

# 확장된 신호 감쇄대역을 갖는 다중 PIN다이오드 도파관 리미터 설계

나재현\* · 노돈석\*\* · 김동길\*\*\*

Design of the Multi-PIN Diode Waveguide Limiter with Extended Attenuation Bandwidth

Jae-Hyun Na\* · Don-Suk Roh\*\* · Dong-Gil Kim\*\*\*

## 요 약

본 논문에서는 Ku대역 레이더시스템의 핵심부품인 리미터에 대한 설계 및 제작 결과에 대해서 다룬다. 도파관 구조인 다중 PIN다이오드 스위치 특성을 적용하여 설계한 리미터의 신호감쇄 대역을 확장하여, 광대역에서 신호감쇄가 가능하도록 설계 및 구현을 하였다. 제작된 리미터를 대상으로 실험한 결과, PIN다이오드 스위치가 모두 OFF일 때 유입되는 신호가 감쇄없이 전달되었고, 순차적으로 PIN다이오드 스위치가 ON되면 Ku대역 유입 신호가 20dB이상, 그리고 모두 ON이 되면 1000MHz 대역폭 범위에서 50dB 이상의 감쇄가 이루어지는 것을 확인하였다.

## ABSTRACT

This paper deals with the design and implementation of a limiter, which is a key component of the Ku-band radar system. The limiter design with the multi-pin diode switch was complemented by wideband signal attenuation, and realized the physical implementation. In the test result of implemented limiter, when the pin diode switch is all off, it is possible to transmit the incoming signal without distortion. Also when the pin diode switch is turned on sequentially, the input signal is attenuated about 20dB or more step by step. Finally when all of them were turned on, attenuation about 50dB or more were measured for a wide bandwidth(1000MHz) in Ku-band.

## 키 워드

Ku-band, Tracking Radar, Limiter, PIN Diode  
Ku대역, 추적 레이더, 리미터, PIN 다이오드

## 1. 서 론

추적레이더는 표적에서 반사되어 돌아오는 전파를 수신하여 표적의 고도, 방위, 속도 정보를 산출하는 기능을 수행한다. 일반적으로 탐지거리에 따라 S대역,

X대역, Ku대역, Ka대역 등 다양한 주파수 대역의 레이더가 표적의 탐지 및 추적에 사용되고 있다[1-3].

리미터(Limiter)는 그림1과 같이 추적레이더의 수신단(증폭기 등)에서 입력신호가 허용 가능한 임계값 이상으로 유입되는 것을 막아 시스템을 보호하기 위

\* 국방기술품질원 연구원(njh1222@dtac.re.kr)

\*\* (주)엘트로닉스 연구소장(dialroh@eltronix.co.kr)

\*\*\* 교신저자 : 경일대학교 로봇공학과

• 접수 일 : 2018. 07. 16

• 수정완료일 : 2018. 08. 30

• 게재확정일 : 2018. 10. 15

• Received : July. 16, 2018, Revised : Aug. 30, 2018, Accepted : Oct. 15, 2018

• Corresponding Author : Dong-Gil Kim

Dept. of Robotics Engineering, Kyungil Univ.

Email : eastroad@gmail.com; dgkim@kiu.kr

해 사용하는 소자이다[4-5]. 특히 레이더시스템은 평시에는 복잡한 민간의 전자파 환경에 노출되며, 전시에는 EMP( ElectroMagnetic Pulse) 공격과 같은 극단적인 전자전에 노출된다. 그 외에는 장비 내의 송신단과 안테나에서 누설되는 전력으로 인하여 수신단에 과도한 전력이 공급될 수도 있다. 따라서 허용 임계값 이상의 신호를 적절히 감쇄하여 수신단으로 전달하는 역할을 하는 리미터는 매우 중요한 소자이다[6-7]. 이를 위해 리미터는 특정 대역의 주파수를 임계값 이하 수준으로 통과시키고 나머지 주파수를 여과시켜야 한다.

