

초광대역 안테나에 적용 가능한 임펄스 특성에 관한 연구

이두진, 박무훈*

Study on the Impulse Characteristics for applying to the Ultra-wideband Antennas

Doojin Lee, Muhun Park*

요약 본 논문에서는 초광대역 안테나에 적용되는 임펄스 신호의 특성에 대해 기술하였다. 초광대역 안테나에 적용되는 펄스의 형태는 시영역에서 나노초 또는 피코초 이하의 펄스폭을 가지며 주파수 영역에서는 광대역의 특성을 가진다. 임펄스 생성회로를 설계하여 10MHz의 정현파를 입력 파형으로 하였을 때 출력으로 펄스폭이 130ps 및 대응되는 대역폭으로는 4GHz 정도의 임펄스가 생성됨을 측정을 통해 확인하였다. 저항이 장하된 초광대역 안테나에서 단위 길이 당 저항 값을 파라미터로 설정하였을 때 수신되는 임펄스의 특성을 시영역에서는 펄스의 충실도, 주파수 영역에서는 피크 값 대비 -10dB 대역폭으로 확인하였다. 저항이 장하되는 값이 커질수록 임펄스는 생성된 임펄스와 유사한 파형으로 수신되며 이는 충실도 0.98로 산출되었고 해당하는 대역폭은 3.4GHz로 측정되어 실험으로 확인하였다.

Abstract In this paper, we presented the characteristics of the impulse signal which is applicable to the ultra-wideband antennas. In general, the width of the impulse has around sub nano or pico seconds in the time domain, where it corresponds to the wideband in the frequency domain. We confirmed by experiment that the impulse has around 130ps of the pulse width and bandwidth of 4GHz when 10MHz of sine wave excited as an input pulse. The fidelity factor was calculated in the time domain and -10dB bandwidth in the frequency domain was investigated for resistively loaded dipole antennas with different resistance per unit length. The received impulse signal through the wideband antennas is confirmed in the time and frequency domains that received pulse is to be similar to the generated impulse. The fidelity and bandwidth of the quantity value are 0.98 and 3.4GHz, respectively.

Key Words : Circuit, resistively loaded antennas, impulse, time domain, ultra-wideband antennas,

1. 서론

초광대역펄스(Ultra Wide Band Pulse)는 주파수 영역에서 정의하는 용어로 보통 500MHz 이상 또는 수 GHz 대역폭을 가지는 펄스이다 [1]. 이는 시간영역에서 보면 펄스 폭의 단위가 나노초(Nano Second) 또는 피코초(Pico Second)이하를 가진다. 이러한 초광대역펄스는 데이터를 고속으로 전송하기 위한 통신 용도로 많이 사용된다. 또한, 매우 짧은 펄스의 장점

활용하여 타깃의 위치를 수 cm 이하 정도의 정밀한 측정이 가능하여 다양한 용도의 위치 및 측위 측정 분야에 많이 사용된다. 또한 이러한 초광대역펄스는 임펄스 레이더(IR-UWB)에 활용되는 펄스로 폭이 짧은 펄스로부터 반사되는 펄스로 타깃을 분석하고 타깃에 대한 초광대역 영상을 획득하여 분해능이 높기 요구되는 군용 및 의료 영상화 분야로도 많이 활용되고 있다 [2-4]. 최근에는 UWB 기술이 보다 높은 보안성 및 넓

Department of Electrical, Electronic, and Control Engineering, Changwon National University (CWNU), Changwon 511 40, South Korea. This research was supported by Changwon National University in 2023~2024.

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

Received September 27, 2023

Revised October 11, 2023

Accepted October 13, 2023

은 스펙트럼을 활용할 수 있어서 개인의 스마트폰 및 자동차에 탑재되는 등 활발히 활용되고 있다.

