

커패시터 구조를 급전 루프에 삽입한 광대역 PIFA 안테나 설계

Design of PIFA with Capacitor Structure Inserted into Feeding Loop

김 승 우 · 박 상 규 · 김 형 동

Seungwoo Kim · Sang-Gyu Park · Hyeongdong Kim

요 약

본 논문에서는 PIFA의 급전점과 단락점을 둘러싸는 급전 루프 내부에 커패시터 구조를 삽입하는 새로운 타입의 4중 대역(GSM900/DCS/PCS/W-CDMA) PIFA 설계를 제안한다. 커패시터의 삽입을 통해서 병렬 공진점인 2.01 GHz에서의 반사 계수 -2.73 dB를 -6.26 dB로 낮추는 효과를 얻을 수 있었다. 병렬 공진에서의 좋지 못한 방사 특성을 개선시킴으로써 고차 대역(DCS/PCS/W-CDMA)에서의 광대역 특성을 나타내었다.

Abstract

This paper proposes a new type of PIFA with a capacitor structure inserted into the feeding loop. It operates in GSM900, DCS, PCS, and W-CDMA frequency bands. By inserting the capacitor, it shows the effect of lowering the return loss from -2.73 dB to -6.26 dB at the parallel frequency, 2.01 GHz. The improvement of the poor radiation property near the parallel resonance frequency leads to a broadband operation in the upper band, DCS, PCS, and W-CDMA.

Key words : Capacitor Structure, Feeding Loop, Parallel Resonance, Broadband Operation

I. 서 론

휴대 단말기와 관련된 무선 통신의 기술이 사용자의 편의를 증대시키는 방향으로 비약적인 발전을 거듭해 왔다. 우선, 과거의 단말기보다 크기가 소형화되어 휴대의 관점에서 그 불편함이 줄어들었다. 다음으로는, 단순히 전화나 문자 메시지를 주고받는 데 그쳤던 과거의 통신 서비스에 비해 오늘날은 다양한 서비스의 제공을 통해서 소비자의 욕구를 충족시키고 있다.

위와 같이 급격하게 발전하는 무선 통신 기술과 더불어, 신호의 송신과 수신에 있어 핵심적인 디바이스인 안테나의 설계 기술 또한 발전해 왔다. 과거

의 외장형 안테나를 내장 및 소형화시키기 위해 PIFA(Planar Inverted-F Antenna) 타입의 안테나가 고안되었고, 이것은 현재도 휴대 단말기용 안테나로써 널리 사용되는 구조 중 하나이다. 또한, 보다 다양한 서비스와 시스템의 지원을 위해서 다중 대역 및 광대역의 주파수 범위에서 동작하는 안테나의 개발이 중요시 되어 왔다. 그 방안으로써 복수의 방사체 가지를 연결시키는 방법이나^{[1],[2]} PIFA의 패치에 기생의 방사체를 근접시키는 방법^{[3],[4]} 등이 연구가 되었고, 그 밖의 다양한 시도가 수행^{[5],[6]}되었다.

현재 널리 쓰이고 있는 PIFA 타입의 안테나에서 광대역화를 이룰 수 있는 방안으로써 단순히 다른 주파수 영역에서 공진하는 복수의 가지 구조 방사체

한양대학교 전자컴퓨터통신공학과(Department of Electronics Computer Engineering, Hanyang University)

· 논문 번호 : 20100527-069

· 교신저자 : 김형동(e-mail : hdkim@hanyang.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 7월 16일

의 길이와 크기를 조절하여 연결시키는 방법을 생각해 볼 수 있다. 하지만 이러한 방사체 가지의 단순 연결은 서로 다른 길이의 방사체 가지로부터 연유한 공진들 사이에 병렬 공진(parallel resonance)가 발생되기 때문에 광대역화를 이루기 어려운 점이 있다^[7].