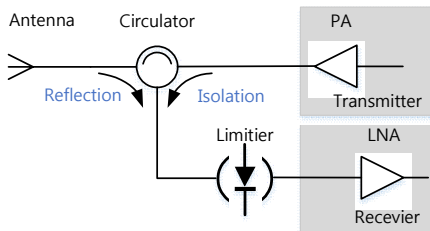


그림 1. 레이더시스템 수신단 보호회로 구성도  
Fig. 1 Receiver protect circuit for radar system

리미터는 레이더시스템의 중요 특성인 침투전력, 평균전력, 회복시간 등을 고려하여 설계해야하며 추적 레이더와 같이 고출력, 고전압 특성이 필요한 경우 포스트 구조의 PIN다이오드를 이용한 리미터를 사용한다.

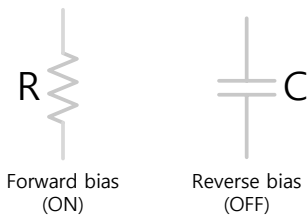


그림 2. PIN다이오드의 바이어스 모델  
Fig. 2 Bias model of PIN diode

그림2는 PIN다이오드의 바이어스에 따른 전기적 특성을 나타낸 것이다. PIN 다이오드는 전기적 역방향 바이어스(OFF상태)에서는 높은 C성분으로 인해 전기적 신호가 흐르지 못하기 때문에 RF신호를 통과시키지만, 순방향 바이어스(ON상태)에서는 접지저항 R를 통해 입력신호가 우회하기 때문에 PIN다이오드

의 격리도에 의해 해당하는 만큼 손실이 발생되어 입력신호를 감쇄시키는 역할을 한다. 도파관에서 PIN다이오드를 스위치로 사용하기 위해서는 삽입손실과 열저항이 낮을수록 좋다.

도파관에 PIN다이오드를 적용하는 방법은 포스트(post) 구조와 개구(iris) 구조가 있다. 선행 연구에서는 스위칭 기능에 적합하면서 통과모드 시 높은 전송효율과 차단모드 시 우수한 격리도를 얻기 위해, 도파관 상단에 3개의 PIN다이오드를 포스트 구조로 삽입하여 추적레이더의 수신단 리미터를 구현하였다[8]. 그러나 Ku대역 중 협소한 대역폭(약 250MHz)에서만 50dB 이상의 감쇄가 발생하는 한계가 있었다.

본 논문에서는 PIN다이오드의 포스트 하부공간을 확보한 설계를 통하여, Ku대역에서 1000MHz 대역폭에 대해 50dB 이상의 감쇄를 가지는 도파관 리미터를 설계하고 성능을 확인하였다.

## II. 리미터 설계 개선 및 해석

### 2.1 PIN다이오드 리미터 설계 선행연구

다중 PIN다이오드를 적용한 리미터 설계개념은 선행연구에서 수행된 바 있으며[8-10], 3개의 다중 PIN다이오드를 기준으로 스위치가 OFF일 때는 입력신호의 손실이 거의 없이 전송되며, 입력신호의 크기가 점차 증가하면 PIN다이오드의 스위치도 그림3과 같이 순차적으로 ON되어 신호의 감쇄가 이루어진다.

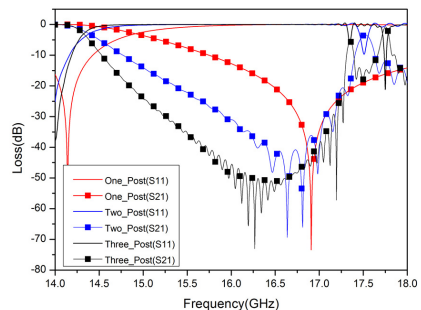


그림 3. 포스트 차수증가에 따른 감쇄 특성  
Fig. 3 Attenuation pattern for increased post Switch 'ON'

선행연구[8]에서는 포스트 차수증가에 따른 감쇄 특성을 고려하여 리미터를 제작하였고, 성능을 측정할 결과 50dB 이상의 감쇄는 발생하였으나, 주파수 대역폭이 약 250MHz 이하로 매우 협소한 한계가 있었다.

