THE JOURNAL OF KOREAN INSTITUTE OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE. 2018 Oct.; 29(10), 739～744.

http://dx.doi.org/10.5515/KJKIEES.2018.29.10.739
ISSN 1226-3133 (Print) · ISSN 2288-226X (Online)

DSRR을 이용한 비발디 안테나 소자 간 격리도 향상

Isolation Improvement in Vivaldi Antennas Using DSRR

윤주호 · 박대성* · 장동혁* · 황금철

Juho Yun · Daesung Park* · Donghyeok Jang* · Keum Cheol Hwang

요 약

본 논문에서는 비발디 안테나 소자 간 격리도 향상을 위해, 메타구조 기반 흡수체의 한 종류인 double split ring resonator(DSRR)를 제안하였다. Unitcell 모의실험을 통하여 흡수체로 동작하는 DSRR을 설계하였으며, DSRR을 통한 격리도 향상을 확인하기 위하여 1×2 비발디 안테나에 적용하였다. 제안된 DSRR의 unitcell 크기는 5 mm×5 mm×1.52 mm이며, 총 6개의 unitcell이 사용되었다. 제안된 DSRR의 성능 검증을 위하여 DSRR 적용 유무에 따른 1×2 비발디 안테나를 제작 및 측정하였으며, 측정 결과 DSRR이 적용된 비발디 안테나는 DSRR이 적용되지 않은 비발디 안테나에 비해 20 dB의 격리도 향상을 보였다.

Abstract

In this paper, a double split-ring resonator(DSRR) is proposed to improve the isolation between Vivaldi antenna elements. The DSRR was designed using a unit cell simulation and applied to a 1×2 Vivaldi antenna array to confirm the improvement in the isolation. The unit cell size of the proposed DSRR is 5 mm×5 mm×1.52 mm and six unit cells are used. To verify the performance of the proposed DSRR, 1×2 Vivaldi antenna arrays with and without the DSRR were fabricated and measured. The results show an isolation improvement of 20 dB in the Vivaldi antennas with the DSRR when compared to the Vivaldi antennas without the DSRR.

Key words: Absorber, Double Split Ring Resonator(DSRR), Isolation Improvement, Metamaterial, Vivaldi Antenna

Ⅰ. 서 론

다수의 안테나를 사용하는 배열 안테나 기술은 높은 이득과 빔형성 기법을 적용할 수 있어 레이다, 통신 등의 분야에 사용되고 있다[1]. 다수의 안테나를 사용하는 경우, 안테나 사이의 상호결합 현상이 일어나게 되며, 이러한 상호결합은 안테나 성능의 저하를 야기시킨다. 상호결합의 주된 원인으로는 안테나의 유전체를 통해 인접 안테나로 넘어가는 표면파가 있다. 이러한 표면파를 줄이기 위한 기본적인 방법으로는 안테나 사이의 물리적 거리를 증가시킴으로써 인접 안테나에 영향을 미치는 표면파의 크기를 줄여주는 방법이 있다. 하지만 안테나 사이의 거리가 멀어지게 될 경우, 배열 안테나 기술에 있어 grating lobe가 발생된다. 표면파를 차단하는 또 다른 방법으로는 안테나 사이에 금속 벽을 만드는 방법[2]과 electromagnetic band gap(EBG)[3] 구조를 사용하는 방법 등이 있다.

「이 논문은 2018년도 한화시스템(주)의 재원을 지원 받아 수행된 연구임.」

성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과(Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University)
*한화시스템(Hanwha Systems)

· Manuscript received July 25, 2018 ; Revised September 19, 2018 ; Accepted October 2, 2018. (ID No. 20180725-077)

· Corresponding Author: Keum Cheol Hwang (e-mail: khwang@skku.edu)

ⓒ Copyright The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science. All Rights Reserved.

하지만 안테나 사이의 금속 벽을 만들기 위해서는 추가적인 구조물이 필요하며, EBG 구조를 사용하기 위해서는 두 안테나 사이에 충분한 공간이 확보되어야 한다.

