

수직 결함 기저면 구조를 이용한 새로운 발룬 구조 연구

A Study on a New Balun Structure with Vertically Periodic Defected Ground Structure

김귀수 · 김철수* · 송인상* · 임종식 · 안 달

Kwisoo Kim · Chul-Soo Kim* · In-Sang Song* · Jongsik Lim · Dal Ahn

요 약

본 논문에서는 새로운 발룬 구조를 제안한다. 신호선의 기준점인 접지 면에는 인위적인 결함 기저면이 존재한다. 전송 선로는 마이크로스트립 라인과 슬롯 라인의 변환을 갖는다. 접지면에 존재하는 결함 기저면과 신호선의 전송 모드 변환은 발룬의 특성을 만드는데 유용하게 쓰인다. 결함 기저면의 공진 주파수는 발룬의 동작 주파수를 결정한다. 또한, 전송선의 모드 변환은 두 출력 단자 사이의 위상 반전을 추가 선로 없이 만들 수 있다. 본 논문에서는 발룬의 동작 주파수를 효과적으로 낮출 수 있는 수직 결함 기저면을 적용하여 동작 주파수 2 GHz의 발룬을 설계, 제작 및 측정하여 제시한 설계법의 타당성이 검증되었다.

Abstract

In this paper, a new balun is proposed. This proposed balun has a DGS(Defected Ground Structure) pattern on the ground plane. The transmission-line is transformed by microstrip-to-slotline transition. DGS pattern on the ground plane and transition of the lines can be easily made a property of the balun. Resonance frequency of the DGS leads to operating frequency of the balun. Also the transition produces 180° out-of-phase between two output ports without additional transmission line. In this paper, a new balun with VPDGS(Vertically Periodic Defected Ground Structure) effectively lower the operating frequency. To validate the proposed design method, the new balun is designed, fabricated and measured at 2 GHz.

Key words : Balun, Microstrip-to-Slotline Transition, VPDGS(Vertically Periodic Defected Ground Structure)

I. 서 론

발룬(balun)은 초고주파 회로 및 시스템 응용에 널리 쓰이는 회로 소자 가운데 하나로써, 여러 가지 회로에 응용하는 목적이 다른 만큼 발룬의 형태도 매우 다양하게 존재한다^[1]. 발룬은 불평형 선로와 평형 선로간의 변환을 목적으로 사용되며, 일반적으로 두 출력간의 같은 크기의 전력과 위상 반전의 출력을 얻는다. 위와 같은 발룬은 평형 믹서, 그리고 광대역에 걸쳐 포트간 격리 특성과 원치 않는 고조파 신호

제거를 위한 푸시풀 증폭기의 멀티플라이어에 필수적인 회로이다^{[2]~[5]}. 반세기가 넘는 동안 다양한 종류의 발룬 구조들이 연구되었고, 논문으로 발표되었다. 대표적인 발룬으로는 1944년 Marchand에 의해 제안된 구조인 Marchand balun이 있다. 또, 고주파 전력 분배기로 널리 사용되고 있는 Wilkinson power divider를 응용한 발룬이 있다^{[1],[3],[7]}. 전력 분배기의 두 출력 선로 중 하나의 선로에 반 파장에 해당하는 선로의 길이를 추가하여 위상 반전 효과를 만드는 회로는 가장 일반적인 방법이다. 또는 윌킨슨 전력

순천향대학교 전기통신공학과(Department of Electrical and Communication Engineering, Soonchunhyang University)

*삼성종합기술연구원(Samsung Advanced Institute of Technology)

