

# 강한 결합성을 갖는 테이퍼 라인을 이용한 공진기 급전선의 특성 및 응용

## Characteristics and Applications of the Tapered Feedline with Strong Coupling

한 상 민 · 최 준 호 · 김 영 식

Sang-Min Han · Junho Choi · Young-Sik Kim

### 요 약

본 논문에서는 평판형 마이크로스트립 공진기를 위한 선형 및 지수형 테이퍼 라인을 이용한 급전선 구조를 제안하였다. 제안된 테이퍼 급전선(Tapered Feedline: TFL)은 결합 효율 증가에 의해 공진기 설계시 발생하는 결합 손실과 임피던스 부정합의 문제를 해결하였다. 제안된 구조의 급전각에 따른 삽입 손실 및 대역폭 변화에 대한 특성이 평가되었으며,  $\lambda_g/2$ 의 최적 급전선 길이가 제시되었다. 제안된 테이퍼 급전선 구조를 마이크로스트립 링 공진기/여파기와 패치 안테나에 적용하였으며, 공진기/여파기 구조에서는 약 7 dB의 삽입 손실 이득을 얻었으며, 패치 안테나에서는 우수한 정합 특성과 왜곡 없는 방사 패턴 등을 나타내었다.

### Abstract

New feeding structures using linearly and exponentially tapered lines to planar microstrip resonators are proposed. These can overcome the design problems from coupling losses and impedance mismatching by increasing the coupling efficiency. The variation of its feeding angle is evaluated for the insertion loss and bandwidth and the feedline length is optimized at  $\lambda_g/2$ . The ring resonators and patches fed by the tapered line have been designed and implemented. The experimental results show that the insertion loss is enhanced by about 7 dB. Both rings and antennas are better matched, without disturbing the single-mode resonance or distorting their radiation pattern

Key words : Tapered Lines, Feedlines, Microstrip Ring Resonators, Microstrip Patch Antennas

### I. 서 론

마이크로스트립 라인을 이용한 공진기 구조는 평판형 소형 여파기와 마이크로스트립 패치 안테나 등 PCB 구조에 응용할 수 있는 유용한 수동 소자이다. 이러한 공진기는 공진 특성을 결정하는 공진기 구조와 크기 이외에 급전선에 의해 그 성능이 크게 좌우된다<sup>[1],[2]</sup>.

마이크로스트립 링 공진기는 다양한 응용 범위

에도 불구하고, 기존의 틈새 결합(gap coupling) 방식의 급전에 의한 삽입 손실로 설계상 많은 어려움을 안고 있다. 틈새 결합 방식의 경우, 결합 계수를 높이기 위해 더 좁은 결합 간격(coupling gap)이 요구되나, 이는 PCB 공정상 리소그래피(lithography) 기술의 한계로 제작상 어려움과 고비용 소요가 따른다.

틈새 결합 방식의 급전선이 갖는 결합 손실을 극복하기 위해 여러 가지 구조의 급전 방식 연구가 이

고려대학교 전파공학과(Department of Radio Sciences and Engineering, Korea University)

· 논문 번호 : 20030414-058

· 수정완료일자 : 2003년 6월 19일

루어져 왔다<sup>[3]~[5]</sup>. 이러한 연구들은 이중 공진을 유도하여 순수한 단일 공진을 방해하거나<sup>[4],[5]</sup>, 충분한 삽입손실 값을 얻을 수 없는 정도의 개선 효과만을 나타냈다<sup>[3]</sup>. 또한 공진기 자체에 가해지는 일부 변형은 순수한 단일 공진 특성을 방해하여, 공진기를 기관 또는 회로의 특성을 측정하는 방법으로 사용하지 못하게 되는 단점을 안고 있다.

본 논문에서는 테이퍼 라인을 이용하여 결합 간격을 일정하게 유지하면서 강력한 결합 계수를 가질 수 있는 급전 방식을 제안하였으며, 그 설계에 따른 급전 특성을 기술하였다. 제안된 테이퍼 급전선(Tapered Feedline: TFL)은 선형 테이퍼 급전선(Linearly Tapered Feedline: LTFL)과 지수형 테이퍼 급전선(Exponential Tapered Feedline: ETFL)의 두 가지 타입에 대해 연구되었다.