최근 메타구조 기반의 흡수체를 사용하여 안테나 소자 간 상호결합을 줄이는 연구가 활발히 진행되고 있으며[4],[5], 이 방법은 크기적 제한과 복잡성에서 벗어나 효율적으로 안테나 소자 간 격리도를 향상시킬 수 있다. 따라서 본 논문에서는 안테나 사이의 격리도를 향상시키기 위해 메타 구조 기반 흡수체의 한 종류인 double split ring resonator (DSRR)를 사용하였다. 모의실험을 위한 tool은 ANSYS사의 HFSS를 이용하였다.

Ⅱ. DSRR Unitcell 설계

그림 1은 제안된 DSRR의 unitcell 구조이다. 3의 유전율과 0.76 mm의 두께를 갖는 Taconic사의 RF-30기판을 사용하였으며, 2장을 적층하여 사용하였다. DSRR은 적층된 기판의 위층과 아래층에 적용되었으며, split ring resonator(SRR)가 2개 겹쳐진 구조로 이루어져 있다. 제안된 DSRR의 파라미터는 s_1=5 mm, s_2=2.57 mm, s_3=1.77 mm, s_g=0.2 mm, s_w=0.2 mm이다. Unitcell 모의실험의 경계조건으로 x-z면은 포트로 설정하였으며, x-y, y-z면은 각각 perfect electric conductor(PEC), perfect magnetic conductor (PMC)로 설정하였다. 그림 2는 unitcell 모의실험을 통해 얻어진 산란계수이며, 그림 3은 산란계수 값을 이용하여 계산한 DSRR의 유효 유전율과 투자율의 그래프이다. 유효 유전율과 투자율의 계산은 참고문헌 [6]을 참고하여 수행하였다. 9.38~9.75 GHz에서 계산된 유효 유전율의 실수 값은 양수이며, 유효 투자율의 실수 값은 음수이다.

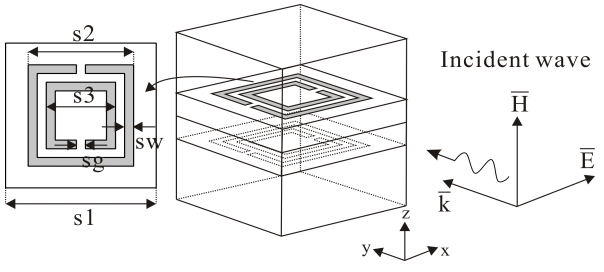


그림 1. DSRR unitcell 구조
Fig. 1. Unitcell structure of DSRR.

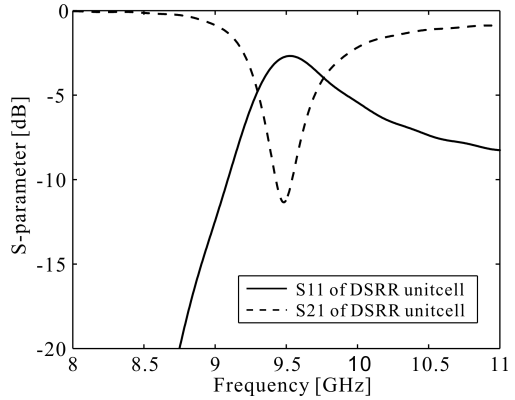


그림 2. DSRR unitcell의 산란계수 그래프
Fig. 2. *S*-parameter results of DSRR unitcell.

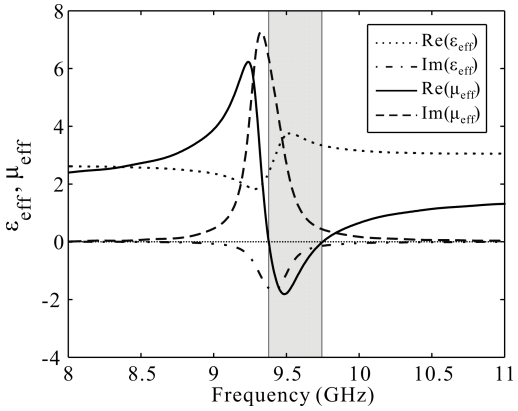
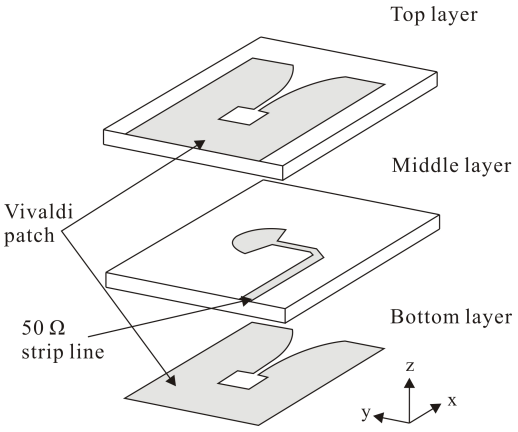


그림 3. DSRR unitcell의 유효 유전율과 투자율
Fig. 3. Effective permittivity and permeability of DSRR unitcell.

