

# 후면 주파수 선택 표면을 이용한 광대역 고이득 평면 사다리꼴 모노폴 안테나 설계

홍승모\*

## Design of Wideband High Gain Trapezoidal Monopole Antenna using Backside Frequency Selective Surface

Seungmo Hong\*

**요약** 본 논문은 급증하는 무선통신, 자율주행자동차, 5G 무선통신 및 광대역 어플리케이션 등과 같이 다양한 분야에서 필요로 하는 광대역, 고이득 안테나 필요성에 따라 후면 주파수 선택 표면(FSS, Frequency Selective Surface)을 이용한 광대역 고이득 평면 사다리꼴 모노폴 안테나를 설계하였다. 제안된 안테나는 이중 금속층을 사용하여 기존의 주파수 선택 표면과 구조적인 차이점을 갖는다. 또한 기존의 안테나 설계에서 갖는 설계의 복잡함을 해결하기 위해 GA(Genetic Algorithms)과 HFSS(High Frequency Structure Simulator) 시뮬레이션을 사용하여 효율성을 증가시켰다. 이를 통해 3.52 GHz ~ 5.92 GHz의 넓은 대역폭과 전체 대역폭에서 10.5 dBi 이상의 이득을 유지하며, 5.1 GHz에서 11.8 dBi의 최고 이득을 갖는다. 기존 안테나와 비교하였을 경우 1.8 GHz의 36% 임피던스 대역폭이 2.4 GHz의 50% 임피던스 대역폭으로 향상되었으며, 이득의 경우 8.6 dBi 증가하는 것을 확인하였다.

**Abstract** This paper designed a wideband, high gain planar trapezoidal monopole antenna using backside frequency selective surface (FSS) according to the need for wideband and high gain antenna required in various fields such as rapidly increasing wireless communication, autonomous vehicles, 5G wireless communication and wideband applications. The proposed antenna uses a dual metallic to have a structural difference from the existing FSS. By solving the complexity of the design antenna using genetic algorithms (GA) and high frequency structural simulators (HFSS) simulations, the proposed antenna is not only produce a high efficiency but also presents a wide bandwidth of 3.52 to 5.92 GHz and a gain of 10.5 dBi over the entire bandwidth, with the highest gain of 11.8 dBi at 5.1 GHz. It has been confirmed that the gain increased 8.6 dBi as the 36% impedance bandwidth of 1.8 GHz compared to the existing antenna improved to the 50% impedance bandwidth of 2.4 GHz.

**Key Words** : Frequency Selective Surface, High Gain, Impedance Bandwidth, Monopole Antenna, Wideband

### 1. 서론

최근 무선통신 서비스의 급증, 자율주행자동차, 5G 무선통신 및 광대역 어플리케이션 등 광대역, 고이득 안테나가 필수적이고 중요한 이슈로 활발하게 연구가 이루어지고 있다.[1-2] 특히 저비용, 넓은 대역폭, 낮은 프로파일의 장점을 갖는 모노폴 안테나가 다양한

형태로 제작되어 여러 곳에서 쓰여 지고 있다. 평면 모노폴 안테나의 경우 기존의 마이크로스트립 안테나보다 넓은 대역폭을 제공하지만 이득의 한계가 있으며, 모노폴 안테나의 이득을 향상시키기 위해 접지면 변형, 인공 자기 도체(AMC, Artificial Magnetic Conductor), 주파수 선택 표면(FSS, Frequency Selective Surface)를 이용한 다양한 연구가 수행되고

\*Department of Telecommunication Engineering, Soongsil University

\*Corresponding Author : Department of Telecommunication Engineering, Soongsil University (omnu@ssu.ac.kr)

Received November 22, 2021

Revised November 24, 2021

Accepted December 03, 2021

있다.[3-7] 모노폴 안테나 이득 향상을 위한 다양한 연구 방법 중 안정성과 높은 효율성으로 인해 주파수 선택 표면이 많이 이용되어지고 있다. 주파수 선택 표면은 단위 셀 요소 복제에 의해 생성되는 공진 구조로, 일반적으로 레이더 돔의 레이더 반사 면적(RCS, Radar Cross Section) 감쇄기, 통과 대역 필터 등에 많이 사용되고 있다. 하지만 주파수 선택 표면을 이용한 안테나 설계에서도 이득, 대역폭, 프로파일 중 몇 가지에만 초점을 맞춰 설계를 진행하기에 여전히 개선해야 할 부분이 많다.