· 논문 번호 : 20080514-066

· 수정완료일자 : 2008년 7월 14일

분배기의 두 출력 선로를 평행 결합 선로로 바꾼 회로도 논문으로 발표되었다^[1]. 이와 같이 윌킨슨 전력 분배기를 응용한 여러 가지의 발룬 회로가 발표되었고, 또한 실제 사용되고 있다. 이처럼 대부분의 발룬은 전기적 길이를 이용하여 두 출력 단자 사이의 180° 위상 차이를 만든다. 이에 따라 본 논문에서는 위상 반전 효과를 위한 추가적인 선로를 필요로 하지 않는 새로운 구조에 초점을 맞추어 연구를 시작하게 되었다. 따라서 본 논문에서는 전송 선로의 모드 변환과 접지면에 수직 주기 결합 기저면(VPDGS: Vertically Periodic Defected Ground Structure)을 삽입하여 새로운 구조의 발룬에 대한 연구가 진행되었다. 전송 모드 변환 중 본 논문에서는 마이크로스트립 라인 전송 모드와 슬롯 라인 전송 모드의 변환을 사용하였다. 슬롯 라인이 사용되는 대부분의 회로에서는 마이크로스트립 라인이 함께 사용되는 것을 쉽게 볼 수 있다. 따라서 마이크로스트립 라인과 슬롯 라인과의 변환은 필요하게 된다. 또한, 마이크로스트립 라인과 슬롯 라인의 변환의 제작은 기판 양면의 식각이 결정되었을 때 MIC(Microwave Integrated Circuit) 제작 공정에도 쉽게 포함시킬 수 있다^[6]. 반면 결합 기저면이란 전송선의 기준인 접지면에 인위적으로 특정한 모양의 식각면을 삽입한 구조로서, 특정한 주파수에서 신호의 통과 또는 저지 특성을 갖는 회로를 말한다^{[7]-[11]}. 본 논문에서 응용된 모드 변환과 DGS에 대한 이론은 2장에서 다루어질 것이다.

II. 설계 이론

2.1 새로운 구조의 발룬

그림 1은 마이크로스트립 라인과 슬롯 라인과의 전송 모드 변환을 표현한 것이다. 유전체 기판 윗면에는 마이크로스트립 라인이, 접지면에는 슬롯 라인이 존재한다. 두 상이한 전송 선로가 서로 겹치는 부분에서 전송 모드 변환이 발생한다. 그 이유는 겹치는 중심에서부터 1/4 파장의 개방된 선로로 인하여 전기적으로 연결된 것처럼 보이기 때문이다. 그림 2는 아령 모양의 결합 기저면을 삽입한 입체 도면이다. 결합 면의 변수는 a , b , 그리고 g 로 그 값을 달리 하면 다양한 등가 인덕턴스와 캐패시턴스값을 계산할 수 있다. 그 값에 따라 3 dB 차단 주파수와 공진

주파수는 변화한다.

본 논문에서는 전송 모드의 변환과 결합 기저면을 사용한 새로운 구조의 발룬 회로를 연구하였다. 전송 선로의 기준면인 접지면에 인위적인 결합 면을 삽입하면 일정 주파수에서 통과 또는 저지 특성을 만들 수 있다. 이와 관련된 이론은 참고논문을 통하여 확인할 수 있다^{[7]-[11]}.

그림 3은 전송 모드 변환과 결합 기저면이 삽입된 새로운 구조의 발룬 회로 입체도이다. 그림 1에서의 모드 변환 방법은 전기적 길이 차이를 이용하는 방

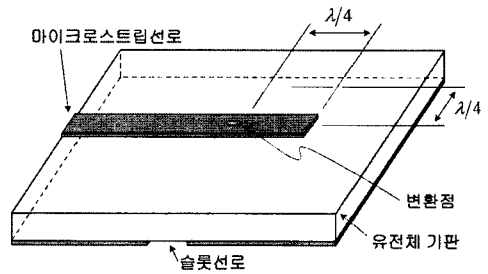


그림 1. 마이크로스트립 선로와 슬롯 라인의 변환
Fig. 1. Microstrip-to-slotline transition.

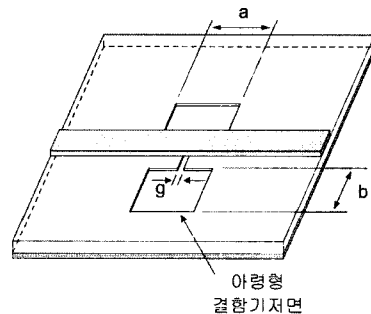


그림 2. 아령 모양의 결합 기저면 입체도
Fig. 2. 3-dimension model of Dumbbell shape DGS.

