

https://doi.org/10.7236/JIIBC.2021.21.2.73
JIIBC 2021-2-11

Inset 급전구조를 갖는 마이크로스트립 패치 안테나 설계의 공진주파수 정확도에 관한 연구

A Study on Resonance Frequency Accuracy of Microstrip Patch Antenna Design with Inset-Feed Structure

김재연*, 장대순**, 허정*

Jae-Yeon Kim*, Tae-Soon Chang**, Jung Hur*

요약 본 연구에서는 기존 설계 공식을 이용하여 Inset 급전 구조를 갖는 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하였을 때 발생하는 공진주파수의 오차를 최소화하고자 하였다. 안테나의 여러 가지 파라미터 중, 특히 패치 폭을 변화하였을 때 공진주파수의 오차가 일정한 비율로 변하는 것을 확인하였다. 이를 토대로 기존 설계 공식을 통한 공진주파수의 계산 값과 안테나의 패치 폭을 변경하여 얻은 실험값을 시뮬레이션을 통하여 비교분석하였다. 결과적으로 2~10 GHz 주파수 대역에서 더 정확한 공진주파수를 얻기 위한 안테나 패치 폭의 보정 식을 도출하였으며, 도출된 식을 토대로 평균 공진 주파수 오차를 2.52%만큼 감소시켰다. 또한 시뮬레이션 환경과 동일한 안테나를 제작하고 측정함으로써 그 보정 식의 효용성을 입증하였다.

Abstract To minimize the resonance frequency error when design Inset-Fed Microstrip Patch Antenna using current formulas. Especially It is found that a constant relation between Antenna patch width and frequency error. Using this relation, calculation frequency and simulation frequency are compared. Finally the comparison induced a formula of revised antenna patch width for accurate frequency in 2-10 GHz. And this formula reduced 2.54% of average frequency error. Last, the Antenna which has same variation with the simulation was produced and measured. It proved the formula's validity.

Key Words : Microstrip patch Antenna, Resonance Frequency, Accuracy, Inset-Fed

1. 서 론

광대역 마이크로스트립 패치 안테나를 정확하게 설계하는 과정에서 안테나의 설계식과 제작 안테나 간의 공진주파수 오차가 존재한다. 이 오차를 최소화하는 연구를 위해 먼저는 기존 이론과 연구를 통하여 증명된 설계 공식^{[1]-[5]}을 따라 Inset 급전구조를 갖는 마이크로스트립

패치 안테나를 설계하였다. 설계한 안테나의 공진주파수는 목표값과 차이가 있었으며, 특히 패치의 폭을 변경하였을 때 오차가 일정한 비율로 변화하는 것을 확인하였다. 계산을 통해 도출된 공진주파수의 계산 값과 시뮬레이션 실험 값의 오차를 줄이기 위하여, 패치의 폭과 공진주파수의 관계에 대한 보정식을 도출하고자 하였다.^{[6][7]}

먼저 2~10 GHz의 구간에 대하여, 기존 설계 공식에

*준회원, 건국대학교 전기전자공학부

**정회원, 서울대학교 정보통신공학과(교신저자)

*정회원, 건국대학교 전기전자공학부

접수일자 2021년 1월 14일, 수정완료 2021년 2월 24일
게재확정일자 2021년 4월 9일

Received: 14 January, 2021 / Revised: 24 February, 2021 /

Accepted: 9 April, 2021

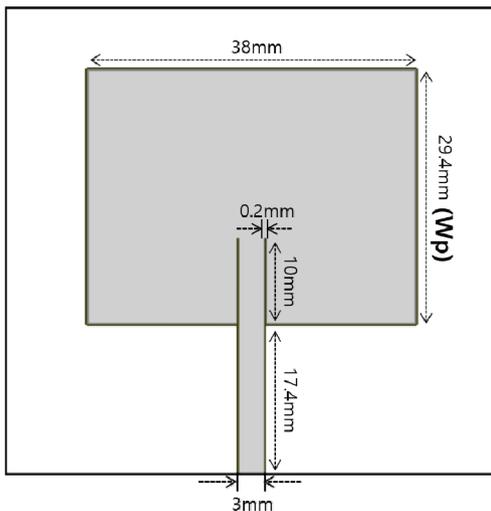
**Corresponding Author: jds6205@hanmail.net