본 논문에서는 후면 주파수 선택 표면을 이용한 평면 사다리꼴 모노폴 안테나를 설계하였다. GA (Genetic Algorithms)를 사용하여 설계된 단일 주파수 선택 표면은 이중 금속 층을 이용하여 설계하였다.[8] 설계된 후면 주파수 선택 표면 사다리꼴 모노폴 안테나는 이중 금속 층을 사용한다는 점에서 기본 구조와의 차별 점을 갖고 이로 인해 높은 효율성과 안전성을 갖는다. 따라서 제안된 주파수 선택 표면과 결합된 안테나는 넓은 대역폭, 높은 이득, 낮은 프로파일을 가질 수 있다. 설계된 안테나와 주파수 선택 표면은 HFSS (High Frequency Structure Simulator) 시뮬레이션을 통해 설계하였다. 동작주파수에서 임피던스 대역폭 50% 이상을 갖으며 모든 대역폭에서 10 dBi의 이득을 갖는 광대역 고이득 안테나를 설계를 진행하였다. 본문에서 광대역을 갖는 사다리꼴 모노폴 안테나 및 주파수 선택 표면을 설계하여 고이득 및 임피던스 대역폭을 확장시켰다. 결론에서는 본문에서 진행한 광대역, 고이득 안테나 설계를 바탕으로 제시한 스펙을 달성하는 최대 이득 8.6 dBi이 향상되는 3.52 GHz ~ 5.92 GHz의 50% 임피던스 대역폭을 갖는 모든 대역폭에서 10dBi 이상의 이득을 갖는 안테나를 제작하여 검증하였다.

## 2. 본론

### 2.1 사다리꼴 모노폴 안테나 설계

제안하는 평면 사다리꼴 모노폴 안테나 설계는 FR-4기판( $\epsilon_r = 4.4, \delta = 0.02, \text{두께} = 0.8\text{mm}$ )을 사용

하였다. 설계된 안테나는 그림 1(a),(b)와 같이 사다리꼴 복사 소자와 접지면, 마이크로스트립 급전 선로로 이루어져 있다. 사다리꼴 모노폴 안테나의 넓은 대역폭 특성은 안정적인 임피던스 변화를 보장하는 하단 테이퍼형 모서리부분으로 인해 갖게 된다. 또한 그림 1(a),(b)의 모든 파라미터는 최적화되어야 하며, Full Wave Finite Element 방법을 이용하여 최적화하였다.  $L_t = 8.6\text{mm}, W_t = 15.77\text{mm}, L_f = 16.7\text{mm}, W_f = 1.54\text{mm}, L_g = 16.2\text{mm}, W_g = W_s = 30\text{mm}$ . 또한 사다리꼴 모노폴 안테나 전체 폭과 길이는  $W_s = 30\text{mm}, L_s = 30\text{mm}$ 로 작은 사이즈를 갖는 것을 확인할 수 있다. 그림 1(c)은 반사 손실과 이득 값을 나타내며, 4.0 GHz ~ 5.8 GHz의 대역폭을 갖으며, 5 GHz 주파수에 대해 임피던스 대역폭은 36 %이다. 최대 이득 값은 5.1 GHz에서 3.1 dBi로 최적 설계된 안테나의 경우 넓은 대역폭을 가지고 있지만 낮은 이득을 갖는 것을 확인할 수 있다. 따라서 주파수 선택 표면과 같이 이득을 향상시킬 수 있는 별도의 구조 체를 사용해야 한다. 그림 2는 실제 제작된 사다리꼴 모노폴 안테나를 보여주고 있다.