한편, 초광대역펄스를 송수신하는 안테나는 수 GHz 대역의 주파수 대역폭을 수용할 수 있도록 설계가 된다. 이러한 초광대역 안테나는 주로 비발디 안테나, 혼안테나, 대수주기 안테나, 보우타이 안테나 및 시누어스 안테나가 해당 된다. 이러한 초광대역 안테나는 주파수 대역을 광대역화하기 위한 여러 가지 형태로 연구가 되고 있다. 특히 저주파수(~2GHz 이하)의 대역을 확보하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 안테나의 물리적인 크기는 제한되지만 안테나 방사체에서의 변형을 통해 유효 전류 길이를 길게 가져가서 저주파 대역을 개선하는 방법 또는 안테나 방사체에 다수의 저항을 장하하여 진화적으로 전류의 흐름을 제어하도록 하여 안테나 암 끝 단에서 전류 흐름이 거의 존재하지 않게 되는 이론적으로 무반사 안테나의 형태인 저항성 안테나도 많이 연구되고 있다 [5-6].

한편, 이러한 초광대역 안테나에 급전하는 데 사용되는 펄스는 안테나가 동작하기 위한 주파수 대역을 커버할 수 있도록 광대역화된 펄스를 사용한다. 광대역화된 펄스의 일반적인 형태는 가우시안 펄스, 가우시안펄스의 미분형인 일차 미분된 가우시안 펄스, 또는 이차 미분된 가우시안펄스가 주로 많이 사용된다. 일차 미분된 가우시안펄스는 실제로 초광대역 안테나에 급전하기 위한 소스원으로 연구되고 있다. 일차 미분된 가우시안펄스는 주파수가 0인 지점인 DC에서 값을 가지지 않기 때문에 이상적인 안테나의 소스원으로 적합하다.

본 논문에서는 초광대역 안테나에 사용될 수 있는 임펄스 신호의 발생과 생성된 임펄스 신호를 저항이 장하된 초광대역 안테나에 적용하여 임펄스 신호의 특성을 파악하고자 한다.

논문의 구성은 2장에서는 임펄스를 생성하는 회로에 대해 간략히 설명하고자 한다. 10MHz의 주파수를 갖은 구형파 또는 정현파를 입력으로 하였을 때 출력으로 임펄스를 생성하는 회로이다. 3장에서는 측정된 결과에 대해 논의하였다. 저항이 장하된 다수의 초광대역 안테나 별로 수신되는 임펄스의 스펙트럼을

조사하고 생성된 임펄스와의 충실도를 분석하였다. 4장에서는 본 논문의 결과에 대해 기술하였다.

2. 임펄스 생성 회로

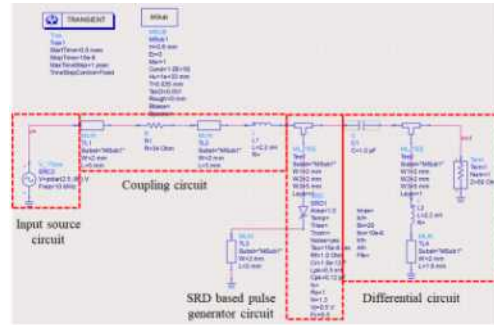


그림 1. 임펄스 신호 생성 회로 [7]

Fig. 1. Circuit for generating an Impulse signal

임펄스를 생성하는 회로는 계단 복구형 다이오드(Step Recovery Diode)의 소자를 활용하고 참고문헌인 [7] 에서 개발된 회로에서 사용된 소자 및 구성을 참고하였다. 계단 복구형 다이오드 소자의 특성을 Keysight사의 ADS (Advanced Design System) 소프트웨어에 반영하여 설계를 하였다 [8].

그림 1에서 도시한 바와 같이 설계된 회로는 크게 4개 부분으로 구성된다 [7]. 회로의 신호원은 10MHz의 정현파를 소스원으로 한다. 커플링 회로 부분은 계단 복구형 다이오드에서 역방향의 전압에 의한 전류가 흐를 때 신호가 소스원으로 흐르지 않도록 하는 역할을 한다. 여기서 임펄스에 준하는 신호는 단위 계단 회복 다이오드의 성능에 따라서 정해진다. 여기서 계단 복구형 다이오드(MP-4023)는 M-pulse Corporation에서 취급하는 소자를 사용하였다 [7],[9]. 마지막 단계는 일차 미분된 형태를 형성하기 위해 인덕터 소자 및 스텝 지연소자를 활용하였다.

여기서 사용된 회로의 소자 값들은 참고문헌인 [7] 에서 사용된 값 대비 인덕턴스 및 저항 값이 다르며 이로 인한 생성된 임펄스의 특성도 다르다. 회로에 사용된 소자 및 다이오드의 특성치는

표1에 정리하였다.