Dept. of Information and Communication Engineering, Seoul University, Korea

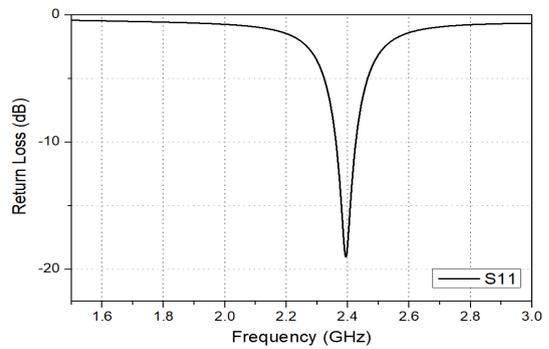
따라 Inset 급전구조를 갖는 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하고, 공진주파수를 시뮬레이션으로 확인하였다. 다음으로 각각의 주파수에 대하여, 공진주파수의 시뮬레이션 값이 설계한 공진주파수와 일치하게 하는 패치 폭의 보정 값을 구했다. 이후 각 주파수에 대하여 오차를 최소화할 수 있는 공진주파수와 패치 폭 보정 값 간의 관계를 도출했다. 마지막으로 시뮬레이션과 안테나 제작을 통하여 그 효용성을 확인하였다. 안테나의 시뮬레이션은 안테나 분석틀인 HFSS(High-Frequency Structure Simulator)를 사용하였다.

II. 마이크로스트립 패치 안테나 설계

본 연구를 위해 기존 마이크로스트립 패치 안테나의 설계공식을 따라 2.4 GHz를 공진주파수로 하는 Inset 급전구조의 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하였다. 그림 1(a)에서 안테나의 구조를 볼 수 있다. 패치의 크기는 길이 38 mm, 폭 29.4 mm이며, 급전선은 길이 17.4 mm, 폭 3 mm이고, Inset의 길이는 10 mm, 폭은 0.2 mm이다. 기판의 유전체는 FR4 epoxy로 상대유전율은 4.4이며 두께는 1.6 mm이다. 전체 기판의 크기는 54 mm × 57 mm이다. 그림 1(b)에서 안테나의 반사손실에 대한 시뮬레이션 결과를 확인할 수 있다. 그림 1(b)의 시뮬레이션 결과를 보면 중심주파수는 2.395 GHz이며, 반사손실은 -18.5 dB이다.



(a) 안테나 구조



(b) 시뮬레이션 결과

그림 1. 마이크로스트립 패치 안테나와 시뮬레이션 결과
Fig. 1. Microstrip patch antenna and simulation result

따라서 설계된 안테나의 공진주파수의 실험값은 2.395 GHz로 계산값인 2.4 GHz와 5 MHz 만큼의 오차가 있다. 원하는 공진주파수인 2.4 GHz에 정확하게 공진하도록 하기 위해, 안테나 파라미터 중 패치의 폭을 변화시킨 결과 공진주파수가 선형적으로 변하는 것을 확인할 수 있다. 그림 2에서 이에 대한 시뮬레이션 결과를 확인할 수 있다. 그림에서 살펴볼 수 있듯이 패치의 폭 (W_p)의 변화에 따라 공진주파수 실험값(Simulation)이 변하고 있음을 알 수 있다. 특히, 기존에 증명된 설계공식^{[1]-[5]}에 의한 계산값(Calculation)과 비교해보면 대략 일정한 비율의 오차를 가짐을 확인하였다. 2.4 GHz에 공진하는 패치 폭은 29.3 mm로, 실험값이 계산값의 0.997배이다.

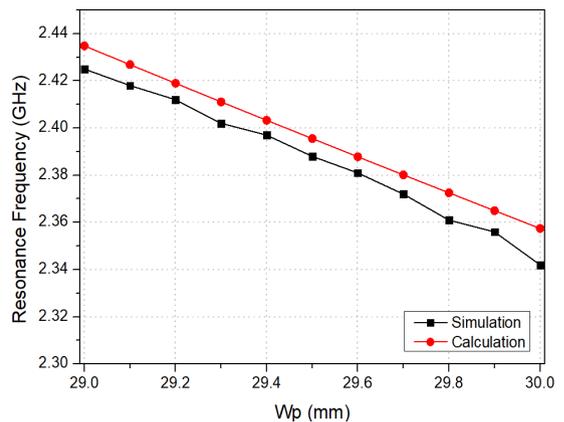


그림 2. 안테나 패치 폭의 변화에 따른 공진주파수
Fig. 2. Resonance frequency with antenna patch width changes