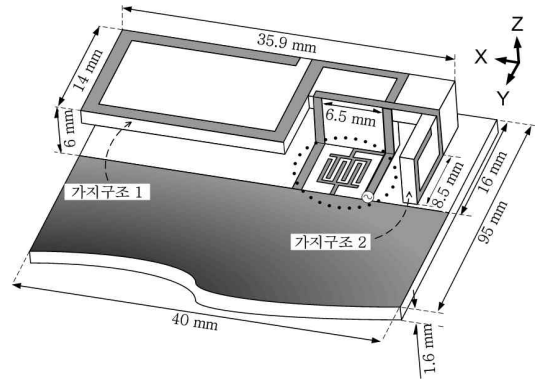
이러한 주파수 광대역화의 어려움을 해결하기 위해 본 논문에서는 PIFA의 급전점과 단락점을 둘러싸는 루프 안에 커패시터 구조를 삽입함으로써^[8] 고차 대역(DCS/PCS/W-CDMA)에서 광대역을 이룰 수 있는 새로운 타입의 PIFA 구조를 제안한다. GSM 대역에서 공진하는 길이가 긴 방사 가지의 두 번째 직렬 공진과 고차 대역에서 공진하는 상대적으로 길이가 작은 방사 가지의 직렬 공진 사이에서 발생하는 병렬 공진에서의 좋지 못한 방사 성능을 개선시켰고, 따라서 고차 대역의 광대역 특성을 얻을 수 있었다.

II. 안테나의 구조 및 동작 원리 분석

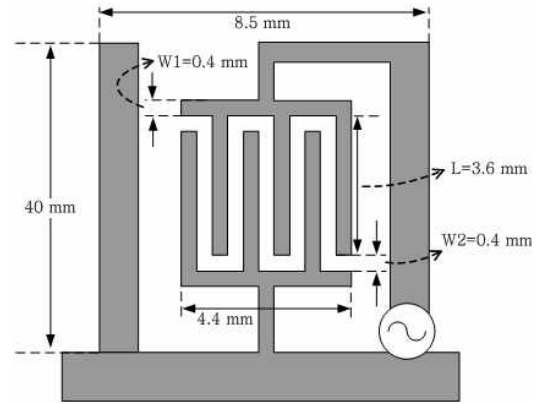
제안된 안테나의 구조를 그림 1에 나타내었다. 안테나는 유전율 4.4, 두께 1.6 mm의 FR-4 PCB 기판으로 제작되었다. 그라운드의 크기는 40×79 mm²이고, PIFA 패치의 부피는 39.5×14×6 mm³이다. 급전점과 단락점을 주회하는 루프 급전 안에 삽입된 커패시터는 손가락 모양의 패턴이 주기적으로 계속되는 interdigital 커패시터 구조이다. 패턴의 두께 W_1 과 패턴간의 간격 W_2 는 각각 0.4 mm이고, interdigital 커패시터의 길이 L 은 3.6 mm이다. 전체 커패시터스의 크기는 길이 L 과 반복되는 손가락 구조의 개수 N 에 의해 조절될 수 있다^[9].

그림 2에서 점선으로 표시된 그래프는 커패시터를 삽입하지 않은 PIFA만의 주파수에 따른 반사 계수 특성을 나타낸다. 그림 1에 명시된 가지 구조 1로부터 중심 주파수 0.92 GHz와 1.80 GHz에서 각각 첫 번째와 두 번째 직렬 공진을 얻었다. 다음으로 2.15 GHz의 공진은 길이가 짧은 가지 구조 2로부터 얻은 것이다.

여기서 주목해야 할 관찰로써 2 GHz 부근에 형성된 병렬 공진이 있다. 이것은 GSM 대역의 확보를 위해서 상대적으로 길이가 긴 가지 구조 1의 두 번째 직렬 공진과 고차 대역 확보를 위한 가지 구조 2



(a) 전체 구조
(a) Overall structure



(b) 커패시터의 세부 구조
(b) Capacitor's detailed structure

그림 1. 제안된 안테나 구조
Fig. 1. Proposed antenna structure.

의 직렬 공진 사이에 형성된 것으로써 -2.73 dB의 좋지 못한 반사 계수 특성을 나타내고 있다.

