

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2022.22.2.21>

JIIBC 2022-2-4

자수된 다이폴 어레이 안테나에 미치는 기울임과 굽힘의 영향

Effects of Tilting and Bending on Embroidered Dipole Array Antenna

기현철*

Hyeon-Cheol Ki*

요약 본 논문에서는 자수된 2.45GHz ISM 밴드 다이폴 어레이 안테나가 인체의 움직임에 의해 발생된 기울임과 굽힘에 의해 받는 영향 대해 분석하였다. 안테나의 특성은 Y축으로 기울임보다는 X축으로 기울임에서 보다 큰 변화를 보였다. 안테나 이득은 3.5° 기울였을 때 0.25[dB] 만큼의 변화했다. 기울임 각이 증가함에 따라 동작주파수(f_0)는 감소하는 경향을 보이고 반사손실(S_{11})은 증가하는 경향을 보였다. 굽힘에 따른 안테나의 특성도 Y축보다 X축으로 굽힘에서 보다 큰 영향을 받았다. 안테나 이득은 곡률($1/R_{rad}$)을 0.04[mm⁻¹]만큼 증가시켰을 때 3.73[dB] 만큼의 변화를 보였다. 굽힘이 증가함에 따라 동작주파수(f_0)는 감소했다 다시 증가하는 경향을 보이고 반사손실(S_{11})은 계속 증가하는 경향을 보였다.

Abstract In this paper, we investigated the effect of tilting and bending of an 2.45GHz ISM band embroidered dipole array antenna due to the human body movement. The antenna characteristics showed larger variations in tilting on the X-axis than the Y-axis. The antenna gain varied by 0.25[dB] when the antenna tilted by 3.5°. As tilting angle increased the operating frequency(f_0) showed decreasing tendency and the return loss(S_{11}) showed increasing tendency. The antenna characteristics also showed more variation in bending on the X-axis than the Y-axis. As bending the antenna the antenna characteristics affected much more in bending on the X-axis than the Y-axis. The antenna gain varied by 3.73[dB] as the curvature($1/R_{rad}$) increased by 0.04[mm⁻¹]. As it bended more the operating frequency(f_0) showed decreasing and then increasing tendency and the return loss(S_{11}) showed increasing tendency.

Key Words : embroidered, textile, dipole, wearable antenna, dipole array

*정회원, 가천대학교 전자공학과
접수일자 2022년 2월 17일, 수정완료 2022년 3월 17일
게재확정일자 2022년 4월 8일

Received: 17 February, 2022 / Revised: 17 March, 2022 /
Accepted: 8 April, 2022
*Corresponding Author: hcki@gachon.ac.kr
Dept. of Electronic Engineering, Gachon University, Korea

I. 서 론

사물인터넷(IoT) 시대의 도래와 더불어 인간의 몸체를 중심으로 한 근거리 무선통신의 필요성이 대두되었고 이에 따라 WBAN(Wireless Body Area Network)이 출현하게 되었다. 현재 WBAN기술은 가전을 비롯하여 스포츠, 바이오메디컬, 군사용 등의 다양한 응용 분야에서 광범위하게 활용되고 있으며 앞으로도 급격한 발전이 기대되는 유망 기술이다. 대부분의 경우 WBAN 센서 시스템은 움직이는 인간의 몸체에 부착되어 이동하면서도 통신이 용이해야 하므로 웨어러블(wearable) 기술이 필연적으로 요구된다. WBAN의 웨어러블 기술의 핵심은 웨어러블 안테나(wearable antenna) 기술이 된다^[1,2]. WBAN 센서 시스템은 응용 시나리오에 따라 몸체에 부착된 다양한 센서 노드들 간의 통신인 경우, 몸체에 부착된 주 센서 노드와 몸체 밖의 송수신기와의 통신인 경우, 몸체에 부착된 센서 노드와 몸체 안에 이식된 센서 노드와의 통신인 경우, 몸체 안에 이식된 센서 노드와 몸체 밖의 송수신기와의 통신인 경우로 분류되며 응용 형태에 따라 적합한 형태의 안테나를 선택하는 것이 매우 중요하다.