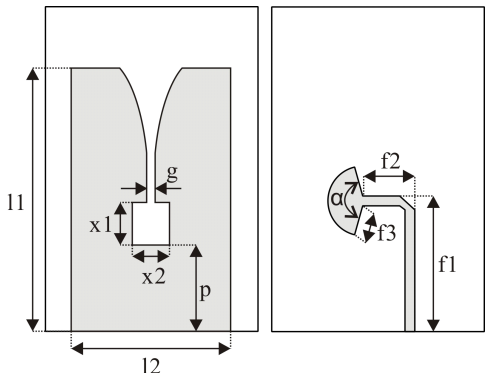
따라서 이 주파수 범위에서 DSRR은 흡수체로 동작하며, DSRR 내부에서 y-축 방향으로 진행하는 전자파는 감쇠하게 된다[7]. 이로 인하여 안테나 사이에 DSRR 구조를 적용할 경우 안테나 소자 간 격리도를 향상시킬 수 있다.

Ⅲ. DSRR이 적용된 안테나 설계

그림 4(a)는 제안된 DSRR을 적용하기 위한 비발디 안테나 각 층의 구조이다. 3의 유전율과 0.76 mm의 두께를 갖는 Taconic사의 RF-30 기판을 사용하였으며, 총 3개의 층으로 이루어져 있다. 위층과 아래층에는 비발디 형상이 도입되었으며, 중간층에는 급전을 위한 50 Ω의 strip line



(a) 투시도
(a) Perspective view



(b) 비발디 안테나의 파라미터
(b) Parameters of Vivaldi antenna

그림 4. 비발디 안테나 구조
Fig. 4. Vivaldi antenna structure.

이 존재한다. Strip line을 통해 급전이 이루어지면 strip line-to-slot line transition을 통하여 위층과 아래층의 방사체에 전계가 형성되어 방사가 이루어진다. 위층과 아래층의 동일한 형상은 대칭적인 전계분포를 생성하여 교차편파를 낮추기 위해 도입되었다. 그림 4(b)는 비발디 안테나의 파라미터를 보여준다. l_1=24.73 mm, l_2=15 mm, x_1=2.56 mm, x_2=2.38 mm, g=0.24 mm, f_1=12.74 mm, f_2=4.9 mm, f_3=2.82 mm, a=76.6 deg가 비발디 안테나의 파라미터로 이용되었다. 비발디 안테나의 tapered 선로를 결정하는 수식은 다음의 식을 이용하였다.

$$y = A_0 e^{bx} (A_0 = g/2) \quad (1)$$

Tapered 선로는 사각형 모양 슬롯의 +x-방향 끝에서부터 시작되며, 식 (3)의 계수인 A_0와 exponential의 지수부분에 위치하는 b라는 파라미터에 의하여 결정된다. A_0=0.12, b=0.33이 tapered 선로를 구현하기 위해 사용되었다. 그림 5는 1×2 비발디 안테나 사이에 DSRR을 적용한 구조이며, 2개의 비발디 안테나와 6개의 DSRR unitcell로 이루어져 있다. 비발디 안테나와 DSRR의 설계 파라미터는 그림 1과 그림 4에서 사용한 파라미터와 동일하며, 두 안테나 소자 간 간격은 5 mm이다. 안테나 사이의 커플링을 야기하는 전자파는 그림 1에서 DSRR을 설계할 때 고려한 입사파와 동일한 전자기장의 방향을 갖는다. 그림 6은 DSRR 유무에 따른 산란계수를 보여준다. DSRR로 인한 표면파 감소 특성을 확인하기 위하여 DSRR이 존재하는 모델과 존재하지 않는 모델에 대하여 비교하였으며, 두 모델 모두 비발디 안테나의 설계 파라미터는 동일하다. S_{11} 특성은 DSRR 유무에 상관없이 9.5 GHz 대역에서 −10 dB 이하를 만족하는 것을 확인할 수 있다. S_{21} 특성을 보면 DSRR이 존재하지 않는 경우 9.5 GHz 대역에서 약 −20 dB의 S_{21} 값을 갖지만, DSRR이 존재하는 경우 DSRR이 존재하지 않을 때보다 20 dB 정도 감소된 약 −40 dB의 S_{21} 값을 갖는다. 이것은 해당 주파수 대역에서 DSRR이 흡수체로 동작하여 서로 다른 안테나로 넘어가는 표면파를 줄여주었기 때문이며, 이러한 주파수 범위는 9.3~9.65 GHz로 Ⅱ절에서 설계한 DSRR의 동작 주파수와 거의 일치한다. 따라서 설계된 DSRR로 인한 안테나 소자 간 격리도 향상을 확인하였다.