위와 같이 커패시터를 삽입하지 않은 PIFA 구조만을 분석함으로써 2 GHz 근처에 형성된 병렬 공진이 고차 대역 광대역 확보를 방해하고 있음을 확인할 수 있다. 일반적으로 길이가 다른 복수 개의 가지를 통해서 각각의 방사체로부터의 공진 주파수를 인접시킴으로써 광대역을 얻고자 하는 경우, 중심 주파수 사이에는 높은 VSWR을 갖는 병렬 공진점이 발생한다. 병렬 공진점에서는 높은 입력 임피던스를 갖기 때문에 급전된 전류가 PIFA의 방사 패치로 공급되지 못하고 결과적으로 병렬 공진점 부근에서는 좋지 못한 방사 특성이 나타나게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로써, 본 논

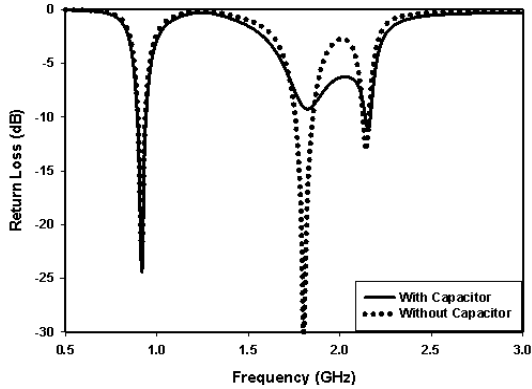
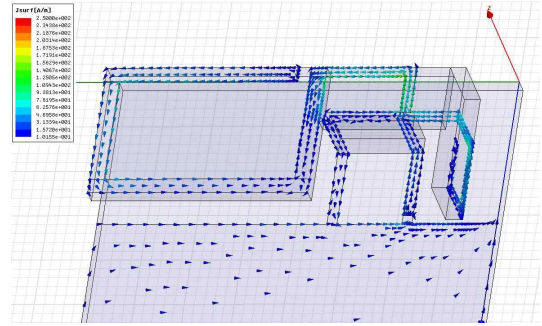


그림 2. 커패시터 구조 삽입에 따른 반사 손실 비교
Fig. 2. Comparison of the return loss between capacitor loaded and not loaded PIFAs.

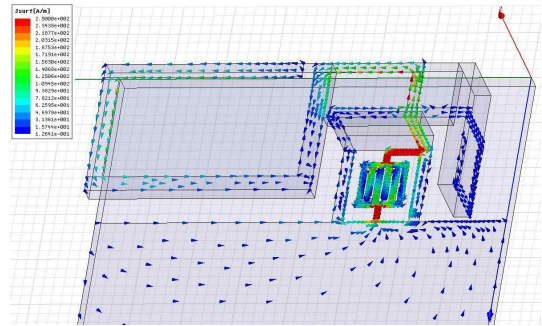
문에서는 그림 1과 같이 PIFA의 급전점과 단락점을 둘러싸는 루프 안에 커패시터를 삽입하는 구조를 제안하였다. 커패시터 구조를 삽입할 경우, 급전 루프 안에는 커패시터와 단락 핀을 둘러싸는 또 다른 루프가 형성된다. 특히, 이 커패시터와 단락 핀으로 이루어진 루프가 병렬 공진을 일으킬 경우 급전에서부터 공급되어진 전류보다 훨씬 많은 양의 전류가 증폭되어 이 루프를 따라 흐르게 된다^[10]. 증폭된 전류가 커패시터로 흐르게 되면 흐르는 전류의 양에 비례하여 커패시터 양단에는 전압 강하가 발생된다. 이 전압 강하로 인해 PIFA의 패치 방향으로 많은 양의 전류를 공급하게 되고, 결과적으로 공급된 전류가 패치에서 방사되기 때문에 방사 성능이 향상될 수 있다.

위와 같은 병렬 공진점 2.01 GHz에서의 커패시터 삽입 효과를 그림 3을 통해서 나타내었다. 그림 3의 (b)는 커패시터를 삽입했을 경우 병렬 공진 점에서의 전류 분포를 나타내고 있는데, 커패시터를 삽입하지 않은 그림 3의 (a) 경우보다 훨씬 증가된 전류가 커패시터를 통해서 PIFA의 패치로 공급되고 있음을 확인할 수 있다. 성능 향상의 효과를 보이기 위해 커패시터 구조의 유무에 따른 반사 손실 비교를 그림 2에 나타내었다. 커패시터 구조의 삽입을 통해서 2.01 GHz 부근의 방사 성능을 향상시킬 수 있었고, 그 결과 반사 손실 값을 기준보다 3.53 dB 떨어뜨릴 수 있었다.

