

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2023.23.5.97>
IIBC 2023-5-15

두 개의 수신안테나를 이용한 저가 레이더용 안테나 제작

Fabrication of Low Cost Radar Antennas using Two Receiving Antennas

기현철*

Hyeon-Cheol Ki*

요약 본 논문에서는 두 개의 수신안테나를 이용한 저가 레이더를 구현하기 위한 송수신 안테나를 제작하고 그 특성을 분석하였다. 안테나는 수평방향으로의 빔 집중과 저가격을 위해 MPA(Microstrip Patch Array) 구조로 설계하였으며 사이드로브(sidelobe)를 억제하기 위해 테일러 배열 패턴 합성을 이용하였다. 측정 결과 사용대역인 24GHz ISM 밴드(24.0-24.25GHz) 내에서 안테나 이득이 15.2-16.26 dBi를 나타내어 설계 스펙인 15dBi이상 17dBi이하의 조건을 만족하였다. 사이드로브는 동작 주파수가 24.0 GHz, 24.125 GHz, 24.25 GHz일 때 각각 -13.15 dBc, -13.1 dBc, 및 -12.8 dBc로서 -10.0 dBc이하의 스펙을 만족하였다.

Abstract In this paper, we fabricated transmitting and receiving antennas to realize the low cost radar using two receiving antennas and investigated their characteristics. The antennas are designed with MPA(Microstrip Patch Array) structure for the beam concentration in horizon direction and low cost and used Taylor array pattern synthesis to suppress sidelobes. As a results of measurement in the 24GHz ISM band(24.0-24.25GHz), our using band, antenna gains are placed between 15.2 dBi and 16.26 dBi which are satisfied with the design specification of higher than 15dBi and lower than 17dBi. The sidelobes are -13.15 dBc, -13.1 dBc and -12.8 dBc at the operating frequencies of 24.0 GHz, 24.125 GHz and 24.25 GHz repectively, which are satisfied with the specification of lower than -10 dBc.

Key Words : radar, motion sensor, MPAA antenna, patch array antenna

1. 서론

사물인터넷(IoT) 시대의 도래에 따라 거리, 방향, 속도 등을 감지하기 위한 센서로서 레이더가 큰 관심을 받고 있다. 특히 최근에 방위산업 등의 일부 영역에 치중되었던 레이더(radar) 시장이 자율주행을 비롯한 IoT관련 컨슈머 시장으로 급격히 확산되고 있다. 컨슈머 레이더 시장은 자율주행이나 자율비행 등과 같이 고도의 지능을

갖춘 고가의 레이더 시장과 스마트시티나 홈오토메이션 등에서 활용되는 모션센싱과 같이 일상생활에 활용되는 저기능 및 저가의 레이더 시장으로 양분되는 경향이 있다. 그러나 어느 정도의 기능을 갖추면서도 비교적 저렴한 레이더에 대한 수요도 있으며 이를 위한 연구도 시도되고 있다. 정밀하지는 않더라도 위치, 속도, 거리 등을 감지할 수 있고 비교적 저렴한 가격의 레이더를 구현하기 위해서는 다양한 접근방법이 있을 수 있다. 고성능의

*정회원, 가천대학교 전자공학과
접수일자 2023년 8월 29일, 수정완료 2023년 9월 29일
게재확정일자 2023년 10월 6일

Received: 29 August, 2023 / Revised: 29 September, 2023 /
Accepted: 6 October, 2023

*Corresponding Author: hcki@gachon.ac.kr
Dept. of Electronic Engineering, Gachon University, Korea

레이더는 일반적으로 신호처리 알고리즘이 복잡하고 이에 따라 고가의 프로세서가 사용되어 단가 상승의 큰 요인이 되고 있다. 따라서 저가 프로세서로 구현이 가능하도록 신호처리 알고리즘을 단순화함으로써 단가를 낮출 수 있다. 또한, 안테나는 PCB기판에서 구현될 수 있는 패치안테나(patch antenna)로 채택하는 것이 제작 단가를 낮추는데 유리할 것이다^[1-4].

