

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2020.20.6.21>
JIIBC 2020-6-4

SF-MPAA의 자수된 방사체의 구조에 따른 특성 분석

Characteristic Investigation According to Structures of Embroidered Radiation Patches at SF-MPAA

기현철*

Hyeon-Cheol Ki*

요약 본 논문에서는 자수된 SF-MPAA 구현을 위해 방사체를 자수로 구현할 경우 방사체 구조에 따른 SF-MPAA의 특성을 조사 하였다. 자수된 방사체의 길이방향의 그리드 수와 폭 방향의 그리드 수를 줄여서 피치를 늘렸을 때 안테나 이득과 공진주파수는 추세적으로 감소하였다. 그러나 안테나 특성은 폭 방향의 피치에는 크게 영향을 받으나 길이 방향의 피치에는 상대적으로 영향을 적게 받았다. 따라서 도체비율을 줄이기 위해 길이 방향의 그리드 수를 줄이는 것이 유리함을 알 수 있었다. SLL은 피치보다는 길이와 폭 방향 피치의 조합에 영향을 받았다. 자수된 방사체의 도체비율은 자수실 굵기에 대한 피치의 비율로 결정이 되었다. 이 비율이 5이하에서는 도체비율이 급격히 감소했고 5이상에서는 포화되어 서서히 감소했다.

Abstract In this paper, we investigated the characteristics of SF-MPAA depend on the structures of radiators when they were embroidered for realizing embroidered SF-MPAA. As increasing pitches by decreasing numbers of grids in length-direction and width-direction of the embroidered radiator the antenna gain and resonance frequency were trendingly decreased. However the characteristics of antenna were affected very much by the pitch in width-direction but affected relatively less by the pitch in length-direction. Therefore it was beneficial to decrease number of grids in length-direction to decrease conductor ratio. SLL was affected by the combination of length-direction pitch and width-direction pitch. The conductor ratio of embroidered radiator was determined by the ratio of pitch to embroidered thread thickness. When the ratio was less than 5 the conductor ratio was decreased rapidly. But when the ratio was larger than 5 the conductor ratio was decreased slowly and saturated.

Key Words : embroidered, meshed antenna, MPAA, array antenna, side lobe

1. 서 론

사물인터넷(IOT) 시대와 더불어 다양한 형태의 안테나에 대한 요구가 증가하고 있다. 특히, 웨어러블(wearable) 기술은 몸체통신, 운동이나 의료용 신체 모

니터링, 위치추적 등 다양한 분야에서 사용된다^[1-4]. 이 경우 공통적으로 안테나를 어떻게 몸에 부착할 것이냐의 문제가 대두된다. 이에 대한 다양한 해결 방안 중에 직물에 자수형태로 안테나를 구현하는 방안이 꾸준히 연구되고 있다. 자수된 안테나는 직물의 일부로서 유연하고 의

*정회원, 가천대학교 전자공학과
접수일자 2020년 9월 21일, 수정완료 2020년 11월 21일
계재확정일자 2020년 12월 4일

Received: 21 September, 2020 / Revised: 21 November, 2020 /
Accepted: 4 December, 2020

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

류에 부착되므로 착용이 용할 뿐만 아니라 얇고 가볍고 저렴한 가격으로 구현될 수 있어야 하는점 등의 웨어러블 안테나가 필요로 하는 많은 장점을 갖고 있어 미래의 의복과 일상생활에 크게 영향을 미칠 것이다. 특히, 직물에 자수하는 방식의 웨어러블 안테나 기술은 자동화된 재봉기로 대량생산이 용이하고, 접착제가 필요 없고, 의복에 부착하는 방식이 아니라 의복에 자수형태로 통합되므로 미적인 면에서도 유리하다.

본 논문에서는 SF-MPAA(Series Fed Microstrip Patch Array Antenna)를 자수된 웨어러블 안테나로 구현하기 위한 연구로서 방사체를 자수로 구현할 경우 SF-MPAA의 특성을 연구하고자 한다. SF-MPAA는 방사체 구조가 복잡하거나 수치에 예민한 작은 패턴 등이 없는 단순한 구조이므로 자수된 안테나로 구현해도 그 특성의 변화가 상대적으로 적을 수 있다. 또한, SF-MPAA의 단순하고 최소화된 입력회로 구조는 자수된 안테나 구현을 매우 용이하고 콤팩트하게 해준다. 일반적으로 자수로 안테나를 구현할 경우 상당한 이득의 감소가 초래된다. SF-MPAA의 어레이 구조는 이러한 문제점을 극복하기에 도움을 줄 뿐만 아니라 안테나의 방향성을 얻을 수 있도록 해준다.