그림 4는 interdigital 커패시터의 커패시턴스 크기를 조절하는 주요 파라미터인 그림 1(b)에 표시된 길



(a) 커패시터가 없는 구조
(a) Without capacitor



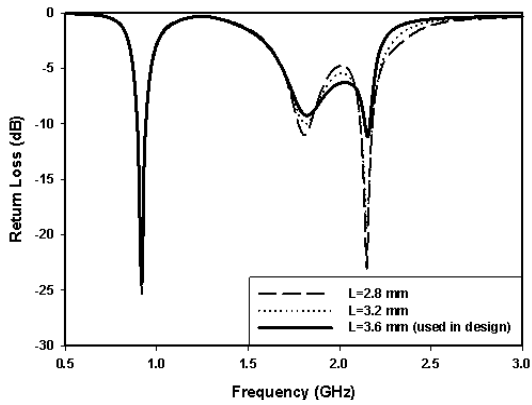
(b) 커패시터가 있는 구조
(b) With capacitor

그림 3. 병렬 공진점에서의 전류 분포
Fig. 3. Current distribution at the parallel resonance frequency.

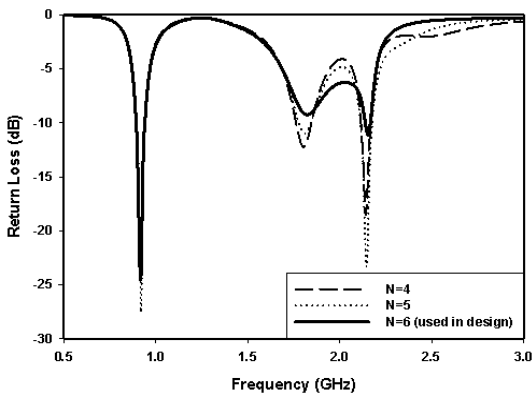
이 L 과 반복되는 손가락 구조의 개수 N 의 변화에 따른 반사 손실의 변화를 시뮬레이션을 통해서 나타낸 그래프이다. 길이 L 의 값을 변화시킨 그림 4(a)에서는 개수 N 을 제안된 디자인에 사용된 개수 6으로 설정하였고, 개수 N 을 변화시킨 그림 4(b)에서는 역시 커패시터의 구조의 길이 L 을 제안된 디자인에 사용된 3.6 mm로 고정시켰다. 커패시턴스 크기를 결정하는 구조의 변화를 통해서 coupling의 정도를 조절할 수 있고, 최적화된 성능을 나타내는 길이 L 과 개수 N 을 얻을 수 있었다.

III. 측정 및 결과

그림 5는 커패시터를 삽입한 구조의 시뮬레이션 결과와 실제 제작 후 측정된 결과를 비교하고 있다. 시뮬레이션은 Ansoft사의 HFSS를 이용하였고, 결과를 통해 시뮬레이션과 측정값이 상당히 일치함을 확



(a) 길이 L 에 따른 변화
(a) With respect to the length L



(b) 손가락 구조의 개수 N 에 따른 변화
(b) With respect to the number of fingers N

그림 4. Interdigital 커패시터의 주요 파라미터 변화에 따른 반사 손실 비교
Fig. 4. Variation of return loss by changing the main parameters of the interdigital capacitor.

인할 수 있다.

그림 6에는 선택된 특정 주파수에서의 측정된 안테나 방사 패턴을 나타내었다. 총 4개의 주파수를 선택하였고, 각각 가지 구조 1의 첫 번째 공진(0.92 GHz), 가지 구조 1의 두 번째 공진(1.80 GHz), 가지 구조 1과 가지 구조 2 사이의 병렬 공진(2.01 GHz), 가지 구조 2의 직렬 공진(2.15 GHz)점이다. 우선 GSM900 대역의 방사 성능을 살펴보기 위해 중심 주파수 0.92 GHz를 선택하였고, 그 결과 안테나 peak gain은 1.62 dBi, 효율은 73.48 %로 측정되었다. H-평면의 그래프를 통해서 전 방향성의 방사 패턴을 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 다음으로, 고차 대역

