

# 임펄스 유사 신호 복사에 적합한 비발디 안테나 설계

이두진, 고봉진\*

## Design of Vivaldi Antenna suitable for Impulse-like Waveform Radiation

Doojin Lee, Bong Jin Ko\*

**요약** 본 논문에서는 임펄스 유사 신호 복사를 위한 안테나 설계 방법에 대하여 기술하였다. 임펄스 유사 신호의 스펙트럼은 수GHz의 대역을 가지는 파형으로 안테나의 설계도 광대역에 걸쳐 동작할 수 있도록 설계됨과 동시에 근거리 임펄스 레이더 응용에 활용되기 위해서는 시영역에서의 복사 펄스를 반영한 설계가 필요하다. 시영역에서의 복사 펄스 특성을 반영한 비발디 안테나를 설계하였고 안테나의 특성을 주파수 영역 및 시영역에서 검증하였다. 설계된 안테나는 약 1.8GHz에서 10GHz 이상의 광대역을 걸쳐 동작함을 확인할 수 있으며 안테나의 입력임피던스는 1GHz 이후부터 10GHz까지 광대역에 걸쳐  $100 \cdot \Omega$ 에 유사한 값으로 안정적으로 수렴함을 측정 및 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있다. 전방향으로 복사되는 파형의 특성을 시영역에서 30도 간격으로 확인하였으며 안테나로부터 복사되는 파형은 지향성을 가짐을 확인하였다. 본 연구의 결과는 근거리 탐지 응용분야와 같은 지표투과레이더 설계에 활용 가능할 것으로 보인다.

**Abstract** In this paper, the method to design the antenna, which is suitable for an impulse-like waveform radiation, is presented. In general, the impulse-like waveform has its spectrum of around sub GHz bandwidth and the antenna should be properly designed for not only operating wide-bandwidth also reflecting the time domain characteristics for near-zone impulse radar applications. In this regard, Vivaldi antenna has been designed and characterized in terms of short-pulse radiating aspects in the time domain and verified by measured results. The designed antenna has shown to be operating within wide-bandwidth and to be stable for the input impedance from 1.8 to more than 10GHz. The far-zone radiating waveform has been investigated on each plane at the interval of 30degree and the designed antenna has shown to be a directive characteristic. It can be seen that those results proposed are widely applicable to the near area sensing applications such as ground-penetrating radar.

**Key Words** : Radar, Time-domain pulse, UWB, Vivaldi antenna

### 1. 서론

임펄스 유사 신호는 시영역에서 펄스 폭이 수 피코초(Pico second)에 준하는 파형을 의미하며 해당하는 펄스의 스펙트럼은 수 GHz의 대역폭을 가지는 파형이다 [1]. 이러한 임펄스 유사 신호 파형은 주로 근거리 임펄스 레이더 응용에 사용되는 안테나의 입력신호

로 사용된다 [1].

한편, 근거리 임펄스 레이더는 안테나로부터 송신된 임펄스 유사 신호를 기반으로하여 50cm ~ 1m 이내의 탐지거리에 존재하는 물체로부터 반사되는 펄스를 수신한다. 이후 일련의 신호처리과정을 거쳐 물체의 위치정보, 고해상도 영상과 같은 부가적인 정보를 획득한다. 이러한 근거리용 임펄스 레이더는 지표투

Department of Electrical, Electronic, and Control Engineering, Changwon National University (CWNU), Changwon 51140, South Korea. This research was supported by Changwon National University in 2023~2024.

\*Corresponding Author : Division of Electronic Engineering, Changwon National University (bjko@changwon.ac.kr)

Received February 14, 2024

Revised February 22, 2024

Accepted February 26, 2024

과 레이더 (Ground-Penetrating Radar, GPR), 벽 투과 레이더 (Through-The-Wall Radar, TWR), 의료 영상화 (Medical Imaging Radar, MIR) 등 과 같은 고해상도 영상 응용에 활용된다 [2],[3].