자수된 안테나에 사용되는 자수실은 고가의 도체를 사용하여 제작된 도체실로서 자수된 안테나의 제조단가를 높이는 주된 요인이 된다^[5,6]. 따라서 본 논문에서는 자수된 방사체의 자수실 사용량을 최소화하기 위한 구조와 이에 따른 특성을 연구하고자한다.

II. 자수 구조 방사체의 설계

자수된 SF-MPAA의 안테나 설계를 위해 유효 비유전율이 3.48이고 두께가 20mil인 Rogers사의 Ro4350 기판을 이용하였다. 자수된 SF-MPAA 안테나를 구현하기 위한 자수된 방사체의 구조를 그림 1에 보였다.

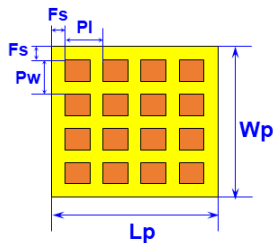


그림 1. 자수된 방사체의 구조
Fig. 1. Structure of the embroidered radiation patch

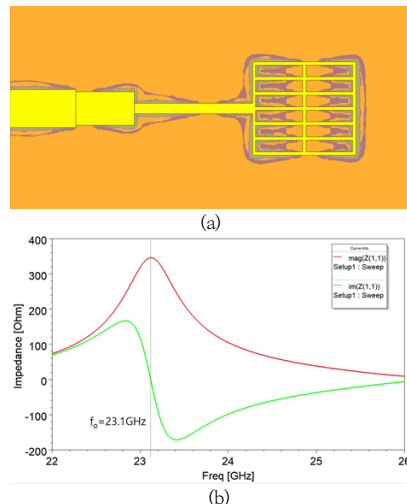
자수된 방사체는 전도성이 좋은 자수실로 그림 1에 보인 그물 모양으로 자수를 놓아 제작한다. 따라서 도체선 폭의 최소 단위는 자수실의 굵기(F_s)가 되며 자수실 한 가닥으로 그물 모양을 구현할 경우 도체의 폭이 자수실의 굵기(F_s)가 된다. 자수된 방사체는 자수실 굵기(F_s)의 선폭을 갖는 마이크로스트립선으로 자수실을 대체하여 설계하였다. 마이크로스트립선의 선폭은 자수실 굵기(F_s)의 정수배가 되어야하며 자수실 사용량을 최소화하기 위해 1가닥 굵기의 선폭을 갖는 마이크로스트립선을 사용하였다.

그림 1의 방사체 구조에서 안테나 신호가 방사체의 좌측에 인가되어 우측방향으로 흐른다고 가정하여 방사체의 길이를 L_p 로 표시하고 방사체의 폭을 W_p 라고 표시하였으며 방사체의 면적은 $L_p \times W_p$ 가 된다. 또한, 길이 방향으로 도체선의 피치를 P_l 로 표기하고,

폭 방향으로 도체선의 피치를 P_w 로 표기한다. 방사체의 구조는 (길이 방향의 도선수, m) x (폭 방향의 도선수, n)으로 표기하며 그림 1(a)의 경우 방사체의 구조를 5 x 5 방사체로 표현한다. $m \times n$ 방사체의 도체비율(R_{ct})을 면방사체의 도체면적에 대한 자수방사체의 도체면적의 배분율로 정의하며 다음 수식으로 표현한다.

$$\begin{aligned} \text{도체비율} (R_{ct}) &= \frac{\text{자수방사체 도체면적}}{\text{면방사체 도체면적}} \times 100 \\ &= \frac{m F_s W_p + n F_s L_p - (m \times n) F_s^2}{L_p W_p} \times 100 \quad [\%] \end{aligned} \quad (1)$$

그림 2(a)는 자수된 3 x 7 방사체로 설계된 MPA (Microstrip Patch Antenna)의 구조를 보여준다. 전체의 분포를 보면 자수된 방사체 길이 방향 양 끝에 집중되어 있어 자수 구조의 방사체도 매우 효율적으로 방사 할 수 있음을 보여준다.