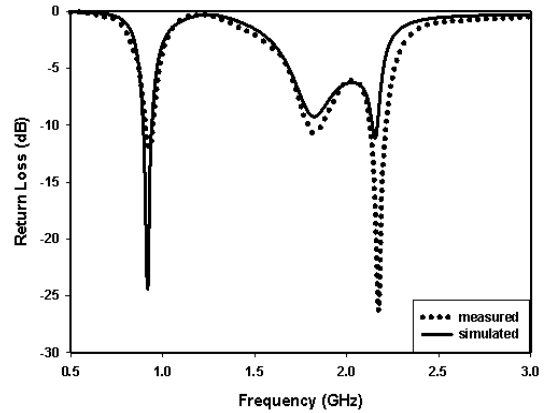


그림 5. 측정 데이터와 시뮬레이션 데이터의 반사 손실 비교

Fig. 5. Comparison of the return loss between measured and simulated data.

DCS/PCS/W-CDMA의 방사 특성으로서 1.80 GHz에서 1.84 dBi, 58.21 %, 2.01 GHz에서 2.08 dBi, 56.30 %, 2.15 GHz에서 4.64 dBi, 67.80 %의 peak gain과 효율이 각각 측정되었다. 주파수가 높아짐에 따라 PIFA 패치에서의 방사가 커지므로 전 방향성이 약화됨을 확인할 수 있다. 고차 대역의 측정된 안테나 효율을 토대로, 그림 2에서 나타난 반사 손실의 성능 향상이 실제 안테나의 방사 성능의 향상으로 이어짐을 확인할 수 있었다. 결과적으로 본 논문에서 제안하는 설계가 실제 방사 성능 면에서도 고차 대역의 광대역 확보가 가능한 구조임을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 PIFA의 급전 루프 안에 커패시터를 삽입함으로써 병렬 공진 부근의 좋지 못한 방사 성능을 개선시킬 수 있는 구조가 제안되었다. 병렬 공진시 증가된 전류가 커패시터를 통해서 PIFA의 패치로 유입되었고, 이 증가된 공급 전류의 영향으로 방사 성능이 향상되었다. 커패시터 삽입의 유무에 따른 반사 손실을 비교함으로써 성능 향상을 검증하였고, 시뮬레이션 데이터와 실제로 제작된 안테나의 측정 결과 비교함으로써 제안된 안테나의 제작 가능성을 확인하였다.

