

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.5.187>

IIBC 2017-5-26

## 마이크로스트립 콤 어레이 안테나에서 CSRR-메타물질의 영향에 관한 연구

### A Study on the effects of CSRR-metamaterial on Microstrip Comb-line Array Antennas

기현철\*

Hyeon-Cheol Ki\*

**요 약** 마이크로스트립 콤 어레이 안테나에 대한 CSRR-메타물질의 영향을 연구하였다. 마이크로스트립 콤 어레이 안테나는 12개의 방사체로 구성되었고 24GHz ISM 대역에서 16.09dBi의 이득과 0.24GHz 대역폭을 갖도록 설계하였다. 설계된 안테나는 안테나 면에 수직인 방사빔과 16.09dBi의 동일편파 이득, -10.86dBi의 교차편파 이득을 갖고 있었다. CSRR-메타물질은 0.24GHz이던 마이크로스트립 콤 어레이 안테나의 임피던스 대역폭을 3.6GHz로 대폭 증가시켰으나 동일편파 이득이 10.8dBi로 되고 교차편파 이득이 14.1dBi로 되어 동일편파와 교차편파가 혼재했으며 안테나 이득을 1.99dB 만큼 저하시켰다. 한편, CSRR 링의 스플릿 방향에 따른 연구에서 링의 스플릿 방향을 위로하거나 아래로 했을 때는 거의 같은 특성을 보였다. 그러나 링의 스플릿 방향을 위와 아래로 교번하여 배치하였을 때는 동일편파 이득이 -1.29dBi로 감소하고 교차편파 이득이 13.9dBi로 증가하여 교차편파가 주가 되는 파로 변환되었다.

**Abstract** We investigated the effects of the CSRR-metamaterial on microstrip comb-line array antennas. Microstrip comb-line array antennas was designed with 12 radiators, gain of 16.09dBi and bandwidth of 0.24GHz in the 24GHz ISM band. The designed antenna had radiation beam perpendicular to the antenna plane, co-polarization gain of 16.09dBi and cross-polarization gain of -10.86dBi. the CSRR-metamaterial increased largely the impedance bandwidth of the antenna from 0.24GHz to 3.6GHz. however as co-polarization gain became 10.08dBi and cross-polarization gain became 14.1dBi, co-polarization was mixed with cross-polarization. And the antenna gain lowered by 1.99dB. On the investigation of the dependence on the split-direction of the CSRR rings, it showed nearly the same characteristics for up-splitted ring used case and down-splitted ring used case. However in the case of arranging up-splitted ring and down-splitted ring in alternation, co-polarization gain decreased to -1.29dBi and cross-polarization gain increased to 13.9dBi, which meant the wave was transited to cross-polarization majority wave.

**Key Words** : waveguide transition, antipodal finline, waveguide-microstrip transition, millimeter wave

\*정희원, 가천대학교 전자공학과  
접수일자 : 2017년 8월 16일, 수정완료 : 2017년 9월 16일  
게재확정일자 : 2017년 10월 13일

Received: 16 August, 2017 / Revised: 16 September, 2017 /  
Accepted: 13 October, 2017

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

## I. 서론

메타물질(metamaterial)은 음의 유전율(permittivity)이나 투자율(permeability) 등의 특이한 전자기적 현상을 나타내며 이러한 특이한 전자기적 현상은 많은 분야에서 매우 유용하게 사용될 수 있어 많은 관심과 아울러 그 응용에 대한 연구가 진행되고 있다. SRR(Split-Ring Resonator) 혹은 CSRR (Complementary Split-Ring Resonator)은 메타물질을 구성하는 기본 블록으로 흔히 사용된다. SRR을 기반으로 하는 메타물질은 초고해상도 이미징, 투명 망토, 안테나의 소형화 등에 활용될 수 있으며 그에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.<sup>[1-2]</sup>

최근에 메타물질 개념을 마이크로스트립 패치(microstrip patch) 안테나의 소형화 및 성능개선에 활용하고자하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 마이크로스트립 패치 안테나는 얇고 가벼우며 제작이 용이하고 제작비도 저렴하다는 장점이 있어 차세대 광대역 이동통신이나 자동차용 레이더에로의 적용이 활발히 연구되고 있다.<sup>[3-6]</sup> 특히, 마이크로스트립 콤 어레이 안테나(MCAA; Microstrip Comb-line Array Antenna)는 가장 매력적인 후보 중의 하나이다. 본 논문에서는 24GHz ISM대역의 MCAA를 설계하고 CSRR-메타물질이 안테나에 미치는 영향에 대해 연구한다.