근거리용 임펄스 레이더에 사용되는 안테나는 UWB 등에 적용되는 초광대역 안테나로서 수십 GHz의 대역에 걸쳐 동작할 수 있도록 설계가 된다. 전형적인 초광대역 안테나의 종류는 주파수에 따라 안테나의 특성 변화가 적은 주파수 비의존적 형태의 보우타이 안테나(Bow-tie Antenna) [4], 시뉴어스 안테나(Sinusoidal Antenna) [5] 및 대수주기 안테나(Logperiodic Antenna) [6], TEM 혼 안테나 (TEM horn Antenna) [7], 그리고 비발디 안테나 (Vivaldi Antenna) [8] 등이 있다. 이러한 전형적인 초광대역 안테나의 경우 광대역에 걸친 안테나의 특성이  $-10\text{dB}$  이하의 반사계수, 안정된 입력 임피던스, 안테나 이득 및 안테나 복사패턴 등과 같이 주파수 영역에서 만족하도록 설계한다.

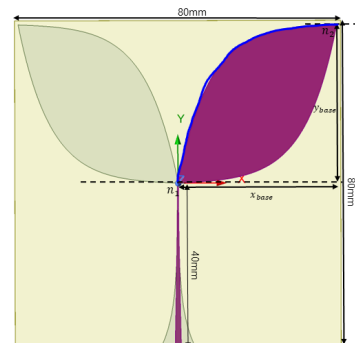
한편, 근거리용 임펄스 레이더 응용에 사용되기 위해서는 시영역에서의 펄스 특성이 중요하다. 전형적인 초광대역 안테나의 종류인 시뉴어스 안테나 및 대수주기 안테나의 경우는 안테나 방사체 형상에 기인한 분산현상이 심하다. 이러한 안테나의 시영역에서의 복사 특성은 파형이 퍼져보이는 현상으로 인하여 신호처리 후 영상신호 획득 시 영상품질이 좋지 않는 결과로 이어진다. 이러한 관점에서 주파수에서의 특성 뿐만 아니라 시영역에서 안테나의 특성인 입력 펄스 대비 반사파형의 크기 및 형태, 안테나로부터 복사되는 파형의 크기 및 형태, 그리고 입력으로 사용되는 파형과의 충실도(Fidelity Factor, FF) 등 시영역에서의 펄스 형태도 임펄스 레이더 응용에 사용되기 위해서는 안테나 설계 시 시영역에서의 특성이 반영될 필요가 있다.

시영역에서의 복사 특성을 개선하기 위해서 전형적인 초광대역 안테나에 저항성분을 장하한 저항성 안테나가 있다 [4]. 저항성 안테나는 일련의 저항성분을 안테나 방사체에 삽입하는 것을 특징으로 한다. 저항성분에 의해 전류가 안테나 방사체를 따라서 흐를 때 점진적으로 줄어들어 안테나 암 끝 단에서의 반사를 최소화하도록 한다. 이러한 안테나의 방사체로부터 복사

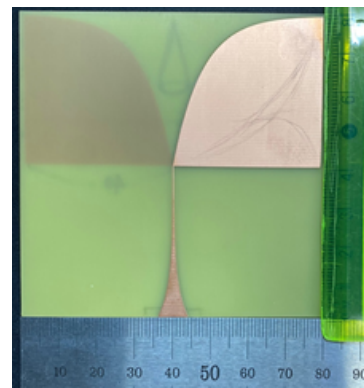
되는 파형의 특성은 입력 신호로 사용된 파형과 유사한 신호가 복사됨으로서 시영역에서 파형이 개선되는 효과가 있는 반면에 저항성분으로 인한 안테나 이득 저하 및 30% 정도의 안테나 효율로 단점이 존재한다 [4].

본 논문에서는 전형적인 초광대역 안테나의 한 종류인 비발디 안테나를 대상으로 시영역에서의 파형 특성을 반영한 임펄스 유사 신호를 복사할 수 있는 안테나 설계 방법을 제안한다. 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 시영역에서의 복사 특성을 반영한 비발디 안테나 설계에 관하여 기술하였다. 3장에서는 설계된 안테나의 특성을 주파수 영역 및 시영역에서 시뮬레이션 결과 및 측정결과와 함께 도시화하고 검증된 내용을 기술하였다. 4장에서는 본 논문의 결과에 대해 기술하였다.