표 1. 임펄스 신호 생성 회로에 사용된 소자 값
Table 1. values for generating an impulse signal

R1	L1, L2	C1	Transient Time	Minority Carrier Time
34 ohm	2.2 H	1PF	50ps	15 ns

임펄스 생성 회로의 소스원으로는 10MHz의 주파수를 가지고 전압의 크기가 2.5V인 사인파를 그림 1에서 도시한 바와 같이 생성하였다. 생성된 사인파의 정현파의 스펙트럼은 푸리에변환을 거쳐서 확인하면 10MHz에서 최대값을 가지는 것을 확인할 수 있다.

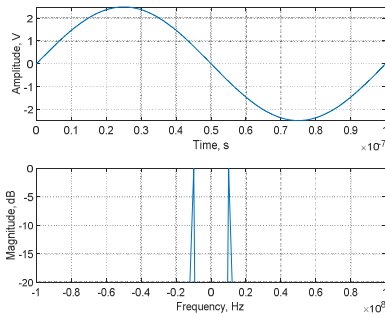


그림 2. 시뮬레이션 입력신호; 10MHz 사인 파형 및 해당하는 스펙트럼 분포

Fig. 2. Simulated input signal; 10MHz sine wave and its corresponding spectrum

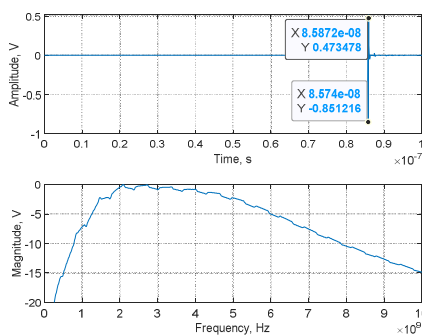


그림 3. 시뮬레이션 출력신호; 임펄스 신호 및 해당하는 스펙트럼분포

Fig. 3. Simulated output signal; impulse signal and its corresponding spectrum

한편, 입력신호인 10MHz의 사인파가 임펄스 생성회로를 통과하면 그림 3에 도시한 바와 같이 펄스폭이 150ps에 해당하는 임펄스가 생성된다. 대응되는 스펙트럼의 최대값 대비 -10dB 대역폭은 6.5 GHz 정도 됨을 확인할 수 있다.

3. 측정 결과

임펄스 생성 회로 및 송수신 가능한 초광대역 안테나를 사용하여 수신된 펄스를 시간영역에서는 펄스의 형태로써 분석하였고 주파수 영역에서는 해당하는 대역폭을 저항이 장화된 다양한 초광대역 안테나의 특성을 반영하여 분석하였다. 본 논문에서 사용된 초광대역 안테나는 일반 다이폴 안테나에 다수의 저항이 삽입된 광대역 안테나로서 지표투과레이더 및 임펄스 레이더 기반 응용 분야에 많이 사용되고 있다 [6].

안테나 암에 저항을 삽입하게 되면 급전부에서 흐르는 전류를 효과적으로 제어하여 결국 안테나 암 끝 단에서의 반사를 현저히 줄여주는 역할을 한다 [6]. 이러한 저항은 안테나 암을 정규화할 때 단위 길이당 저항값을 사용한다[6].

$$R(z) = \frac{R_0}{1 - \frac{z}{h}} \quad (0 < z < h) \quad (1)$$

여기서 R_0 는 안테나 급전부에서 바라보았을 때 안테나 암의 단위 길이 당 저항 [ohm/m]을 의미하며, h 는 안테나 암의 길이이며, z 는 안테나 급전부에서 안테나 암까지의 상대적인 거리이다 [6]. 안테나에 삽입되는 저항값은 수식(1)을 해당하는 길이를 곱하여 적분하게 되면 산출할수 있다. 본 논문에서 사용된 저항성 다이폴 안테나의 설계 및 특성치는 참고 문헌 [10] 에서 확인할 수 있다.

본 논문에서는 저항성 다이폴의 파라미터인 단위 길이당 저항값을 R_0/n ($n=1, 4, 8$)처럼 변화를 주었을 때 초광대역펄스의 특성을 실제로 생성된 임펄스 신호를 반영하여 확인하였다. 파라미터 변화에 따른

저항성 다이폴 안테나의 특성에 의해 수신된 펄스를 시영역에서의 펄스의 충실도 및 펄스폭, 주파수 영역에서의 대역폭을 각 파라미터 변화에 따른 경우의 수에 대하여 살펴보았다.