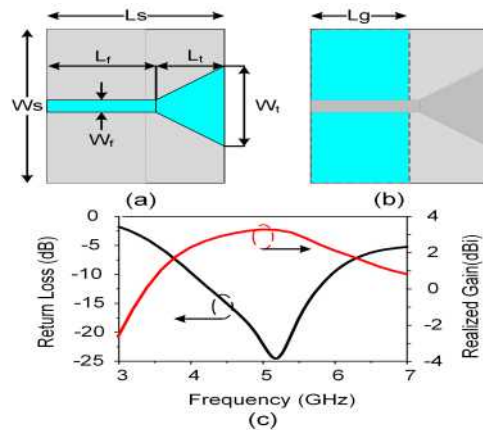


그림 1. 제안된 사다리꼴 모노폴 안테나 구조 및 시뮬레이션 결과 (a) 위, (b) 아래, (c) 반사 손실과 이득  
Fig. 1. Proposed trapezoidal monopole antenna structure and simulation results (a) Top, (b) Bottom, (c) Return loss and realized gain

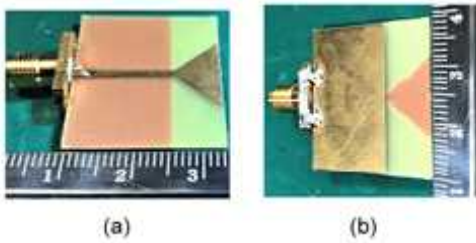


그림 2. 제작된 사다리꼴 모노폴 안테나 (a) 위, (b) 아래  
Fig. 2. Fabricated trapezoidal monopole antenna structure (a) Top, (b) Bottom

### 2.2 주파수 선택 표면 설계

주파수 선택 표면의 경우 단위 셀 모양, 크기, 셀 간의 간격으로 특성이 규정된다. 패치, 슬롯, 루프 등의 많은 모양으로 주파수 선택 표면을 설계할 수 있다. 하지만 설계하는데 많은 시간이 소요되고 협대역 또는 단일 주파수에서 동작하는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 GA와 HFSS를 사용하여 주파수 선택 표면 단위 셀을 설계하고 설계 효율성을 증가시켰다. 처음 모든 가정 매개 변수와 규칙 설계, 목표를 GA 프로그램에 적용시켰다. 부도체의 경우 0, 전도체의 경우 1이다. 또한 하나의 주파수 선택 표면 단위 셀 안에 많은 셀들을 추가하고 Floquet Port와 경계조건을 이용하여 주파수 선택 표면을 설계 및 분석한다. 설계 프로세스는 다음과 같이 구성하여 설계를 진행하였다.

1. 임의의 이진수로부터 임의의 집단을 생성한다.
2. HFSS 에서 주파수 선택 표면 단위 셀 생성 및 시뮬레이션 한다.
3.  $S_{11}$ ,  $S_{21}$ 의 값을 GA 기능에서 추출하여 최적화

값으로 조정한다. GA 프로그램의 경우 주파수 선택 표면이 원하는 값에 도달하거나 중복될 때까지 동작한다. 이를 통해 기존에 존재하는 규칙적인 구조에서 벗어나 설계 시간을 단축시킬 수 있다. 또한 주파수 선택 표면 기판은 안테나 설계에 사용되는 특성과 동일한 특성을 가지는 FR-4 Glass Epoxy를 사용하였다. 그림 3(a),(b)는 설계된 단위 셀로 파라미터 값은 다음과 같다.  $W_1 = 12.8mm$ ,  $L_1 = 12.6mm$ . 또한 설계된 단위 셀은 길이와 너비가  $W = L = 5mm$ 인 정사각형

모양으로 구성되어 있다. 그림 3(c)는 시뮬레이션 결과를 나타내며, 2.6 GHz ~ 6.7 GHz 대역에서 투과 계수가 -10 dBm 이하, 4.85 GHz에서 최댓값을 갖는다. 반사 계수 위상은  $-110^\circ \sim 110^\circ$  범위이다. 설계된 주파수 선택 표면은 넓은 대역폭, 소형화 및 고효율로 안테나 성능 향상에 적합한 설계를 진행하였다. 그림 4는 5 X 5로 제작된 주파수 선택 표면이다.

