용하여 이를 확인 하였다. 안테나의 방사패턴의 분석은 두 안테나를 0.5 미터 간격으로 이격시킨 후 송신 안테나를 고정 후 수신 안테나를 10° 간격으로 360° 회전하여 각각의 충실도를 획득하여 안테나의 성능 분석하였다. 분석한 결과  $\pm 40^\circ$  미만일 경우 90%이상의 양호한 충실도를 얻었고  $\pm 40^\circ$  이상은 90%이하의 낮은 결과를 얻었다. 이러한 충실도를 이용한 방사패턴을 사용함으로써 광대역 안테나의 빔 폭을 보다 정확한 분석을 할 수 있다.

## Abstract

In this paper, Tapered slot antenna of IR-UWB was Designed and fabricated using HFSS and we suggest the beam width of the broadband antenna using group-delay and fidelity. For this purpose, acquired data from the Network Analyzer was analyzed in the time domain by using the chirp-Z transform and Simulation was conducted and confirmed with the CST microwave studio. Analysis of the antenna radiation pattern is the antenna separation at intervals of 0.5 metres and then transmit antenna is fixed and the receiving antenna 360 degree intervals of 10 degree each, The results of the analysis are as follows, and analyzer of the fidelity of the antenna's performance. An analysis of more than 90 percent of the cases is less than  $\pm 40$  degrees in good fidelity, more than 90% less than  $\pm 40$  degrees and low fidelity. In conclusion, Analysis of Beam width of wideband antenna with more precise is possible through using these radiation pattern using fidelity

**Keywords :** IR-UWB, Group-delay, TSA, Fidelity, Radiation Pattern

\* 정회원, 광운대학교 전자공학과  
(Department of Electronic Engineering,  
Kwangwoon University)

\*\* 정회원, 유한대학교 전자정보과  
(Department of Electronic Engineering,  
Yuhan collage)

Ⓞ Corresponding Author(E-mail: super1316@hanmail.net)

※ 본 연구는 민군 겸용 기술 개발 사업비 지원으로  
수행되었음.

접수일자: 2013년6월15일, 수정완료일: 2013년7월23일

## I. 서 론

UWB 통신기술은 짧은 펄스를 이용하여 송수신하는  
기술로서 광대역을 걸쳐 잡음과 같은 저 전력 스펙트럼  
(-41.3 dBm/MHz)밀도로 사용하므로 같은 대역에서 사  
용하는 다른 통신시스템의 간섭을 주지 않고 고속 데  
이터 송수신이 가능하며 정밀한 위치 추적이 가능하기

때문에 UWB 기술에 대한 관심이 집중되고 있다. 2002년 2월 FCC(Federal communications Commission)가 UWB의 민간 사용 규제를 해지함에 따라 무선통신, 투과 레이더(Ground penetrating Radar, Through-Wall Radar), 위치 정밀추적 시스템, 비파괴 탐상 레이더(Non Destructive Testing in civil engineering), 의료 및 무선통신 시스템 등 많은 분야에서 UWB 안테나에 관한 많은 연구 개발이 이루어지고 있다.<sup>[2~3]</sup> UWB 시스템은 기존의 시스템에 비해 임펄스 신호를 사용함으로써 저 전력으로 대용량 데이터 전송 및 정밀한 측위가 가능함으로 UWB 시스템에서는 광대역 안테나가 요구가 된다. 이러한 광 대역폭 신호전송을 위한 UWB 안테나는 유전율에 따른 안테나의 크기 및 이득에 상관관계를 가지고 있다. 기존의 협대역 안테나 성능은 주파수 영역에서만 분석을 의존한 반면 IR-UWB 안테나는 시간영역에서의 펄스에 대한 전파 분산 특성과 왜곡에 대한 분석이 수행되어야 한다. 특히 정밀 측위를 위한 IR-UWB 안테나는 전파 분산 특성 및 왜곡 현상을 정확히 파악을 해야 하는데 분석을 위해서는 펄스간의 충실도를 사용하여야 한다. 특히 테이퍼 슬롯 안테나(TSA) 같은 마이크로스트립 안테나는 유전율에 의해 군 지연(Group-delay)이 발생하게 되는데 이런 군 지연에 의한 안테나 방사패턴의 빔 폭 및 펄스 충실도가 정해진다.

