

Band Stop Matching Circuit이 적용된 Inverted-F Antenna의 Bypass Capacitor를 이용한 안테나 효율 향상 기법

Design Technique Using Bypass Capacitor to Improve Antenna Efficiency of Inverted-F Antenna with Band Stop Matching Circuit

배장환 · 최우철 · 임선호 · 윤영중

Jang Hwan Bae · Woo Cheol Choi · Seonho Lim · Young Joong Yoon

요 약

본 논문에서는 bypass capacitor를 이용하여 Band Stop Matching Circuit(BSMC)을 적용한 Inverted-F Antenna(IFA)의 효율을 향상 기법을 제안한다. 본 논문에서 설계한 안테나의 동작주파수는 LTE band 26과 5(814~894 MHz) 대역이다. BSMC의 임피던스 변화를 이용하여 IFA의 대역폭을 -6 dB 기준 823~886 MHz에서 800~888 MHz로 확장하였다. 확장된 주파수 대역에서 안테나의 효율을 향상시키기 위해 BSMC가 적용된 IFA에 bypass capacitor를 적용하였다. Bypass capacitor는 BSMC가 적용된 IFA의 전류 변화량을 감소시켜 안테나의 효율을 향상시켜주는 역할을 한다. Bypass capacitor를 적용시켰을 때 대역폭은 804~895 MHz이며 확장된 주파수 대역에서 안테나 효율은 10 % 이상 증가하였다.

Abstract

In this paper, a design technique using a bypass capacitor is proposed to improve the antenna efficiency of an inverted-F antenna (IFA) with a band stop matching circuit (BSMC). The proposed antenna operates in the LTE bands 26 and 5(814~894 MHz). The bandwidth of the IFA is expanded from 803~863 MHz to 800~888 MHz using the impedance change caused by the BSMC. To enhance the antenna efficiency in the expanded frequency band, the bypass capacitor is applied to the IFA with the BSMC. The bypass capacitor improves the efficiency of the antenna by reducing the current variation of the IFA with the BSMC. The proposed antenna has a bandwidth of 804~895 MHz and the antenna efficiency increases by more than 10 % in the extended frequency band by using the bypass capacitor.

Key words: Band Stop Matching Circuit, Inverted-F Antenna, Bypass Capacitor, Antenna Efficiency

I. 서 론

모바일 통신 환경에서 양질의 서비스를 제공하기 위해 보다 넓은 대역폭과 더 높은 효율의 안테나가 필요하다. 그렇기 때문에 단말기 안테나의 대역폭 확장과 효율 향

상에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. 그 중에 다양한 형태의 Inverted-F Antenna(IFA)와 Band Stop Matching Circuit(BSMC)을 적용하여 대역폭을 확장한 모노폴 안테나가 모바일 안테나로 많이 사용되고 있다^{[1]~[4]}. 안테나의 효율 향상 기법으로는 안테나의 크기를 키우거나, 안테나

「이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (NRF-2016R1A2B4014224)」

연세대학교 전기전자공학과(Department of Electrical Electronic Engineering, Yonsei University)

· Manuscript received January 24, 2017 ; Revised April 4, 2017 ; Accepted December 7, 2018. (ID No. 20170124-04S)

· Corresponding Author: Young Joong Yoon (e-mail: yjyoon@yonsei.ac.kr)

에 다른 구조체를 삽입하는 기법이 많이 사용되고 있다 [5][6]. 하지만 협소한 모바일 기기 내에서 이러한 방법으로는 안테나의 효율을 향상시키기 어렵다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 BSMC를 적용한 IFA에 bypass capacitor를 적용시켜 확장된 대역폭에서 안테나 효율을 향상시켰다. 본 논문에서는 LTE 저주파 대역인 814~894 MHz에서 동작하도록 안테나를 설계하였다.