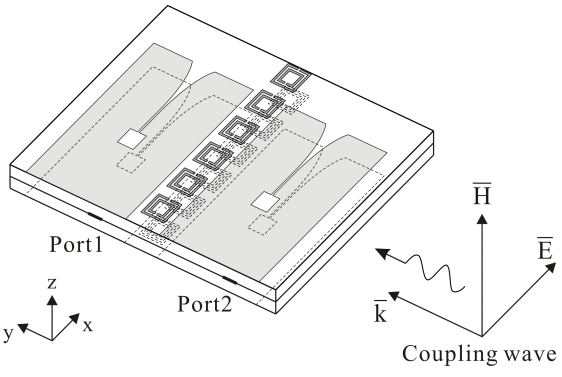


그림 5. DSRR을 적용한 1×2 비발디 안테나 구조
Fig. 5. 1×2 Vivaldi antenna structure with DSRR.

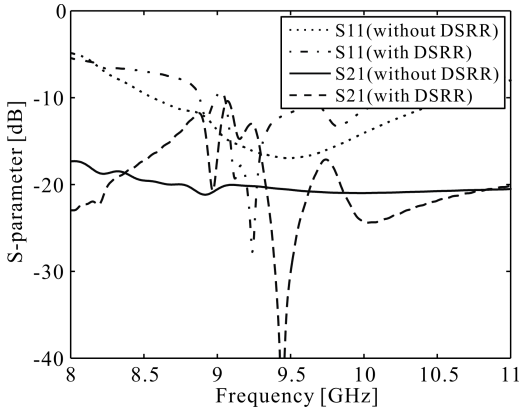
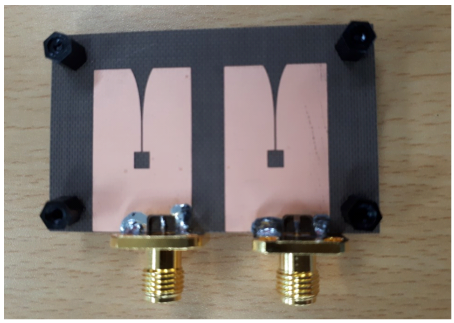


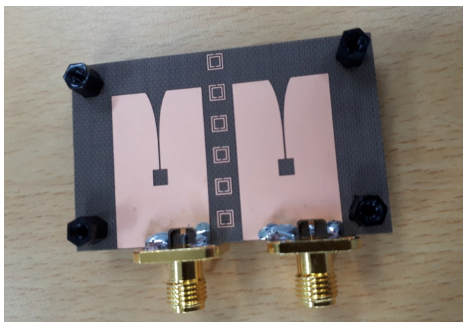
그림 6. DSRR 유무에 따른 산란계수 모의실험 결과
Fig. 6. Simulation results of *S*-parameters with/without DSRR.