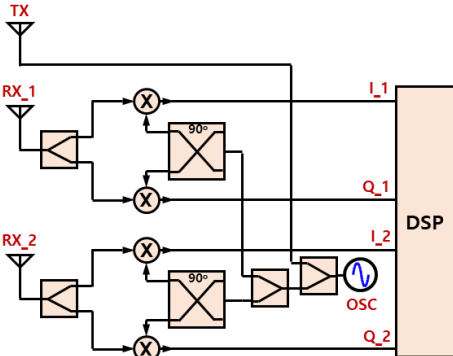


그림 1. 두 개의 수신안테나를 이용한 저가 레이더의 구조
Fig. 1. Structure of the low cost radar using two receiving antennas

그림1은 두 개의 수신안테나를 이용하여 신호처리 알고리즘을 단순화함으로써 단가를 낮춘 레이더 구조를 보여준다. 일정 간격으로 배치된 2개의 수신안테나의 신호를 이용하여 단순화된 레이더 신호처리 알고리즘을 구현함으로써 저가의 프로세서로 구현이 가능하도록 고안되었다.

본 논문은 그림1의 두 개의 수신안테나를 이용한 저가 레이더의 송수신 안테나부를 구현하는 것이다. 안테나 타입은 낮은 제품단가를 위해 패치안테나로 설정하였다. 레이더의 기능과 스펙을 고려하여 패치안테나 구조를 MPA안테나 (Microstrip Patch Array Antenna :MPAA)로 설정하여 설계하였으며 제작 및 측정을 통해 그 성능을 평가하였다.

II. MPA안테나의 설계

두 개의 수신안테나를 이용한 저가 레이더에서 요구되는 안테나의 스펙 중 주요한 부분들을 설명하면 다음과 같다. 사용주파수는 24 GHz ISM 밴드(24.0-24.25GHz)이고 기판은 Rogers사의 Ro4350 20 mil을 사용하기로 하였다. 안테나의 이득은 15 dBi 이상이며 동시에 17 dBi 이하인 범위 내에 있어야 한다.

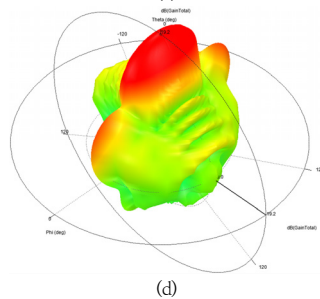
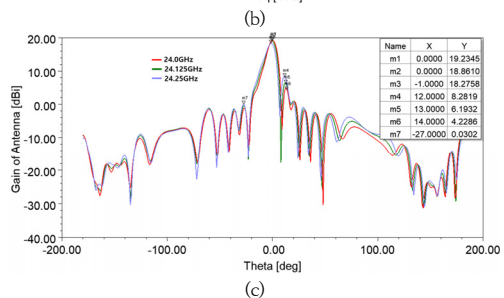
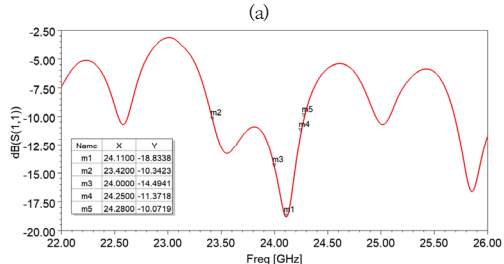
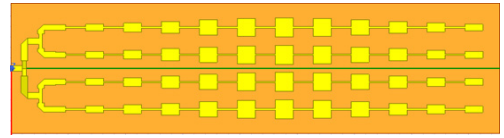


그림 2. 설계된 MPA안테나

(a) MPA안테나 구조 (b) MPA안테나 반사손실(S11) (c) MPA안테나 이득 특성 (d) MPA안테나의 3차원 방사패턴

Fig. 2. Designed MPAA

(a) Structure of the MPAA (b) Return loss(S11) of the MPAA (c) Gain characteristics of the MPAA (d) 3D radiation pattern of the MPAA

특히, 송신 시 17 dBi를 넘지 않도록 하는 것이 중요하다. 사이드로브(sidelobe)는 1차에서 -10 dBc이하 이어야 한다. 그림 2(a)는 설계된 안테나의 구조를 보여준다. 레이더 용도를 고려할 때 레이더 빔이 수평 방향으로 집중되는 것이 유리하므로 안테나 유형은 MPAA (Microstrip Patch Array Antenna)로 설정하였다. 원하는 이득을 얻기 위해 11개 방사체로 구성된 안테나 컬럼 4개를 결합기(combiner)로 결합하여 설계하였다. 또한, 사이드로브를 억제하기 위해 테일러 배열 패턴 합성(Taylor array pattern synthesis)을 이용하였다. 그림 2(b)는 설계된

안테나의 반사손실(S_{11}) 구조를 보여준다. 안테나의 -10 dB 대역폭은 860 MHz이다. ISM 밴드 내 반사손실은 -11.37 dB이하를 유지하고 최저치는 -18.8 dB이다.

