

Inline 구조를 이용한 밀리미터파 탐색기용 도파관-마이크로스트립 전이구조 기술 연구

Technical Research on Waveguide-to-Microstrip Transition Using an Inline Structure for Millimeter-Wave Seekers

박상우 · 이동재* · 송성찬 · 이만규 · 김용환 · 김정렬 · 홍동희

Sang Woo Park · Dong Jae Lee* · Sung Chan Song · Man Gyu Lee ·
Yong Hwan Kim · Jeong Ryul Kim · Dong Hee Hong

요 약

본 논문에서는 밀리미터파 대역에서 동작하는 inline 구조를 이용한 도파관-마이크로스트립 전이구조를 설계 및 제작하였다. 도파관-마이크로스트립 전이구조는 프로브, 인덕턴스 선로, $\lambda/4$ 임피던스 변환기, 그리고 50 ohm 마이크로스트립 선로로 구성되어 있으며, 각 구성 요소들의 특성 임피던스 및 길이를 시뮬레이션을 통하여 최적화하였다. 제작된 전이구조의 측정 결과, 밀리미터파 내 중심 주파수 94 GHz 구간에서 평균 2.1 dB 삽입손실 특성 및 13 dB 이하의 입출력 반사 손실 특성을 나타내었다.

Abstract

In this paper, we report on the waveguide-to-microstrip transition with an inline structure for the millimeter band. The waveguide-to-microstrip transition comprises a probe, an inductive line, a $\lambda/4$ impedance transformer, and a 50-ohm microstrip line. For the transition design, we optimized the characteristic impedances and lengths of the component parts. The fabricated transition exhibits an insertion loss of 2.1 dB and an input/output return loss of below 13 dB at a millimeter band frequency of 94 GHz.

Key words: Inline, Waveguide, Microstrip, Transition, Millimeter Wave, Seeker

I. 서 론

주파수를 송신하고 수신하는 레이더, 통신 및 위성시스템 등은 필수적으로 안테나를 통하여 신호를 방사하고 되돌아오는 신호를 수신하게 된다. 낮은 주파수 대역에서는 안테나를 기관 형태의 패치로 제작이 가능하며, 송수신기와 동일한 기관으로 제작되기도 한다. 그러나 주파수

가 높아짐에 따라 기관의 손실은 점점 증가하게 되어 저손실 및 고출력 안테나의 경우 도파관 타입이 사용된다. 안테나를 도파관 형태로 제작하게 되면서 기관 형태인 송수신기와 연결하기 위해서 도파관-마이크로스트립 전이구조가 필요하게 된다.

밀리미터파 대역에서는 동축 선로의 내부 도체와 마이크로스트립 간 전기적 접촉과 동축 선로의 외부 도체와

한화시스템(Hanwha Systems)

*웨이비스(Wavice)

· Manuscript received October 26, 2018 ; Revised November 19, 2018 ; Accepted January 10, 2019. (ID No. 20181026-111)

· Corresponding Author: Sang Woo Park (e-mail: sangwoo.p@hanwha.com)

접지간의 전기적 접촉을 정확하게 구현해야 하는 구현성의 문제 및 이로 인한 정밀한 가공의 필요성과 고비용의 문제점이 나타나게 되었다. 따라서 밀리미터파 영역에서는 동축 케이블 커넥터 대신 사용되어지는 도파관과 마이크로스트립 선로간의 전이구조가 필요하게 되었다. 이러한 도파관-마이크로스트립 전이구조에 대한 연구는 밀리미터파 회로 및 시스템 연구의 기반이 되는 것으로써 다른 무엇보다도 우선시 되어야 할 중요한 부분이라 할 수 있다.

전이구조는 서로 다른 종류의 진행파를 모드 변환하는 소자로서 도파관의 릿지, 마이크로스트립 라인의 프로브 및 정합회로를 이용하여 도파관과 마이크로스트립 라인의 임피던스를 정합하는 역할을 한다.

전이구조의 주 목적은 서로 다른 임피던스를 가지는 두 구조물의 임피던스를 매칭시켜 낮은 손실로 신호를 전달해 주는 것이다. 그렇기 때문에 임피던스의 차이는 전이구조 설계에 영향을 주는 요소이다.