본 논문에서는 유전율이 4.7인 FR4 기판을 선택하여 Ansoft사의 HFSS를 사용하여 테이퍼 슬롯 안테나를 설계 및 제작하였다. 주파수 영역에서의 분석은 Network Analyzer와 HFSS 사용하여 방사 패턴 및 반사손실을 분석을 하였고, 3.1 ~ 10.6 GHz 대역에서  $VSWR \leq 2$ 를 만족함을 제시 하였다. 시간 영역에서의 분석은 CST microwave studio와 Network Analyzer를 사용하였다. 여기서 Network Analyzer는 주파수 영역에서 수신된 파라메타를 Chirp-Z transform 알고리즘을 통하여 시간영역으로 변환하여 분석을 하였다. 이러한 시간 영역에서의 분석으로 전파의 군 지연 및 충실도(Fidelity)를 구하여 안테나의 특성을 해석하였고, 충실도를 이용한 방사패턴이라는 부수적인 해석 방식을 사용하여 기존의 싱글 주파수에서의 안테나 빔 폭 분석보다 펄스에 대한 안테나의 빔 폭을 분석함으로써 UWB 안테나의 쉽게 해석 할 수가 있다.

## II. 테이퍼 슬롯 안테나 구조 및 설계

그림 1같이 테이퍼 슬롯 안테나 FR4 ( $\epsilon_r=4.7$ ,  $t=1.6$  mm) 기판을 사용하였고, Ansoft사의 HFSS를 사용하여 안테나를 설계를 하였다. 테이퍼 슬롯 안테나의 슬롯의 개구 폭은 최소 주파수의 반파장 보다 크게 해야 하므로 슬롯의 개구 폭인  $W_a$  는 수식(1)에 의해 최소 주파수인 3 GHz의  $\lambda/2$ 인 50 mm로 개구의 크기로 설계를 해야 한다.

$$W_a = \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

여기서, 광대역 특성을 위한 슬롯의 커브곡률 그림 1과 같이 R값을 0.625로 선정하였고, 안테나의 왼쪽 부분인 개구 폭인  $W_a$ 로 최대 낮은 주파수를 결정하며, 개구 폭이 좁아지는 폭은 가장 높은 주파수를 결정하게 된다. 이러한 구조를 수식 (2)를 통해 그림 1과 같이 테이퍼 슬롯부분을 설계 하였다.<sup>[7~10]</sup>

$$y(x) = c_1 e^{Rx} + c_2$$

$$c_1 = \frac{y_2 - y_1}{e^{Rx_2} - e^{Rx_1}}$$

$$c_2 = \frac{y_1 e^{Rx_2} - y_2 e^{Rx_1}}{e^{Rx_2} - e^{Rx_1}} \quad (2)$$

설계한 테이퍼 슬롯 안테나 사이즈는 50 mm X 50 mm이고, 입력 부분인 피드라인은 각각 50 옴을 맞추어서 설계를 하였다. 그림 2와같이 입력 부분인 마이크로스트립 선로 임피던스는 광대역 임피던스 변환기중 하나인 지수 변환기를 사용하여 임펄스 신호에 대한 펄스 왜곡 없이 광대역으로 동작하기 위해서 50 옴 임피던스를 갖는 급전부에서 100 옴임피던스를 가지도록 하여

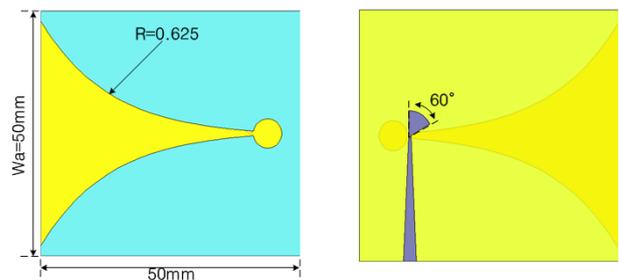


그림 1. 테이퍼 슬롯 안테나 설계  
Fig. 1. Design of the Tapered Slot Antenna.

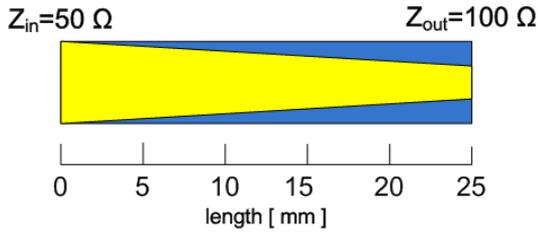


그림 2. 지수함수 임피던스 변환기  
Fig. 2. Exponential impedance transformer.

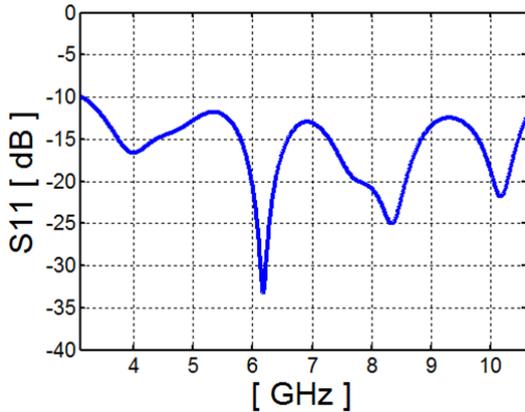


그림 3. 테이퍼 슬롯 안테나 반사손실 시뮬레이션 결과  
Fig. 3. Simulation of Taper Slot Antenna return loss.