그림 4. 측정 장비 셋업
 Fig. 4. Experimental setup; it consists of resistive antenna set(Transmitter, receiver) and impulse generator circuit.

실험은 그림 4에서 도시 한 바와 같이 함수발생기(N9310A, Keysight), 오실로스코프 (MSOS054A, Keysight), 임펄스 생성회로, 저항성 다이폴 안테나로 구성하여 측정하였다.

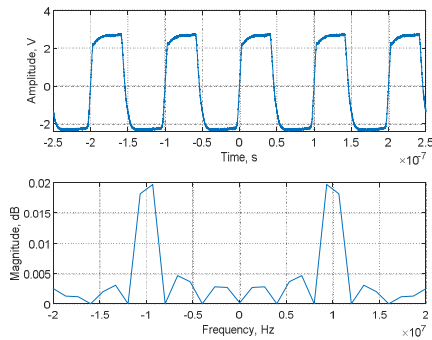


그림 5. 측정된 입력신호; 10MHz 구형파 및 해당하는 스펙트럼 분포
 Fig. 5. Measured input signal; 10MHz rectangular pulse and its corresponding spectrum

입력신호는 그림 5에서 도시한 바와 같이 함수발생

기에서 10MHz에 해당하는 구형파를 생성하였다. 아래에 해당하는 그래프는 입력신호에 해당하는 구형파의 스펙트럼으로 10MHz에서 최대값을 가짐을 확인할 수 있다.

먼저 임펄스생성회로의 성능부터 확인하였다. 그림 6에서는 입력신호로 10MHz의 구형파를 임펄스생성신호의 입력단인 포트 1에 연결하고 출력단인 포트 2에서 20GSa/s의 샘플링 속도의 성능을 가지는 오실로스코프로 출력단을 확인하였다. 측정된 임펄스생성회로의 출력신호는 시영역에서 약 147ps의 펄스폭 및 0.32V의 크기를 가진다. 해당하는 임펄스신호의 스펙트럼은 최대치 대비 -10dB 대역폭으로 약 4GHz로 측정되었다.

생성된 임펄스는 일차 미분된 가우시안 펄스가 형성된 것을 확인할 수 있다. 이에 해당하는 스펙트럼에서는 DC성분이 거의 -15~20dB에 해당한다. 시영역에서의 임펄스신호 뒤에 보이는 링잉현상은 임펄스생성회로에서 칩저항, 인덕터, 커패시터 및 다이오드 간 선로에 납성분에 의한 기생 성분이 포함되어 발생한 것으로 볼 수 있다. 해당하는 현상은 주파수 영역에서 파형의 일그러짐에 대응된다.

시영역에서 링잉현상을 제거하기 위해 윈도우 형식의 Time-gated 신호처리 기법을 사용하였다. Time-gated 된 신호는 다음과 같이 도출할 수 있다.

$$V_{time-gated} = V_{raw data} \times W_{gated} \quad (2)$$

여기서 $V_{time-gated}$ 는 시영역에서 윈도우 형식의 가중치가 적용된 신호이며 $V_{raw data}$ 는 측정된 원시신호이고, W_{gated} 는 0과 1을 가지며 원시신호에 가중치를 반영한다.

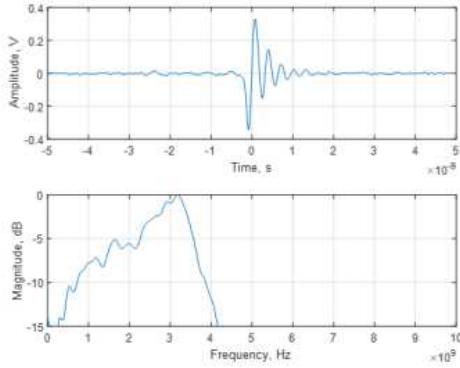


그림 6. 측정된 임펄스신호 및 해당하는 스펙트럼분포
Fig. 6. Measured Impulse signal and its spectrum

한편, 시영역에서의 Time-gated된 임펄스를 주파수영역의 스펙트럼으로의 변환은 역푸리에변환을 통해 도출할 수 있으며 이는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$V_{time-gated}(f) = IFFT\{V_{time-gated}(t)\} \quad (3)$$

IFFT 는 역푸리에변환을 의미한다.