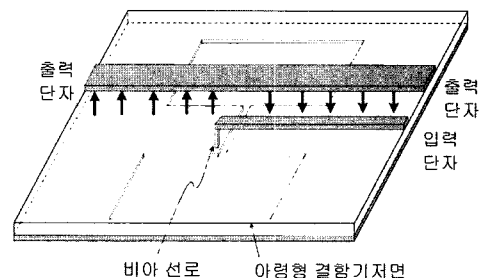


그림 3. 제안된 발룬의 전기계 방향
Fig. 3. The electric field direction of proposed balun.

법이므로 1/4 파장의 개방 선로를 대신하여 비아 선로를 이용한 직접 연결 방법을 사용하였다. 이는 하나의 입력 단자와 두 개의 출력 단자를 마이크로스트립 전송 선로로 구현한 새로운 발룬 구조이다. 입력 전송 선로의 끝단은 비아 선로를 통하여 접지면으로 연결되었다. 입력 단자에서 인가된 신호는 비아 선로를 통하여 결합 기저면에 의해 부분 분리된 접지면에 전달된다. 이때 신호가 전달된 접지면과 결합 기저면의 슬롯 라인으로 이등분된 접지면 사이의 전위는 서로 다르다. 서로 다른 전위로 인하여 두 단자에 연결된 전송 선로와 접지면 사이의 전계 방향은 다음과 같다. 그림 3에 전계 방향을 화살표로 표시하였다. 이처럼 전계의 방향이 서로 다른 원리를 이용하면 두 출력 단자 사이의 위상 차이를 180°가 되도록 만들 수 있다. 이를 이용하여 발룬을 만들 수 있음을 알 수 있다. 이 회로는 하나의 입력 선로에 병렬로 두 개의 출력 선로가 연결된 형태이다. 따라서 이 회로는 출력 단자의 특성 임피던스가 입력 단자의 그것에 1/2 크기가 된다.

본 논문에서 연구된 발룬은 접지면의 결합 기저면이 만드는 공진 주파수에서 발룬의 동작 주파수가 결정됨을 확인하였다. 결합 기저면의 a , b , 그리고 g 를 각각 5 mm, 5 mm, 그리고 0.5 mm 하였을 경우, 약 8 GHz 근방의 공진 주파수를 나타낸다. 물론 기판의 특성에 따라 주파수 특성은 다를 수 있다. 그러나 중심 주파수 2 GHz의 발룬을 만들기 위해서는 2 GHz의 공진 주파수를 갖는 다른 모양의 결합 기저면을 사용하여야 한다.

2.2 수직 주기 결합 기저면

그림 4는 수직 주기 결합 기저면 구조의 평면도이다. 기판의 윗면에는 전송 선로와 접지면에는 전송 선로의 수직 방향으로 펼쳐진 여러 개의 아령 모양 결합 면이 존재한다. 이것을 수직 주기 결합 기저면이라 하고, 이전에 발표된 논문에서 자세히 이론을 확인할 수 있다. 결합 모양에는 아령 모양과 나선형 모양 등 여러 가지 모양이 존재하며, 그 모양에 따라 통과 또는 저지되는 주파수와 대역폭 등이 다양하다. 본 논문에서는 비교적 낮은 저지 대역 주파수와 넓은 대역을 만들기 위해서 수직 주기 결합 기저면 구조를 선택하였다. 이는 결합 면의 손실을 개선하면

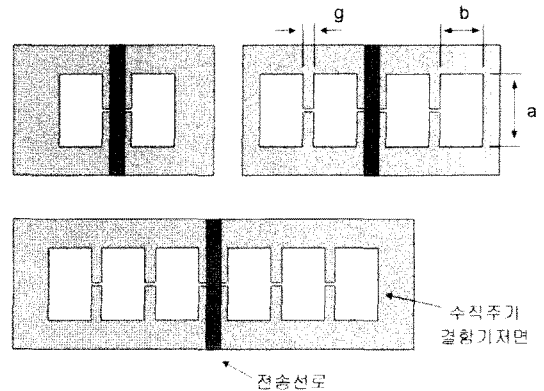


그림 4. 수직 주기 결합 기저면이 삽입된 전송 선로
Fig. 4. Transmission line with the VPDGS.