II. 도파관-마이크로스트립 전이구조 설계

본 논문에서는 짧은 천이길이와 낮은 삽입 손실을 동시에 만족하기 위하여 inline 구조의 전이구조를 설계 및 제작하였다. Inline 구조의 전이구조는 50 ohm 임피던스 값을 가지는 마이크로스트립에서 도파관으로 이어지는 전이구조 유전체가 포함된 삼각테이퍼 형태의 도파관에서 WR-10도파관으로 연결되는 50 ohm 임피던스 변환기로 구성된다. 설계 및 제작한 전이구조는 그림 1과 같이 밀리미터파 대역에서의 신호 손실을 고려한 낮은 유전율을 갖는 Rogers사 RT/Duroid 5880($\epsilon_r = 2.22, \tan \delta @ 10 \text{ GHz}, \text{Loss tangent}=0.0009, \text{Thickness}=10 \text{ mil}$) PCB 재질을 사용하였으며, Tapered slot의 전이구조로 설계하였다. 설계 목표 및 설계 값은 표 1과 같이 구성하였으며, 이와 같이 구성된 inline 도파관-마이크로스트립 전이구조는 Ansoft사의 HFSS를 사용하여 설계하였다. 절반의 inline 구조로 시뮬레이션 진행 후 전체 구조인 back-to-back 구조로 측정할 것을 감안하여 최적화된 뒤에 제작하였다.

그림 1은 제안된 inline 형태의 전이구조 설계를 보여준다. Inline 형태의 전이구조는 Waveguide의 특성이 도파관의

표 1. 전이구조 목표 및 설계 값

Table 1. Goal and design performance of transition.

Parameter	Goal	Design
Functions	Transition (back-to-back)	SIW input design transition
Insertion loss [dB]	≤ 2	≤ 0.52
Return loss [dB]	Up to 15	25

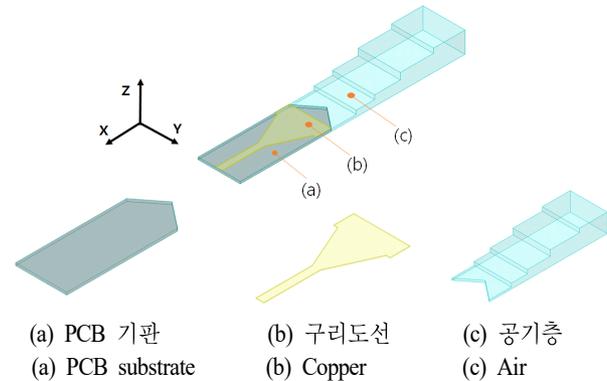


그림 1. Inline 구조의 도파관-마이크로스트립 전이구조 설계

Fig. 1. Design of inline waveguide to microstrip transition structure.

높이에 의해 변하지 않는 기술과 필드에 따른 Waveguide 전파방향이 마이크로스트립과 같은 기능을 구현하는 장점과 동일하여 적합함을 확인하였다.

그림 2에서는 inline 도파관-마이크로스트립 전이구조에 대한 시뮬레이션 결과를 S-parameter 특성으로 나타내었다. Inline 구조의 전이구조 S-parameter 특성 결과 중심 주파수인 94 GHz에서 약 0.13 dB의 삽입손실 특성, 입력 전력 반사손실은 약 27 dB를 나타내었다.

주파수에 따른 특성 임피던스 변화 및 특성을 파악하기 위하여 그림 3(a)와 같이 50 ohm 도파관에 대하여 파라미터를 정의하였으며, 그림 3(b)에 보인 특성 임피던스 값을 확인할 수 있다.

그림 1에 대하여 inline 전이구조에 대한 각각의 길이 정보는 그림 4(a)와 같으며 이를 토대로 전이구조에 대한 길이 변화에 따른 반사손실을 그림 4(c)와 같이 확인하였다.