본 논문은 서론에 이어 제 2장에서 TFL의 특성 및 등가 회로를 이용한 원리에 대해 기술하였으며, 급전각(Feeding Angel,  $\theta$ ) 및 테이퍼 라인 길이에 따른 특성을 조사하여 설계를 위한 최적 구조를 제시하였다. 제 3장에서는 두가지 타입의 TFL을 마이크로스트립 링 공진기와 마이크로스트립 패치 안테나에 적용하여 그 응용 적합성을 검증하였으며, 끝으로 제 4장에서 결론을 맺었다.

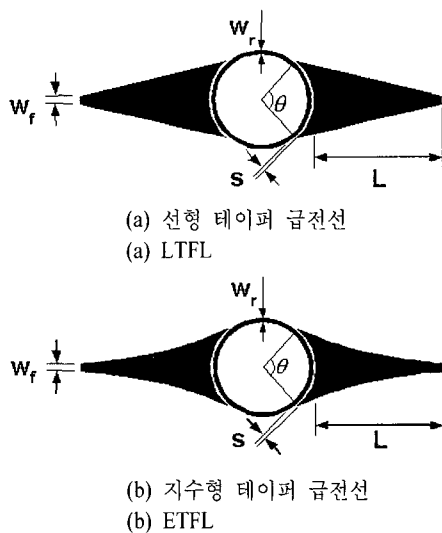


그림 1. 테이퍼 급전선을 이용한 마이크로스트립 링 공진기 구조  
Fig. 1. Layouts of the microstrip ring resonators with TFLs.

## II. TFL의 특성

본 장에서는 마이크로스트립 링 공진기에 적용된 TFL의 특성과 성능을 분석하여, 설계 최적 값을 제시하였다. 그림 1은 링 공진기의 원주를 감싸는 형태의 LTFL과 ETFL을 보이고 있다. 링 공진기는 병렬로 연결된 두 개의 틸새 결합 공진기(Half-wave-length gap coupled resonator)로 해석되어질 수 있으므로, 기존의 구조에서 신호가 링에 급전되는 점은 전기적으로 개방(open)이어야 한다. 이의 검증을 위해 EM 시뮬레이터를 이용하여<sup>[6]</sup>, 두 급전선에서 넓은 급전점을 갖는 구조에도 불구하고 공진기가 각각 독립적으로 전기적 길이를 유지함을 검증하였다. 따라서 제안된 TFL 구조는 기존의 링 공진기의 동작 특성을 기본적으로 유지함을 알 수 있다.

공진기 결합 간격은 등가적으로 상호 결합 캐패시터( $C_m$ )와 병렬 캐패시터( $C_p$ )로 구성된  $\pi$ -네트워크 형태로 나타낼 수 있으므로, 결합 간격과 급전선 그리고 링 공진기를 다음 그림 2와 같은 등가 회로로 나타낼 수 있다.

TFL 구조를 이용한 급전에서는 TFL이 링 공진기와 인접하는 넓은 면적에 의해 큰 결합 캐패시턴스를 갖는다. 제안된 구조는 이러한 결합 캐패시턴스를 증가시킴으로써 급전선과 공진기 간의 결합력을 강화하여 결합 손실을 감소시키게 된다<sup>[7],[8]</sup>. 또한 유효 결합 간격을 감소시켜, 공진기의 부하 양호도(loaded Q)를 감소시키며, 공진기의 공진 주파수를 떨어뜨리는 역할을 한다<sup>[1]</sup>.

앞의 등가 회로에서 보는 바와 같이 결합 간격을 갖는 링 공진기의 공진 주파수는 등가적인 L-C 공진 회로에서와 같이 얻을 수 있으며, 다음 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

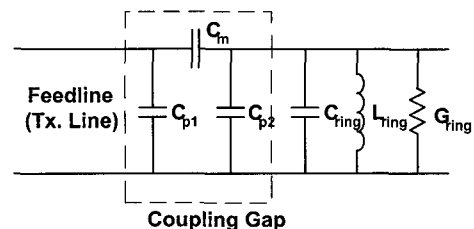


그림 2. TFL을 이용한 링 공진기의 등가 모델  
Fig. 2. Equivalent circuit of the ring resonator with TFLs.

표 1. 급전각에 따른 링 공진기의 공진 주파수(측정치)  
Table 1. Resonant frequencies as the feeding angle variation(measured results).