## II. MCAA 설계

그림 1은 MCAA의 구조를 설명하고 있다. MCAA의 방사체(radiating element)는 개방회로 스티브(open-circuited stub)로 구성되며 패치(patch) 안테나로 작동한다. 방사체는 공급선(feed line)의 상하로 교대로 연결하여 배치함으로써 사이드 로브(side lobe)를 줄여주도록 한다. 인접한 두 방사체 간의 거리( $L_m$ )는 반파장( $\lambda/2$ )이 되도록 하고, 방사체의 길이( $L_s$ )도 반파장( $\lambda/2$ )이 되도록 한다.

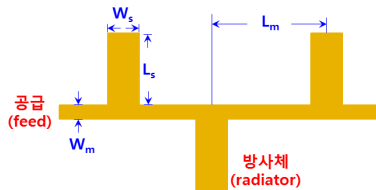


그림 1. MCAA 구조  
Fig. 1. Structure of the MCAA

그림 2는 설계된 MCAA의 구조를 보여준다. MCAA의 설계를 위해 기판은 비유전율이 2.2이고 두께가 0.127mm인 RT/duroid 5880을 사용하였으며 주파수는 현재 차량용 감지 레이더가 사용하고 있는 24GHz ISM 대역을 기준으로 설계하였다. 안테나의 특성분석은 Ansys사의 HFSS를 사용하여 수행하였다. 방사체의 총 수는 12개로 설계하였고, 공급선 종단을 개방회로가 되도록 하여 정재파(standing-wave) 구조의 MCAA가 되도록 설계하였다. 인접한 두 방사체 간의 거리( $L_m$ )는 5.5mm가 되도록 했고, 방사체의 폭( $W_s$ )과 길이( $L_s$ )는 이득과 대역폭을 고려하여 각각 2.5mm와 4.04mm가 되도록 설계하였다. 공급선의 좌측에서 신호가 입력되도록 하였으며 마이크로스트립선의 특성 임피던스가 50Ω이 되도록 스트립선의 폭을 0.38mm로 설계하였다.

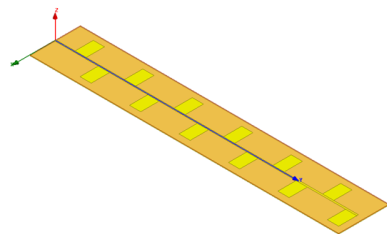


그림 2. 설계된 MCAA의 구조  
Fig. 2. Structure of the designed MCAA

그림 3은 설계된 MCAA의 반사계수를 보여준다. -10dB를 기준으로 한 임피던스 대역폭은 24GHz를 중심으로 329.8MHz를 나타냈다.

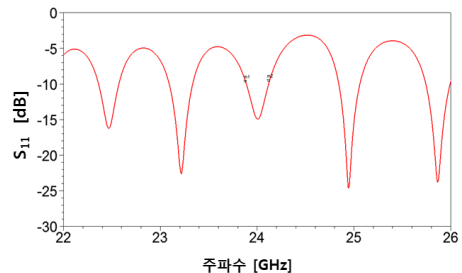


그림 3. 설계된 MCAA의 반사계수  
Fig. 3. Reflection coefficients of the designed MCAA

그림 4는 설계된 MCAA의 방사패턴을 보여준다. 그림 4(a)는 방위각 0°에서 고도각에 따른 MCAA의 이득 특성을 보여주고 있다. 실선은 안테나 총이득을 나타내