UWB 주파수 대역에 반사 손실이 최소가 되도록 설계를 하였다. 지수함수 변환기는 수식 (3)을 통해 설계를 하였다.<sup>[12~13]</sup> 그림 3은 Ansoft사의 HFSS를 사용하여 테이퍼 슬롯 안테나의 반사손실을 도출하였다. 시뮬레이션 결과 3.1 ~ 10.6 GHz 대역에서의 VSWR≤2 임으로 UWB 안테나로 사용하기에 적합하게 설계를 하였다.<sup>[7~9, 14]</sup>

$$Z(x) = Z_{in} e^{\left[ \frac{x}{L} \ln \frac{Z_{out}}{Z_{in}} \right]} \quad (3)$$

시뮬레이션 결과 3.1~10.6 GHz 대역에서 임피던스는 광대역 임피던스 변환기를 사용한 이퍼 슬롯 안테나의 반사손실이 VSWR≤2 이하를 만족함을 그림 3에서 확인할 수 가 있다.

### III. 시간 영역에서의 펄스 분석

기존의 협대역 안테나는 주파수 영역에서의 분석만이 중점이 되었지만 UWB 안테나는 시간영역에서의 분석이 필요로 하다. UWB 임펄스 신호는 광대역 주파수

스펙트럼을 다루기 때문에 매우 짧은 펄스를 송신하게 되는데 짧은 펄스는 분산특성에 영향을 받는다. 송신된 펄스는 수신된 펄스와 동일하지 않다. 그러나 수신기에서는 수신된 펄스를 인식해야 함으로 펄스의 왜곡현상을 예측·분석해야 한다. 펄스 특성의 분석을 하기 위해서는 송신 신호  $S_{TX}(t)$ 와 수신 신호  $S_{RX}(t)$ 의 충실도(Fidelity)를 확인해야 한다. 충실도는 두 안테나 사이의 송신 및 수신 신호를 비교하여 송신 신호를 기준으로 수신 신호의 왜곡의 크기를 계산 한 것이다.

수식 (4) (5)와 같이 송·수신 신호를 각 신호의 자기 신호의 제곱근하여 정규화 함으로써 비교할 수 있다. 정규화 된  $S_{RX}(t)$ 는  $S_{TX}(t)$ 보다 훨씬 낮을 것으로 예상되지만 수신된 펄스의 크기와 상관없이 펄스의 형태로만 비교가 이루어 져야 한다.<sup>[4~6, 9~10]</sup>

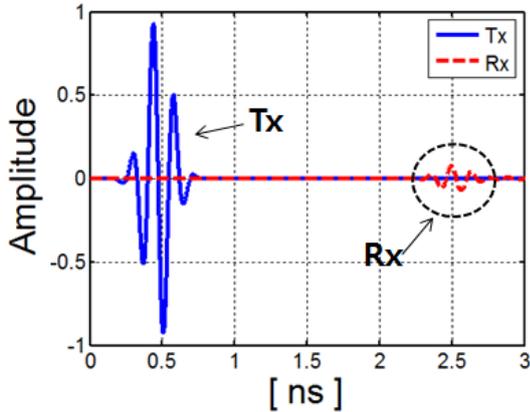
$$S_{RX}(t) = \frac{R_X(t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |R_X(t)|^2 dt}} \quad (4)$$

$$S_{TX}(t) = \frac{T_X(t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |T_X(t)|^2 dt}} \quad (5)$$

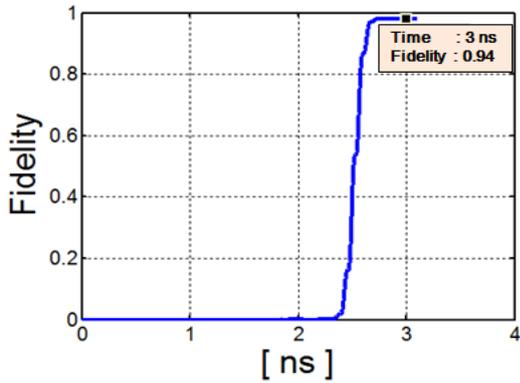
$$F = \max_{\tau} \int_{-\infty}^{\infty} S_{TX}(t) \cdot S_{RX}(t - \tau) dt \quad (6)$$

신호간의 상호 관계는 모든 시간의 지점에서 이루어 지지만 두 펄스가 겹치는 경우에 상관관계의 최대값을 얻을 수 있다. 여기서 식(6)의 F 범위는 0에서부터 1까지의 값을 갖게 된다. F의 값이 1인 경우 송신과 수신 의 신호가 왜곡이 없다는 것을 의미한다.