Feeding Angle [deg.]	Resonant Freq. [GHz]
0	2.208
15	2.197
30	2.156
45	2.126
60	2.094
75	2.092
90	2.091

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{ring}(C_{ring} + C_m + C_p)}} \quad (1)$$

여기서  $L_{ring}$ 과  $C_{ring}$ 은 공진기의 등가적 인덕턴스와 캐패시턴스이고,  $C_p = C_{p1} + C_{p2}$ 이다. 식에서 보이는 바와 같이 TFL의 급전각을 증가시키에 따라 결합 캐패시턴스가 증가하는 만큼 비례적으로 공진 주파수가 감소함을 알 수 있다. 표 1은 급전각에 따른 공진 주파수이다. 급전각을 증가시키에 따라 공진 주파수가 일정하게 감소함을 알 수 있다.

### 2-1 TFL의 급전 각도에 따른 특성

본 절에서는 급전 각도의 변화에 따른 TFL의 특성을 조사하였다. 그림 3은 LTFL을 이용한 공진기 구조에서 급전각에 따른 삽입 손실(Insertion Loss: IL)과 부분 대역폭(Fractional Bandwidth: FBW)을 나타내고 있다. 그래프에서 기존의 50 Ω 직선형의 급전선을

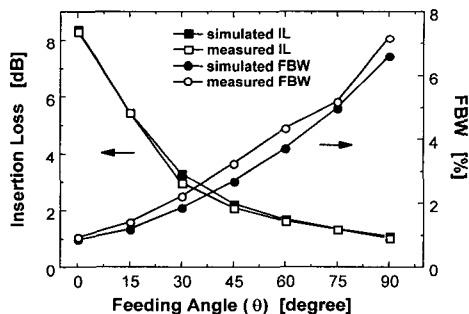


그림 3. 급전각에 따른 TFL을 갖는 링 공진기의 삽입 손실 및 부분 대역폭 특성  
Fig. 3. ILs & FBWs of the ring resonators with LTFLs due to the feeding angle.

사용하는 경우를 급전각  $\theta=0^\circ$ 로 설정하였다.

기존의 50 Ω 라인을 이용한 경우에 비해  $\theta=90^\circ$ 의 급전각을 갖는 TFL을 이용하여 약 7.5 dB의 삽입 손실을 감소시킬 수 있었으며, 약 6 % 가량의 부분 대역폭을 증가시켰다. 따라서 삽입 손실과 부분 대역폭은 급전각을 설정하는 것에 따라 조정될 수 있으며, 여파기 설계에 응용될 수 있다<sup>[9]</sup>.

### 2-2 TFL의 길이에 따른 특성

테이퍼 라인은 일반적으로 마이크로스트립 라인의 임피던스 변환을 위한 정합 회로로 사용되어진다. 이 경우 테이퍼 라인의 정합을 위한 최적의 길이가 특정한 전기적 길이에서 존재하며, TFL에서도 같은 특성이 예측되었다.

TFL의 정합 특성에 대한 조사를 위해 TFL 길이에 따른 삽입 손실과 반사 손실(Return Loss: RL)을 측정하였다. 그림 4는 LTFL의 길이에 따른 삽입 손실과 반사 손실의 관계 그래프이다. 그래프에서 보는 바와 같이 공진기의 정합 특성은 일정한 주기를 나타내었으며, 50 Ω 임피던스 라인에서의 유도 파장(guide wavelength)을 기준으로,  $\lambda_g/2$  주기를 나타내었다. 따라서 기존의 직선형 50 Ω 급전선의 경우 급전선 길이와 정합은 무관한 특성을 가지나, TFL의 경우  $\lambda_g/2$ 의 길이로 설계시 최소 길이에 최적의 정합 특성을 얻을 수 있다. 이는 ETFL에서도 동일한  $\lambda_g/2$  주기성을 나타냈으며, 지수형 테이퍼 라인을 이용한 임피던스 정합 회로에서의 주기 특성과 같음을 알 수 있다.