## 2. 비발디 안테나 설계



(a)



(b)

그림 1. 비발디 안테나 ; (a) 안테나 설계 형상 ( $n_1=6, n_2=1, n_3=5, \text{ and } n_4=10$ ); (b) 최종 형상으로 제작된 안테나 ( $n_1=6, n_2=1, n_3=1 \text{ 및 } n_4 = \infty$ ) Fig. 1. Vivaldi antenna ; (a) Schematic of Vivaldi antenna ( $n_1=6, n_2=1, n_3=5, \text{ and } n_4=10$ ); (b) Finalized configuration of fabricated antenna ( $n_1=6, n_2=1, n_3=1, \text{ and } n_4 = \infty$ ).

그림 1은 본 논문에서 사용된 비발디 안테나의 형상이다. 안테나는 초광대역 발륜을 통해서 비대칭적인 구조인  $50\Omega$  에서 대칭적인 구조인  $180\Omega$ 으로 점진적으로 임피던스가 변화하는 전송선로를 통해 급전되는 구조로서 마이크로스트립 선로 수식을 활용하여 Ansys HFSS 소프트웨어를 통해 설계되었다 [9]. 안테나 방사체는 지수함수적인 곡선을 활용하여 광대역에 걸쳐 동작할 수 있도록 설계하였다. 방사체는 안티포달형으로서 0.8mm 두께를 가지는 FR-4 기판(상대유전율 4.4, 탄젠트손실 0.02)을 기준으로 윗면(신호선, Signal Line)과 아랫면(접지선, Ground Line)이 대칭적인 구조이다. 방사체의 윗면 곡선을 제 1곡선이라고 곡선의 설계는 다음과 같은 수식을 통해 구체화할 수 있다.

$$y = a \cdot e^t + b \dots\dots\dots(1)$$

$$x = c \cdot t + d \dots\dots\dots(2)$$

여기서 (1) 수식의 계수인 a와 b는 ( $n_1, 0$ ), ( $n_2, y_{base}$ )를 (1) 수식에 대입 후 정리하면 안테나 방사체가 가지고 있는 변수로 표현될 수 있으며 다음과 같이 정리된다.

$$a = \frac{-y_{base}}{e^{n_1} - e^{n_2}}, b = -a \cdot e^{n_1} \dots\dots\dots(3)$$

여기서  $y_{base}$ ,  $n_1$  및  $n_2$  ( $n_2 < t < n_1$ ) 는 각각 y 방향으로의 방사체 길이, 시작점에서의 제 1곡선 기울기에 관여하는 파라미터 및 방사체 끝점에서 제 1곡선의 기울기에 관여하는 파라미터이다. (2) 수식에서의

계수인 c와 d는 ( $n_1, 0$ ), ( $n_2, x_{base}$ )를 (2) 수식에 대입 후 정리하면 다음과 같이 계수를 도출할 수 있다.

$$c = \frac{-x_{base}}{n_1 - n_2}, d = -c \cdot n_1 \dots\dots\dots(4)$$

여기서  $x_{base}$  는 방사체의 x 방향으로의 길이이다.

마찬가지로 방사체의 아랫면에 해당하는 곡선을 제 2곡선이라고 제 2곡선의 설계는 제 1곡선의 설계와 유사한 방식으로 구할 수 있으며 도출된 수식을 정리하면 다음과 같다.

$$y = \frac{-y_{base}}{e^{n_3} - e^{n_4}} - \frac{-y_{base}}{e^{n_3} - e^{n_4}} \cdot e^{n_3} \dots\dots\dots(5)$$

$$x = \frac{-x_{base}}{n_3 - n_4} \cdot t - \frac{-x_{base}}{n_3 - n_4} \cdot n_3 \dots\dots\dots(6)$$

여기서  $n_3$  및  $n_4$  ( $n_3 < t < n_4$ ) 는 각각 시작점에서 제 2곡선의 기울기에 관여하는 파라미터 및 방사체 끝점에서 제 2곡선의 기울기에 관여하는 파라미터이다.