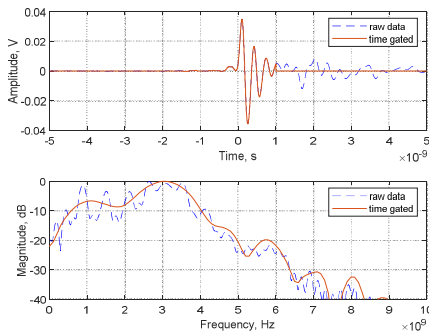


그림 7. Time-gated 신호처리 적용된 신호 및 해당되는 스펙트럼
Fig. 7. Time-gated impulse signal and its spectrum

그림 7에서 도시한 그래프는 원시신호로 측정된 임펄스 신호에 Time-gated 신호를 적용된 결과이다. 시영역에서 임펄스의 링잉현상이 1ns 이후에 윈도우를 적용함으로써 제거됨을 확인할 수 있으며 대응되는 주파수 영역에서는 원시신호에 해당하는 스펙트럼 대

비 부드러워진 효과를 확인할 수 있다. 이는 링잉현상의 고주파 성분을 걸러낸 효과로 기인한다.

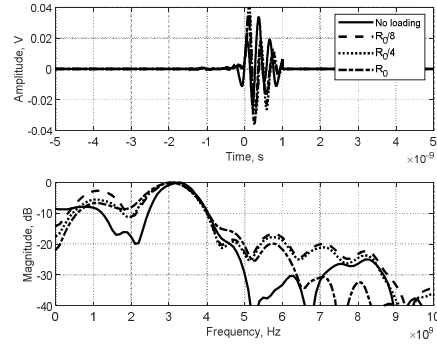


그림 8. 단위길이 당 저항값의 변화에 따른 초광대역 펄스의 형태 및 스펙트럼의 변화
Fig. 8. Impulse waveforms and its spectrum variation with respect to resistance per antenna arm

송신단(Tx)으로는 함수발생기 및 임펄스 생성회로와 연결되고 이는 저항이 장하된 초광대역 안테나와 연결되어 구성된다. 수신단(Rx)으로는 동일한 저항이 장하된 초광대역 안테나와 수신된 펄스를 읽을 수 있는 오실로스코프와 연결되어 구성된다. 여기서 저항이 장하되는 경우를 파라미터로 하여 다수의 저항성 안테나에 의해 수신된 임펄스의 특성을 그림 8에서 도시하 바와 같이 확인하였다.

저항이 장하되지 않는 일반 다이폴 안테나(No loading)는 협대역의 특성으로 인해 입력인 일차미분된 가우시안 펄스가 왜곡이되어 시영역에서 링잉현상이 두드러지게 확인된다. 저항이 적게 장하될수록 ($R_0, R_0/4, R_0/8$) 이러한 현상이 두드러진다. 수신된 시영역에서의 임펄스 신호를 신호처리 과정을 통해 스펙트럼을 확인한 결과 저항이 적게 장하된 초광대역 스펙트럼은 대역폭이 제한됨을 확인할 수 있다. 결과는 표 2에 정리하였다.

표 2. 저항이 장하된 초광대역 안테나 별 수신된 임펄스 신호의 특성치 비교표
Table 2. Comparison of the received impulse signal through the resistive loaded wide band antennas

안테나 형태	No loading	loading ($R_0/8$)	loading ($R_0/4$)	loading (R_0)
-10dB 대역폭	1.6GHz	1.8GHz	2GHz	3.4GHz
충실도	0.7954	0.9154	0.9514	0.9791

수신된 안테나에서 획득된 임펄스 신호와 생성된 임펄스 신호와의 충실도를 확인하였다. 신호의 충실도는 두 신호 사이의 상관관계를 의미하는 것으로 하기와 같이 구할수 있다 [11].

$$\text{충실도} = \max \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{v}_1(t) \cdot \tilde{v}_2(t) dt \quad (4)$$

$$\tilde{v}_1(t) = \frac{v_1(t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_1(t)|^2 dt}}, \tilde{v}_2(t) = \frac{v_2(t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_2(t)|^2 dt}}$$

여기서 \tilde{v}_1 과 \tilde{v}_2 는 각각 생성된 임펄스 신호와 수신안테나에서 획득된 임펄스 신호이며 각 신호를 정규화한 값이다. 충실도 값은 0에서 1까지의 범위를 가지며 산출된 값이 1로 갈수록 두 신호의 유사성이 크다는 의미이다.