그림 4와 같이 길이에 따른 반사손실 변화를 분석한 결

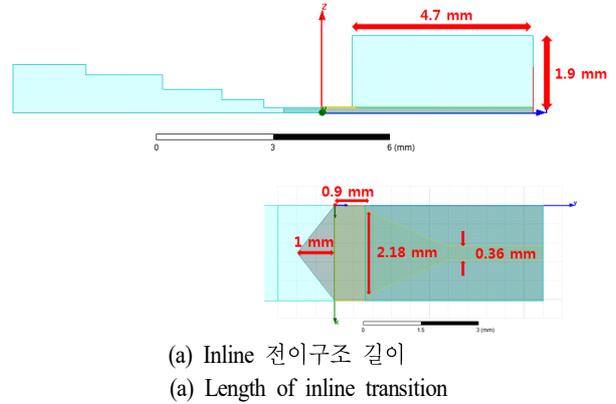
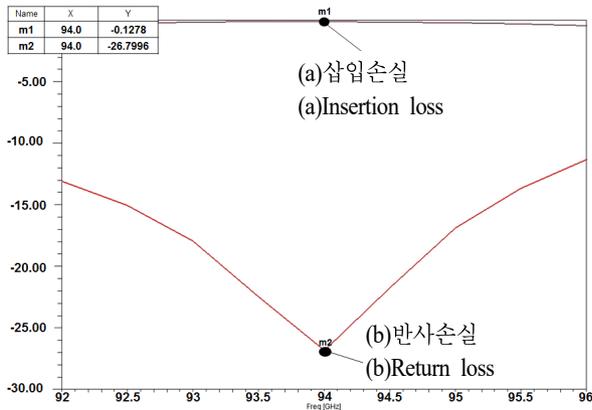


그림 2. Inline 전이구조 결과
Fig 2. Result of inline structure.

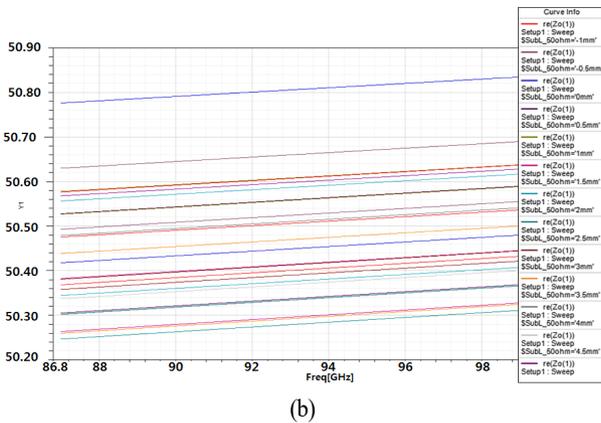
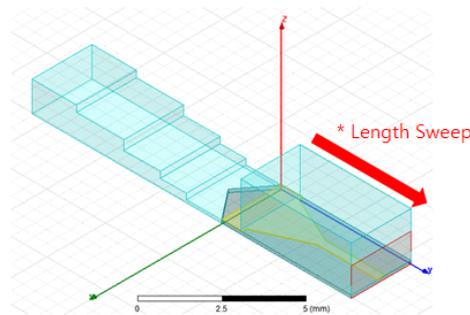
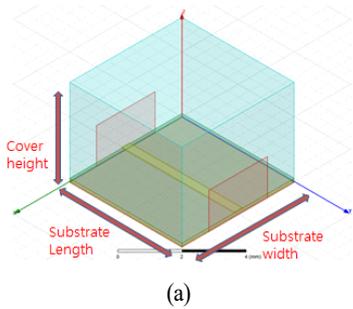


그림 3. (a) 50 ohm 도파관의 파라미터 정의, (b) 특성 임피던스
Fig. 3. (a) Definition of parameters with 50 ohm waveguide, (b) Characteristic impedance of 50 ohm waveguide.

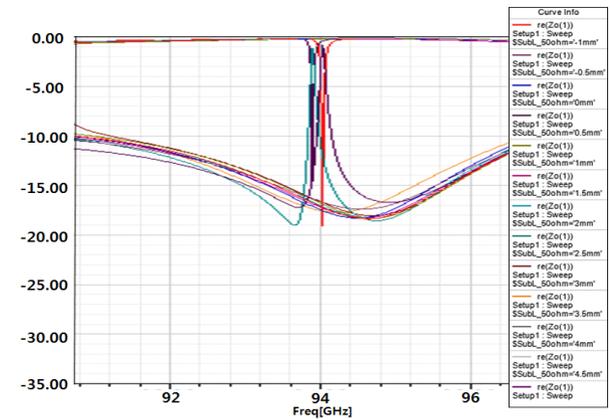


그림 4. Inline 전이구조
Fig. 4. Inline transition.