기존 안테나에 비해 웨어러블 안테나는 인간이 움직임을 편하고 용이하게 할 수 있도록 작고 가볍고 유연한 특성이 요구된다. 이러한 요구조건을 만족시킬 수 있는 안테나 재료로서 이상적인 후보가 직물(textile)이다. 직물 안테나는 매우 유연하고 의복에 집적하는 것이 용이하지만 극복해야 할 여러 문제점들도 안고있다. 첫째로 직물의 유전율은 습도, 온도, 압력 등의 주변환경에 따라 변화하므로 동작 주파수의 변동과 임피던스 변동에 따른 매칭 문제를 야기할 수 있다. 둘째로 직물을 기반으로 하는 시스템은 제작 시 오차범위가 기존의 PCB에 비해 매우 커지므로 특성의 불확실 범위가 상당히 커지게 되어 안테나 설계에 어려움을 준다. 셋째로 직물 기반의 웨어러블 안테나는 인간이 움직임에 따라 그 형태가 심하게 변형될 수 있다는 점이다. 이는 안테나의 모든 특성을 심하게 왜곡시킬 수 있으므로 특성 왜곡을 수용할 수 있는 설계와 아울러 안테나의 형태 변형을 최소화 할 수 있는 방법을 찾아야 한다. 넷째로 인체에 근접한 환경에서 사용되므로 인체부하효과(body loading effect)에 의해 동작주파수와 방사효율 등이 영향을 받을 수 있다^[3,4].

한편, 직물 안테나는 주로 자수기술(embroidery techniques)을 적용하여 구현되며 자수기술은 직물 안테나를 대량으로 빠르게 생산하기에 매우 적합한 기술이다.

본 연구에서는 자수된 직물 안테나의 생산성을 높이고

단가를 낮추기 위해 한 줄의 도체실로 다이폴 안테나를 구현하였다. 이와 같이 극단적으로 단순화된 안테나 구조로 자수의 생산성을 높여주고, 고가인 도체실의 사용을 최소화 함으로써 단가를 낮출 수 있도록 하였다. 안테나 구조를 극단적으로 단순화함에 따른 안테나 이득 저하는 어레이 구조로 해결하였다. 이와 같이 직물에 자수된 웨어러블 다이폴 어레이 안테나가 의복에 집적되었을 때에 인체의 움직임에 의해 안테나 형태에 심한 변형이 발생하게 되어 이에 따른 안테나의 특성 변화에 대해 연구한다.

II. 자수된 다이폴 어레이 안테나의 설계

그림1은 자수된 다이폴 어레이 안테나의 전체 구조를 설명하고 있다. 그림 1(a)는 평면도로서 한 줄의 도체실로 구현된 다이폴을 3개 어레이로 배치한 구조이다. 그림1(b)는 그림1(a)의 점선 동그라미 부분을 확대하여 보여준 입체도 이다. 각 층은 자수된 다이폴 어레이 안테나가 의복에 집적되고 그 옷을 사람이 착용한 상태를 모델화 한 것이다. 안테나의 기판 역할을 하는 것은 옷감이 되며 폴리에스터를 재질로 사용하였고 그 두께를 ' t_{sub} '란 변수로 나타냈으며 0.5mm로 설정하였다. 옷감 아래에는 사람의 신체가 존재하며 제일 아래 층에 'body'라고