결국 수식 (1)과 (2)은 방사체의 제 1곡선 그리고 수식 (5)와 (6)은 방사체의 제 2곡선을 특정하며 파라미터  $n_1$  및  $n_2$  은 제 1곡선의 기울기 그리고  $n_3$  및  $n_4$ 은 제 2곡선의 기울기 변화를 제어하는 파라미터이다. 본 논문에서는 제1곡선 및 2곡선의 기울기에 관여하는 파라미터  $n_1, n_2, n_3, \text{ 그리고 } n_4$ 의 변화를 기반으로하여 Global Minimum 에 해당하는 변수 찾아 이를 시영역에서의 파형 특성을 살펴본다.

파라미터 변화에 따른 방사체의 형상 변화로 야기된 안테나의 시영역에서의 복사 특성을 평가하기 위한 지표(Evaluation Factor, EF)로서 본 논문에서는 다음과 같은 수식을 제안한다.

$$EF = \frac{E_{rad.} \cdot FF}{E_{ringing} \cdot \left(\frac{E_{refl.}}{E_{in.}}\right)} \dots\dots\dots(7)$$

여기서  $E_{rad.}$ ,  $E_{ringing}$ ,  $E_{refl.}$  그리고  $E_{in.}$ 는 각각 시영역에서 복사 파형의 에너지, 복사파형 뒤 떨림 현상에 대한 에너지 (Late-Time Ringing), 안테나 반사 파형 에너지, 그리고 인가되는 파형의 에너지이다. 시영역에서의 파형은 안테나에서 반사펄스 ( $E_{refl.}$ )가 작고 안테나에서 복사되는 펄스 ( $E_{rad.}$ )는 커야하며, 복사되는 펄스 뒤에 발생하는 떨림현상 ( $E_{ringing}$ )이 작은 파형이 이상적인 파형이 된다.

### 3. 안테나 특성 및 검증

그림 2는 방사체의 파라미터 중 하나인  $n_1$ 을 변화시키고( $4 < n_1 < 10$ ) 나머지 파라미터인  $n_2$ ,  $n_3$ , 그리고  $n_4$ 를 고정된 상태로 방사체의 변화에 따른 안테나의 특성을 주파수 영역 및 시영역으로 도시화하였다.

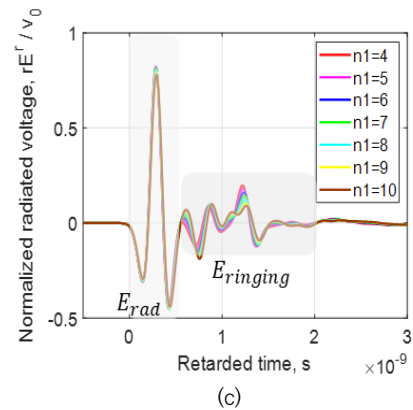
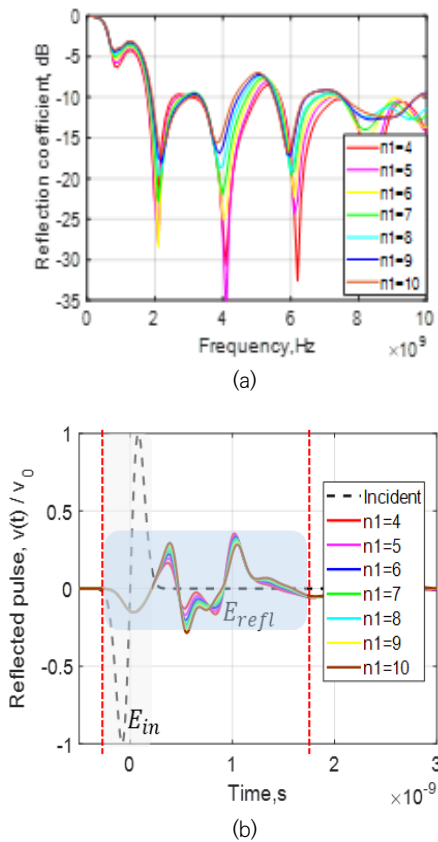


그림 2. 방사체 변수  $n_1$ 에 따른 안테나 특성의 변화. (a) 안테나 반사계수; (b) 시영역에서 반사 파형; (c) 시영역에서의 복사 파형  
 Fig. 2. Antenna characteristic variations with respect to variable  $n_1$ . (a) reflection coefficient ; (b) reflected pulse in the time domain; (c) radiated pulse in the time domain.