표 1. 수직 주기 결합 기저면의 시뮬레이션 결과
Table 1. Simulation results of VPDGS.

a, b, g [mm]		10, 5, 1		10, 5, 2	
freq.[GHz]		f_c	f_0	f_c	f_0
Number of VPDGS	1	2.16	4.78	2.16	4.78
	2	1.61	3.48	1.57	3.28
	3	1.38	2.85	1.34	2.64
	4	1.27	2.50	1.23	2.31
	5	1.20	2.29	1.17	2.11
	6	1.16	2.14	1.14	1.98

서 감쇠 극 주파수를 쉽게 맞출 수 있는 장점이 있다. 일반적인 결합 기저면은 전파 지연과 같은 주기 구조의 장점을 더욱 증가시키기 위하여 전송 선로 방향으로 소자의 개수를 증가시켜야만 한다. 그에 반해 수직 주기 결합 기저면 구조는 전송 선로 기준으로 수평 방향이 아닌 수직으로 결합 면 소자 개수를 증가시키므로 결합 면의 특성이 증가됨을 확인하였다.

그림 4에서 결합 면의 변수는 a , b 그리고 g 로 하고, 그 값을 달리하여 결합 면의 개수를 늘려가며 시뮬레이션 하였고, 그 값들을 표 1에 정리해 놓았다.

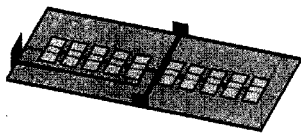
그 결과를 살펴보면 수직 주기 결합 기저면 구조의 변수에 따라 약간의 차이를 보이지만 a , b , 그리고 g 값이 각각 10 mm, 5 mm, 그리고 2 mm와 6개의 결합 면으로 공진 주파수를 2 GHz 근방으로 만들 수 있음을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 수직 주기 결합 면의 개수를 5개와 6개 두 가지를 응용하여 새

로운 구조의 발룬을 설계 및 제작하기로 하였다.

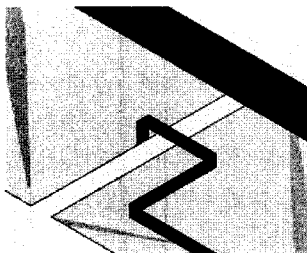
Ⅲ. 새로운 발룬 제작 및 측정

그림 5(a)는 제안된 수직 주기 결합 기저면을 갖는 발룬을 나타낸다. 결합 면의 변수인 a , b , 그리고 g 의 값은 각각 10 mm, 5 mm, 그리고 2 mm이고, 결합 면은 5개로 설계하였다. 발룬을 설계할 때 앞서 제시한 변수 이외의 설계 변수가 존재한다. 그림 5(b)와 같이 입력 단자 선로가 접지면에 연결될 때 다음의 조건을 만족해야 한다. 슬롯 선로에서 신호가 진행되는 길이를 최소화 하는 위치에 연결되어야 하며, 입력 선로와 출력 선로 사이의 커플링 효과를 고려 해야 한다. 따라서 그림 5(b)와 같이 입력 선로에 불연속 구조가 삽입되었다. 설계된 발룬은 Ansoft사의 EM simulator인 HFSS를 이용하여 최적화 작업을 수행하였다.

그림 6은 본 논문에서 제안된 발룬을 제작한 사진이다. 제작에 사용된 기판은 Madclad사의 비유전율 3.2, 두께는 0.508 mm의 테프론 기판이다. 기판의 윗면에는 하나의 입력 단자와 연결된 선로와 두 개의 출력 단자와 연결된 선로가 있다. 입력 선로는 측정을 위하여 50 ohm에서 100 ohm으로 변환되는 변환



(a) 전자장 시뮬레이션 모델
(a) EM simulation model



(b) 전송 모드 변환점
(b) Microstrip-to-slotline transition point

그림 5. 수직 주기 결합 기저면을 삽입한 발룬 회로
Fig. 5. Designed balun with the VPDGS.