그림 2(c)는 설계된 안테나의 이득 특성을 보여준다. ISM 밴드 내에서 동작 주파수에 따른 이득 특성 변화를 확인하기 위해 밴드 내에서 3지점의 주파수를 선정하여 시뮬레이션하였다. 밴드 양 끝인 빨간선은 24.0 GHz일 때의 특성을 나타내고 초록색은 24.125 GHz, 보라색은 24.25 GHz일 때의 특성을 나타낸다. 24.0 GHz, 24.125 GHz, 24.25 GHz에서 안테나 이득은 각각 19.2 dBi, 18.9 dBi 및 18.32 dBi이다. 스펙에 의하면 안테나 이득이 17 dBi를 초과해서는 안되지만 미리 고려하지 못하는 여러 누설 요인들을 보상하기 위해 이득에 여유를 두어 설계하였다. 사이드로브는 24.0 GHz, 24.125 GHz, 24.25 GHz에서 각각 -15.0 dBc, -12.7 dBc 및 -10.0 dBc를 나타내어 밴드 내에서 주파수가 증가할수록 사이드로브 특성이 저하됨을 알 수 있었다. 그림 2(d)는 안테나의 3차원 방사패턴을 보여준다. 어레이 구조로 인해 빔이 세타(theta) 방향으로 압축되므로 파이(phi)가 0°인 세타면을 수평으로 사용함으로 레이더 빔을 수평방향으로 압축하여 방사할 수 있다^[5-6].

III. MPA안테나의 제작 및 측정

그림 3은 MPA안테나의 PCB 배치도와 제작된 안테나를 보여주고 있다. 그림 3(a)의 PCB 배치도에서 볼 수 있듯이 안테나로 신호가 전달되기 위해서는 도파관-마이크로스트립선 변환(transition)을 거쳐야 한다. 또한 안테나로의 신호인가는 동축선을 통해 인가되므로 동축선-도파관 변환도 거쳐야 한다. 따라서 안테나의 신호 인가 시 두 번의 변환손실과 코넥에서의 손실이 합해진 입력손실(feed loss)이 발생한다. 제작된 MPA안테나의 입력손실을 측정하는 데 실제 사용된 방법을 그림 4에서 설명해 주고 있다. 그림 4(a)는 MPA안테나의 PCB 배치도로서 안테나에 신호가 인가되기까지는 변환손실과 코넥터손실 및 35 mm의 마이크로스트립선 손실(0.0275 dB/mm)이 발생함을 보여준다. 이를 측정하기 위해 그림 4(b)와 같이 안테나 입력손실 부분을 잘라서 좌우로 대칭으로 붙여주고 그림 4(c)와 같이 양단에 코넥터를 달고 삽입 손실을 측정한다. 이 경우 측정된 삽입 손실은 입력 손실의 2배가 된다. 따라서 안테나 입력손실은 측정된 삽입손실의 2분지 1이 된다.