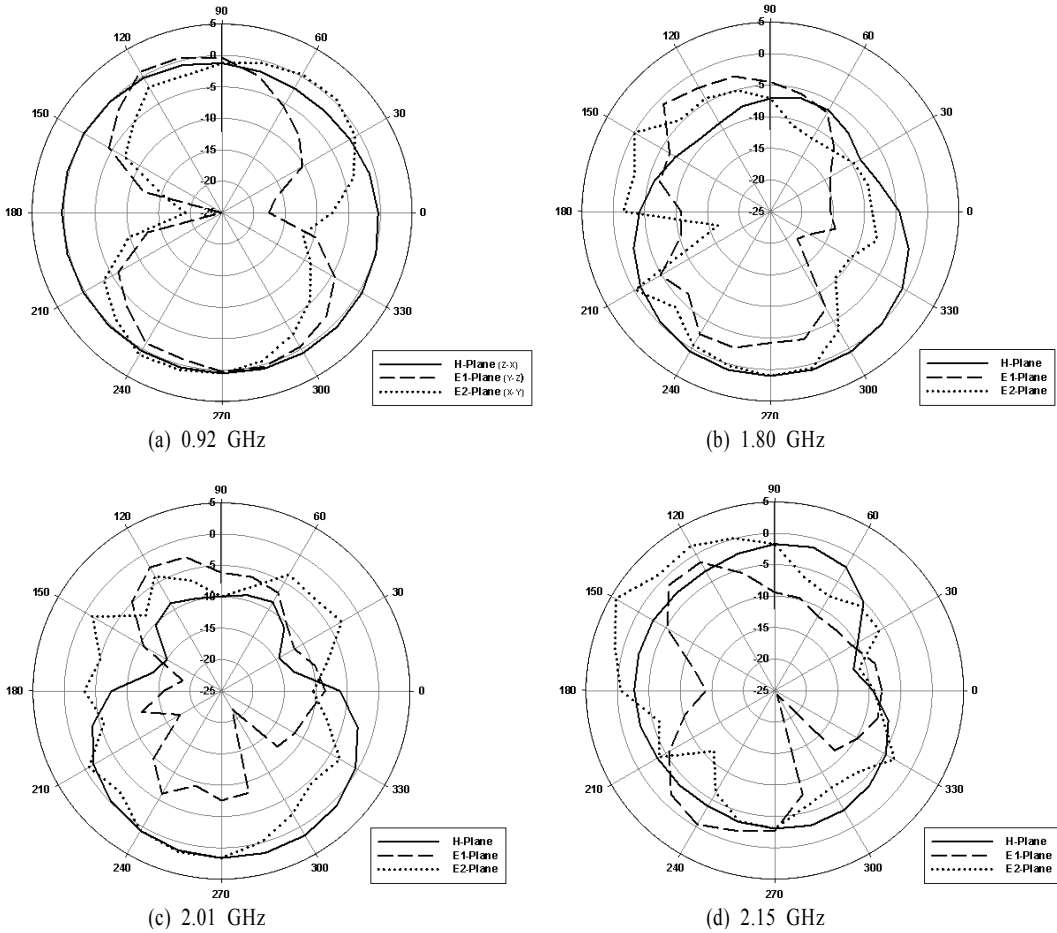


그림 6. 측정된 방사 패턴
Fig. 6. Measured radiation patterns.

참고 문헌

- [1] J. Chen, C. Ho, C. Wu, S. Chen, and P. Hsu, "Dual-band planar monopole antenna for multiband mobile systems", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 7, pp. 769-772, 2008.
- [2] 임요한, 장기훈, 윤영중, 김용진, 김영일, 윤익재, "Multi element를 이용한 PIFA 구조의 Antenna에 관한 연구", *한국전자과학회논문지*, 18(7), pp. 784-795, 2007년 7월.
- [3] D. Manteuffel, A. Bahr, D. Heberling, and I. Wolff, "Design considerations for integrated mobile phone antennas", in *Proc. 11th Int. Conf. Antennas and Propagation*, Manchester, U.K., pp. 252-256, Apr. 2001.
- [4] 김상준, 이대현, 박천석, "이동 통신 광대역 PIFA 안테나 설계 및 해석", *한국전자과학회논문지*, 14(8), pp. 855-862, 2003년 8월.
- [5] H. Choi, S. Jeon, S. Kim, and H. Kim, "Controlling resonance frequencies in antennas to achieve wide-band operation", *Electron. Lett.*, vol. 45, no. 14, pp. 716-717, Jul. 2009.
- [6] P. Linberg, E. Ojefors, "A bandwidth enhancement technique for mobile handset antennas using wave-traps", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 54, no. 8, pp. 2226-2233, Aug. 2006.
- [7] B. S. Yarman, *Design of Ultra Wideband Antenna Matching Networks*, Springer, 2008.
- [8] 김형동, 전신형, 최형철, "분기 커패시터를 이용한 역-F 안테나", 특허 제10-2009-0077306호, 2009

년.

[9] I. J. Bahl, *Lumped Elements for RF and Microwave Circuits*, Artech House, 2003.

[10] A. M. Niknejad, *Electromagnetics for High-Speed Analog and Digital Communication Circuits*, Cambridge University Press, 2007.

김 승 우



2009년 2월: 한양대학교 전자통신 컴퓨터공학부 (공학사)
2009년 3월~현재: 한양대학교 전자 컴퓨터통신공학과 석사과정
[주 관심분야] 안테나 설계

김 형 동



1984년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1986년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
1992년 5월: University of Texas at Austin 전기공학과 (공학박사)
1989년 5월~1992년 5월: University of Texas at Austin (Research Assistant)
1992년 6월~1993년 1월: University of Texas at Austin (Postdoctoral Fellow)
1993년 3월~현재: 한양대학교 융합전자공학부 교수
[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, 마이크로파 회로, 전자파 해석

박 상 규



1990년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1992년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
1998년 12월: Purdue University 전기 및 컴퓨터공학과 (공학박사)
1998년 12월~2000년 9월: AT&T Labs-Research (Sr. Technical Staff Member)
2000년 9월~현재: 한양대학교 융합전자공학부 부교수
[주 관심분야] CMOS 집적 회로 설계, 광통신 시스템