며 고도각  $0^\circ$ 에서 최대 이득 16.09dBi를 나내고 있어 빔이 안테나 면에 수직으로 방사되고 있음을 알 수 있다. 또한, 12개의 방사체로서 16.09dBi의 이득을 얻음으로써 안테나 설계가 비교적 최적화 설계가 이루어 졌음을 보여주고 있다. 점선은 동일 편파(co-polarizaion) 성분의 이득을 나타낸다. 동일 편파 성분의 이득의 크기는 총이득의 크기와 거의 동일하여 대부분이 동일 편파 성분으로 방사되고 있음을 알 수 있다. 일점쇄선은 교차 편파(Cross polarization) 성분의 이득을 나타낸다. 교차 편파 성분의 이득은  $-10.86\text{dBi}$ 이하로서 동일 편파 성분에 비해 26.95dB 만큼 작음을 알 수 있다. 한편 사이드 로브는  $-8.2\text{dBi}$ 이하로서 메인 로브에 비해 24.29dB 만큼 작음을 보여준다.

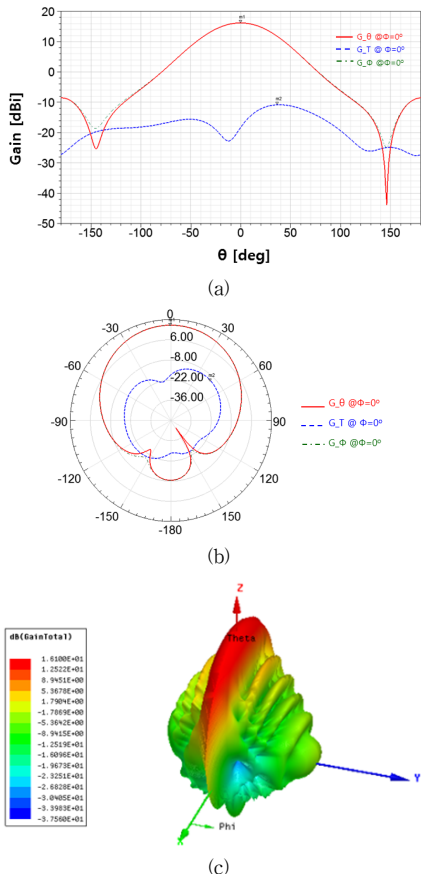


그림 4. 설계된 MCAA의 방사패턴  
 (a) 이득 (b) 방사패턴 (c) 3차원 방사 모양  
 Fig. 4. Radiation pattern of the designed MCAA  
 (a) Gain (b) Radiation pattern (c) 3D plot of the radiation

그림 4(b)는 방위각  $0^\circ$ 에서 고도각에 따른 MCAA의 방사 형태를 보여주고 있다. 실선은 총이득을 나타내며 대부분의 방사가 안테나 면에 수직한 방향으로 이루어지고 있음을 볼 수 있다. 점선은 동일 편파 성분의 이득으로서 총이득과 거의 동일한 방사 형태를 보이고 있다. 일점쇄선은 교차 편파 성분으로서 동일 편파 성분과는 다른 방사 형태를 보이고 있으나 그 크기는 상대적으로 매우 작음을 알 수 있다. 그림 4(c)는 MCAA의 방사 형태를 3차원으로 보여주고 있다. z방향이 안테나 면에 수직인 방향이며 이 방향으로 주된 방사가 이루어지고 있음을 확인 할 수 있다. y 방향은 방사체가 어레이 형태로 배열되는 방향으로서 어레이 효과에 의해 방사빔의 각도가 매우 작아져있음을 볼 수 있다.

### III. CSRR의 영향

CSRR(Complementary Split-Ring Resonator)은 금속 측면에서 SRR(Split-Ring Resonator)의 모양을 오려낸 형태로서 본 연구에서는 GND면에서 SRR 모양을 오려내어 GND면에 CSRR을 형성하였다. CSRR의 크기는  $1.2 \times 1.2\text{mm}$ , 폭은  $0.3\text{mm}$ , 스플릿 간극은  $0.1\text{mm}$ 이고, 방사체와 방사체 사이의 정 중앙에 배치하였다.