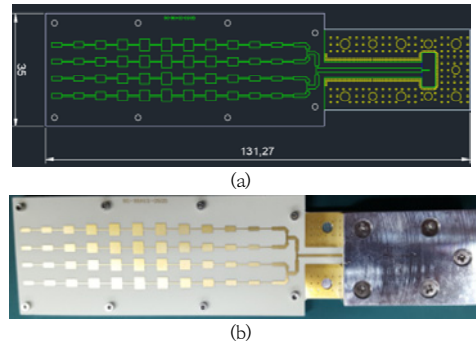


그림 3. 제작된 MPA안테나

(a) MPA안테나의 PCB 배치도 (b) 제작된 MPA안테나

Fig. 3. Fabricated MPAA

(a) PCB layout of the MPAA (b) Fabricated MPAA

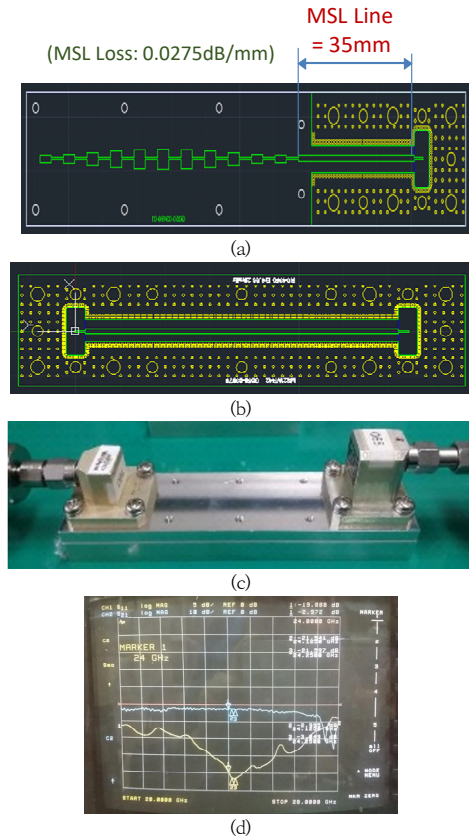


그림 4. MPA안테나의 입력손실 측정

(a) MPA안테나의 PCB 배치도 (b) 입력손실 측정을 위한 PCB 배치도 (c) 코넥터가 연결된 입력손실 측정을 위한 PCB (d) 삽입손실 측정 결과

Fig. 4. Measurement of feed loss in the MPAA

(a) PCB layout of the MPAA (b) PCB layout to measure the feed loss (c) PCB layout with connectors to measure the feed loss (d) measurement results of insertion loss

그림 4(d)는 삽입손실 측정 결과를 보여준다. 24GHz ISM 밴드 내에서 삽입손실은 3dB로서 거의 일정한 특성을 보인다. 따라서 안테나 입력손실은 1.5dB가 됨을 알 수 있다. 또한, 마이크로스트립선 손실이 0.0275 dB/mm로 발생하므로 35mm 길이의 마이크로스트립선 손실은 식(1)로부터 0.9625 dB가 됨을 알 수 있다.

$$0.0275 \text{ [dB/mm]} \times 35 \text{ [mm]} = 0.9625 \text{ [dB]} \quad (1)$$

따라서 변환 손실(transition loss)과 코넥터 손실의 합은 안테나 입력손실에서 마이크로스트립선 손실을 빼 주면 되므로 식(2)로부터 0.5375 dB가 됨을 알 수 있다.

$$1.5 \text{ [dB]} - 0.9625 \text{ [dB]} = 0.5375 \text{ [dB]} \quad (2)$$

따라서 측정된 안테나 실제 이득은 측정된 안테나 이득에 입력 손실(feed loss) 1.5 dB를 더해준 값이 된다.

IV. MPA안테나의 측정 결과

그림5는 MPA안테나의 반사계수 특성을 보여준다. 반사손실(S₁₁) 특성을 보여준다. 점선으로 표시된 특성은 시뮬레이션 결과이고 실선은 실제 측정 결과이다. 측정된 -10 dB 안테나 대역폭은 840 MHz로서 시뮬레이션 결과인 860 MHz에 근접한다. 한편 ISM 밴드 내 반사손실은 -15.0 dB이하를 보여 시뮬레이션 결과 -11.37 dB 이하보다 약간 더 좋은 특성을 보인다. 또한 ISM 밴드 내 최저치는 -18.0 dB로서 시뮬레이션 결과인 -18.8dB와 유사함을 알 수 있다.

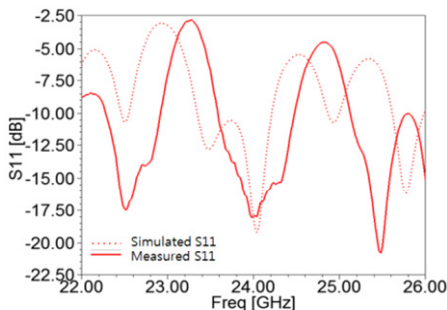


그림 5. MPA안테나의 반사손실(S₁₁) 특성
Fig. 5. Characteristics of return loss of MPA

그림6은 제작된 MPA안테나의 이득 특성 측정 결과를 보여준다. 우선 측정된 안테나 이득은 입력 손실(feed loss)을 포함한 값이므로 실제 안테나 이득을 구하려면 입력손실 1.5 dB를 더해줘 보정해 주어야 한다. 이후 측정 이득은 입력손실을 보정해