2.2 신호 감쇄대역 확장 설계 및 시뮬레이션

선행연구에서 설계한 다중 PIN다이오드를 적용한 리미터는 신호 감쇄대역이 협소하였으며, 이를 보완하기 위해 각 PIN다이오드의 하부 포스트가 시작되는 공간이 확보되도록 설계 개선했다. 이는 다이오드의 높낮이 조절에 따라 신호감쇄 및 통과대역을 조절할 수 있는 특성을 활용한 것이다.

Ku대역 중 1000MHz 범위에서 감쇄가 일어나도록 하부 포스트의 주변 공간을 그림4와 같이 진공상태로 설계하였으며, 기존 설계에서 존재했던 하부 포스트 고정블록은 더 아래쪽으로 이동하였다. 3개의 PIN다이오드 포스트 간격은 기존 설계 값을 유지하였다.

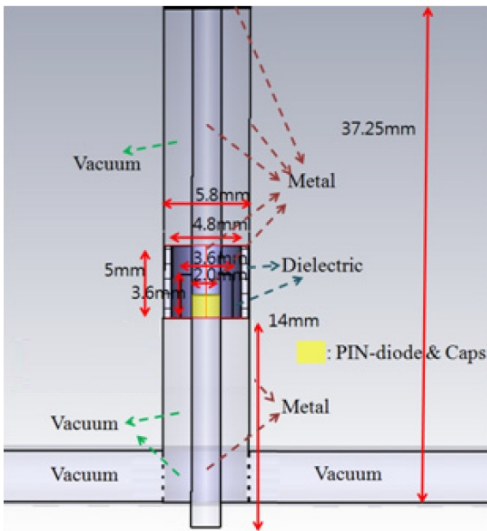


그림 4. 포스트의 상세 치수  
Fig. 4 The detail dimension of the post

전체 PIN다이오드의 포스트 구조를 그림5의 단면도와 같이 수정한 후 시뮬레이션을 수행하였다. 3개의 PIN다이오드는 하부 포스트 공간이 확보된 것을 확인할 수 있다.

개선된 구조에서 PIN다이오드 스위치가 OFF-OFF-OFF

상태일 때는 대역통과 필터로 동작하며, 그림6과 같이 투과계수(S21)를 확인한 결과 입력신호가 출력포트로 손실 없이 전송되는 것을 확인하였다. 입력포트의 반사손실은 -14dB 정도로 허용할 만한 수준이었다.

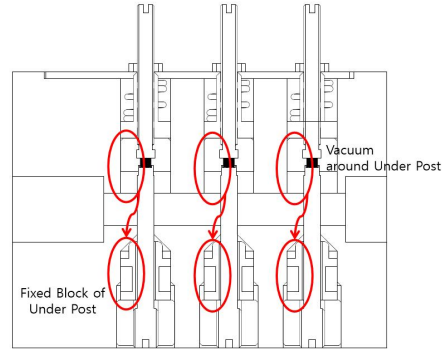


그림 5. 설계를 개선한 리미터 단면  
Fig. 5 Sectional view of improved limiter structure

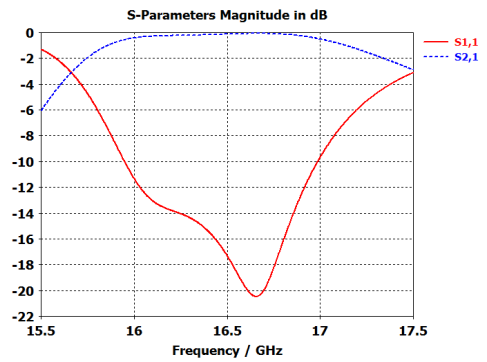


그림 6. OFF-OFF-OFF 상태의 리미터 시뮬레이션  
Fig. 6 Simulation of limiter with OFF-OFF-OFF state