과, 길이가 길어짐에 따라 밀리미터파 내 중심주파수 94 GHz 기준 일정간격 공진이 생김을 확인하였으며, 전이구조

의 최적 길이는 그림 2와 같이 4.7 mm임을 확인할 수 있다. 이와 같이 설계한 inline 구조의 도파관-마이크로스트립

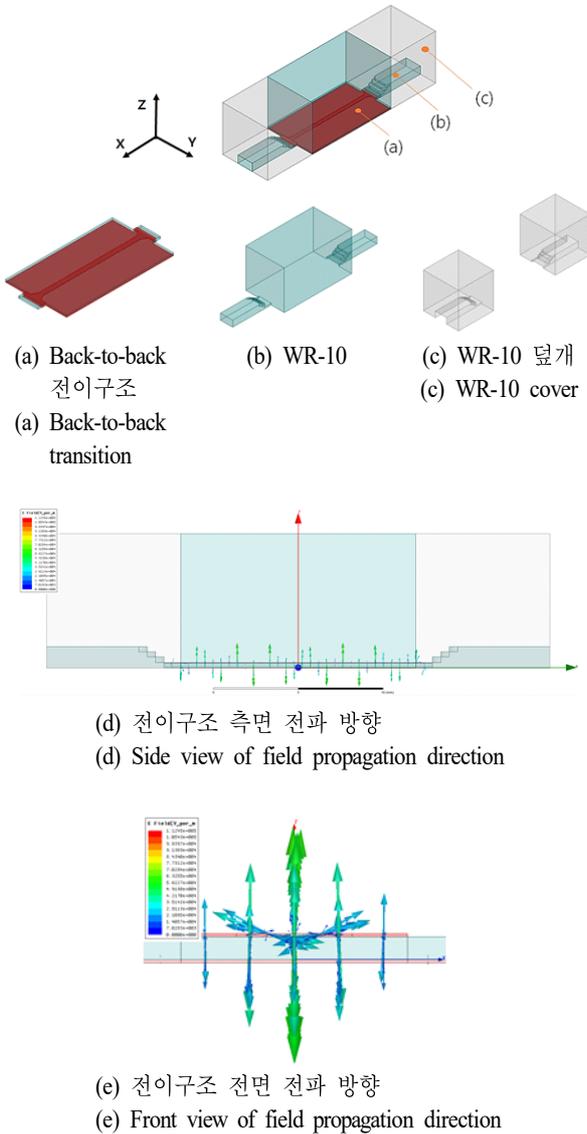


그림 5. Back-to-back 도파관-마이크로스트립 전이구조
Fig. 5. Design of back-to-back waveguide to microstrip transition structure.

전이구조는 제작 후 측정에 대한 편의를 위하여 그림 5와 같이 두 개의 변환 구조 사이에 마이크로스트립 선로가 추가된 back-to-back 구조로 설계 및 제작을 진행하였다.

그림 6은 back-to-back 구조의 도파관-마이크로스트립 전이구조에 대한 시뮬레이션 결과를 S-parameter 특성으로 나타내었다. Back-to-back 전이구조에 대하여 S-parameter 특성 결과, 밀리미터파 대역 내의 중심 주파수 94 GHz에

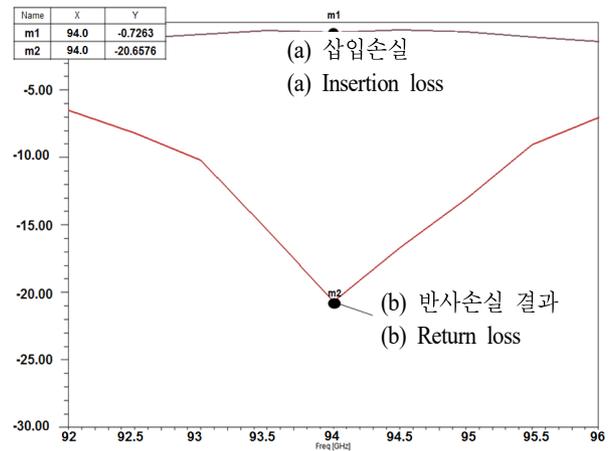


그림 6. Back-to-back 구조의 전이구조
Fig. 6. Result of back-to-back structure.

서 0.7 dB의 삽입손실 특성, 입출력 반사손실은 약 21 dB 로써 넓은 대역폭을 나타내었다.