III. 안테나 패치 폭의 보정 식 도출

2.4 GHz 외의 주파수 대역에서 안테나를 설계하였을 때 공진주파수의 오차를 줄이기 위하여, 2~10 GHz의 구간에 대하여 설계를 추가로 진행하였다. 각각의 설계한 공진 주파수에 대해서, 패치 폭의 계산값과 시뮬레이션을 통하여 도출된 실험값 간의 비율을 계산하였다. 그 결과는 그림 3에서 확인할 수 있다. 그림 3을 보면 공진 주파수가 커질수록 실험값의(Simulation) 계산값(Calculation) 대비 비중(Ratio)이 줄어들고 있음을 볼 수 있다. 이것은 주파수가 커질수록 계산 값과 실험값 간의 오차가 커지는 것을 의미한다.

이 경향성을 이용하여, 공진주파수와 패치 폭의 실험값/계산 값 간의 관계를 최적화한 직선(Optimization)을 얻을 수 있다. 또한 이 최적화 직선을 이용하여, 2~10 GHz의 모든 대역에서 공진주파수 오차를 최소화할 수 있는 Inset 급전구조를 갖는 마이크로스트립 안테나 패치 폭의 새로운 보정 식을 도출할 수 있다.

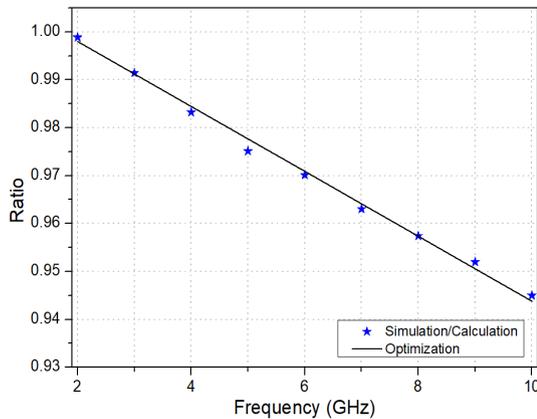


그림 3. 각 공진주파수에서 패치 폭의 실험값/계산값 비율
 Fig. 3. The patch width ratio of simulation to calculation on each resonance Frequency

도출된 보정 식은 식 (1)이다. 식 (1)은 그림 3에서 x 축을 공진주파수, y 축을 계산값 대비 실험값의 비율로 하는 직선의 방정식이며, x는 목표로 하는 2 GHz 이상의 설계 공진주파수 값이다. 이 보정 식을 이용하여 기존 설계공식에서 계산된 안테나의 패치 폭 대신 보정된 패치 폭을 적용할 수 있다. 보정된 패치 폭을 이용하면 2~10 GHz 구간에서 Inset 급전구조를 갖는 마이크로스트립 패치 안테나의 공진주파수 설계 오차를 줄일 수 있다.

$$W_{simulation} =$$

$$W_{calculation} * (0.998 - 0.006773 * \frac{x - 2GHz}{10^9}) \quad (1)$$

다음으로 2~10 GHz의 총 9개의 주파수 구간에서 도출된 식 (1)을 이용하여 보정된 패치 폭을 적용한 시뮬레이션을 진행하였다. 그림 4에서 그 결과를 확인할 수 있다. 패치 폭이 보정되지 않은 시뮬레이션(before)에서는 설계값 대비 실험값의 공진주파수 오차가 0.05%에서 주파수가 커짐에 따라 4.23%까지 점진적으로 증가하였으며, 평균 오차는 2.45%이다. 반면에 패치 폭을 보정한 시뮬레이션(after)에서는 평균오차 0.03%로 공진주파수 오차가 2.42% 감소하였음을 확인할 수 있다.