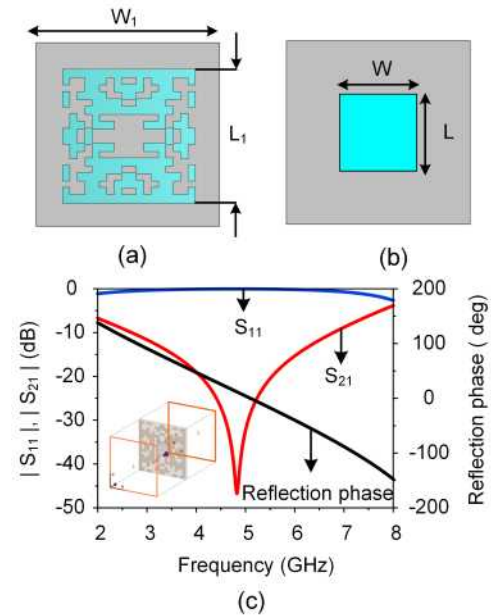


그림 3. 제안된 주파수 선택 표면 구조 및 시뮬레이션 결과 (a) FSS 아래, (b) FSS 위, (c)  $S_{11}$ ,  $S_{21}$  및 주파수 선택 표면 단위 셀 위상  
Fig. 3. Proposed FSS structure and simulation results (a) Bottom of FSS, (b) Top of FSS, (c)  $S_{11}$ ,  $S_{21}$  and phase of FSS unit cell

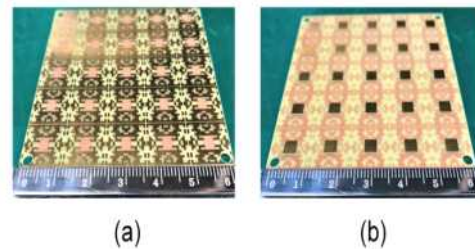


그림 4. 제작된 주파수 선택 표면 구조 (a) 위, (b) 아래  
Fig. 4. Fabricated FSS structure (a) Top, (b) Bottom

### 2.3 사다리꼴 모노폴 안테나와 주파수 선택 표면 결합 및 측정

그림 5(a),(b)는 제안한 평면 사다리꼴 모노폴 안테나와 주파수 선택 표면 결합 구조이다. 그림3(a)에서와 같이 후면 주파수 선택 표면에 의해 반사되는 전파( $\phi_R$ )와 안테나와 주파수 선택 표면 사이의 왕복 전파 위상 지연( $\phi_S$ )을 통해 식 (1)과 같이 안테나가 최대 이득을 가지는 식을 구할 수 있다.