II. Band Stop Matching Circuit

본 논문에서 제안한 BSMC를 적용한 IFA는 그림 1과 같이 70×140 mm²(두께: 0.8 mm)의 크기에 4.3 유전율을 갖는 FR-4 기판에 설계되었고, 그림 1(b)와 같이 접지면의 일부를 정합회로를 위한 공간으로 구성하였다. 제안한 BSMC는 두 개의 인덕터와 하나의 캐패시터로 구성되어 있고, 동작 원리 및 설계 방식은 참고문헌 [7]의 band stop filter와 동일하다. BSMC는 공진 주파수 근처에서 임피던스가 급격히 바뀌는 band stop filter의 특성을 이용하여 기존 안테나의 공진 주파수 근처에서 임피던스를 급격히 변화시키고, 새로운 공진점을 만들어 대역폭을 확장시킨다[8].

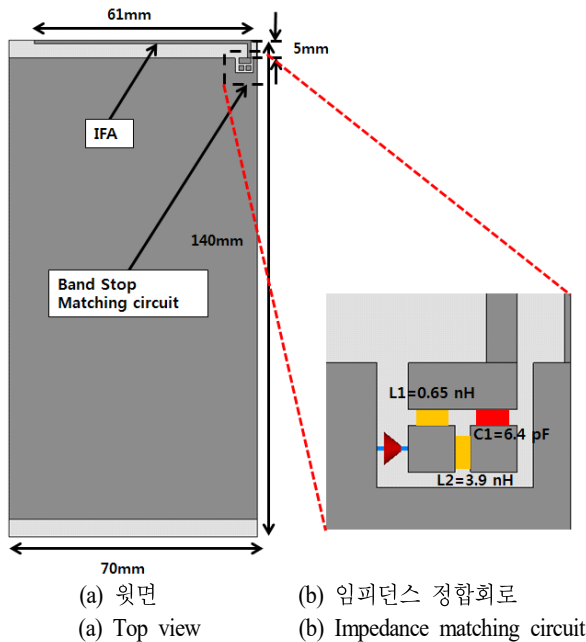


그림 1. BSMC를 적용한 IFA
Fig. 1. IFA with BSMC.

확장하고자 하는 주파수 대역이 기존 안테나의 공진 주파수보다 앞에 있을 경우, BSMC의 주파수 소거 대역을 확장하고자 하는 주파수 대역보다 조금 낮게 설계해야 한다. 그러면 확장하고자 하는 주파수 대역에서 임피던스가 급격히 변하면서 임피던스의 허수부가 0에 가까워지고, 새로운 공진점이 형성된다. 본 논문에서는 -6 dB 기준으로 823~886 MHz에서 동작하는 IFA의 대역폭을 800 MHz까지 확장시키기 위해 780 MHz에서 동작하는 BSMC를 설계하여 800~820 MHz 대역에서 새로운 공진점을 만들었다. 그림 2와 같이 780 MHz에서 대역 소거되는 BSMC를 설계하기 위해 파라미터 스터디를 진행하였으며, 집적 소자값을 C₁=6.4 pF, L₁=0.65 nH, L₂=3.9 nH로 설계하였고, 직접 소자가 상용 값이 아니기 때문에 제작된 정합회로는 두 개 이상의 소자를 사용하여 제작하였다. 설계한 BSMC를 IFA에 적용시키면 그림 3과 같이 임피던스가 변화하면서 임피던스의 허수부가 0에 가까워지고, 넓은 주파수 범위에서 우수한 반사계수 특성을 갖는다. 기존 IFA의 공진점 근처에 새로운 공진점이 그림 4와 같이 형성되어 대역폭이 확장된다. 측정 결과, BSMC를 IFA에 적용했을 때 -6 dB 기준으로 823~886 MHz에서 800~888 MHz로 대역폭이 확장되었다.

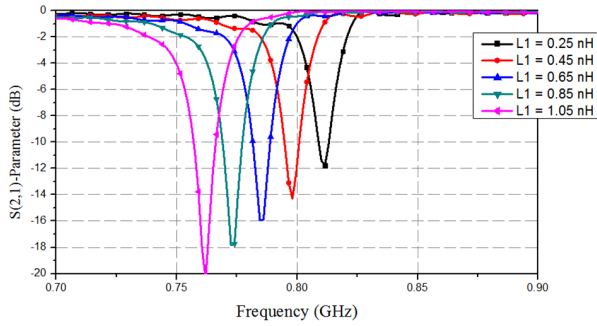
III. 안테나의 효율 증가 요인

본 논문에서는 대역폭 확장과 더불어 확장된 주파수 대역에서 안테나의 효율을 향상시킬 수 있는 방법을 수식적으로 분석하고 확인하였다. 식 (1)을 보면