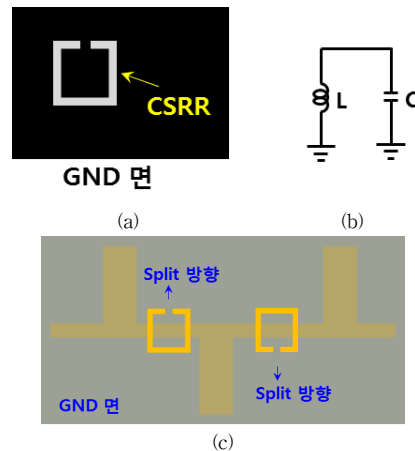


그림 5. CSRR의 구조와 배치  
 (a) CSRR의 구조 (b) CSRR의 등가회로  
 (c) CSRR의 배치  
 Fig. 5. Structure and placement of the CSRRs  
 (a) Structure of the CSRR  
 (b) Equivalent circuit of the CSRR  
 (c) Placement of the CSRRs

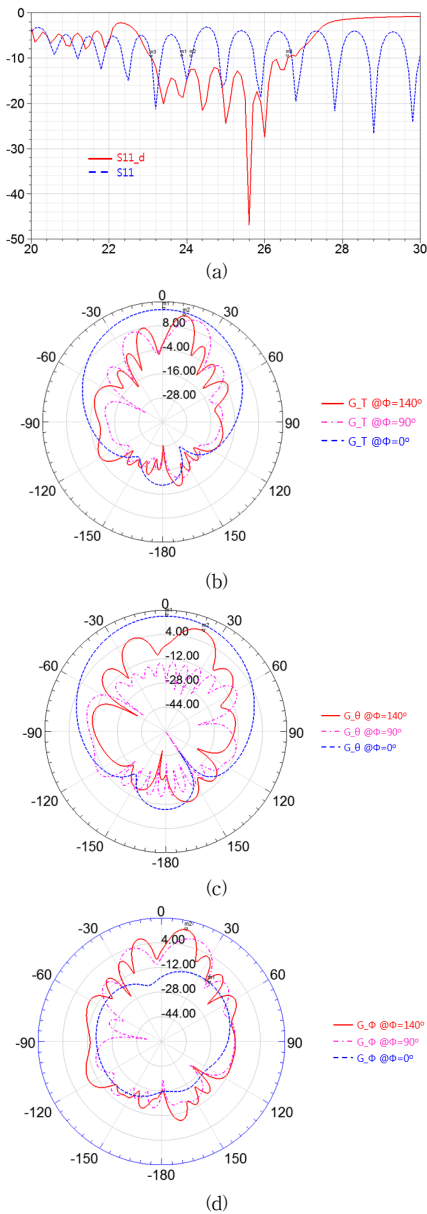


그림 6. CSRR의 스플릿 방향을 아래로 하여 배치한 경우  
 (a) 반사계수 비교 (b) 총이득 비교  
 (c)동일 편파 성분 비교 (d) 교차 편파 성분 비교  
 Fig. 6. Case of the placement of down–splitted CSRRs  
 (a) Comparision of reflection coefficients  
 (b) Comparision of total gains  
 (c) Comparision of co–polarizations  
 (d) Comparision of cross–polarizations

그림 5는 CSRR의 구조와 등가회로 및 MCAA에 배치하는 모양을 설명하고 있다. 그림 5(a)는MCAA의 GND면에 형성된 CSRR의 모양을 보여준다. 단일 사각 링을

스플릿(split)하여 구해졌으며 GND면에 형성된 CSRR을 전기회로로 등가화하면 그림 5(b)의 등가회로로 구해진다. CSRR은 MCAA의 GND면에작은 LC공진기를 형성하게 된다. 그림 5(c)는 MCAA의 GND면에 CSRR을 배치하는 모양을 설명하고 있다. CSRR은 공급선 마이크로 스트립선 아래에 인접한 두 방사체의 사이에 배치하되 스플릿 방향을 아래, 위, 아래 위 교번으로 변화시키며 그 특성을 분석하였다.