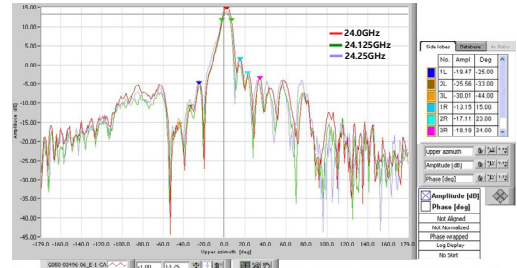


그림 6. 측정된 MPA안테나의 이득 특성
Fig. 6. Measured characteristics of MPA gain

준 값으로 언급한다. 이득 특성 측정도 시뮬레이션 때와 같이 ISM 밴드 내에서 동작 주파수에 따른 변동을 확인하기 위해 밴드 양 끝인 24.0 GHz 및 24.25 GHz와 중앙인 24.125 GHz에서 확인하였다. 그림6에서 빨간선은 24 GHz일때의 특성을 나타내고 초록색은 24.125 GHz, 보라색은 24.25 GHz일때의 특성을 나타낸다. 24.0 GHz일 때 측정된 안테나 이득은 16.28 dBi로서 스펙에서 제한했던 이득이 17 dBi를 넘지 않는다는 조건을 만족하고 있음을 알 수 있다. 설계할 때 이득을 19.2 dBi로 2.2dB의 여유를 두었던 것이 유효하게 작용하여 제한 이득인 17 dBi를 넘지 않으면서 근접하는 값을 얻게 되었음을 알 수 있다. 24.125 GHz일 때 측정된 안테나 이득은 15.2 dBi로서 스펙에서 요구했던 이득이 15 dBi를 상회해야 한다는 조건을 만족하고 있다. 설계할 때 이득을 18.9 dBi로 여유를 주지 않았다면 요구 스펙을 만족할 수 없었을 것이다. 24.25 GHz일 때 측정된 안테나 이득은 16.17 dBi로서 스펙의 요구 범위 내에 있음을 알 수 있다. 이로써 제작된 MPA안테나의 이득은 ISM 밴드 내에서 요구 스펙을 모두 만족하고 있음을 확인하였다.

ISM밴드에서와 같이 제한된 출력 전력이 엄격히 규제될 경우 가능한 한도 내에서 최대 출력 전력을 이용하기 위해 최소이득도 제한된 최대 이득에 근접하게 설정될 수 있고 이에 따라 안테나의 목표이득 범위가 좁아질 수 있다. 본 논문에서도 안테나 이득 범위가 15dBi-17dBi로서 2dB밖에 되지 않는다. 따라서 설계할 때 안테나의 특성을 변화시킬 수 있는 요인들을 잘 고려하여야 한다. 특

히 동작 대역폭 내에서 주파수 변화에 따른 안테나 특성 변동량을 잘 고려하여 설계하여야 한다. 이는 동작 대역폭이 큰 경우 더욱 중요해질 수 있다. 따라서 본 논문에서는 주파수가 24.0 GHz, 24.125 GHz, 24.25 GHz의 3가지 주파수에 대해 안테나 특성을 분석하였다.

한편, 동작 주파수가 24.0 GHz, 24.125 GHz, 24.25 GHz로 변할 때 시뮬레이션 상에서의 안테나 이득은 각각 19.2 dBi, 18.9 dBi 및 18.32 dBi로 주파수 증가에 대해 일률적으로 감소하는 특성을 보였다. 그러나 실제로 측정된 값에서는 16.28 dBi, 15.20 dBi 및 16.17 dBi로 주파수 증가에 대해 감소했다가 다시 증가하는 특성을 보였다. 제작 오차에 따른 현상인지를 확인하기 위해 함께 제작된 다른 안테나의 특성을 측정해본 결과 16.29 dBi, 15.20 dBi 및 16.21 dBi로 같은 경향을 보이고 있었다.

한편, Ansys사의 HFSS 시뮬레이터로 구한 그림 2(c)의 안테나 이득 특성은 그림 6의 제작 후 측정으로 구한 이득 특성과 매우 유사한 모양을 보였다. 메인 빔의 모양이 좌측에서 조금 기울어진 것을 포함해서 메인 빔 모양 전체가 거의 같은 모양을 보였으며 우측의 사이드로브 레벨이 좌측의 사이드로브 레벨보다 높고 그 이후의 좌우 사이드로브 모양도 매우 유사하였다. 이는 시뮬레이션 결과의 세부적인 부분조차도 의미를 두고 설계에 반영할 가치가 있음을 보여주었다.