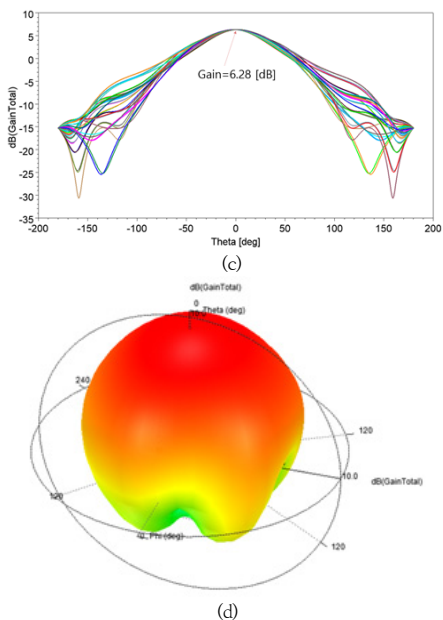


그림 2. 자수된 3 x 7 방사체로 설계된 MPA
 (a)자수된 3 x 7 방사체로 설계된 MPA 구조 (b) 안테나 임피던스 (c)안테나 이득 (d) 방사 패턴

Fig 2. Designed MPA with 3x7 embroidered radiation patche
 (a)Structure of 3x7 embroidered radiation patche
 (b)Antenna impedance (c)Antenna gain (d) Radiation pattern

그림 1(b)는 방사체의 임피던스 특성을 보여준다. 임피던스는 RLC 병렬 공진의 특성을 보이며 임피던스 크기의 최고점에서 리액턴스 성분의 크기가 0가 되어 정확히 RLC 병렬 공진이 이루어지고 있음을 보여준다. 그림 2(c)는 자수된 3 x 7 방사체로 설계된 MPA의 이득 특성을 보여준다. 안테나의 이득은 공진주파수 23.1GHz에서 6.28 dB를 보여주고 있으며 방위각 변화에 대해 비교적 균일한 특성을 보여 등그런 방사 형태를 보여줌을 알 수 있다. 그림 2(d)는 안테나의 방사 특성을 3차원 그림으로 보여주며 면방사체의 경우와 매우 흡사함을 볼 수 있다.

III. 자수 구조 SF-MPAA의 특성

그림 2는 자수된 3 x 7 방사체로 설계된 SF-MPAA를 보여준다. 앞에서 설계한 3 x 7 방사체를 8개 어레이로 연결하여 구성하였다. 각 방사체에서의 전계분포를 그림 2(a)에서 보면 방사체 길이 방향의 양 끝에 전계가 집중되어 있어 매우 효율적으로 방사되고 있음을 알 수 있다.

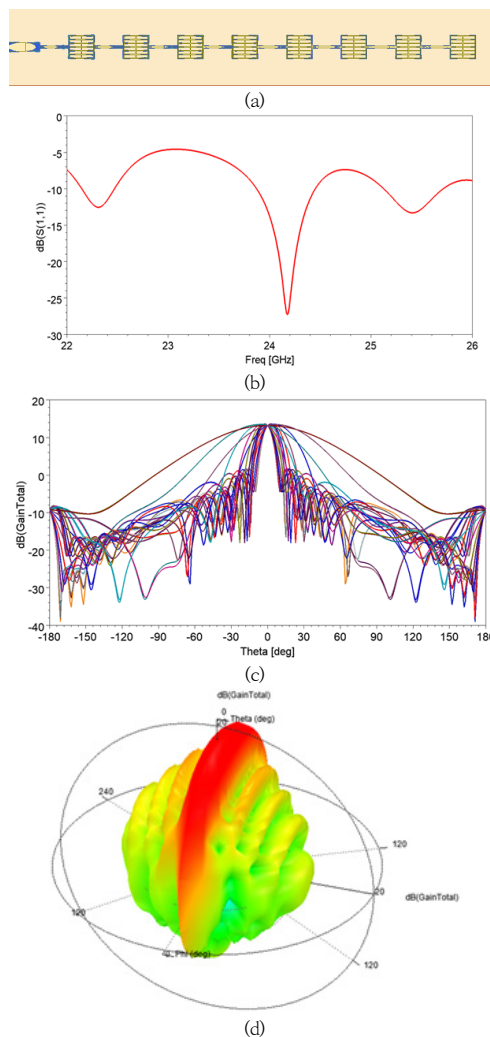


그림 3. 자수된 3 x 7 방사체로 설계된 SF-MPAA
 (a)자수된 3 x 7 방사체로 설계된 SF-MPAA 구조 (b) 안테나 반사손실 (c)안테나 이득 (d) 방사 패턴