그림 4는 CST microwave studio를 사용하여 송신 펄스와 수신펄스의 형태와 상호간의 충실도를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 충실도가 94 %가 일치함을 알 수가 있다. 그러나 자유 공간에서 펄스 신호의 분산특성으로 왜곡이 생김을 확인 할 수가 있다. 이러한 왜곡은 안테나의 군 지연(Group-delay)이 발생하여 펄스의 분산특성이 나타난다. 군 지연은 일반적으로 두 개의 포트 장치인(필터, 증폭기 등) 특성화 하는데 사용되지만, UWB 안테나에서도 사용을 해야 한다. 그것은 안테나 시스템의 총 위상의 왜곡을 측정하고 전송 신호의 분산을 유추 할 수 있기 때문이다. 그러므로 안



(a) Simulation



(b) Pulse Fidelity

그림 4. 송·수신 펄스의 충실도 결과

Fig. 4. Fidelity Result of the transmitted and the received pulses.

테나 분석할시 군 지연에 대한 특성도 파악을 해야만 한다. 군 지연을 구하기 위해서는 식 (7)처럼 계산할 수가 있다.<sup>[1]</sup>

$$\tau = -\frac{d[\angle H(w)]}{dw} = -\frac{1}{360^\circ} \frac{d[\angle H(f)]}{df} \quad (7)$$

이러한 군 지연은 주파수 대 위상응답의 미분으로 정의 할 수가 있으며 군 지연을 사용하여 테이퍼 슬롯 안테나의 방사패턴과 충실도의 상관관계를 분석 할 수가 있다. 군 지연이 많이 발생하는 부분은 펄스의 퍼짐 현상이 나타나 펄스의 충실도가 낮아지고 군지연이 적은 부분은 높은 충실도를 얻을 수가 있다. 또한 군 지연과 충실도의 상관관계를 통해 주파수별 방사패턴도가 아닌 충실도를 이용한 방사패턴으로 광대역에 대한 안테나 빔 폭을 증명할 수가 있다. 자세한 내용은 시간영역에서의 측정 및 분석에서 확인 할 수가 있다.

#### IV. 측정 및 시뮬레이션 결과 값

##### 1. 주파수 영역에서의 측정 및 분석

그림 5와 같이 테이퍼 슬롯 안테나를 FR4 ( $\epsilon_r=4.7$ )의 기판을 사용하여 테이퍼 슬롯 안테나를 제작 하였다. 제작된 안테나의 반사손실은 그림 6에 측정 및 시뮬레이션 결과를 비교하여 나타내었다. 측정은 HP 8720D Network Analyzer를 사용하여 측정을 하였다. 반사손실 측정결과 Ansoft사의 HFSS의 시뮬레이션 결과와 유사함을 보이며 3.1 GHz ~10.6 GHz대역의 반사손실 특성이  $VSWR \leq 2$  이하를 만족함을 보인다.

그림 7은 제작된 테이퍼 슬롯 안테나에 대해 3, 6, 10GHz에 대해 측정한 E-plane와 H-plane 방사 패턴과 HFSS 시뮬레이션 결과를 비교하여 나타냈다. 제작된 테이퍼 슬롯 안테나의 방사패턴의 특성은 국립전파연구원 전자파측정센터에서 측정 하였다. 측정결과 테이프 슬롯 안테나의 전체적 이득은 최소 3.88 dBi에서 최대 6.97 dBi이며 E-Plane의 3-dB 빔 폭은 27.37°에서 69.81°, H-plane에서는 40.62°에서 134.98°값을 얻었으며 지향성을 갖는 안테나로 설계가 되었음을 확인하였

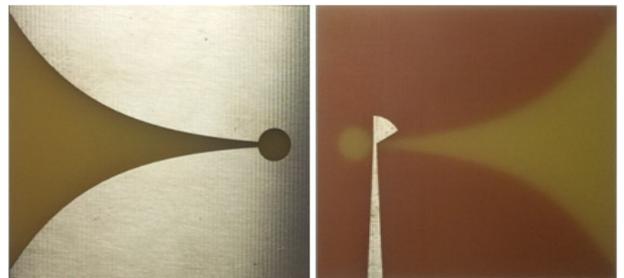


그림 5. 제작한 테이퍼 슬롯 안테나

Fig. 5. Fabricated tapered slot antenna.