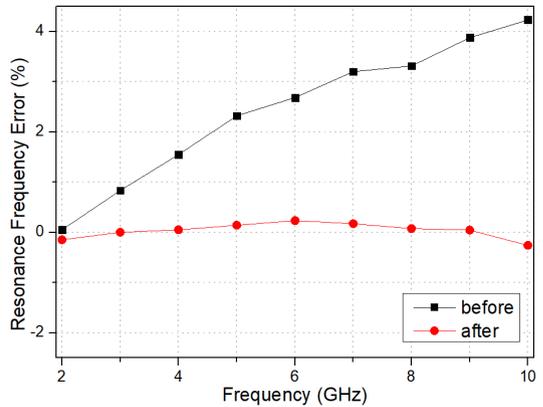
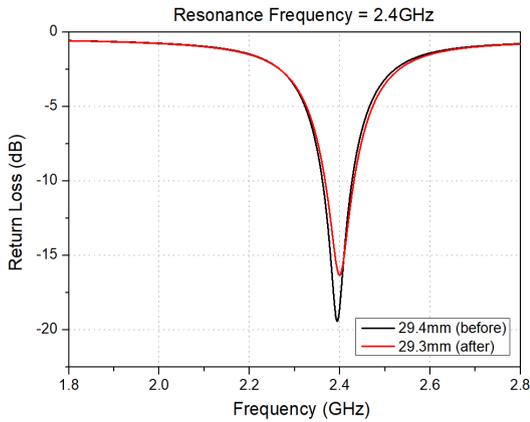


그림 4. 패치 폭 보정에 따른 공진주파수 오차율 변화
 Fig. 4. Resonance frequency error changed as patch width revised

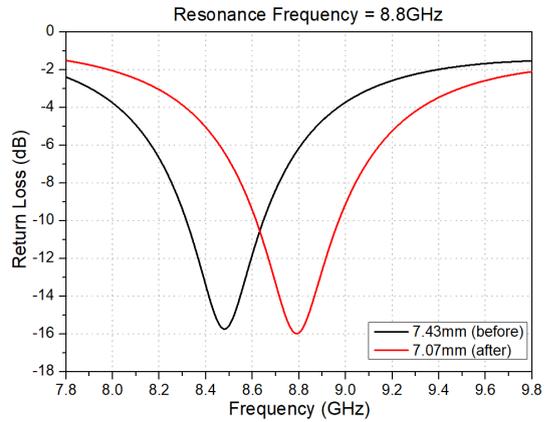
IV. 결과 및 분석

시뮬레이션 결과를 통하여, 도출된 식 (1)을 이용하여 Inset 급전구조를 갖는 마이크로스트립 패치 안테나의 패치 폭을 보정하였을 때 원하는 주파수에 더 정확하게 공진한다는 것을 확인할 수 있다.

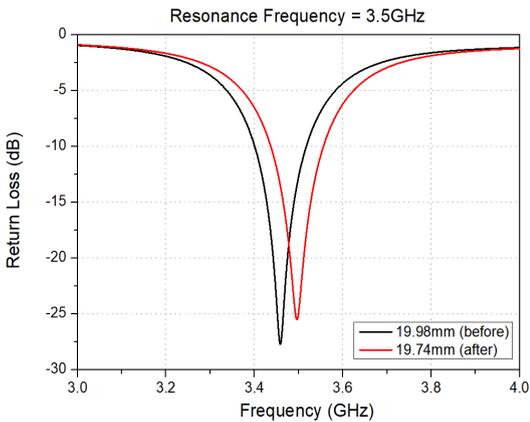
다음으로는 정수배의 주파수 이외의 영역에서도 도출된 식 (1)의 효용성을 입증하기 위하여, 4개의 공진주파수(2.4 GHz, 3.5 GHz, 5.8 GHz, 8.8 GHz)에서 식 (1)에 의하여 보정된 패치 폭을 적용하여 설계한 Inset 급전구조의 마이크로스트립 패치 안테나가 목표로 한 주파수에 정확하게 공진하는지를 확인하는 시뮬레이션을 진행하였으며 그 결과는 그림 5에서 확인할 수 있다.