Ⅳ. 제작 및 측정 결과

그림 7은 제작한 1×2 비발디 안테나의 형상이다. DSRR

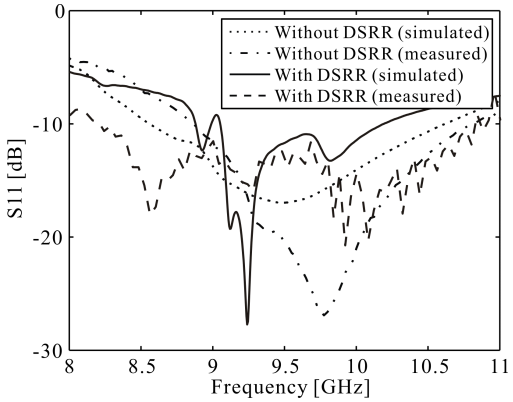


(a) DSRR이 없는 모델
(a) Without DSRR

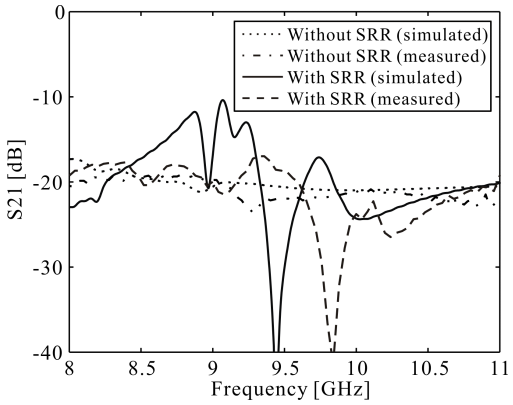


(b) DSRR이 있는 모델
(b) With DSRR

그림 7. 제작한 1×2 비발디 안테나
Fig. 7. Fabricated 1×2 Vivaldi antenna.



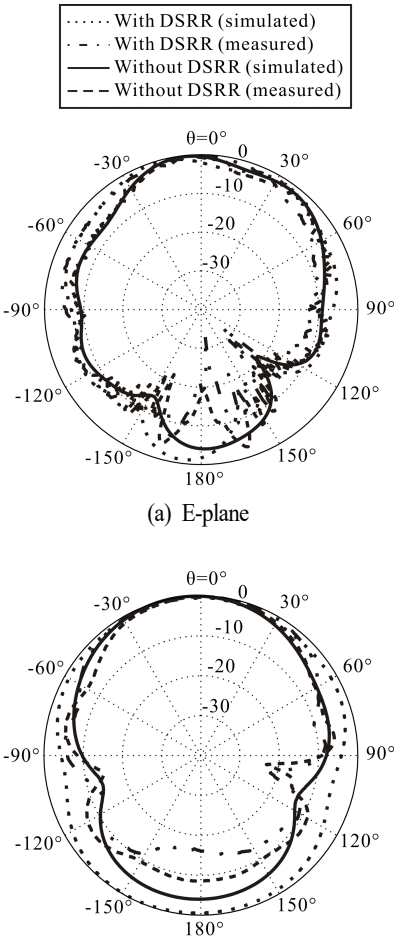
(a) 반사계수(S_{11})
(a) Reflection coefficient(S_{11})



(b) 투과계수(S_{21})
(b) Transmission coefficient(S_{21})

그림 8. 모의실험 및 측정된 산란계수
Fig. 8. Simulated and measured results of *S*-parameters.

이 있는 모델과 DSRR이 없는 모델 모두 제작하였으며, 기판 가장자리에 있는 4개의 post를 통하여 두 개의 기판을 적층하였다. 그림 8은 모의실험 및 측정된 산란계수 결과이다. Agilent 8510C 네트워크 분석기를 사용하여 측정하였으며, 측정된 S_{11} 값은 두 모델 모두 9.5 GHz 대역에서 −10 dB 이하의 값을 갖는다. S_{21} 결과에서 보면 측정된 DSRR의 공진점이 모의실험 결과 대비 고주파에서 공진을 갖는데, 이것은 제작상의 오차로 보인다. 그림 9는 모의실험 및 측정된 방사패턴의 그래프이다. 제작된 안테나의 방사패턴 측정은 포트 1에서 신호를 인가하고, 포트 2는 50 Ω의 부하로 종단시켜 이루어졌다. 방사패턴의 측정은 9.8 GHz에서 이루어졌다. DSRR의 유무와 관



(a) E-plane

(b) H-plane

그림 9. 모의실험 및 측정된 정규화 방사패턴
Fig. 9. Simulated and measured normalized radiation patterns.

계없이 방사패턴은 +x-축 방향으로 지향성을 갖는 패턴을 보이고 있으며, 인접된 안테나의 영향으로 E-plane 방사패턴이 +y-축 방향으로 기울어진 것을 확인할 수 있다. DSRR 유무에 따른 측정된 최대 이득은 각각 4.8 dBi, 5.4 dBi이다.