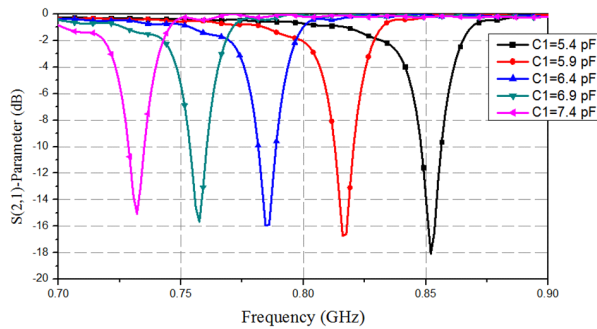
$$\begin{aligned} \vec{E}_A &= \frac{1}{j\omega\mu\epsilon} [k^2 \vec{A} + \nabla(\nabla \cdot \vec{A})] \\ &\approx \frac{1}{j\omega\mu\epsilon} k^2 \vec{A} = -j\omega \vec{A} \quad \text{in far-field region} \end{aligned} \quad (1)$$

$\nabla(\nabla \cdot \vec{A})$ 는 원거리 장으로 방사되지 못하는 비(非)방사 에너지라는 것을 알 수 있다. 비방사 에너지는 벡터 포텐셜의 변화량이 커질수록 커진다. 벡터 포텐셜의 변화량은 식 (2)를 보면 전류 분포의 변화량에 의해 결정되는 것을 알 수 있다.

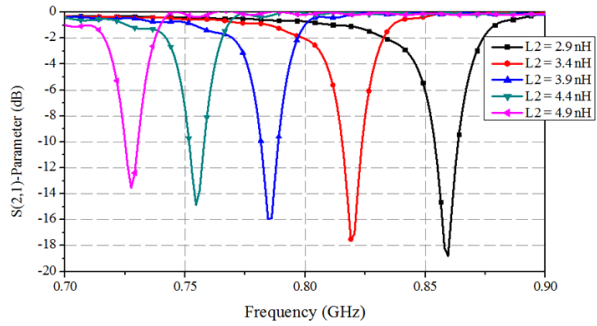
$$\vec{A} = \mu \iiint \vec{J} \frac{e^{-jkR}}{4\pi R} dv' \quad (2)$$



(a) L_1 값에 따른 변화
(a) Change according to L_1 value



(b) C_1 값에 따른 변화
(b) Change according to C_1 value



(c) L_2 값에 따른 변화
(c) Change according to L_2 value

그림 2. BSMC의 $S(2,1)$ parameter 시뮬레이션 결과
Fig. 2. $S(2,1)$ parameter of BSMC.

결과적으로 전류 분포의 변화량이 완만해지면 벡터 포텐셜의 변화량이 작아지고, 원거리 장으로 방사되는 에너지가 증가하여 안테나의 효율이 높아진다^{[9],[10]}. BSMC에 의해 정합된 주파수 대역에서는 전류가 BSMC를 통해 안테나로 급전될 때 전류의 변화량이 커진다^[8]. 본 논문에서

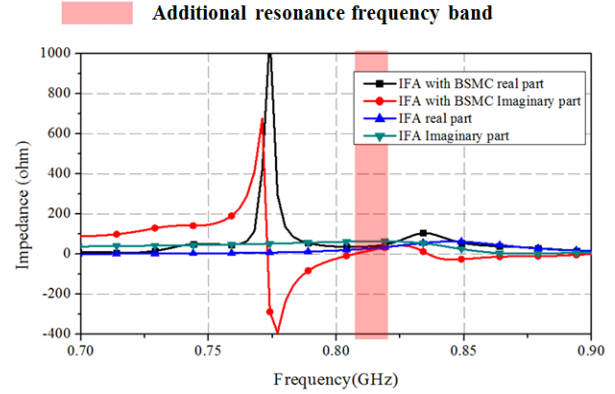


그림 3. IFA와 BSMC를 적용한 IFA의 임피던스 차트 시뮬레이션 결과

Fig. 3. Simulated result of impedance chart of proposed IFA with BSMC and without BSMC.