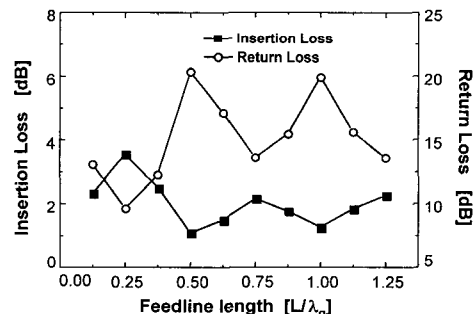


그림 4. 급전각에 따른 LTFL을 갖는 링 공진기의 삽입 손실 및 부분 대역폭 특성( $\theta=90^\circ$ )  
Fig. 4. ILs & RLs of the ring resonators with LTFLs due to feedline length( $\theta=90^\circ$ ).

### III. TFL의 응용

#### 3-1 TFL을 이용한 공진기/여파기

앞의 장에서 기술한 TFL의 특성을 이용하여 마이크로스트립 링 공진기/여파기를 설계하였다. 그림 2의 등가 회로에서 보이는 바와 같이 TFL을 사용한 링 공진기는 강한 결합력을 갖는  $C_m$ 과  $C_p$ 가  $L_{ring}$ 과 함께 대역 통과 여파기의 특성을 나타낸다.

공진기/여파기의 대역폭은 그림 3에 의해 급전각을 조정하여 얻을 수 있으며, 좁은 대역폭을 얻기 위해서는 비교적 큰 삽입 손실을 갖는다. TFL의 길이는 중심 주파수의  $\lambda_g/2$ 로 설정하여 설계하였다.

LTFL과 ETFL을 이용한 링 공진기를 2.3 GHz의 중심 주파수에서 급전각  $90^\circ$ 로 설계하였다. 또한 동일한 링 공진기를 사용하여, 급전각  $0^\circ$ 인 공진기를 제작하여 특성을 비교하였다. 설계된 공진기/여파기는  $w_r = w_f = 1.16$  mm,  $r = 7.92$  mm,  $s = 0.2$  mm이고, TFL의 길이,  $L = 24.9$  mm의 수치를 갖는다. 제작에 사용된 기판은 유전율  $\epsilon_r = 10.2$ , 두께  $t = 10.2$  mm의 Duroid 6010.2 LM을 사용하였다.

그림 5는 제작된 마이크로스트립 링 공진기의 특성 측정 결과이다. LTFL과 ETFL으로 급전된 공진기는 약 1.16 dB와 1.24 dB의 삽입 손실을 나타내었으며, 22.20 dB와 17.50 dB의 반사 손실을 나타내었다. 이는 기존 50  $\Omega$  직선형 급전선의 삽입 손실 7.91 dB와 반사 손실 5.05 dB에 비해 높은 급전 효율과 정합 특성을 나타냄을 알 수 있다. 여기서 얻어진 값은 참고문헌 [3]에서 제안된 세 가지 타입의

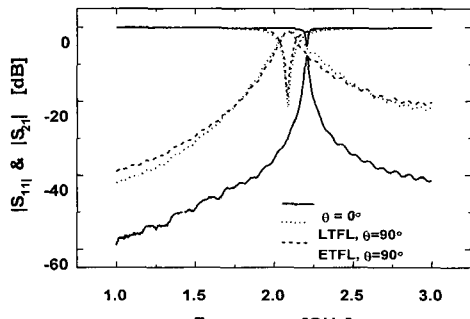


그림 5. 제작된 공진기/여파기의 삽입 손실 및 반사 손실

Fig. 5. Measured ILs and RLs of resonators/Filters due to its feedlines.

급전 구조( $s = 0.25$  mm)의 1차 공진 주파수에서의 삽입 손실 13.64 dB, 23.25 dB, 11.55 dB에 비해 약간 증가한 결합 간격을 고려하여도 현저히 낮은 값을 알 수 있다.

TFL을 이용한 부분 대역폭 특성은 기존 급전선, LTFL, ETFL을 이용한 경우에서 각각 0.95 %, 7.17 %, 5.57 %를 나타냈다. ETFL을 이용한 공진기/여파기의 경우, LTFL에 비해 비교적 높은 방사 양호도 (Radiation Q)를 가지므로 전체 Q 값도 상대적으로 높았다.

두 타입의 TFL 모두 같은 급전각으로 제작되어 동일한  $C_m$ 으로 결합되었으므로, 식 (1)에 의해 동일한 공진 주파수를 나타내었다. 또한 두 타입 모두 다중 모드의 공진은 나타나지 않았으며, 단일 모드로 공진 되었음을 알 수 있었다.