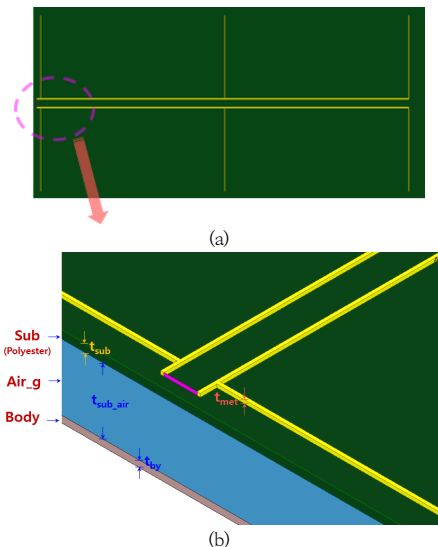


그림 1. 자수된 다이폴 어레이 안테나의 구조

(a) 평면도 (b) 확대된 입체도

Fig. 1. Structure of embroidered dipole array antenna

(a) Top view (b) Enlarged stereoscopic view

표시된 평판으로 신체의 표면을 전도도가 2[S/m]인 0.4mm 두께의 층으로 모델화 하였다. 또한, 옷감과 신체 사이에는 공기층이 존재하며 이 층을 'Air_g'이라고 표시하였다. 이 공기층의 두께는 4mm로 설정하였으며 직물(tsub)층과 신체표면(body)층 간의 간극이 된다. 몸체가 움직임에 따라 이 간극이 극심하게 변화하게 되며 이를 신체표면(body)층의 기울임으로 모델화 하였다. 직물(tsub)층 위의 안테나 방사체는 한 줄의 도체실로 구성되었으며 그 두께를 't_{met}'로 표시하였다. 도체실은 단면적이 0.2mm x 0.2mm인 구리(copper)로 대체하였다.

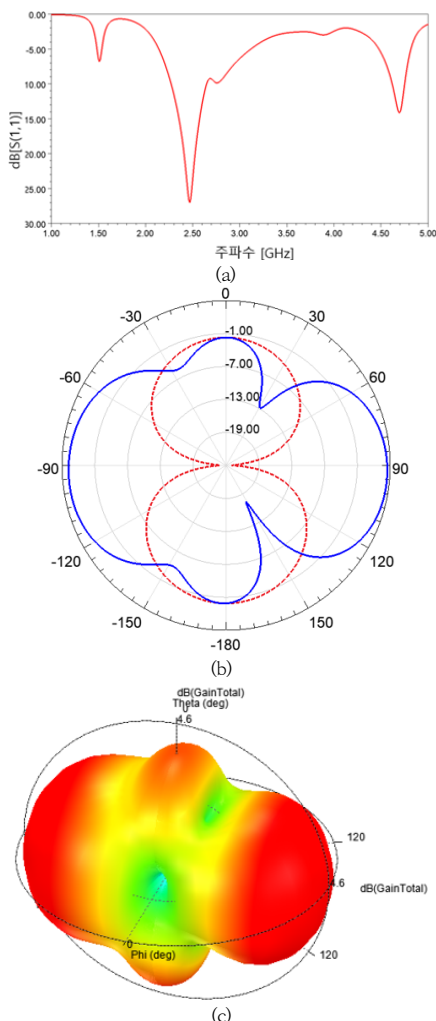


그림 2. 최적 설계된 자수된 다이폴 어레이 안테나의 특성
 (a) 안테나 반사손실(S11) (b) 안테나 방사 패턴
 (c) 3차원 방사 패턴
 Fig. 2. Optimally designed embroidered dipole array antenna
 (a) Antenna return loss(S11) (b) Antenna radiation pattern
 (c) 3D radiation pattern

자수된 다이폴 어레이 안테나는 2.45 GHz ISM 대역 (2.4-2.5 GHz)에서 작동하도록 설계되었다. 그림2(a)는 안테나 반사손실(S₁₁)을 보여준다. 2.47GHz의 동직주파수에서 -17[dB]의 반사손실을 보여준다. 동직주파수를 ISM 대역(2.4-2.5 GHz)의 중간 지점인 2.45 GHz로 설계하지 않고 2.47GHz로 설계한 것은 안테나의 기울임과 굽힘에 의해 전반적으로 동작 주파수가 감소하는 특성을 보이므로 0.2GHz 만큼 높게 설계하였다. 그림2(b)는 안테나의 방사패턴을 보여준다. 붉은 점선은 방위각이 0°일 때의 방사패턴으로 상하로 향하고 있으며 최대 안테나 이득은 -1.72 [dB]가 된다. 파란 실선은 방위각이 95°일 때의 방사패턴으로 좌우로 향하고 있으며 최대 안테나 이득은 4.60 [dB]가 된다. 좌우방향의 안테나 이득은 방위각이 90°일 때보다 방위각이 95°일 때에 최대치를 보여주었다. 그림2(c)는 안테나의 3차원 방사패턴을 보여준다. 그림2(b)에서 예측될 수 있듯이 주된 방사 방향이 좌우방향으로 향하고 있다. 이 방향은 안테나의 인입선(feeding line)측 방향이다. 다이폴 안테나의 전방향성(omnidirectional) 방사 패턴이 어레이를 형성함에 따라 지향성 방사패턴으로 변화했음을 보여준다. 이는 WBAN 센서 시스템의 응용 시나리오 중에 몸체에 부착된 다양한 센서 노드들 간의 통신인 경우에 적합한 방사 패턴이 된다. 한편, 안테나 이득 면에서 보면, 한 가닥의 도체실로 단순화한 다이폴 안테나이지만 3개를 어레이로 형성함으로써 단순화하지 않은 다이폴 안테나에 비해 2 배 정도의 큰 안테나 이득을 얻을 수 있음을 확인하였다 [5]. 단순화한 다이폴 어레이 안테나는 구조가 단순하여 제작 시간과 단가를 줄여줄 뿐만 아니라 그림1(a)에서 볼 수 있듯이 안테나를 의복에 집적해도 눈에 잘 띄지 않을 수 있는 장점이 있을 것으로 사료된다.