그림7의 (a), (b), (c)는 각각 스위치 3개 중 1개만 ON이 된 상태로 1000MHz 대역폭에서 15dB이상의 감쇄를 보여준다. 또한 그림7의 (d)와 같이 3개의 PIN다이오드를 모두 ON하면(PIN다이오드에 발생하는 정전용량은 각각 0.16pF, 0.16pF, 0.18pF 가정), 투과계수가 약 1000MHz 대역폭에서 50dB 이상 되는 것을 확인하였다.

선행 연구의 결과와 비교하여, 훨씬 넓은 대역의 신호를 감쇄할 수 있는 것을 확인하였으며, 이는 넓은 주파수 범위의 입력전력을 차단할 수 있음을 보여준다.

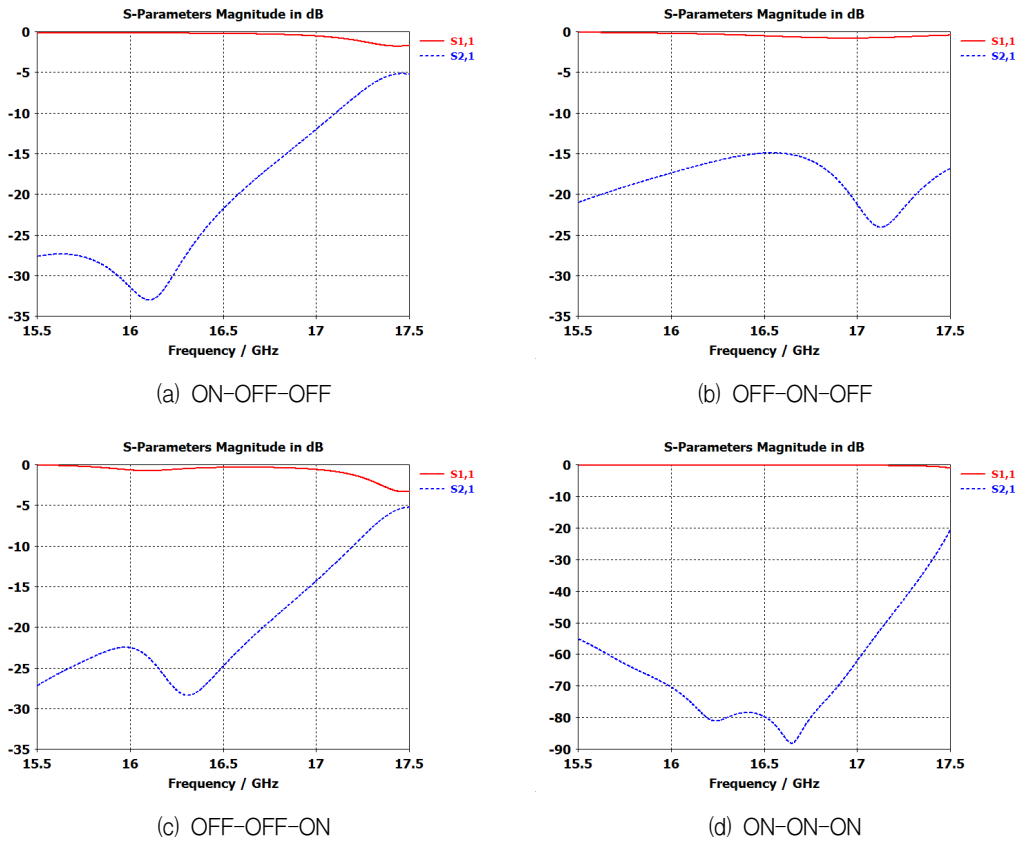


그림 7. PIN다이오드 상태별 감쇄량 시뮬레이션  
 Fig. 7 Simulation of Attenuation Effect on Each State of PIN Diode