그림 6은 CSRR의 스플릿 방향을 아래로 하여 배치한 경우의 MCAA 특성을 보여준다. 그림 6(a)는 반사계수에 대한 CSRR의 영향을 보여준다. 점선은 CSRR이 없는 경우의 MCAA 반사계수이고, 실선은 CSRR이 배치된 경우의 반사계수이다. CSRR은 반사계수 특성을 극적으로 변화시켰으며 -10dB를 기준으로 한 대역폭이 3.5GHz로 증가하였다.

이는 CSRR이 없는 경우에 비해 임피던스 대역폭이 14.58배 증가한 것이다. 그림 6(b)는 CSRR에 의한 총이득의 영향을 보여준다. 점선은 CSRR이 없는 경우에 최대 방사각인 방위각인 0°에서 구한 MCAA 총이득이다. 점선과 일점쇄선은 CSRR이 있는 경우에 최대 방사각인 방위각 90°와 140°에서 구한 MCAA 총이득이다. CSRR은 0°이던 최대 방사각을 90°와 140°로 최대 방사각을 변화시켰으며 최대이득은 14.09dBi로서 1.99dB 만큼 감소시켰다. 그림 6(c)는 CSRR에 의한 동일 편파 성분의 영향을 보여준다. CSRR은 16.09dBi이던 동일 편파 이득을 10.76dBi로 변화시켜 5.32dB 만큼 감소시켰다. 그림 6(d)는 CSRR에 의한 교차 편파 성분의 영향을 보여준다. CSRR은 -10.86dBi이던 교차 편파이득을 14.07dBi로 변화시켜 24.93dB 만큼 증가시켰다.

CSRR의 스플릿 방향을 위로하여 배치한 경우의 MCAA 특성은 스플릿 방향을 아래로 하여 배치한 경우와 거의 같은 특성을 보였다.

그러나 CSRR의 스플릿 방향을 위와 아래로 교번하면서 배치한 경우 또 다른 형태의 변화를 보였다. 그림 7은 CSRR의 스플릿 방향을 위와 아래로 교번하여 배치한 경우의 MCAA 특성을 보여준다. 그림 7(a)는 CSRR에 의한 반사계수 영향을 보여준다. 점선은 CSRR이 없는 경우의 MCAA 반사계수이고, 실선은 CSRR이 배치된 경우의 반사계수이다. CSRR은 0.24GHz이던 임피던스 대역폭을 3.6GHz로 증가시켰다. 이는 CSRR이 없는 경우에 비해 임피던스 대역폭이 15배 증가한 것이다.

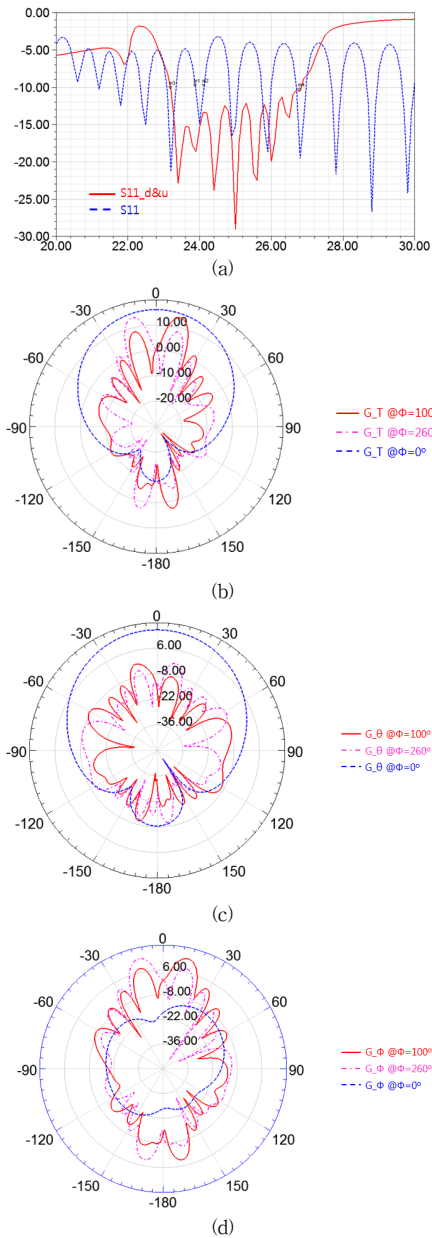


그림 7. CSRR의 스플릿 방향을 위와 아래로 교번하여 배치한 경우.