#### 3-2 TFL을 이용한 패치 안테나

마이크로스트립 패치 안테나 또한 링 공진기와 같이 평판형의 공진기 구조를 가지고 있으므로, 급전선에 의해 대역폭, 공진 양호도 등의 성능에 영향을 받는다. 본 절에서는 마이크로스트립 패치 안테나에 제안된 TFL을 적용하였다. 패치 안테나는 큰 입력 임피던스를 가지고 있으므로 매우 좁은 급전선 폭을 사용하거나, 직사각형의 패치 모양에 급전선을 위한 변형 구조를 사용해야 하는 등 문제점을 안고 있다. TFL은 넓은 급전선 선폭으로 구현이 가능하고, 패치의 변형 없이 급전이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

TFL을 이용한 패치 안테나를 설계하기 위해 공진기/여파기에서의 동일한 기판에서 2.3 GHz의 중심 주파수를 갖는 패치 안테나를 설계하였다. LTFL과 ETFL을 이용하여 0.2 mm 결합 간격으로 급전하였으며, 각 TFL의 길이는 중심 주파수에서  $\lambda_g/2$ 로 제작되었다.

그림 6은 LTFL과 ETFL을 이용한 패치 안테나의  $S_{11}$  측정 결과를 나타내고 있다. 두 타입 모두 10 dB 이하의 정합 특성을 나타내었으며, 높은 유전율의 기판으로 인해 비교적 대역폭은 좁았다.

TFL을 안테나 급전선으로 사용할 경우, 넓은 급전선 면적이 안테나 방사에 영향을 미칠 수 있고, 이는 안테나의 방사 패턴을 왜곡시키는 영향을 줄 수

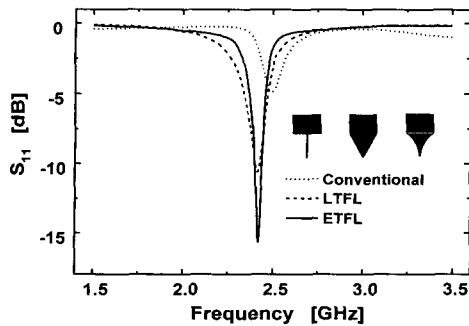


그림 6. LTFL/ETFL을 이용한 패치 안테나의  $S_{11}$   
 Fig. 6.  $S_{11}$  of patch antennas with a LTFL/ETFL normal feeder.

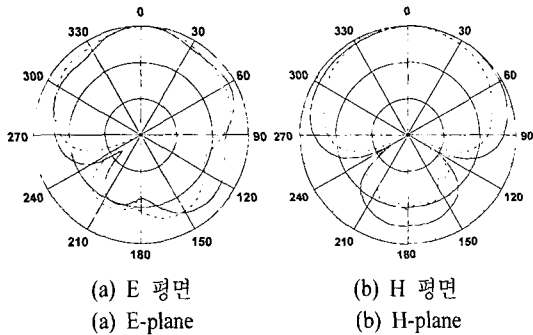


그림 7. 급전선에 따른 패치 안테나의 방사 패턴(10 dB/div.; 실선: 50 Ω 직선형 급전선; 대쉬 선: LTFL; 점선: ETFL)  
 Fig. 7. Radiation patterns of patch antennas with a normal feedline/a LTFL/an ETFL(10 dB/div.; solid line: straight feedline; dashed line: LTFL; dotted line: ETFL).

있다. 따라서 기존의 가장 간단한 구조로 50 Ω 직선형의 급전선을 동일한 패치 안테나에 연결하여, 제안된 안테나 급전 구조와 방사 패턴을 측정, 비교하였다. 그림 7은 측정된 패치 안테나의 방사 패턴을 나타내고 있다. 비교적 작은 기관 접지 면적(55×40 mm<sup>2</sup>)으로 비교적 큰 후방 방사가 관찰되었으며, E-평면과 H-평면 모두에서 기존의 일반 패치 급전 구조에서와 유사한 방사 패턴의 모양을 나타내고 있다. H-평면에서의 빔폭은 직선형 급전선, LTFL, ETFL에서 각각 170°, 110°, 157°로 LTFL을 이용한 경우에 다소 좁은 빔폭을 나타내었으며, 안테나 뒷면 측의 방사에서 약간의 차이가 보이는 하나, 전체적인 패턴의 경향은 동일한 특성을 보이고 있다. 따라서 제안된 TFL 구조는 평판형 마이크로스트립