### III. 개선된 리미터의 제작 및 측정

#### 3.1 신호 감쇄대역이 개선된 리미터 제작

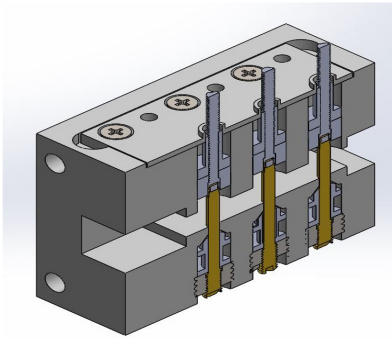
등가회로와 그에 따른 물리적 대응구조의 특성들을 회로 시험기와 전자기 해석 프로그램을 통해 관찰하고, 개선된 다중 PIN다이오드 구조를 제작 후 성능확인을 통해 설계이론의 타당성을 검증하였다.

그림8은 개선된 리미터의 측면도 및 최종 제작이 완성된 리미터이며, PIN다이오드가 연결된 포트 3개가 돌출되어 있고 각 포트에 전압 바이어스를 조절하여 다이오드를 ON 또는 OFF 할 수 있게 제작하였다. 이를 위해 바이어스 전압을 각기 다른 전압으로 제어하기 위한 Micro-D 커넥터를 부착하였다.

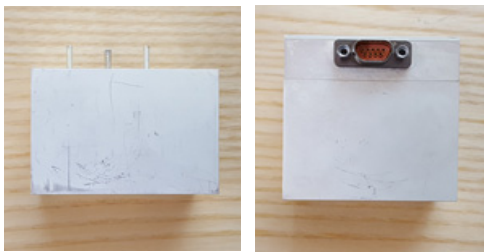
#### 3.2 신호 감쇄대역 측정

PIN다이오드 상태가 바뀔 때 따라 리미터의 투과계수(S21) 및 반사계수(S11)가 어떻게 변화하는지 측정하여 성능을 확인하였다. 그림9는 모든 PIN다이오드 스위치가 OFF된 상태로, 입력신호가 모두 통과되어 투과계수가 0dB 임을 확인하였다.

반면 PIN다이오드를 순차적으로 한 개씩 ON하면, 그림10과 같이 투과계수의 값이 현저하게 저하되는 감쇄특성이 확인하였으며, 시뮬레이션 결과와 비교하여 투과계수의 변화 형태가 유사한 것을 확인하였다.



(a) Sectional view of improved limiter



(b) Picture of fabricated limiter(side view)



(c) Picture of Fabricated Limiter(Front View)

그림 8. 개선 및 제작된 리미터 형상  
Fig. 8 Picture of improved PIN limiter

시뮬레이션 결과와 일부 차이를 보이는 이유는 제작단계의 가공오차의 영향과 3D-EM 해석단계에서 다이오드의 물리구조 설계를 통한 해석이 아닌 등가 모델을 이용한 해석하였기 때문으로 생각된다.

PIN다이오드 하나에 의한 감쇄는 20dB정도이며, PIN다이오드를 모두 ON할 경우 그림10의 (d)와 같이 1000MHz 대역폭에 대해서 50dB 이상 감쇄가 이루어지는 것을 확인하였다. 향후 PIN다이오드의 구경과 내부 정전용량값을 크게 하고, PIN다이오드의 개수를 늘리면 감쇄량은 더욱 증가할 것으로 사료된다.