$$\phi_T = \phi_S + \phi_R \quad (1)$$

$$\phi_R = 2 \times \frac{2\pi f}{c} D \quad (2)$$

주파수 선택 표면의 반사파는 식(2)와 같이 나타낼 수 있으며, 주파수 증가에 따라 증가되며 안테나 복사 소자와 주파수 선택 표면 사이의 높이 D에 의해 제어된다. 또한 위상 일관성에 따라  $\phi_T$  반드시 0 또는 공진주파수의 2 $\pi$  배수가 되어야 한다. 안테나 복사 소자와 주파수 선택 표면 사이 높이 D에 따른 안테나 성능을 확인하기 위해 11 mm, 13 mm, 15 mm 서로 다른 D값을 통해 비교하였으며, 그림 6 (b),(c)는 D에 따른 반사 손실과 이득 값 시뮬레이션 결과이다. 높이 D가 증가하면 안테나의 대역폭과 이득이 크게 변하는 것을 확인할 수 있다. 제안하는 안테나 복사 소자는 동일한 평면 모노폴 안테나와 유사하므로 임피던스와 방사 패턴은 주로 환경에 영향을 받게 된다. 평면 사다리꼴 모노폴 안테나 구조의 주파수 대역은 사다리꼴의 복사 소자와 주파수 선택 표면 사이의 생성된 결합 용량성 효과에 발생한다. 또한 안테나 성능은 주파수 선택 표면 셀의 개수에 따라 변화한다. 그림 6 (d), (e)는 배열 주파수 선택 표면 셀 개수(N.c, Number of unit cell)에 따른 반사 손실과 이득 시뮬레이션 결과이다. 3X3, 5X5, 7X7로 N.c 가 3, 5, 7로 배열 주파수 선택 표면 셀의 개수가 늘어날수록 임피던스 대역폭과 이득이 증가 하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 안테나 전체 크기를 고려해야 하므로 최적의 간격을 고려했을 때 25개의 주파수 선택 표면 셀을 사용하였다. 따라서 13 mm의 간격을 갖고 25개의 5X5 배열 주파수 선택 표면을 사용하였을 때, 3.5 GHz ~ 5.96

GHz의 넓은 임피던스 대역폭과 전체 대역폭에서 10.5 dBi 가 넘는 이득 값을 가짐을 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있다.

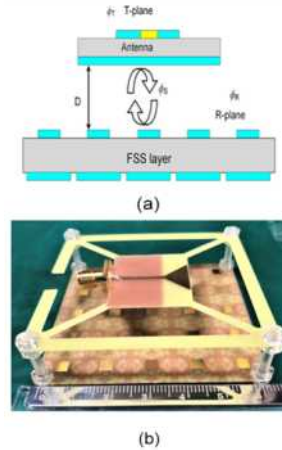


그림 5. (a) 제안된 안테나와 FSS 결합 구조, (b) 제작된 안테나와 FSS 결합 구조

Fig. 5. (a) Proposed antenna and FSS combination structure, (b) Fabricated antenna and FSS combination structure

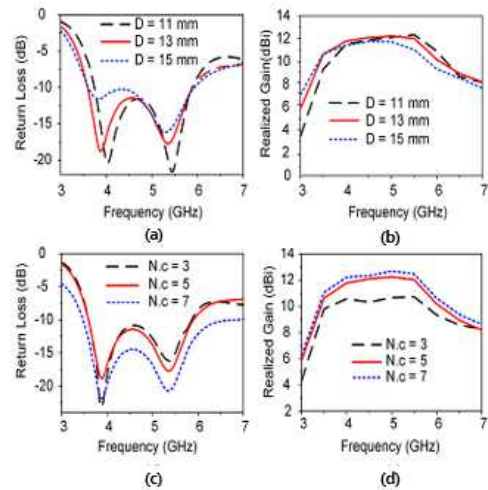


그림 6. (a) D에 따른 반사 손실, (b) D에 따른 이득, (c) FSS 유닛 셀 개수에 따른 반사 손실, (d) FSS 유닛 셀 개수에 따른 이득

Fig. 6. (a) Return loss according to the D, (b) Realized gain according to the D, (c) Return loss according to the unit cell of FSS, (d) Realized gain according to the unit cell of FSS