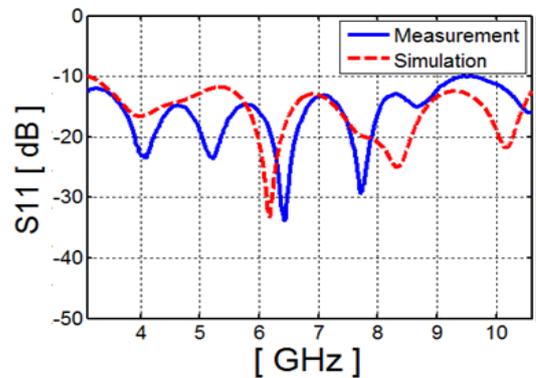


그림 6. 시뮬레이션 및 측정된 반사 손실

Fig. 6. Simulated and measured return loss.

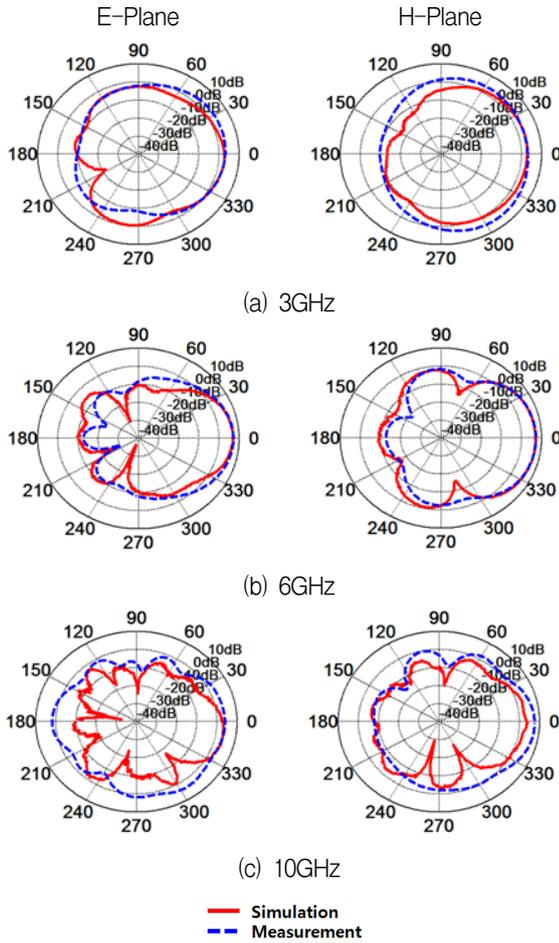


그림 7. 테이퍼 슬롯 안테나 방사패턴  
Fig. 7. TSA Radiation pattern.

표 1. 제작된 테이퍼 슬롯 안테나의 측정 결과  
Table 1. Measurement result of the TSA.

Freq (GHz)	Gain (dBi)	3-dB BW (degree)	
		E-plane	H-plane
3	3.88	69.81	134.98
4	4.47	67.15	129.48
5	6.34	65.90	98.12
6	6.97	45.83	92.61
7	6.46	42.00	69.66
8	6.38	29.35	48.05
9	6.27	28.60	47.73
10	6.02	27.37	40.62

다. 시뮬레이션과 측정된 방사패턴의 각도와 안테나 이득이 비교적 비슷함을 알 수가 있다. 제작된 안테나의 측정된 방사 특성은 표 1에 간략하게 요약 하였고, 제작된 테이퍼 슬롯 안테나는 IR-UWB 신호 전송이 가능함을 알 수가 있다.

2. 시간 영역에서의 측정 및 분석

본 논문에서는 테이퍼 슬롯 안테나의 시간 영역 특성을 분석하기 위해서 그림 8과 같이 시간 영역의 해석이 가능한 시뮬레이션인 CST microwave studio를 사용하였고, 제작된 안테나의 측정은 그림 9와 같이 무반사실에서 Network Analyzer를 사용하여 측정을 하였다. 측정 및 시뮬레이션에서는 송·수신 안테나를 자유 공간에서 Far-field 상태에 있도록 안테나 사이를 0.5 m 간격으로 이격을 시켰다. 테이퍼 슬롯 안테나의 방사 패턴에 의한 시간 영역 특성을 분석하기 위해서 Tx 안테나를 고정 후 Rx 안테나를 10° 단위로 360° 회전을 하여 각각의 송·수신 펄스의 충실도를 측정 하였다. 무반사실에서 펄스 충실도를 측정하기 위해서는 Network Analyzer를 사용을 하였고 수신된 결과는 주파수 영역상의 S21의 값을 vector 값으로 데이터 값을 받아 Chirp-Z transform을 사용하여 시간 영역의 데이터로 변환하여 분석하였다.