안테나 반사 계수인 그림 2 (a)는 Ansys HFSS 소프트웨어에서 얻은 결과이다. 시영역에서의 반사 특성인 그림 2(b) 및 복사 특성인 그림 2 (c) 는 매트랩에서 다음과 같은 과정을 통해서 도시화한다 [4].

$$v_{refl.}(t) = IFT\{S_{11}(f) \times FT(v_{in}(t))\} \dots \dots \dots (8)$$

여기서  $v_{refl.}$ ,  $v_{in}(t)$ ,  $S_{11}$ , FT 및 IFT는 각각 시영역에서 반사펄스, 시영역에서의 입력펄스, 주파수영역에서의 안테나 반사계수, 푸리에 변화 및 역푸리에 변환이다. 시영역에서 복사펄스는 다음과 같은 수식을 통해 도시화한다 [10].

$$E_{rad}(t) = IFT[E_{far.}(f) \times \{1 + S_{11}(f) \times FT(v_{in}(t))\}] \dots (9)$$

여기서  $E_{rad}(t)$ ,  $E_{far.}$ 는 각각 시영역에서 복사펄스, 주파수영역에서 원거리장의 전기장성분이다. 본 논문에서는 입력되는 펄스로 2GHz를 peak 주파수로 하고 1V의 진폭을 가지는 일차 미분된 가우시안 펄스를 사용하였다.

변수  $n_1$ 을 변화로 야기 되는 안테나의 특성을 표1과 같이 정리하였다. 표에서 참고하면  $n_1=6$ 인 경우가 성능 지표(EF)가 높은 것을 확인할 수 있다.

표 1. 변수  $n_1$  변화에 따른 안테나 특성  
Table 1. Table of antenna characteristics with respect to the variable  $n_1$ .

변수	$E_{refl}/E_{in}$	$E_{rad}/E_{rimin}$	FF	EF
$n_1 = 4$	0.164	6.491	0.951	37.640
$n_1 = 5$	0.178	6.713	0.954	38.120
$n_1 = 6$	0.171	6.885	0.955	38.451
$n_1 = 7$	0.175	7.019	0.955	38.304
$n_1 = 8$	0.179	7.061	0.955	37.672
$n_1 = 9$	0.183	7.063	0.954	36.820
$n_1 = 10$	0.186	7.034	0.953	36.040

$n_1$ 을 변수로 한 것과 마찬가지로 다른 파라미터인  $n_2, n_3$ , 그리고  $n_4$ 도 순차적으로 변화시키되 변화시키는 변수 외 다른 변수는 고정하였다.

표 2. 변수  $n_2$  변화에 따른 안테나 특성  
Table 2. Table of antenna characteristics with respect to the variable  $n_2$ .

변수	$E_{refl}/E_{in}$	$E_{rad}/E_{rimin}$	FF	EF
$n_2 = 1$	0.171	6.885	0.955	38.451
$n_2 = 2$	0.168	6.690	0.954	37.990
$n_2 = 3$	0.165	6.477	0.952	37.370

$n_1$ 을 6으로 고정하고  $n_2$ 를 변수로 하고 나머지 변수( $n_3, n_4$ )를 통제한 후 안테나의 특성 변화를 표2와 같이 정리하였다.  $n_2$ 가 1인 경우 평가지표가 가장 높은 결과를 얻었다.

표 3. 변수  $n_3$  변화에 따른 안테나 특성  
Table 3. Table of antenna characteristics with respect to the variable  $n_3$ .