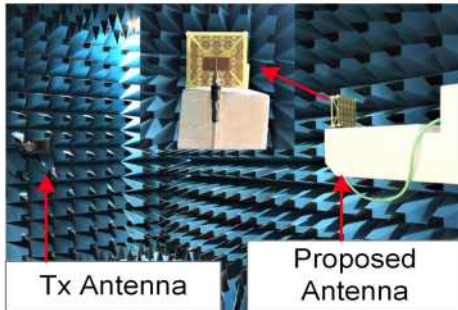


그림 7. 측정 환경  
Fig. 7. Measurements environment

그림 7은 무반사실에서 본 논문에서 제안하는 안테나 측정을 위한 측정 환경이다. 그림 8은 주파수 선택 표면을 후면에 사용하였을 때와 사용하지 않았을 때의 반사 손실과 이득의 시뮬레이션 결과와 측정결과를 나타낸다. 주파수 선택 표면을 평면 사다리꼴 모노폴 안테나 후면에 적용하였을 경우 이득과 대역폭이 향상되며, 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 매우 유사한 것을 확인할 수 있다. 주파수 선택 표면을 후면에 사용하였을 경우와 사용하지 않았을 경우를 자세하게 비교하면, 동작 주파수 5 GHz에서 4 GHz ~ 5.8 GHz의 1.8 GHz의 대역폭을 갖는 임피던스 대역폭 36 %에서 3.52 GHz ~ 5.92 GHz의 2.4 GHz 대역폭을 갖는 임피던스 대역폭 50 %로 증가한다. 또한 최대 이득의 경우 5.1 GHz에서 11.8 dBi로 8.6 dBi 증가한 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 9는 4 GHz, 5 GHz, 5.8

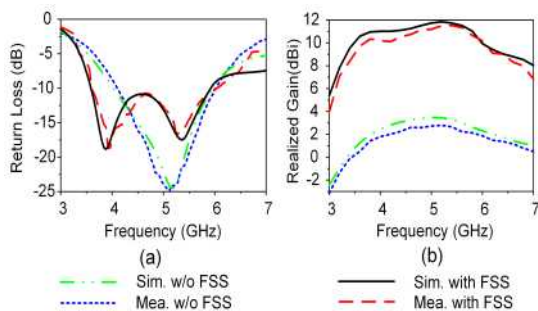


그림 8. 주파수 선택 표면을 후면에 사용하였을 때와 사용하지 않았을 때의 시뮬레이션 결과와 측정 결과 (a) 반사 손실, (b) 이득  
Fig. 8. Simulation and measurement results with and without FSS on the backside (a) Return loss, (b) Realized gain

GHz에서 안테나 방사 패턴을 나타낸다. 주파수 선택 표면과 결합되지 않았을 경우 E-평면에서 양방향이고 H-평면에서 전방향인 것을 확인할 수 있다. 주파수 선택 표면과 결합된 안테나의 경우 방향성 방사 패턴과 최소화된 후방 로브가 10 dBi 이상 차이나는 것을 확인할 수 있다.

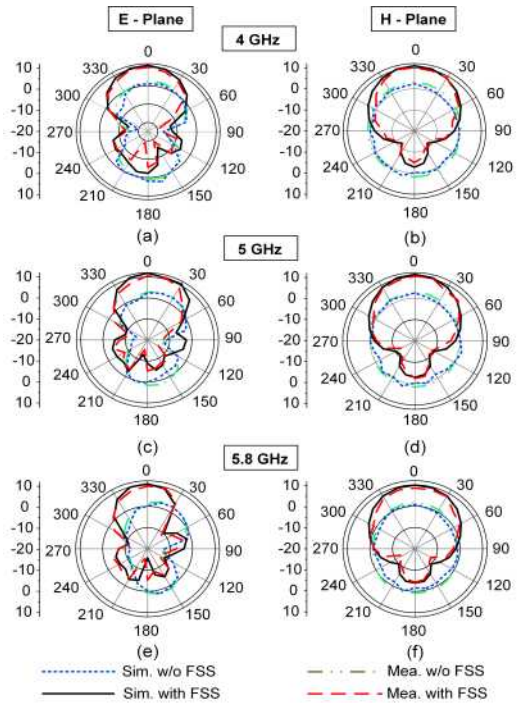


그림 9. 주파수 선택 표면을 후면에 사용하였을 때와 사용하지 않았을 때의 방사 패턴 시뮬레이션 결과와 측정 결과 (a) 4 GHz에서 E-평면, (b) 4 GHz에서 H-평면, (c) 5 GHz에서 E-평면, (d) 5 GHz에서 H-평면, (e) 5.8 GHz에서 E-평면, (f) 5.8 GHz에서 H-평면  
Fig. 9. Simulation and measurement radiation pattern results of antenna with and without FSS on the backside (a) E-plane at 4 GHz, (b) H-plane at 4 GHz, (c) E-plane at 5 GHz, (d) H-plane at 5 GHz, (e) E-plane at 5.8 GHz, (f) H-plane at 5.8 GHz