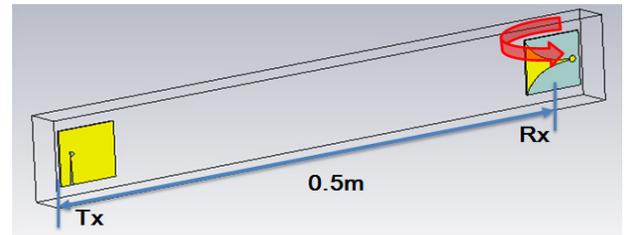


그림 8. CST를 이용한 FDTD 시뮬레이션  
Fig. 8. FDTD simulation using CST studio.

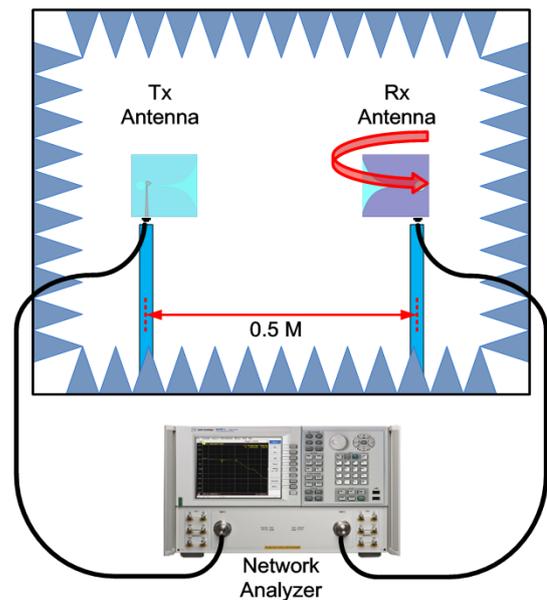


그림 9. 무반사실에서의 측정 셋업  
Fig. 9. Measurement setup inside an anechoic chamber.

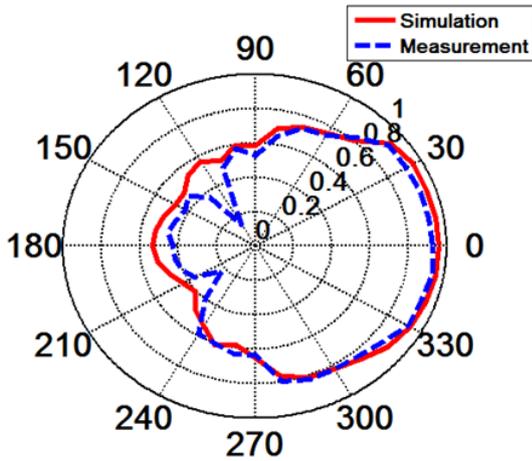
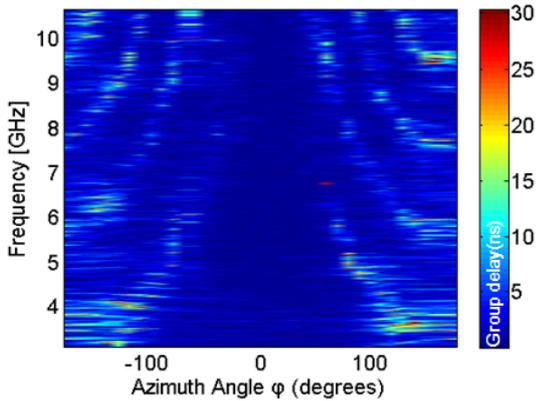
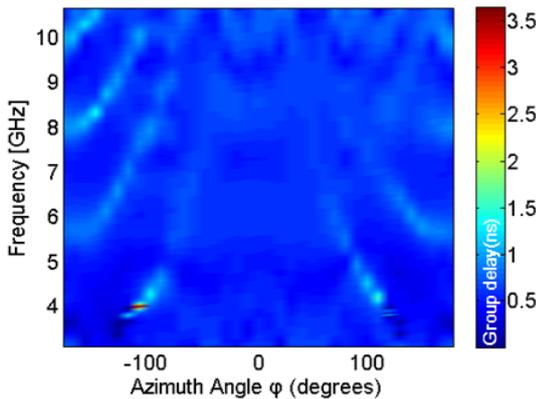


그림 10. 충실도를 이용한 방사패턴  
Fig. 10. Radiation pattern using Fidelity.



(a) Measurement



(b) Simulation

그림 11. 테이퍼 슬롯 안테나 방위각에 대한 군 지연  
Fig. 11. TSA Antenna Azimuth Group Delay.