Fig. 3. Designed SF-MPAA with 3x7 embroidered radiation patches
 (a)Structure of designed SF-MPAA with 3x7 embroidered radiation patches (b)Antenna return loss (c)Antenna gain (d) Radiation pattern

그림 2(b)는 반사손실을 보여주며 24.28GHz에서 -17dB를 보인다. 이 주파수에서의 안테나 이득은 그림 2(c)에 보였으며 13.44dB로서 단일 방사체 경우에 비해 8.16dB증가하였다. 방사패턴은 어레이로 인해 그림 2(c)와 같이 중앙으로 집중된 형태를 보인다.

IV. 방사체 구조에 따른 SF-MPAA의 특성

방사체 구조 변화에 따른 SF-MPAA의 특성을 분석하기 위해 $m \times n$ 자수 방사체의 구조에서 m 과 n 의 값을 각각 2, 3, 5, 7로 변화시키며 안테나의 특성을 분석하였다. m 값의 변화는 길이방향의 피치크기(P_l) 변화로 나타내고, n 값의 변화는 폭방향의 피치크기(P_w) 변화로 나타낸다. 또한, 자수실의 굵기는 0.1mm로 하였다.

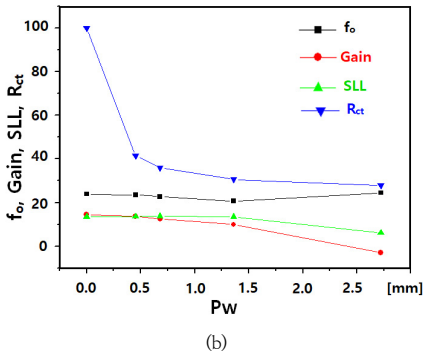
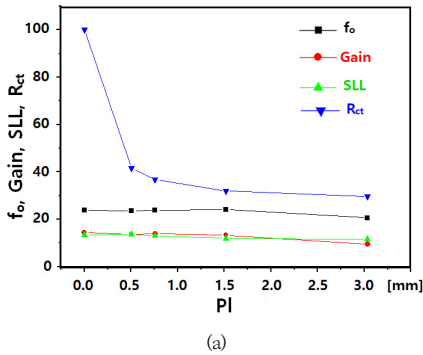


그림 4. 자수 방사체 구조에 따른 SF-MPAA의 특성 (a) P_l 에 따른 특성 (b) P_w 에 따른 특성
 Fig. 4. Characteristics of SF-MPAA depend on embroidered radiation patches (a) Characteristics depend on P_l (b) Characteristics depend on P_w

그림 4는 자수 방사체 구조에 따른 SF-MPAA의 특성으로, 그림 4(a)는 자수 방사체의 길이방향 피치크기(P_l)에 따른 SF-MPAA의 특성을 보여준다. 여기서, 피치 크기가 0인 것은 면방사체를 의미한다. 안테나 이득(gain)은 dB단위로 표시하였고 P_l 이 증가함에 따라 면방사체에 비해 다소 감소하다가 P_l 이 1.5mm를 넘어서면서 급격히 감소하는 특성을 보였다. 여기서 특이한 점은 최대 이득을 위한 P_l 의 최적점이 존재한다는 것이며 $P_l=1.6$ mm에서 최대 이득을 보였다. 공진주파수(f_0)는 GHz단위로 표

시하였고 P_l 이 증가함에 따라 면방사체에 비해 감소하여 이득과 유사한 변화를 보였으며 $P_l=1.6$ mm에서 최대 크기를 보였다. SLL(Side Lobe Level)도 dB단위로 표시하였고 P_l 이 증가함에 따라 추세적으로 감소하는 특성을 보이나 최적점이 존재하여 $P_l=0.5$ mm에서 최대 크기를 보였으며 이 경우 면방사체 보다 우수한 특성을 보였다. 도체비율(R_{ct})은 %단위로 표시하였고 P_l 이 증가함에 따라 급격히 감소하다가 포화되는 특성을 보였다. 또한, 수식 (1)로부터 자수실의 굵기를 작게 할수록 작은 피치에서도 도체비율을 효과적으로 낮출 수 있음을 알 수 있다. 이는 안테나 특성에도 유리하게 작용할 수 있다.