### 3. 결론

본 논문에서는 후면 주파수 선택 표면을 이용한 광대역, 고이득 평면 사다리꼴 모노폴 안테나를 설계하였다. 이중 금속 층을 이용한 주파수 선택 표면을 설계하여 기존 주파수 선택 표면과 구조적으로 다른 특성을 갖고 GA 프로그램을 이용하여 설계 시간 단축 및 효율성을 증가시켰으며, 이를 통해 이득, 광대역 및 낮은 프로파일을 갖는 안테나를 설계 및 제작하였다.

제한된 안테나의 최대 이득은 11.8 dBi로 3.52 GHz ~ 5.92 GHz의 넓은 대역폭 특성을 시뮬레이션과 제작 및 측정을 통해 확인하였다. 또한 주파수 선택 표면을 후면에 사용하였을 때와 사용하지 않았을 때를 비교하여 임피던스 대역폭이 36 %에서 50 %로, 최대 이득이 8.6 dBi 만큼 향상되는 특성을 확인하였다. 안테나의 전체 크기는

64mm × 64mm × 13.5mm 로 제한된 안테나는 넓은 대역폭과 높은 이득을 바탕으로 무선통신 급증에 따른 다양한 어플리케이션에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

### REFERENCES

[1] J. R. Panda and R. S. Kshetrimayum, "A PRINTED 2.4 GHz/5.8 GHz Dual Band Monopole Antenna with A Protruding Stub in The Ground Plane for WLAN and RFID Applications", Progress In Electromagnetic Research, vol. 117, pp. 425-434, Jun. 2011.

[2] Yongh-yun Yoon, "Dual band Planar Monopole Antenna for Autonomous Vehicle", Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, vol. 12, no. 4, pp. 343-348, Oct. 2019.

[3] Kwan-Young Park, Seung-In Yang, "High Gain Metamaterial Patch Antenna for 2.4 Band using New Metamaterial Single-Layer", Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, vol. 50, no. 6, pp. 56-61, Jun. 2013.

[4] Gye-jae Lim, "A study on the Ground Effect

in a Ultra Wideband Planar Monopole Antenna", Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, vol. 6, no. 3, pp. 162-167, Sep. 2013.

[5] N. Liu, X. Sheng, C. Zhang, and D.Guo, "Design of frequency selective surface structure with high angular stability for radome application", Antenna and Wireless Propagation Letters, IEEE, Vol. 17, No. 1, pp. 138-141, Jan. 2018

[6] Sung-Sil Cho, Ic-Pyo Hong, "Design of Reconfigurable Frequency Selective Surface Structure Based on Lego Blocks", The Journal of Korean Institute of Information Technology, vol. 19, no. 5, pp. 63-69, May. 2021.

[7] Oh Heon Kwon, Keum Cheol Hwang, "Low-Profile HF/VHF/UHF Dipole Antenna with Ferrite-Loaded Artificial Magnetic Conductor", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, vol. 32, no. 5, pp. 411-417, May. 2021.

[8] E.E. Altshuler, D.S. Linden, "Wire -antenna designs using genetic algorithms", IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 39, no. 2, pp. 33-43, Apr. 1997.

### 저자약력

홍 승 모 (Seungmo Hong)

[정회원]



- 1999년 숭실대학교 정보통신공학과 공학사
- 2001년 숭실대학교 정보통신공학과 공학석사
- 2008년 숭실대학교 정보통신공학과 공학박사
- 2018~ 현재 숭실대학교 전자정보공학부 IT융합학과 교수

〈관심분야〉 마이크로파, 안테나, 신호처리