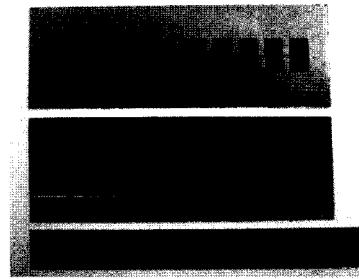
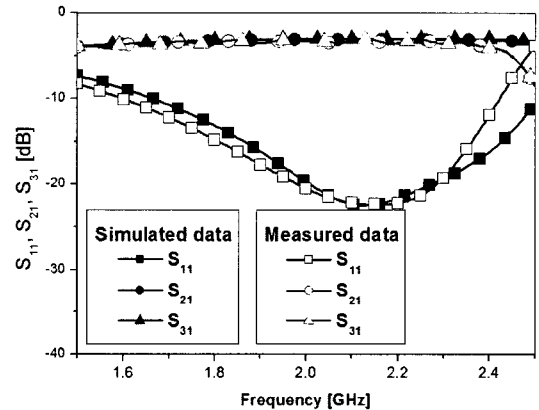
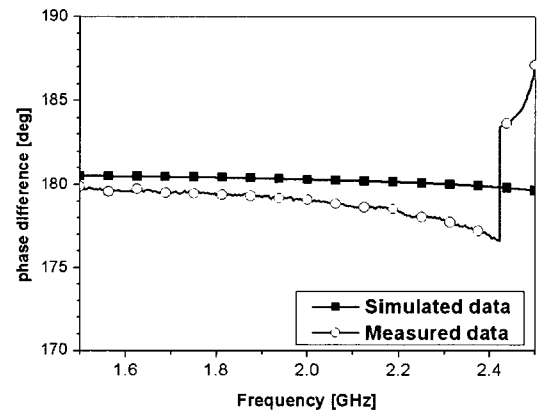


그림 6. 제작된 수직 주기 결합 기저면 발룬
Fig. 6. Fabricated balun with the VPDGS.

기로 설계하였다. 접지면에는 손실 특성이 보다 개선되고, 감쇠극 주파수를 2 GHz까지 낮출 수 있는 수직 주기 결합 기저면을 삽입하였다. 제작된 발룬은



(a) 반사 손실과 삽입 손실
(a) Return and insertion loss of S_{21} and S_{31}



(b) 두 출력 신호의 위상 차이
(b) Phase difference of S_{21} and S_{31}

그림 7. 제작된 발룬의 측정 결과
Fig. 7. Measured results of the fabricated balun.

Agilent사의 5071B ENA 장비를 사용하여 측정하였다.

그림 7(a)는 각 단자간의 삽입 손실과 반사 손실을 측정하여 앞서 수행한 전자장 시뮬레이션 결과와 겹쳐 놓은 것이다. 그 결과, 중심 주파수를 기준으로 시뮬레이션과 측정치는 각각 반사 손실 $S_{11} = -19.74$ dB, -20.55 dB, 삽입 손실 $S_{21} = -3.01$ dB, -3.20 dB, 그리고 $S_{31} = -3.10$ dB, -3.29 dB의 결과를 얻었다. 이는 삽입 손실이 0.3 dB 이내의 값으로 우수한 특성을 나타낸다. 그림 7(b)는 두 출력 단자 사이의 위상 차이를 계산한 것으로 1.8~2.2 GHz의 대역 내에서 $180^\circ \pm 2^\circ$ 이내의 특성을 보였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 새로운 구조의 발룬을 제시하였다. 제시한 회로는 마이크로스트립 선로와 슬롯 선로의 모드 변환과 수직 주기 결합 기저면을 이용한 회로이다. 모드 변환에 따른 전계 방향의 차이로 인하여 두 출력 단자 사이의 위상 차이가 생기는 원인을 확인하였고, 2 GHz의 동작 주파수를 만들기 위하여 수직 주기 결합 기저면에 대한 전자장 시뮬레이션을 수행하였다. 선행된 시뮬레이션을 바탕으로 제안된 설계 방법으로 새로운 구조의 발룬을 제작하였다. 회로의 측정을 위해서 입력 선로에는 임피던스 변환기가 삽입되었으며, 입, 출력 단자의 임피던스는 각각 100 Ω과 50 Ω이다. 측정을 통하여 제안된 발룬의 동작 특성을 검증하였다.

참 고 문 헌

[1] 임종식, 양희성, 김동주, 정용채, 안달, 김광수, "신호-접지 교차 구조를 이용한 소형화된 CPW 윌킨슨 분배기 구조의 발룬", 한국전자과학회논문지, 16(8), pp. 835-841, 2005년 8월.
 [2] Gordon J. Laughlin, "A new impedance-matched wide-band balun and magic tee", *IEEE Trans. Microw. Theory and Tech.*, vol. MTT-24, no. 3, pp. 135-141, Mar. 1976.