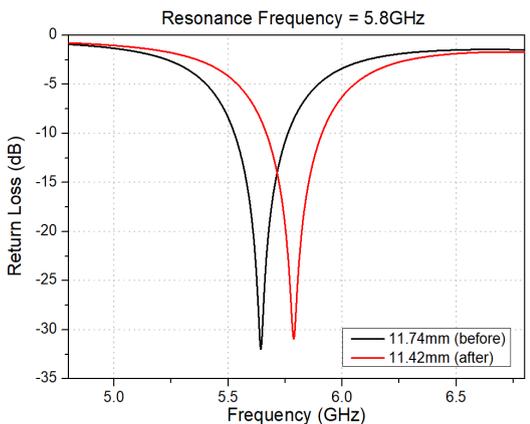
(a) 2.4 GHz



(d) 8.8 GHz



(b) 3.5 GHz



(c) 5.8 GHz

그림 5. 각 공진주파수에서의 시뮬레이션 결과
Fig. 5. Simulation result in each resonance frequency

그림 5 (a)-(d)에서 2.4 GHz, 3.5 GHz, 5.8 GHz, 8.8 GHz를 각각 공진주파수로 하여 설계한 Inset 급전 구조를 갖는 마이크로스트립 패치 안테나의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 표 1에서는 각각의 주파수에서 기존 설계공식을 이용하여 계산된 패치 폭과 식 (1)을 적용하여 보정된 패치 폭으로 변경하였으며 그 결과 이동된 공진주파수와 감소된 공진주파수 오차를 볼 수 있다.

표 1. 각 공진주파수에 대한 보정 전후의 패치 폭과 감소된 공진주파수 오차

Table 1. Patch width before and after correction for each resonance frequency and reduced resonance frequency error

| 주파수 (GHz) | 보정 전 패치 폭 (mm) | 보정 후 패치 폭 (mm) | 공진주파수 이동 (GHz) | 감소된 공진주파수 오차 (%) |
|-----------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| (a) 2.4 | 29.4 | 29.3 | 2.39 → 2.40 | 0.21 |
| (b) 3.5 | 19.99 | 19.74 | 3.46 → 3.49 | 1.06 |
| (c) 5.8 | 11.74 | 11.42 | 5.64 → 5.78 | 2.49 |
| (d) 8.8 | 7.43 | 7.07 | 8.49 → 8.79 | 3.52 |

마지막으로 제작한 안테나에도 식 (1)이 제대로 적용하는지를 확인하기 위하여 Inset 급전구조를 갖는 마이크로스트립 안테나를 제작하여 측정값을 비교하였다. 제작한 안테나의 사진은 그림 6(a)에서 볼 수 있다. 2.4 GHz 공진주파수를 기준으로 하였으며, 기존 설계공식에 따라 패치 폭 29.4 mm를 갖는 안테나와 식 (1)을 적용하여 패치 폭의 길이를 29.3 mm로 보정한 안테나를 비교하였다. 측정 장비로는 Network Analyzer인 Anritsu

MS2034B를 이용하였다.

측정결과는 그림 6(b)에서 볼 수 있다. 기존 설계 공식에 맞게 29.4 mm로 제작한 안테나의 공진주파수가 2.39 GHz이며, 식 (1)을 이용하여 보정된 패치 폭인 29.3 mm를 적용하여 제작한 안테나의 공진주파수가 2.40 GHz이다. 따라서 식 (1)이 시뮬레이션뿐만이 아닌 실제 제작한 안테나에도 제대로 적용되고 있음을 확인하였다.

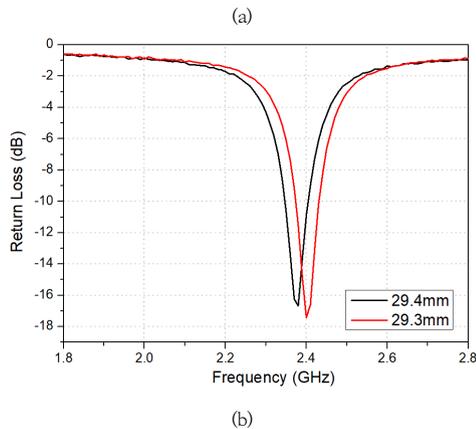
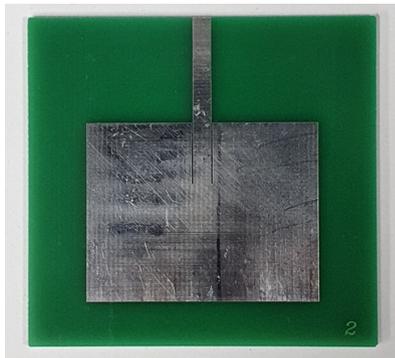


그림 6. 제작된 안테나와 측정 결과
Fig. 6. Produced antenna and the measurement result

V. 결 론

본 연구에서는 기존 설계공식에 따라 제작된 Inset 급전구조를 갖는 마이크로스트립 패치 안테나를 설계함에 있어 발생하는 공진주파수 오차를 최소화하고자 하였다.