사이드로브의 경우 동작 주파수가 24.0 GHz, 24.125 GHz, 24.25 GHz로 변할 때 시뮬레이션으로 구한 값이 각각 -15 dBc, -12.7 dBc, 및 -10.0 dBc로서 주파수가 증가함에 따라 사이드로브 특성이 저하되는 경향을 보였다. 사이드로브 측정값도 각각 -13.15 dBc, -13.1 dBc, 및 -12.8 dBc로서 주파수가 증가함에 따라 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 특성이 저하되는 양상을 보였다.

V. 결 론

두 개의 수신안테나를 이용한 저가 레이더를 구현하기 위한 송수신 안테나를 설계 및 제작하고 그 특성을 분석하였다.

레이더에서 요구되는 수평방향으로의 빔 집중과 저가 격을 위해 MPA(Microstrip Patch Array) 구조의 안테나로 설계하였으며 테일러 배열 패턴 합성(Taylor array pattern synthesis)을 이용하여 사이드로브(sidelobe)를 억제하였다.

제작된 안테나의 측정결과 이득이 사용대역인 24GHz ISM 밴드(24.0-24.25GHz) 내에서 15.2-16.26 dBi를 나타내어 설계 스펙인 15dBi이상 17dBi이하의 조건을 만족하였다. 메인로브(main-lobe)의 크기와 방향은 250MHz의 대역폭 내에서 크기는 1.08 dB, 방향은 2°만큼의 변동을 보였다.

사이드로브는 24GHz ISM 밴드(24.0-24.25GHz) 내에서 동작 주파수가 24.0 GHz, 24.125 GHz, 24.25 GHz일 때 각각 -13.15 dBc, -13.1 dBc 및 -12.8 dBc로서 -10.0 dBc이하의 스펙을 만족하였으며 주파수 증가에 따라 사이드로브 특성이 저하되는 특성을 보였다.

References

- [1] H. C. Ki, "A Study on Spatial Combining power Amplifiers for the Backhaul in the 5G cellular systems", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 16, No. 4, pp.21-26, Aug. 31, 2016. <https://doi.org/10.7236/IIBC.2016.16.4.21>
- [2] S. N. Mahmood, A.J. Ishak, T. Saeidi, H. A. Alsariera, S. Alani, A. Ismail, and A. C. Soh, "Recent Advances in Wearable Antenna Technologies: A Review", Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 89, pp.1.27, 2020. [doi:https://www.jpier.org/10.2528/PIERB20071803](https://www.jpier.org/10.2528/PIERB20071803)
- [3] H. C. Ki, "Characteristic Investigation According to Structures of Embroidered Radiation Patches at SF-MPAA", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 20, No. 6, pp.21-26, Dec. 31, 2020. <https://doi.org/10.7236/IIBC.2020.20.6.21>
- [4] H. C. Ki, "Characteristic Analysis of Meshed SF-MPAA Characteristics depend on Mesh Transparency", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 19, No. 5, pp.163-168, Oct. 31, 2019. <https://doi.org/10.7236/IIBC.2019.19.5.163>
- [5] H. C. Ki, "An Investigation of human body influence on Embroidered Textile Dipole Antenna", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 21, No. 5, pp.155-160, Oct. 31, 2021. <https://doi.org/10.7236/IIBC.2021.21.5.155>
- [6] H. C. Ki, "AEffects of Tilting and Bending on Embroidered Dipole Array Antenna", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 22, No. 2, pp.21-26, Apr. 30, 2022. <https://doi.org/10.7236/IIBC.2022.22.2.21>

저 자 소 개

기 현 철(정회원)



- 1984년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업.(공학사)
- 1986년 8월 : 한양 대학교 대학원 전자공학과 졸업.(공학석사)
- 1992년 2월 : 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업.(공학박사)
- 1986년 ~ 1989년 : 한국 전자통신연구원 연구원.
- 1996년 ~ 1997년 : 미국 조지아공대 post.doc
- 2010년 ~ 2012년 : 미국 UCLA 객원교수
- 1992년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 전자공학과 교수.
- 주관심분야 : RF회로설계, RF 및 mmW 부품 설계, Metamaterial 응용 및 안테나설계