패치 안테나에도 잘 적용됨을 보이고 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 선형 테이퍼 라인과 지수형 테이퍼 라인을 이용한 평판형 마이크로스트립 공진기 구조의 급전선을 제안하였다. 제안된 급전선의 설계를 위한 최적의 테이퍼 길이를 제시하였으며, 급전각에 따른 공진기 대역폭 변화와 중심 주파수 변화 특성을 등가 회로를 통해 설명하였다. 또한 이를 마이크로스트립 링 공진기/여파기와 마이크로스트립 패치 안테나에 적용하여 그 성능을 평가하고, 적용 가능성을 보였다.

제안된 급전 구조는 회로 내에서 차지하는 면적이 비교적 크고, 별도의 설계를 필요로 하는 번거로움이 있으나, 성능과 제작 용이성에서 우수한 특성을 가지고 있어 다양한 평판형 공진기 구조에 적용이 가능할 것으로 기대된다.

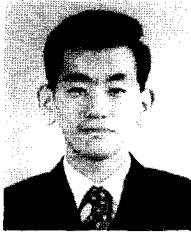
#### 참 고 문 헌

- [1] K. Chang, S. Martin, F. Wang and J. L. Klein, "On the Study of Microstrip Ring and Varactor-Tuned Ring Circuits", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 35, pp. 1288-1295, Dec. 1987.
- [2] C. A. Balanis, *Antenna Theory and Analysis and Design*, 2nd ed. New York : Wiley, 1997, Ch. 14.
- [3] G. K. Gopalakrishnan, K. Chang, "Novel excitation schemes for the microstrip ring resonator with lower insertion loss", *Electron. Lett.*, vol. 30, pp. 148-149, Jan. 1994.
- [4] I. Wolff, "Microstrip bandpass filter using degenerate modes of a microstrip ring resonator", *Electron. Lett.*, vol. 8, pp. 302-303, June 1972.
- [5] J. S. Hong, M. J. Lancaster, "Bandpass characteristics of new dual-mode microstrip square loop resonators", *Electron. Lett.*, vol. 31, pp. 891-892, May 1995.
- [6] IE3D ver. 8.0, Zeland Software Inc., Jan. 2001.
- [7] C. Yu, K. Chang, "Transmission-Line Analysis of a Capacitively Coupled Microstrip-Ring Resonator", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*,

vol. 45, pp. 2018-2024, Nov. 1997.  
 [8] R. Garg, I. J. Bahl, "Microstrip discontinuities",  
*Int. J. Electron.*, vol. 45, pp. 81-87, 1978.  
 [9] S.-M. Han, Y.-S. Kim, "A Strong Coupled Mi-

crostrip Ring Resonator using Linearly Tapered  
 Feedlines for Bandpass Filter Applications", *in*  
*Proc. IEEE RAWCON 2002*, Boston, MA, pp.  
 79-82, 2002.

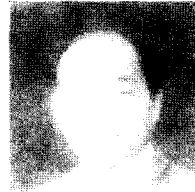
한 상 민



1996년 2월: 고려대학교 전파공학과 (공학사)  
 1998년 8월: 고려대학교 전파공학과 (공학석사)  
 2003년 8월: 고려대학교 전파공학과 (공학박사)  
 2003년 10월: Post-Doctoral Research Fellow in UCLA

[주 관심분야] 능동 집적 안테나 및 위상 변위 안테나, MMIC

김 영 식



1973년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)  
 1977년 8월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1986년 5월: University of Massachusetts at Amherst, ECE (공학석사)

1988년 5월: University of Massachusetts at Amherst, ECE (공학박사)

1978년 3월~1982년 1월: 홍익공업대학 전자과 조교수  
 1989년 2월~1993년 2월: ETRI 이동통신연구단 무선기술 연구실 실장

1993년 3월~현재: 고려대학교 전파통신공학과 교수  
 [주 관심분야] 안테나, 초고주파 소자 및 회로

최 준 호



1998년 8월: 고려대학교 전파공학과 (공학사)  
 2000년 8월: 고려대학교 전파공학과 (공학석사)  
 2000년 9월~현재: 고려대학교 통신시스템기술 박사과정  
 [주 관심분야] 전자파 이론 및 수치 해석, 광대역 안테나