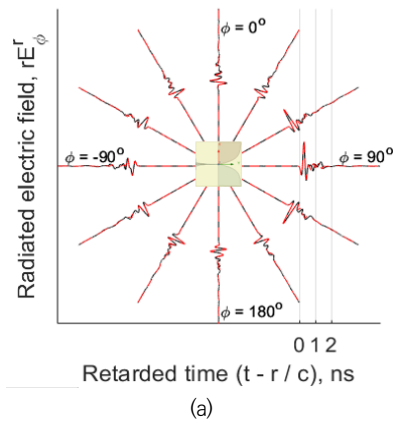
변수	$E_{refl}/E_{in}$	$E_{rad}/E_{rimin}$	FF	EF
$n_3 = 1$	0.165	7.230	0.959	42.022
$n_3 = 2$	0.166	7.156	0.958	41.298
$n_3 = 3$	0.168	7.103	0.957	40.462
$n_3 = 4$	0.169	7.003	0.956	39.615
$n_3 = 5$	0.171	6.885	0.955	38.451

다음으로는  $n_1$  및  $n_2$ 를 각각 6, 1로 고정하고 변수  $n_3$ 를 변화시키고 나머지 변수인  $n_4$ 를 통제한 후 안테나의 특성 변화를 표 3과 같이 정리하였다. 결과로는  $n_3$ 가 1인 경우 평가지표가 가장 높은 결과를 얻었다.

표 4. 변수  $n_4$  변화에 따른 안테나 특성  
Table 4. Table of antenna characteristics with respect to the variable  $n_4$ .

변수	$E_{refl}/E_{in}$	$E_{rad}/E_{rimin}$	FF	EF
$n_4 = 2$	0.186	5.844	0.937	29.440
$n_4 = 4$	0.177	6.537	0.950	35.086
$n_4 = 6$	0.171	6.896	0.955	38.513
$n_4 = 8$	0.168	7.108	0.958	40.533
$n_4 = \infty$	0.153	7.941	0.964	50.034

마지막으로  $n_1, n_2$  및  $n_3$ 를 각각 6, 1 및 1로 고정하고  $n_4$ 를 변수로 하여 안테나의 특성을 표4와 같이 정리하였다.  $n_4$ 의 경우는 제 2곡선의 기울기가 점근선에 근접할수록 평가지표가 커짐을 확인하였다. 파라미터 변화( $n_1, n_2, n_3$  및  $n_4$ )에 따른 평가지표를 계산하여 높은 값을 가지는 변수( $n_1=6, n_2=1, n_3=1$  및  $n_4 = \infty$ )로 안테나의 방사체 형상을 결정하였다.



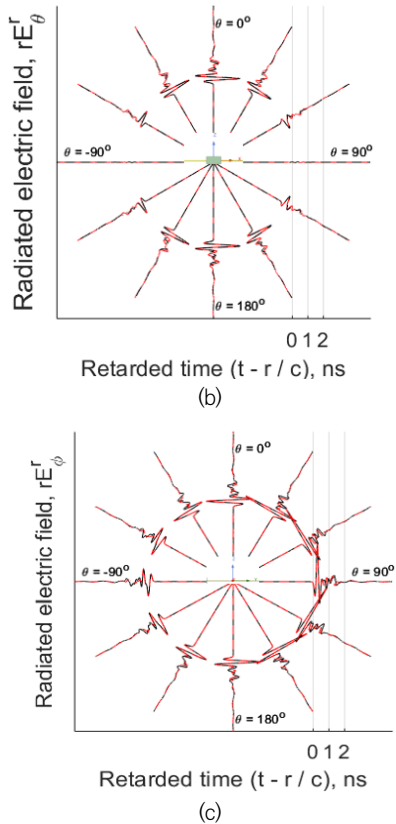
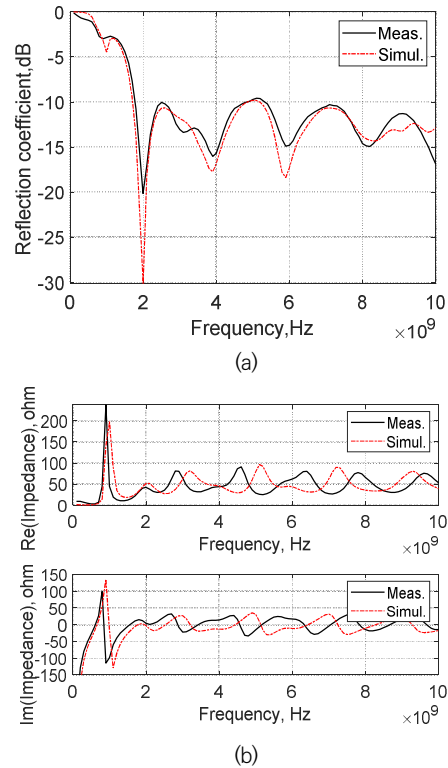