III. 제작 및 측정결과

본 논문을 통해 설계된 도파관-마이크로스트립 전이구조를 평가하기 위하여 그림 7과 같이 모듈 형태로 제작하였다. Inline 형태의 전이구조를 개별 설계하여 개별 특성을 확인한 후에 실 측정을 위하여 2개의 inline 전이구조를 50 ohm 마이크로스트립 선로가 있는 back-to-back 형태로 연결하여 제작 및 측정결과에서 나타난 손실 값을 삽입손실과 함께 확인하였다.

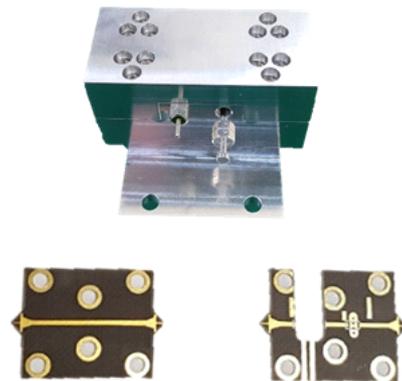


그림 7. 제작된 back-to-back 구조의 전이구조
Fig. 7. Fabrication of the back-to-back transition structure.

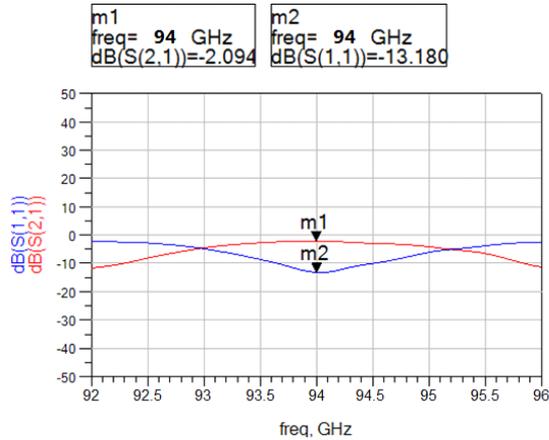


그림 8. Back-to-back 구조의 inline 전이구조 S-parameter 측정결과

Fig. 8. Measurement result of the back-to-back transition.

밀리미터파 대역에서 측정 가능한 Anritsu사의 ME7828A로 측정한 결과, 데이터 값을 그림 8과 같이 나타내었으며, 중심 주파수 94 GHz 대역에서 약 2.1 dB의 삽입손실 특성 및 13 dB 이하의 입출력 반사 손실 특성 및 좁은 대역폭을 가짐을 확인하였다.

이 결과를 통하여 시뮬레이션과 실 측정 간 1.4 dB 정도의 삽입손실의 차이 및 대역폭에 대한 차이가 발생하는 것을 확인하였으며, 이는 설계 시 공정오차로 인한 손실분포 증가와 본딩 가능한 도금처리 과정에 의한 전자기파 손실증가로 사료된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 밀리미터파 대역에서 동작하는 도파관-마이크로스트립 전이구조 중 짧은 천이길이와 낮은 삽입손실을 동시에 만족하기 위한 inline 구조의 전이구조로 제안 및 설계, 측정을 진행하였다.

이는 inline 구조 형태의 전이구조를 설계 후 간단한 back-to-back 구조로 구현이 가능하다는 장점을 가지고 있으며, 제작된 전이구조에 대하여 S-parameter 특성 측정결과, 밀리미터파 대역 내에서 중심 주파수 94 GHz에서 2.1 dB의 삽입손실 특성 및 13 dB 이하의 입출력 반사 손실 특성 및 좁은 대역폭을 가짐을 확인하였다.

시뮬레이션 대비 측정 결과의 삽입손실 및 대역폭에

대한 차이 발생에 대하여 설계 시 공정오차로 인한 손실 분포 증가와 본딩 가능한 도금처리 과정에 의한 전자기파 손실증가로 사료되며, 이는 향후 제작공정의 오차 반영 및 기판 재질에 대한 변화과정에 대하여 추가 분석을 진행하여 밀리미터파 탐색기에 적용 예정이다.