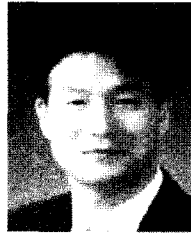
[3] J. Rogers, R. Bhatia, "A 6 to 20 GHz planar balun using a Wilkinson divider and Lange couplers", *IEEE MTT-S IMS 1991 Digest*, pp. 865-868, 1991.
 [4] Rajesh Mongia, Inder Bahl, and Prakash Bhatia, *RF and Microwave Coupled-Line Circuits*, Artech House, Boston, 1999.
 [5] Dae-Won Lew, Jun-Seok Park, Dal Ahn, Nam-Kee Kang, In-Shig Park, Wook Lim, and Chan-Sei Yoo, "A design of the ceramic multilayer chip balun", *IEEE MTT-S IMS 1999 Digest*, pp. 1893-1896, 1999.
 [6] K. C. Gupta, Ramesh Garg, Inder Bahl, and Prakash Bhartia, *Microstrip Lines and Slotlines*, Artech House, Boston, 1996.
 [7] 임종식, 박응희, 정용채, 안달, 오성민, 구재진, 김광수, "다단 윌킨슨 구조의 초광대역 CPW 발룬", 한국전자과학회논문지, 17(9), pp. 811-820, 2006년 9월.
 [8] 김철수, 성정현, 길준범, 김상혁, 김호섭, 박준석, 안달, "Defected ground structure를 갖는 전송 선로의 특성과 집중소자에 의한 특성", 한국전자과학회논문지, 11(6), pp. 946-951, 2000년 9월.
 [9] Dal Ahn, Jun-Seok Park, Chul-Soo Kim, Juno Kim, Yongxi Qian, and Tatsuo Itoh, "A design of the low-pass filter using the novel microstrip defected ground structure", *IEEE Trans. Microw. Theory and Tech.*, vol. 49, no. 1, pp. 86-93, 2001.
 [10] Jong-Sik Lim, Young-Taek Lee, Chul-Soo Kim, Dal Ahn, and Sangwook Nam, "A method to shorten the size of amplifiers using vertically periodic defected ground structure", *32nd European Microwave Conference*, pp. 159-162, 2002.
 [11] J. -S. Lim, C. -S. Kim, Y. -T. Lee, D. Ahn, and S. Nam, "Vertically periodic defected ground structure for planar transmission lines", *Electronics Letters*, vol. 38, no. 15, pp. 803-804, 2002.

김 귀 수



2004년 2월: 순천향대학교 정보기술공학부 (공학사)
2006년 2월: 순천향대학교 전자공학과 (공학석사)
2006년 3월~현재: 순천향대학교 전기통신공학과 박사과정
[주 관심분야] RF, 마이크로파 수동/능동 소자 설계, 주기구조의 모델링 및 회로응용

임 중 식



1991년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
1993년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
2003년 2월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학박사)
1993년 2월~1999년 3월: 한국전자통신연구원 위성통신기술연구단 무선방송기술연구소 선임연구원
2003년 3월~2003년 7월: 서울대학교 BK21 정보기술사업단 박사후 연구원
2003년 7월~2004년 9월: 특허청 특허심사관
2004년 9월~2005년 2월: 한국전자통신연구원 디지털방송연구단 전파기술연구그룹 선임연구원
2005년 3월~현재: 순천향대학교 전기통신공학과 교수
[주 관심분야] RF, RF Power Amplifier, EMC 등

김 철 수



2002년 2월: 순천향대학교 전자공학과 (공학박사)
2005년 3월~현재: 삼성종합기술원 전문연구원
[주 관심분야] RF MEMS, 마이크로파 수동 회로 모델링 및 설계

안 달



1984년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
1986년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
1990년 8월: 서강대학교 전자공학과 (공학박사)
1990년 8월~1992년 2월: 한국전자통신연구원 선임연구원
1999년 3월~현재: 순천향대학교 전기통신공학과 교수
[주 관심분야] RF, 마이크로파 수동소자 해석 및 설계 등

송 인 상



1997년: 서강대학교 물리학과 (이학박사)
1998년~현재: 삼성종합기술원 수석연구원
[주 관심분야] RF Technology