저항성 안테나의 파라미터인 단위길이 당 저항을 변화하면서 수신된 안테나의 임펄스 특성을 비교하였다. 장하되지 않는 일반 다이폴의 경우는 협대역의 특성으로 인해 피크 값 대비 -10dB 대역폭이 1.6GHz 정도이며 저항이 장하되는 값이 커질수록 안테나의 특성이 진행파(Travelling wave)로 되어 대역폭이 광대역화됨을 표2에서 확인할 수있다. 이에 대응하는 수신된 임펄스의 시영역에서의 특성을 충실도의 값으로 비교하였다. 충실도 값은 저항이 장하되는 값이 클수록 1에 근접한 값으로 산출이 되었고 이는 초광대역 안테나에 적합한 임펄스 신호를 수신하고 송신할수 있는 형태로 판단된다.

4. 결론

본 논문에서는 초광대역펄스를 생성하는 회로를 구성하여 임펄스의 신호를 초광대역 안테나와 결합하여 임펄스의 특성을 확인하였다. 제작된 임펄스 생성회로

에서 측정되는 임펄스는 시영역에서 130ps 정도의 펄스폭을 가짐을 확인하였다. 저항이 장하되는 값을 파라미터로 하여 초광대역 안테나에 수신되는 임펄스의 특성을 비교 및 분석하였다. 저항이 장하되는 값이 커질수록 안테나는 진행파의 특성을 보이며 이는 초광대역 펄스를 송신하거나 수신함에 적합함을 확인하였다.

REFERENCES

- [1] Federal Communications Commission Federal Communications Commission Revision of Part 15 of The Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission System from 3.1 to 10.6 GHz, Washington, DC, USA., 2002.
- [2] Oloumi D, Rambabu K. Metal-cased oil well inspection using near-field UWB radar imaging. IEEE Trans Geosci Remote Sens.;56(10):5884-5892, 2018
- [3] Lee D, Velerander J, Blokhuis TJ, Kim K, Augustine R. Preliminary study on monitoring the progression of osteoporosis using UWB radar technique in distal femur model. Electron Lett.;52(8):589-590, 2016
- [4] Schires E, Georgiou P, Lande TS. Vital sign monitoring through the Back using an UWB impulse radar with body coupled antennas. IEEE Trans Biomed Circ Syst. ;12(2):292-302, 2018
- [5] Lee D, Melek W, Shaker G. Investigation of wrapped effects onbow-tie antenna with and without resistive loading for pulsed radar applications. Electron Lett. ;55(1):7-8,2019
- [6] D. Lee, G. Shaker, and W. Melek, "A broadband wrapped bowtie antenna for UWB pulsed radar applications," IEEE Trans. Antennas Propag. 68(12),7803-7812, 2020
- [7] Lee D, Shaker G, Melek W. Development of a compact monocycle pulse generator for UWB impulse radar applications. Microw OptTechnol Lett. ;62:3119-3123, 2020
- [8] ADS software website is available: <https://www.keysight.com/kr/ko/products/software/pathwave-design-software/pathwave-advanced-design-system.html>

- [9] M-pulse microwave website is available:
<https://www.mpulsemw.com/>
- [10] D. Lee, "A compact resistively-loaded dipole antenna fed by a triangular tapered transmission line for imaging applications," AEU-Int. J. Electron. Commun. 88,126-133, 2018.
- [11] Lee D, Shaker G, Melek W. Investigation on the effects of resistive loading on wrapped bow-tie antennas. Int J Microw Wirel Technol. ;11:390-400, 2019

저자약력

이 두 진 (Doojin Lee)



- 2017: 광주과학기술원 공학박사
- 2022: 국립창원대학교 조교수

〈관심분야〉 초광대역 안테나 설계

박 무 훈 (Muhun Park)



- 1996: 도호쿠대학교 공학박사
국립창원대학교 교수

〈관심분야〉 신호처리