Chirp-Z transform은 FFT와 같은 기능을 하지만 Zoom-in이 가능한 알고리즘으로써 시간영역에서의 분석에서 유용하다.<sup>[11~12]</sup>

충실도 측정 결과 그림 4와 같이 시뮬레이션과 측정 값이 비슷함을 얻을 수 있었고, 수신 안테나가 0° 일 경우 94 % 충실도를 얻었다. 이러한 충실도 결과를 그림 10과 같이 Polar chart로 나타냈다. 테이퍼 슬롯 안테나는 ±40° 까지 90 % 의 충실도를 얻었고 그 외의 각도에서는 90% 이하임을 알 수 있다.

이러한 낮은 충실도는 군 지연과 상관관계를 분석하기 위해 그림 11에서 테이퍼 슬롯 안테나 방위각에 대한 군 지연을 나타내었다.<sup>[11]</sup> 군 지연 또한 시뮬레이션과 측정값을 비교한 결과 비슷한 패턴을 가짐을 확인 하였다. 군 지연이 나타나지 않는 부분은 충실도가 높고 군 지연이 많이 발생하는 부분은 충실도가 낮음을 알 수가 있다. 기존의 안테나의 방사 패턴을 분석시 하나의 주파수에 대한 방사패턴을 가지고 빔 폭을 알 수 있으나 IR-UWB와 같은 광대역 안테나 같은 경우 광대역을 해석해야 하기 때문에 빔 폭을 쉽게 판단하기가 어렵다. 그러므로 충실도를 사용한 방사패턴은 광대역 안테나의 빔 폭을 좀 더 쉽게 확인 할 수가 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 IR-UWB를 위한 테이퍼 슬롯 안테나를 설계 및 제작 하였다. 설계된 테이퍼 슬롯 안테나는 광대역 임피던스 변환기를 사용하여 3.1 GHz~10.6GHz 까지 대역에서 반사손실이  $VSWR \leq 2$  이하를 만족함으로써 UWB대역에서의 사용이 적합하게 설계를 하였다. 설계된 및 제작 된 안테나는 주파수 영역에서의 해석과 시간영역에서의 분석을 하였다. 주파수 영역에서의 해석은 주파수 마다 방사패턴 및 반사손실을 확인하였고, 시간영역에서의 분석은 군 지연과 충실도를 사용하여 안테나의 특성을 확인하였다. 안테나의 이득은 군 지연과의 상관관계로 인해 이득이 낮은 부분은 펄스의 왜곡이 발생을 하였고, 이러한 현상으로 인해 충실도를 이용한 방사패턴이라는 방법으로 안테나의 방사패턴을 해석하였다. 기존의 안테나 방사패턴 해석 방식은 하나의 주파수를 사용하여 표 1과 같이 여러 주파수별 3-dB bandwidth 빔 폭을 확인하였다. 이러한 기존의 안테나의 측정방식은 광대역 대역폭에서의 안테나 빔 폭을 알 수가 없다. 그러나 충실도를 이용한 방사패턴 방식은 그림 10과 같이 충실도가 90프로 이상의 수신이 되는 부분을 기준으로 빔 폭이 ±40도가 된다는 사실을 알 수

가 있고, 또한 그림 11에서 보는 바와 같이 군지연이 없는 부분이  $\pm 40$ 도 입을 검증 할 수가 있다.