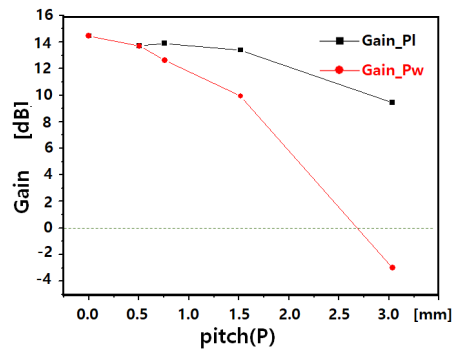


그림 5. 방사체 길이 방향과 폭 방향의 피치 크기에 따른 SF-MPAA의 이득
 Fig. 5. Gains of SF-MPAA depend on pitches in length direction and width direction of radiation patches

그림 4(b)는 자수 방사체의 폭방향 피치(P_w) 크기에 따른 SF-MPAA의 특성을 보여준다. 도체비율(R_{ct})은 그림 4(a)의 길이방향 경우와 같이 P_w 가 증가함에 따라 급격히 감소하다가 포화되는 특성을 보였다. 공진주파수(f_0)는 P_w 가 증가함에 따라 추세적으로 감소하는 특성을 보이긴 했으나 길이방향 경우에 비해 변동도 심하고 경향성도 적은 특성을 보였다. 안테나 이득(gain)은 P_w 가 증가함에 따라 추세적으로 감소하긴 했으나 그 정도가 너무 심하였다. 그림 5는 방사체 길이 방향과 폭 방향의 피치 크기에 따른 SF-MPAA의 이득 특성을 보여준다. 길이 방향의 경우 피치 크기가 증가함에 따라 이득이 추세적으로 감소하기는 하지만 그 정도가 완만하다. 그러나 폭 방향의 경우 이득 감소 정도가 매우 급격하며 피치가 3mm일 경우 -3dB의 이득을 보여 정상적인 안테나 작용이 이루어지지 못하고 있음을 암시하고 있다. 이를 확인하기 위해 방사체 구조가 3x7인 경우와 7x3인 경우의 안테나 동작을 비교하여보았다. 3x7인 경우 $P_l=1.5$ mm,

$P_w=0.5\text{mm}$ 로서 길이 방향의 피치가 큰 경우이고, 7×3 인 경우 $P_l=0.45\text{mm}$, $P_w=1.36\text{mm}$ 로서 폭 방향의 피치가 큰 경우이다.

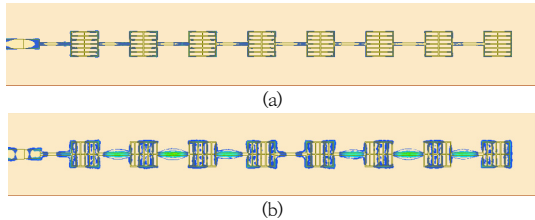


그림 6. SF-MPAA의 전계 분포 (a) 3×7 방사체인 경우 (b) 7×3 방사체인 경우

Fig. 6. Electric field distribution of SF-MPAA (a) In case of 3×7 radiation patches (b) In case of 7×3 radiation patches

그림 6은 3×7 방사체인 경우와 7×3 방사체인 경우에 대한 SF-MPAA의 안테나 동작 상태를 확인하기 위해 동작 중의 전계 분포를 조사한 것이다. 3×7 방사체인 경우 방사체의 길이 방향의 양 끝에 전계가 강하게 집중되어 있으며 중앙부위에는 전계가 매우 적음을 알 수 있다. 또한 폭 방향의 양 끝에도 전계가 모여 있지 않으므로 방사 작용이 매우 효율적으로 작동하고 있음을 확인할 수 있다. 반면에 7×3 방사체인 경우 전계가 방사체의 길이 방향의 양 끝에 집중되어 있지 못하며 중앙부위에도 많은 전계가 혼재하고 있음을 볼 수 있다. 따라서 정상적인 방사 작용이 이루어지지 못하고 있으며 정상적인 안테나 이득을 얻을 수가 없었던 것으로 판단된다. 좀 더 극단적인 경우인 2×7 방사체인 경우와 7×2 방사체인 경우 이러한 현상은 더욱 두드러지게 나타난다. 2×7 방사체인 경우 여전히 정상적인 안테나 동작을 하고 있으나 7×2 방사체인 경우 전계분포가 방사체 중앙에 집중되기까지 하고 방사체 폭 방향의 양 끝에도 전계가 상당부분 집중되며 방사체마다의 전계분포 조차 일관되지 못하는 등의 정상적인 안테나 동작을 할 수 없을 정도의 전계분포를 보였다. 결과적으로 7×2 방사체인 경우 안테나 이득이 -3dB 를 보였다. SLL은 P_w 증가에 따라 안정적인 특성을 보이다가 $P_w = 1.5\text{mm}$ 를 넘어서면서 급격히 저하되는 특성을 보였다.