References

- [1] A. Rebollo, B. Larumbe-Gonzalo, R. Gonzalo, and I. Ederra, "Full W-band microstrip-to-waveguide inline transition," in *the 8th European Conference on Antennas and Propagation*, the Hague, Apr. 2014.
- [2] Y. Zhang, J. A. Ruiz-Cruz, K. A. Zaki, and A. J. Piloto, "A waveguide to microstrip inline transition with very simple modular assembly," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 20, no. 9, pp. 480-482, Sep. 2010.
- [3] R. C. Johnson, *Antenna Engineering Handbook*, 3rd ed. New York, McGraw-Hill, 1993.
- [4] T. Y. Huang, T. M. Shen, and R. B. Wu, "Design and modeling of microstrip line to substrate integrated waveguide transitions," in *Passive Microwave Components and Antennas*, pp. 225-246, Intech, 2010.
- [5] K. Chang, *Encyclopedia of RF and Microwave Engineering*, pp. 1448-1457, Hoboken, NY, John Wiley & Sons, 2005.
- [6] Y. C. Shih, T. N. Ton, and L. Q. Bui "Waveguide-to-microstrip transition for millimeter-wave applications," in *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, May 1988, vol. 1, pp. 473-475.
- [7] R. J. Stevenson, "Theory of slots in rectangular waveguides," *Journal of Applied Physics*, vol. 19, no. 1, pp. 24-38, Apr. 1948.
- [8] 권혁자, 이성주, 장호준, "프로브 구조를 이용한 Ka 대역 도파관-마이크로스트립 트랜지션의 설계 및 제작," *전자공학회논문지*, 45(7), pp. 67-71, 2008년 7월.
- [9] 오현석, 염경환, "짧은 천이길이를 갖는 Ku-대역감소 단축도파관 대 마이크로스트립 모드 변환기," *한국전자과학회논문지*, pp. 1435-1444, 2008년 12월.

박 상 우 [한화시스템(주)/연구원]



2017년 2월: 숭실대학교 정보통신공학과 (공학석사)
 2017년 1월~현재: 한화시스템(주) 레이더 · PGM 연구소 연구원
 [주 관심분야] 초고주파 회로 설계 및 해석, 레이더 시스템 등

김 용 환 [한화시스템(주)/상무]



1982년 2월: 부산대학교 (공학사)
 1990년: 삼성전자(주) 레이더연구소 부장
 2018년~현재: 한화시스템(주) 레이더 · PGM 연구소 상무
 [주 관심분야] 레이더 시스템 등

이 동 재 [(주)웨이비스/그룹장]



1995년 2월: 인천대학교 전자공학과 (공학사)
 2016년 2월~현재: (주)웨이비스 Module 그룹 그룹장
 [주 관심분야] RF 및 Microwave 회로 설계, GaN 전력증폭기, SSPA, TWTA, 시스템 등

김 정 렬 [한화시스템(주)/연구위원]



1996년 8월: 동국대학교 전자공학과 (공학박사)
 1988년 1월~2015년 6월: 국방과학연구소
 2017년~현재: 한화시스템(주) 레이더 · PGM 연구소 연구위원
 [주 관심분야] 레이더 시스템 등

송 성 찬 [한화시스템(주)/수석연구원]



2001년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)
 2003년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학석사)
 2002년 11월~2015년 6월: 삼성탈레스(주) 전문연구원
 2015년 7월~2016년 9월: 한화탈레스(주)

전문연구원
 2016년 9월~현재: 한화시스템(주) 레이더 · PGM 연구소 수석연구원
 [주 관심분야] 레이더 신호처리, 레이더 시스템 등

홍 동 희 [한화시스템(주)/연구위원]



1979년 2월: 한국항공대학교 전자공학과 (공학사)
 1981년 2월: 한국과학기술원 전자공학과 (공학석사)
 1987년 2월: 한국과학기술원 전자공학과 (공학박사)
 1988년 1월~2017년 2월: 국방과학연구소

2018년 1월~현재: 한화시스템(주) 레이더 · PGM 연구소 연구위원
 [주 관심분야] 레이더 시스템 등

이 만 규 [한화시스템(주)/수석연구원]



1991년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학사)
 1991년 3월~1994년 10월: 포스코 ICT 연구원
 2000년 2월~2015년 6월: 삼성탈레스(주) 수석연구원
 2013년 3월: 아주대학교 전자공학과 (공학석사)

2015년 7월~2016년 9월: 한화탈레스(주) 수석연구원
 2016년 9월~현재: 한화시스템(주) 레이더 · PGM 연구소 수석연구원
 [주 관심분야] 위상배열 레이더시스템, 안테나 및 송수신기 설계