III. 안테나에 미치는 body층 기울임의 영향

그림3은 자수된 다이폴 어레이 안테나의 body층 기울임을 설명하고 있다. 그림3(a)는 인입선을 축(이후 Y축으로 표기함)으로 기울이는 경우를 보여준다. 그림3(b)는 인입선의 수직을 축(이후 X축으로 표기함)으로 기울이는 경우를 보여주고 있다. 이와 같은 두 가지 기울임을 분리하여 각 경우에 대한 안테나의 특성을 분석한다. 그림4는 body층을 기울임에 따른 안테나의 특성 변화를 보여준다. 'Gain'은 방위각이 95°일 때의 안테나 최대 이득이고 'Gain-c'는 방위각이 0°일 때의 안테나 이득이다.

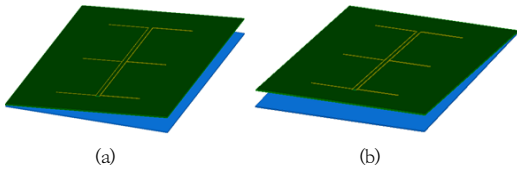


그림 3. 자수된 다이폴 어레이 안테나의 body층 기울임
 (a)Y축으로 기울이기 (b)X축으로 기울이기
 Fig. 3. Tilting of body layer of embroidered dipole array antenna
 (a)Tilting on the Y-axis (b)Tilting on the X-axis

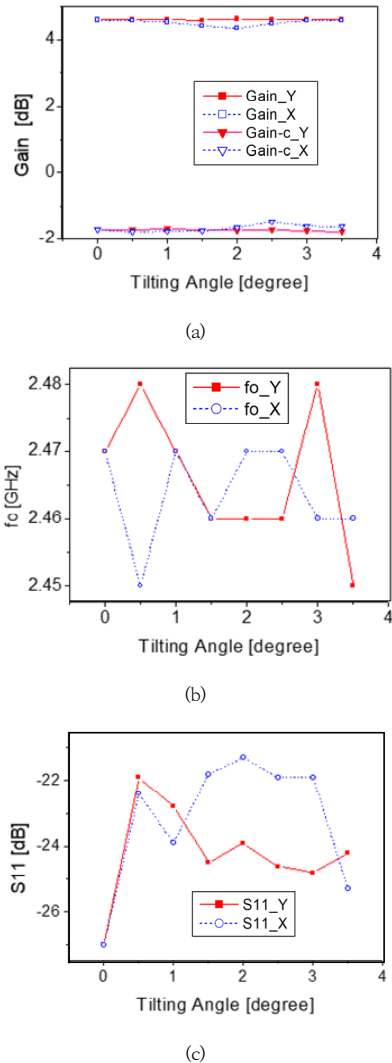


그림 4. 인입선을 축으로 기울임에 따른 안테나 특성
 (a)안테나 이득 특성 (b)동작주파수 특성 (c)반사계수 특성
 Fig. 4. Antenna characteristics depend on tilting on the axis of feeding line
 (a)Characteristics of antenna gain (b)Characteristics of operating frequency (c)Characteristics of return loss