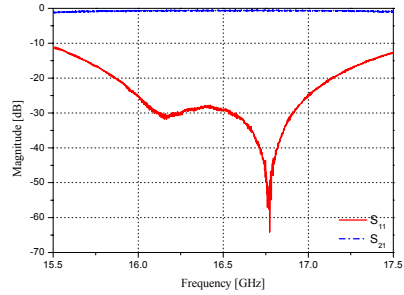


그림 9. PIN다이오드 OFF-OFF-OFF 감쇄량 측정 결과

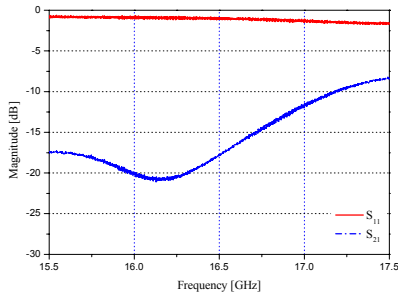
Fig. 9 Measurement of attenuation effect on OFF-OFF-OFF PIN diode

아울러, 추적 레이더 펄스 송신 후 근거리에서 반사되어 유입되는 신호를 억제하기 위한 리미터 STC(Sensitivity Time Control) 기능도 구현하였으며, 그림11과 같이 리미터 감쇄를 5dB 단위로 제어가능한 것을 확인하였다.

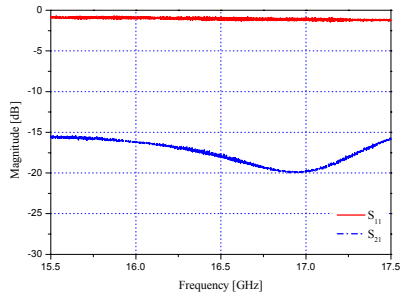
#### IV. 결 론

본 논문에서는 추적레이더 수신단 리미터의 신호감쇄 대역을 확장한 설계 및 구현방법을 제시하고, 그 결과를 확인하였다. 선행 연구에서는 도파관 리미터의 PIN다이오드 스위치 특성을 이용하여 신호 감쇄를 구현 하였으나, 감쇄대역이 250MHz 정도로 매우 협소하였다. 본 논문에서는 도파관 내부 PIN다이오드의 하부 포스트 주변 공간을 확보하도록 설계를 개선하였다. 그 결과 개선된 리미터는 Ku대역 1000MHz 구간의 광대역 범위에서 50dB 이상의 신호 감쇄가 이루어지는 것을 확인하였다.

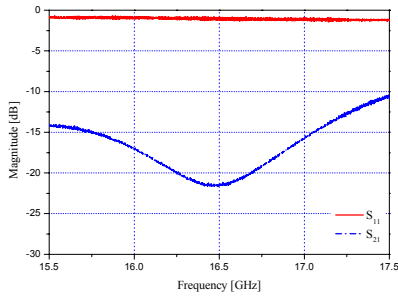
개선된 구조를 통해 국방용 광대역 무선통신 시스템의 리미터 기본 설계기술력이 확보될 것으로 판단되며, 향후 유사 시스템 개발에 도움이 될 것으로 기대된다.



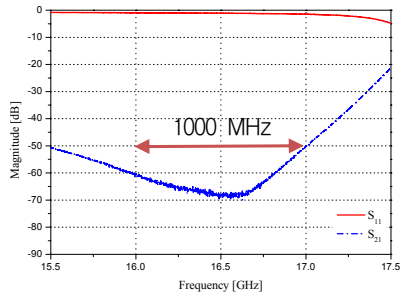
(a) ON-OFF-OFF



(b) OFF-ON-OFF



(c) OFF-OFF-ON



(d) ON-ON-ON

그림 10. 제안한 리미터의 PIN다이오드 상태별 감쇄량 측정 결과  
 Fig. 10 Measurement of attenuation effect on each state of PIN diode of proposed limiter