공진주파수 오차의 최소화를 위하여 안테나의 여러 가지 파라미터를 변화시켜본 결과, 안테나 패치 폭과 공진주파수간에 선형적인 관계가 있음을 발견하였다. 그 다

음으로 2~10 GHz 구간에서 목표로 한 주파수에 실제로 공진하는 패치 폭의 길이를 시뮬레이션을 통하여 계산하였으며, 그 결과를 공식을 통해 계산된 값과 비교하였다. 비교를 통하여 2~10 GHz 주파수 대역에서 적용할 수 있는 보정된 패치 폭의 식을 도출하였다.

도출된 패치 폭의 보정 식을 이용하여, 2~10 GHz에 대하여 시뮬레이션을 진행하였다. 그 결과, 보정 식을 적용하기 전 공진주파수 평균 오차 2.45%에서 보정 식을 적용한 후의 공진주파수 평균 오차 0.03%로 평균 오차 2.42%를 감소시킬 수 있었다.

마지막으로 제작된 안테나에서의 패치 폭 보정 식의 효용성을 확인하기 위하여, Inset 급전구조를 갖는 마이크로스트립 패치 안테나를 제작하였다. 기존 설계공식에 따라 29.4 mm를 갖는 안테나와 패치 폭 보정 식에 따라 29.3 mm를 갖는 안테나를 제작하여 측정하였으며 그 결과는 시뮬레이션과 마찬가지로 보정 식을 적용한 안테나에서 더 정확한 공진주파수를 얻을 수 있었다.

이를 통하여 Inset 급전구조를 갖는 마이크로스트립 패치 안테나의 설계에 있어, 이 연구에서 도출된 패치 폭의 보정 식을 이용함으로써 더 정확한 공진주파수를 얻을 수 있음을 확인하였다.

References

- [1] Ramesh Garg, Prakash Bhartia, Inder J. Bahl and A. Ittipiboon, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Boston : Artech House, 2000.
- [2] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, Third Edition, WILEY, 2005.
- [3] D. M. Pozar, "Microstrip Antennas", in Proceedings of the IEEE, Vol. 80, No. 1, pp. 79-91, Jan. 1992. DOI: <https://doi.org/10.1109/5.119568>
- [4] M. A. Matin and A. I. Sayeed, "A Design Rule for Inset-fed Rectangular Microstrip Patch Antenna", WSEAS Transactions on Communications, Vol. 9, No. 1, Jan. 2010.
- [5] H. Peus, A and van de Capelle, "Accurate Transmission-Line Model for the Rectangular Microstrip Antenna", *Microwaves, Optics and Antennas*, IEE Proceedings H, Vol. 131, No. 6, pp. 334-340, Jan. 1985. DOI: <https://doi.org/10.1049/ip-h-1.1984.0071>
- [6] H. S. Lee, J. T. Lim, B. C. Jung and C. Y. Kim, "Harmonic Suppression Compact Microstrip Patch Antenna for IoT Sensor", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society(IKASIS)*, Vol. 18, No. 6, pp. 85-89, Jun. 2017.

DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.6.85>

- [7] S. W. Kim, J. H. Kim, S. J. Kim, S. H. Park and D. Y. Choi, "Design of a Circular Polarization Microstrip Patch Antenna for ISM Band Using a T-junction Power Divider", The Journal of KIIT, Vol. 16, No. 11, pp. 77-84, Nov, 2018.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2018.16.11.77>

저 자 소 개

김 재 연(준회원)



- 2011년 건국대학교 전자공학부 (공학사)
- 2018년~현재 건국대학교 전자정보통신공학과 (공학석사)
- 주관심분야 : 안테나 및 레이더 등

장 대 순(정회원)



- 2001년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학사)
- 2003년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2009년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2009년 2월~2011년 11월: (주) 유니스트림 근무
- 2012년 3월~현재: 서일대학교 정보통신공학과 조교수
- 주 관심분야 : 안테나 설계, UWB system, 무선전력전송 등

허 정(정회원)



- 1981년 2월 서울대학교 전자공학과 공학사
- 1983년 2월 서울대학교 전자공학과 공학석사
- 1991년 2월 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 1991년 4월~현재 건국대학교 전기전자공학부 교수
- 주관심분야 : 안테나 및 마이크로파 회로, 무선전력전송, EMI Shield Coating 등