또한, ‘_Y’는 Y축으로 기울임을, ‘_X’는 X축으로 기울임을 각각 표현한다. 안테나 이득의 경우 Y축으로 기울임에서는 0.03[dB] 이내의 극히 적은 변동을 보인데 반해 X축으로 기울임에서는 0.25[dB]의 상대적으로 큰 변동을 보였다. 동작주파수(f_0)의 경우 Y축과 X축 모두에서 기울임 각 증가에 따라 전체적으로 낮아지는 추세를 보이기는 하나 뚜렷한 경향을 보이지는 않았다. 반사손실(S_{11})의 경우 Y축과 X축 모두에서 기울임 각 증가에 따라 전체적으로 커지는 추세를 보여 body층의 기울어짐이 안테나 공진에 부정적인 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

IV. 안테나 굽힘의 영향

그림5는 자수된 다이폴 어레이 안테나의 굽힘에 대해 설명하고 있다. 그림5(a)는 Y축으로 실린더 모양의 가상의 물체가 있어 그 표면을 따라 휘어지는 경우를 보여주고 그림5(b)는 X축으로 실린더 모양의 가상의 물체가 있어 그 표면을 따라 휘어지는 경우를 설명한다. 이와 같은 두 가지 기울임을 분리하여 각 경우에 대한 안테나의 특성을 분석한다. 그림5는 자수된 다이폴 어레이 안테나의 굽힘에 따른 안테나 특성 변화를 보여준다. 곡률을 표현하기 위해 가상실린더 반경(R_{rad})의 역수를 사용하였다. 그림5(a)는 곡률에 따른 안테나 이득의 변화를 보여준다. Y축으로 굽힌 경우 곡률이 증가함에 따라 안테나 이득이 감소했다가 다시 증가하는 특성을 보이며 최대 0.5[dB]의 변화량을 보여준다. 반면에 X축으로 굽힌 경우 곡률이 증가함에 따라 안테나 이득이 증가했다가 다시 감소하는 특성을 보이며 최대 1.68[dB]의 상대적으로 큰 변화량을 보여준다. X축으로 굽힌 경우는 안테나의 인입선(feeding line)이 굽는 것으로 이 경우에 안테나 이득 특성이 곡률에 심하게 영향을 받는다는 것을 보여준다.

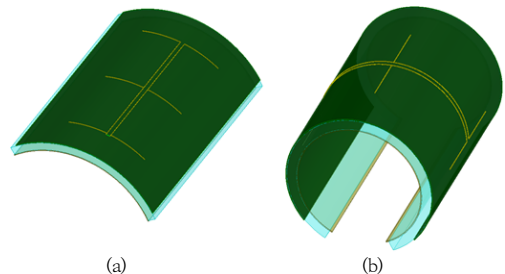
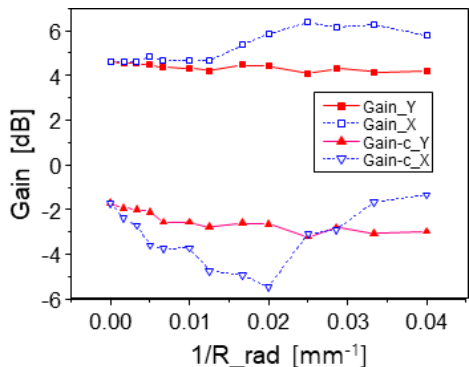
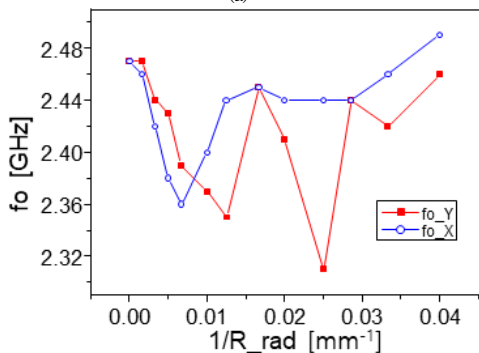


그림 5. 자수된 다이폴 어레이 안테나의 굽힘
 (a)Y축으로 굽히기 (b)X축으로 굽히기
 Fig. 5. Bending of embroidered dipole array antenna
 (a)Bending on the X-axis (b)Bending on the Y-axis