- (a) 반사계수 비교 (b) 총이득 비교
- (c) 동일 편파 성분 비교 (d) 교차 편파 성분 비교

Fig. 7. Case of the placement of up-splitted CSRRs and down-splitted CSRRs in alternation.  
 (a) Comparison of reflection coefficients  
 (b) Comparison of total gains  
 (c) Comparison of co-polarizations  
 (d) Comparison of cross-polarizations

그림 7(b)는 CSRR에 의한 총이득의 영향을 보여준다. 점선은 CSRR이 없는 경우에 최대 방사각인 방위각인  $0^\circ$ 에서 구한 MCAA 총이득이다. 점선과 일점쇄선은 CSRR이 있는 경우에 최대 방사각인 방위각  $100^\circ$ 와  $260^\circ$ 에서 구한 MCAA 총이득이다. CSRR은  $0^\circ$ 이던 최대 방사각을  $100^\circ$ 와  $260^\circ$ 로 최대 방사각을 변화시켰으며 최대이득은 13.9dBi로서 2.18dB 만큼 감소시켰다. 그림 7(c)는 CSRR에 의한 동일 편파 성분의 영향을 보여준다. CSRR은 16.09dBi이던 동일 편파 이득을 -1.29dBi로 변화시켜 17.38dB 만큼 감소시켰다. 반면에 그림 7(d)에서 보여주는 CSRR에 의한 교차 편파 성분의 영향을 보면 CSRR은 -10.86dBi이던 교차 편파이득을 13.9dBi로 변화시켜 24.75dB 만큼 증가시켰다. 결과적으로 CSRR은 동일편파 성분을 교차편파성분으로 변환하여 주는 역할을 하고 있다.

#### IV. 결론

24GHz ISM 대역의 MCAA를 설계하고 MCAA의 공급선 아래의 GND 면에 단일 사각 링 형태의 CSRR로 메타물질을 형성한 결과 교차 편파 성분이 증가하였으나 0.24GHz이던 MCAA의 임피던스 대역폭을 3.6GHz로 대폭 증가시킬 수 있었다. 한편, 링의 스플릿 방향을 위로하거나 아래로 했을 때는 거의 같은 특성을 보였으나 위와 아래로 교번하여 배치하였을 때는 동일편파 성분이 거의 사라지고 교차 편파 성분이 주가 되었으며 이로써 동일편파가 교차편파는 변환되고 있음을 확인하였다.

#### References

- [1] F. Falcon, T. Lopetegi, M. Laso, J. Baena, J. Bonache, M. Beruete, R. Marques, F. Martin, and M. Sorolla, "Babinet Principle Applied to the Design of Metasurfaces and Metamaterials", Physical Review Letters, vol.93, no.19, pp.197401\_1-4, November 2004.
- [2] R. Marques, F. Medina, and R. Rafii-El-Idrissi, "Role of bianisotropy in negative permeability and left-handed metamaterials", Physical Review B,

vol.65, pp.144440\_1-6, November 2000.

- [3] B. Fleming, "Recent Advancement in Automotive Radar Systems," IEEE Vehicular Technology Magazine, pp.4-9, March 2012..
- [4] H.C. Ki, "A Study on Spatial Combining power Amplifiers for Backhaul of 5G cellular systems", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, VOL. 16 No. 4, pp.21-26, Aug. 31. 2016.
- [5] H.C. Ki, "A Study on Waveguide to Microstrip Antipodal Transition for 5G cellular systems", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, VOL. 15 No. 4, pp.185-190, Aug. 31. 2015.
- [6] D. Wu, et al., "A 76.5 GHz Microstrip Comb-Line Antenna Array for Automotive Radar System", 9th European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2015,(Downloaded from: <http://publications.lib.chalmers.se/publication/227758>)

#### 저자 소개

##### 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, Meta-material 응용 및 안테나설계