그림 3. 원거리장에서의 펄스 복사 형태;  
 (a) XY 평면; (b) XZ 평면; (c) YZ 평면  
 Fig. 3 Far-zone radiated waveform at various angles:  
 (a) on XY-plane; (b) on XZ plane; (c) on YZ plane.  
 그림 3은 설계된 안테나에서 복사되는 파형을 XY, XZ, 그리고 YZ 평면에서 30도 간격으로 확인하였다. 검정 실선은 측정된 값이며 빨강 점선은 시뮬레이션 값이다. 복사되는 파형은 안테나의 정방향(Boresight Direction)일 경우 XY 평면 또는 YZ 평면(theta=90, phi=90)에서는 펄스의 크기가 다른 방향보다 크고 설계된 안테나는 지향성을 가짐을 확인할 수 있다.

설계된 안테나의 특성에 대하여 주파수 및 시영역에서 시뮬레이션 결과와 측정된 결과를 그림 4에서와 같이 도시화하였다. 그림 4(a)에서는 주파수 대비 안테나의 반사계수를 도시화한 것으로 측정과 시뮬레이션 결과와 매우 일치함을 확인할 수 있다. 그래프에서 안테나는 약 1.8GHz에서 10GHz 이상의 광대역을 거쳐 동작함을 확인할 수 있다.

안테나의 입력 임피던스는 그림 4(b)에 도시화하였다. 약 1GHz에서 임피던스가 높은 값을 가지며 이는 저주파대역에서 임피던스 부정합으로 인한 심한 반사를 야기하므로 저주파에서의 임피던스 정합이 필요하다. 안테나의 입력임피던스는 1GHz 이후부터 10GHz까지 광대역에 걸쳐 100Ω 에 유사한 값으로 안정적으로 수렴함을 측정 및 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있다.

그림 4(c)에서는 시영역에서의 안테나 반사펄스 특성을 확인하고자 수식 (3)을 활용하여 도시화하였다. 일차 미분된 가우시안 펄스를 안테나 입력으로 사용하였을 때 안테나 형상을 반영하여 반사되는 펄스의 형태를 시뮬레이션과 측정된 결과로 확인하였다. 측정된 결과에서는 시뮬레이션 결과 보다 약간 지연됨을 확인할 수 있는데 이것은 실제 구현 시 SMA 커넥터의 길이 만큼 지연된 것으로 볼 수 있다. 전반적으로 안테나에서 반사되는 양은 시뮬레이션 결과와 유사함을 확인되었다.



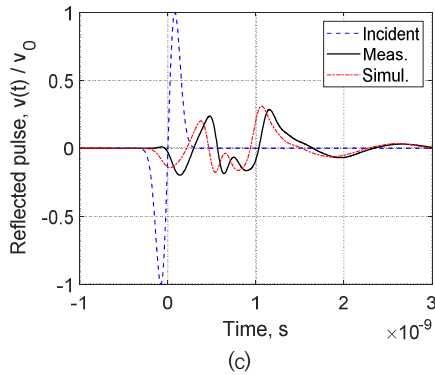


그림 4. 설계된 안테나의 특성; (a) 안테나 반사계수; (b) 안테나 입력임피던스; (c) 시영역에서 반사펄스

Fig. 4. Characteristics of the designed antenna; (a) Antenna reflection coefficient; (b) Input impedance; (c) Reflected pulse in the time domain.