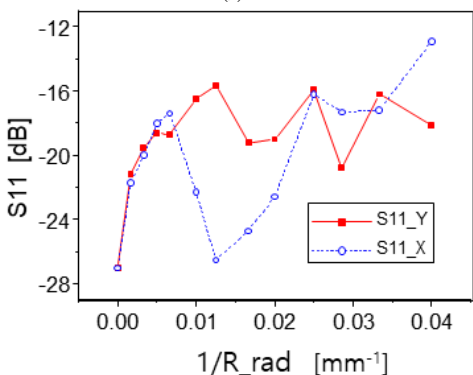
한편 사이드 로브(side lobe) 이득에 해당하는 Gain-c의 경우도 Y축으로 굽힌 경우 곡률 증가에 따라 이득이 감소했다가 다시 증가하는 특성을 보이며 최대 1.26[dB]의 변화량을 보여준다.



(a)



(b)



(c)

그림 6. 인입선을 축으로 굽힘에 따른 안테나 특성

(a)안테나 이득 특성 (b)동작주파수 특성 (c)반사손실 특성

Fig. 6. Antenna characteristics depend on bending on the axis of feeding line

(a)Characteristics of antenna gain (b)Characteristics of operating frequency (c)Characteristics of return loss

반면에 X축으로 굽힌 경우 곡률이 증가함에 따라 안테나 이득이 급격히 감소했다가 다시 증가하는 특성을 보이며 최대 3.73[dB]의 변화량을 나타냈다. 여기서 흥미로운 점은 곡률에 따라 안테나의 메인(main) 이득과 사이드 로브 이득과의 차이가 크게 변화하고 있으며 이득의 차이가 최대가 되는 곡률이 존재한다는 것이다. 특히 곡률에 따른 안테나 이득 변동이 심한 X축으로 곡률을 조정하여 효과적으로 원하는 이득차를 얻어낼 수 있을 것으로 보인다. 그림5(b)는 곡률에 따른 동작주파수(f_o)의 변화를 보여준다. 동작주파수는 곡률 증가에 따라 전반적으로 감소했다가 다시 증가하는 특성을 보이고 있다. 다만, X축으로 굽힌 경우에는 이 경향이 뚜렷하지만 Y축으로 굽힌 경우에는 그 경향성이 덜 명료하다. 그림5(c)는 곡률에 따른 반사손실(S_{11})의 변화를 보여준다. 전반적으로 곡률이 증가함에 따라 반사손실도 증가하는 경향을 보이고 있으며 X축과 Y축의 두 경우에서의 경향도 유사하다. 이는 안테나가 휘어짐에 따라 안테나의 공진특성이 저하되고 있음을 의미한다.

V. 결론

자수된 직물 안테나의 생산성을 높이고 단가를 낮추기 위해 한 줄의 도체실로 구현된 다이폴 어레이 안테나의 특성에 미치는 기울임과 굽힘의 영향에 대해 분석하였다. 기울임에 따른 안테나의 특성은 Y축으로 기울임보다는 X축으로 기울임에서 보다 큰 변화를 보였다. 안테나 이득은 3.5° 기울였을 때 0.25[dB] 만큼의 변화를 보였다. 기울임 각이 증가함에 따라 동작주파수(f_o)는 감소하는 경향을 보이고 반사손실(S_{11})은 증가하는 특성을 보였다.

굽힘에 따른 안테나의 특성도 Y축보다는 X축으로 굽힘에서 보다 큰 변화를 보였다. 안테나 이득은 곡률 ($1/R_{rad}$)을 0.04[mm⁻¹]로 증가시켰을 때 3.73[dB] 만큼의 변화를 보였다. 굽힘이 증가함에 따라 동작주파수 (f_o)는 감소했다 다시 증가하는 특성을 보이고 반사손실 (S_{11})은 계속 증가하는 경향을 보였다.

References

- [1] 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.

<https://doi.org/10.2528/PIERB20071803>

- [2] V.S. Ubale, and O.S. Lamba, "Flexible Wearable Antennas for Body Area Network", International Journal of Recent Technology and Engineering, VOL. 8 No. 6, pp.1561-1565, Jan. 2020.
<https://doi.org/10.35940/ijrte.C5858.018520>
- [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/IJIBC.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/IJIBC.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/IJIBC.2021.21.5.155>

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