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 메타구조 기반 흡수체의 한 종류인 DSRR을 이용하여 비발디 안테나 소자 간 격리도를 향상시켰다. DSRR의 표면파 차단 특성을 확인하기 위하여 unitcell 모의실험을 통해 유효 유전율과 투자율을 계산하였으며, 1×2 비발디 안테나 사이에 DSRR을 적용하였다. DSRR 유무에 상관없이 1×2 비발디 안테나의 S_{11}은 9.5 GHz 대역에서 −10 dB 이하의 값을 보였으며, S_{21}은 DSRR이 존재할 경우 존재하지 않는 경우보다 20 dB 정도 감소되었다. 이를 통하여 DSRR을 통한 격리도 향상을 확인하였으며, 방사패턴은 두 경우 모두 +x-축 방향으로 지향성을 갖는 패턴을 보였다. 따라서 DSRR 구조는 안테나 소자 간 격리도 향상이 필요한 어플리케이션에 적용이 가능할 것으로 보인다.

References

[1] R. J. Mailloux, *Phased Array Antenna Handbook*, Boston, Artech House, 2005, pp. 1-79.

[2] B. A. Arand, A. Bazrkar, and A. Zahedi, "Design of a phased array in triangular grid with an efficient matching network and reduced mutual coupling for wide-angle scanning," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 65, no. 6, pp. 2983-2991, 2017.

[3] Q. R. Zheng, Y. Q. Fu, and N. C. Yuan, "A novel compact spiral Electromagnetic Band-Gap(EBG) structure," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 56, no. 6, pp. 1656-1660, Jun. 2008.

[4] M. M. Bait-Suwailam, O. F. Siddiqui, and O. M. Ramahi, "Mutual coupling reduction between microstrip patch antennas using slotted complementary split-ring resonators," *IEEE Antennas Wireless Propagation Letters*, vol. 9, pp. 876-878, 2010.

[5] C. C. Hsu, K. H. Lin, and H. L. Su, "Implementation of broadband isolator using metamaterial-inspired resonators and a T-shaped branch for MIMO antennas," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 59, no. 10, pp. 3936-3939, Oct. 2011.

[6] Z. Szabo, G. H. Park, R. Hedge, and E. P. Li, "A unique extraction of metamaterial parameters based on Kramers-Kronig relationship," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 58, no. 10, pp. 2646-2653, Oct. 2010.

[7] C. Caloz, T. Itoh, *Electromagnetic Metamaterials: Transmission Line Theory and Microwave Applications: The Engineering Approach*, Hoboken, John Wiley & Sons, 2005.

윤 주 호 [성균관대학교/석박사통합과정]

2016년 2월: 성균관대학교 전자전기공학부 (공학사)
2016년 3월～현재: 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석박사통합과정
[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, 능동위상 배열 시스템

박 대 성 [한화시스템(주)/수석연구원]

1997년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학사)
1999년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학석사)
1999년 3월～2000년 9월: 대우통신(주) 연구원
2000년 10월～2003년 1월: (주)머큐리 연구원
2003년 1월～2015년 6월: 삼성탈레스(주) 수석연구원
2015년 7월～현재: 한화시스템(주) 수석연구원
2015년 9월～현재: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 박사과정
[주 관심분야] 초고주파 및 안테나 설계, 능동위상배열 안테나, 레이다 시스템

장 동 혁 [한화시스템(주)/연구원]

2014년 2월: 중앙대학교 전자전기공학부 (공학사)
2016년 2월: 중앙대학교 전자전기공학과 전파 및 광파 (공학석사)
2016년 7월～현재: 한화시스템(주) 연구원
[주 관심분야] 초고주파 및 안테나 설계, 능동위상배열 안테나, 레이다 시스템

황 금 철 [성균관대학교/부교수]

2001년 2월: 부산대학교 전자공학과 (공학사)
2003년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자전공 (공학석사)
2006년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자전공 (공학박사)
2006년 1월～2008년 7월: 삼성탈레스 기술연구소 책임연구원
2015년 3월～현재: 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 부교수
[주 관심분야] 전자파 복사 및 산란 해석, 안테나, 최적화 알고리즘 등