#### 4. 결론

본 논문에서는 임펄스 유사 신호 복사를 위한 비발디 안테나를 시영역에서 안테나의 특성을 반영하여 설계하는 방법 및 시뮬레이션 값, 그리고 측정 결과를 분석하였다. 논문에서 제시한 평가지표는 비발디 안테나에서만 국한되지 않고 초광대역 안테나 설계 시 시영역에서의 펄스 복사 특성을 반영한 안테나 설계에 적용될 수 있다. 논문에서 제시한 비발디 안테나의 형상은 시영역 펄스 복사 특성을 반영된 것으로 1 포트 안테나 특성을 살펴보았지만 향후 2 포트 시스템을 구성하여 초광대역 펄스의 수신된 파형 및 시스템 간 전달 함수, 그룹지연 등 광대역에 걸친 안테나 특성을 살펴볼 예정이다.

#### REFERENCES

[1] Doojin Lee, Muhun Park, Study on the Impulse Characteristics for applying to the Ultra-wideband Antennas, Korea Information Electron Communication Technology, 16(5), 362-368, 2023.  
 [2] D. J. Daniels, W. van Verre, F. Podd and A. J. Peyton, Antenna Design Considerations for Ground Penetrating Radar Landmine Detection, IEEE

Transactions on Antennas and Propagation, vol. 70, no. 6, pp. 4273-4286, 2022.  
 [3] H. Jamshidi-Zarmehri et al., A Review on Through-Wall Communications : Wall Characterization, Applications, Technologies, and Prospects, IEEE Access, vol. 11, pp. 127837-127854, 2023.  
 [4] D. Lee, G. Shaker and W. Melek, A Broadband Wrapped Bowtie Antenna for UWB Pulsed Radar Applications, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 69, no. 11, pp. 8033-8033, 2021.  
 [5] D. A. Crocker and W. R. Scott, On the Design of Sinuous Antennas for UWB Radar Applications, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 18, no. 7, pp. 1347-1351, 2019.  
 [6] A. Amini, H. Oraizi and M. A. Chaychi zadeh, Miniaturized UWB Log-Periodic Square Fractal Antenna, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 14, pp. 1322-1325, 2015.  
 [7] M. A. Salari, O. Manoochehri, A. Darvazehban and D. Erricolo, An Active 20-MHz to 25-GHz UWB Receiver Antenna System Using a TEM Horn, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 16, pp. 2432-2435, 2017.  
 [8] X. -Y. Sun et al., Ultrawideband Circularly Polarized Halved-Type Vivaldi Antenna With Symmetrical Radiation Pattern, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 23, no. 2, pp. 633-637, 2024  
 [9] Ansoft HFSS <https://www.ansys.com/products/electronics/ansys-hfss>  
 [10] D. Lee, Investigation of Pulse Characteristics of a Novel Cylindrically Slotted Cloaked Antenna, Journal of Electromagnetic Engineering and Science, 23, 6, pp. 536-538, 2023.

---

저자약력

---

**이 두 진 (Doojin Lee)**



- \* 2017. 11 ~ 2019. 6 :  
University of Waterloo(UW),  
Waterloo, ON, Canada :  
박사 후 연구원(PostDoc)
- \* 2019. 6 ~ 2020. 2 :  
The Ohio State University  
(OSU),  
Columbus, OH, USA :  
박사 후 연구원(PostDoc)
- \* 2020. 2 ~ 2020. 9 :  
The University of  
Mississippi, Oxford, MS, USA :  
Research Associate
- \* 2020. 10 ~ 2022. 9 :  
국방과학연구소 선임연구원
- \* 2022. 10 ~ 현재 :  
국립창원대학교 조교수

〈관심분야〉 초광대역 안테나 설계

**고 봉 진 (Bong Jin Ko)**



- \* 1996 ~ 현재 :  
국립창원대학교 교수

〈관심분야〉 communication theory, mobility & wireless sensing system