길이 방향의 피치크기(P_l) 변화의 경우 자수 방사체의 폭 방향의 그리드 간격은 고정하고 길이 방향의 그리드 간격을 증가시키며 본 SF-MPAA의 특성으로서 추세적으로 약간의 특성저하를 보이기는 하나 전반적으로 안정된 특성을 유지하였다. 이는 길이 방향의 그리드 간격은

안테나 특성에 미치는 영향이 적음을 의미한다. 반면에 폭 방향의 피치크기(P_l) 변화의 경우 자수 방사체의 길이 방향의 그리드 간격은 고정하고 폭 방향의 그리드 간격을 증가시키며 본 SF-MPAA의 특성으로서 길이 방향에 비해 특성저하가 크고 심할 경우 기능 상실까지 발생하였다. 이는 폭 방향의 그리드 간격은 안테나 특성에 미치는 영향이 크다는 것을 의미한다. 따라서 자수된 방사체의 도체면적을 줄이는 방법은 폭 방향으로의 그리드 수를 줄이기보다는 길이 방향으로의 그리드 수를 줄이는 것이 효과적임을 확인할 수 있었다.

V. 결론

자수된 SF-MPAA 구현을 위해 방사체를 자수로 구현할 경우 방사체 구조에 따른 SF-MPAA의 특성을 조사하였다. 자수된 방사체의 길이방향의 그리드 수와 폭 방향의 그리드 수를 줄여서 피치 간격을 늘림에 따라 공진 주파수와 안테나 이득이 추세적으로 감소하는 특성을 보였다. 특히 길이 방향의 그리드 수보다는 폭 방향의 그리드 수의 영향을 많이 받아서 도체비율을 줄이기 위해 길이 방향의 그리드 수를 줄이는 것이 유리함을 알 수 있었다. SLL은 피치 간격보다는 길이와 폭 방향의 그리드 수 조합 형태에 영향을 받았다. 자수된 방사체의 도체비율은 자수실 굵기에 대한 피치의 비율로 결정이 되었다. 이 비율이 5이하에서는 도체비율이 급격히 감소했고 5이상에서는 포화되어 서서히 감소했다.

References

- [1] 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, 2019. <https://doi.org/10.7236/IIBC.2019.19.5.163>
- [2] H. C. Ki, "A Study on Microstrip Patch Array Antenna Integrated on SIW Network for SoS", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 18, No. 5, pp.63-68, 2018. <https://doi.org/10.7236/IIBC.2018.18.5.63>
- [3] T. Yasin, R. Barktur, T. Turpin and J. Arellano, "Analysis and Design of Highly Transparent Meshed Patch Antenna Backed by a Solid Ground Plane", Progress In Electromagnetics Research M, Vol. 56, pp.133-144, 2017.

- [4] H. C. Ki, "A Study on the effects of CSRR-metamaterial on Microstrip Comb-line Array Antennas ", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 17, No. 5, pp.187-192, 2017.
<https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.5.187>
- [5] S. Zhang, W. Whittow, R. Seager, A. Chauraya, and J. Vardaxoglou "Non-uniform Mesh for Embroidered Microstrip Antenna", IET Microwaves Antennas and Propagation Vol.11, Iss.8, pp.1086-1091, 2017.
<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>
- [6] H.C. Ki, "Effects of Mesh Structure Variations of Meshed Ground on Microstrip Comb Array Antenna", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, VOL. 18 No. 6, pp.69-74, 2018.
<https://doi.org/10.7236/IIBC.2018.18.6.69>

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, Meta-material 응용 및 안테나설계