## REFERENCES

- [1] D.-H. Kwon, "Effect of Antenna Gain and Group Delay Variations on Pulse-Preserving Capabilities of Ultrawideband Antennas," *IEEE Trans. Antennas & Propagation*, vol. 58, no. 8, August 2006
- [2] J. D. McKinney, D. Peroulis, and A. M. Weiner, "Time-domain measurement of the frequency dependent delay of broadband antennas", *IEEE Trans. Antennas & Propagation*, vol. 56, no. 1, pp.39-47, Jan. 2008.
- [3] F. Jolani, G. Dadashzadeh, M. Naser Moghadasi, and A. Dadgarpour, "Design and optimization of compact balanced antipodal vivaldi antenna", *Progress in Electromagnetics Research C.*, vol. 9, pp. 183-192, 2009.
- [4] Z. Ning Chen, X. H. Wu, and H. F. Li, "Considerations for source pulses and antennas in UWB radio system", *IEEE Trans. Antennas & Propagation*, vol. 52, no. 7, pp. 1739-1748, Jul. 2004.
- [5] Dong Mei Shan, Zhi Ning Chen, and Xuan Hui Wu, "Signal optimization for UWB radio systems", *IEEE Trans. Antennas & Propagation*, vol. 53, no.7, pp. 2178-2184, Jul. 2005.
- [6] Q. Wu, R. Jin, J. Geng, and M. Ding, "Pulse preserving capabilities of printed circular disk monopole antennas with different grounds for the specified input signal forms," *IEEE Trans. Antennas Propagation*, vol. 55, No. 10, pp. 2866-2873, Oct. 2007.
- [7] S. Kasturi and D.H. Schaubert, "Effect of Dielectric Permittivity on Infinite Arrays of Single-Polarized Vivaldi Antennas," *IEEE Trans. Antennas & Propagation.*, vol. 54, No.2, pp.351-358, Feb. 2006.
- [8] Kota, K. and L. Shafai, "Gain and radiation pattern enhancement of balanced antipodal Vivaldi antenna," *Electronics Letters*, Vol. 47, no. 5, pp.303-304, Mar. 2011.
- [9] 고영목, 김근용, 나극환, "IR-UWB 시스템을 응용을 위한 시간- 및 주파수-영역에서의 안티포달 비발디 안테나 성능 평가" *한국전자과학회 논문지*, 제23권, 제2호, 159-168쪽, 2012년 2월
- [10] 고영목, 김중민, 김근용, 나극환, "UWB 안테나 링 크 특성화를 위한 네트워크 분석기를 이용한 시간 영역 측정 및 분석기술 연구" *전자공학회 논문지*, 제49권, 제10호, 69-80쪽, 2012년 10월
- [11] 박영진, 송종화, 김관호, "임펄스 전파 채널에서의 초광대역 안테나 영향 연구" *전자공학회 논문지*, 제42권, 제12호, 165-170쪽, 2005년 12월
- [12] L.R. Rabiner, R.W. Schafer, C.M. Rader, "The chirp z-transform algorithm," *IEEE Transactions on Audio Electroacoustics*, vol 17, no.2 pp.86-92, jun. 1969.
- [13] R. W. Klopfenstein, "A transmission line taper of improved design", *Proceedings of the IRE*, pp.31-35, Jan. 1956.
- [14] R. E. bode. Collin, "Theory and design of wide band multisection quarter wavetransformer", *Proc. IRE*, vol. 43, pp. 179-185, Feb. 1955.

저 자 소 개



김 근 용(정회원)  
2008년 2월 경동대학교 멀티미디어 통신과 졸업(공학사)  
2010년 2월 광운대학교 전자공학과 졸업(공학석사)  
2012년 2월~현재 광운대학교 전자공학과 박사과정

<주관심분야 : UWB Antenna, UWB Radar, DSP EMI/EMC>



이 대 우(정회원)  
2011년 2월 경동대학교 멀티미디어 통신과 학사 졸업(공학사)  
2011년 2월~현재 광운대학교 전자공학과 석·박통합과정.

<주관심분야 : UWB Antenna, EMI/EMC, DSP, 수치해석>



고 영 목(정회원)  
1991년 2월 광운대학교 전자공학부 (공학사)  
1993년 2월 광운대학교 전자공학과 (공학석사)  
2006년 9월~현재 (주)디에스티

<주관심분야 : Radar System, UWB시스템, 수치해석>



박 종 현(정회원)  
2006년 2월 상지대학교 국제통상학과 졸업(학사)  
2010년 2월 광운대학교 유비쿼터스, 컴퓨팅 석사 졸업 (공학석사)  
2012년 2월~현재 광운대학교 전자공학과 박사과정

2008년 7월~현재 (주)노하 대표  
<주관심분야 : UWB Antenna, UWB Radar, DSP, EMI/EMC>



박 경 진(정회원)  
2001년 2월 광운대학교 전자공학부 (공학사)  
2003년 2월 광운대학교 전자공학과 (공학석사)  
2012년 광운대학교 전자공학과 박사 수료.

2005년 5월~2008년 1월 블루버드소프트 전임 연구원  
2008년 2월~2010년 9월 애니데이터 코리아 전임 연구원  
<주관심분야 : 통신, 컴퓨터, EMI/EMC, 반도체, 수치해석>



나 극 환(정회원)  
1981년 7월 프랑스 ENSEEIHT 국립종합과학대학 (공학박사)  
1981년 9월~1986년 12월 광운대학교 전자공학과 부교수

1987년 1월~1988년 1월 미국 COMSAT 연구소 객원연구원  
1988년 2월~현재 광운대학교 전자공학과 교수  
<주관심분야 : RF 및 마이크로파 통신시스템, 밀리미터파 통신 시스템, 수치 해석>



강 은 균(정회원)  
1998년 광운대학교 전자공학과 (공학석사).  
2013년 광운대학교 전자공학과 (공학박사)  
2011년 9월~현재 유한대학교 전자정보과 강의전담 교수

<주관심분야 : 반도체, 초고주파, 신호처리>