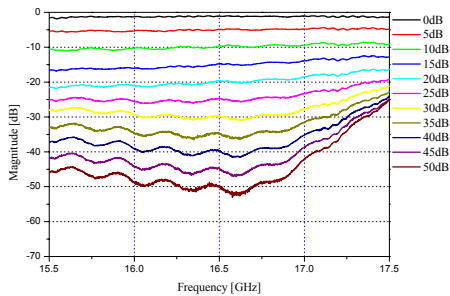


그림 11. 제안한 리미터의 STC 특성  
 Fig. 11 STC characteristic of proposed limiter

감사의 글

이 논문은 2014년 핵심부품국산화 개발예산 지원에 의한 논문임

### References

- [1] D. An and J. Rhee, "Low Conversion Loss and High Isolation W-band MMIC Mixer Module," *J. of the Institute of Electronics and Information Engineers*, vol. 52, no. 2, Feb. 2015, pp. 232-236.
- [2] K. Kim, J. Kim, and M. Bae, "The Study on the implementation and design of the RF transceiver for fast frequency hopping," *J. of the Korea*

*Institute of Electronic Communication Science*, vol. 11, no. 6, June 2016, pp. 591-596.

- [3] K. Kim, S. Shin, and Y. Jang, "A Study on the Design and Implementation of VHF band TRM for Phased Array Radar," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 13, no. 2, Apr. 2018, pp. 321-326.
- [4] R. Tan, A. Ward, R. Garver, and H. Brisker, "PIN diode limiter spike leakage, recovery time, and damage," In *Proc. IEEE MTT-S Int. Microwave Symposium Digest*, New York, USA, 1988, pp. 275-278.
- [5] H. Kim, S. Kim, J. Choi, G. Choi, and H. Kim, "S-Band Low Noise Amplifier Based on GaN HEMT for High Input Power Robustness," *J. of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 26, no. 2, Feb. 2015, pp. 165-170.
- [6] N. Roberts, "A review of solid-state radar receiver protection devices," *Microwave J.*, vol. 34, no. 12, Feb. 1991, pp. 121-122.
- [7] R. Bilotta, "Receiver protections: a technology update," *Microwave J.*, vol. 40, no. 8, Aug. 1997, pp. 90-96.
- [8] M. Kattak, S. Yoo, S. Kahng, S. Yoo, D. Oh, D. Roh, and S. Yun, "Design of A Waveguide Limiter Having an Improved Attenuation and a Broadened Bandwidth by Using Multiple PIN-Diode Posts," *J. of Satellite, Information and Communications*, vol. 10, no. 3, 2015, pp. 26-31.
- [9] J. Park, B. Kim, and Y. Cho, "Design and Experiment of Waveguide Limiter with Band-Pass Characteristics Using PIN Diode," *J. of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 23, no. 9, 2012, pp. 1065-1072.
- [10] S. Yang, J. Lim, and Y. Na, "Design and Fabrication of Ka-Band Active PIN Diode Limiter for a Millimeter Wave Seeker," *J. of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 23, no. 2, 2012, pp. 220-228.

## 저자 소개

### 나재현(Jae-Hyun Na)



2012년 서원대학교 컴퓨터교육과 졸업(이학사)  
2015년 아주대학교 대학원 시스템 공학과 졸업(공학석사)

2015년~현재 국방기술품질원 연구원

※ 관심분야 : 레이더 RF system, 통신시스템, 요구도 분석

### 노돈석(Don-Suk Roh)



1986년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1986년~2000년 (주)삼성 항공/전자,탈레스 선임연구원

2000년~2002년 (주)텔웨이브 무선사업 부장

2002년~현재 (주)엘트로닉스 연구소장 및 사업 본부장

※ 관심분야 : 레이더 RF System, 통신/위성 송수신기, 차기 이동통신

### 김동길(Dong-Gil Kim)



2006년 경북대학교 전자전기컴퓨터 학부 졸업(공학사)

2008년 경북대학교 대학원 전자학과 졸업(공학석사)

2015년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

2015년 ~ 2016년 국방기술품질원 선임연구원

2017년 ~ 현재 경일대학교 로봇공학과 조교수

※ 관심분야 : 무선통신시스템, 고장진단, 고장대처 제어