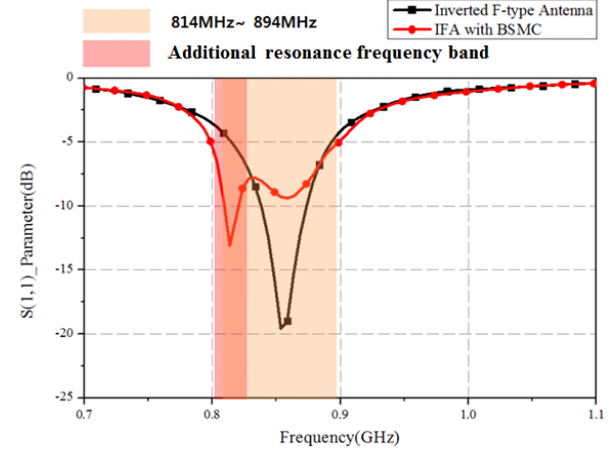


그림 4. IFA와 BSMC를 적용한 IFA의 반사계수 측정 결과
Fig. 4. $S(1,1)$ measurement results of IFA and IFA with BSMC.

서는 확장된 주파수 대역에서 전류의 변화량을 줄여주어 안테나 효율을 향상시키기 위해 bypass capacitor를 BSMC를 적용한 IFA에 도입하였다.

IV. Band Stop Matching Circuit과 Bypass Capacitor를 적용한 Inverted-F Antenna

BSMC와 IFA사이, 단락핀 근처에 그림 5와 같이 bypass capacitor를 위치시켰다. 그라운드와 안테나 사이에 위치

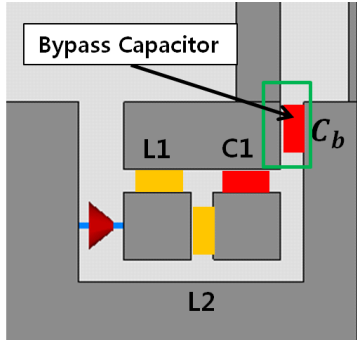


그림 5. Bypass capacitor를 적용한 임피던스 정합회로
Fig. 5. Impedance matching circuit with bypass capacitor.

된 bypass capacitor는 그림 6과 같이 그라운드, 단락핀, 안테나 그리고 bypass capacitor로 연결되는 폐곡선을 만들어준다. 이렇게 만들어진 폐곡선은 그라운드와 안테나의 커플링을 향상시켜주고, 안테나의 방사 효율을 향상시켜준다^[11]. Bypass capacitor는 폐곡선을 만들 뿐만 아니라, 단락핀의 인덕티브 성분을 상쇄시켜 주는 역할을 하여 공진주파수에서 커플링 특성과 임피던스 특성을 최적화시켜준다. Bypass capacitor가 적용된 그림 6을 보면 적용되지 않은 그림 7과는 달리 Bypass capacitor가 형성한 페루프에 의해 그라운드와 안테나의 커플링이 향상된 것을

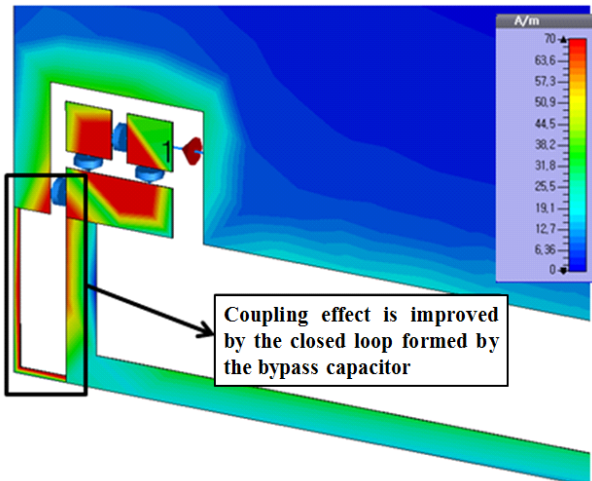


그림 6. BSMC와 bypass capacitor를 적용한 IFA의 815 MHz에서 전류분포
Fig. 6. Current flow of IFA with BSMC and bypass capacitor at 815 MHz.

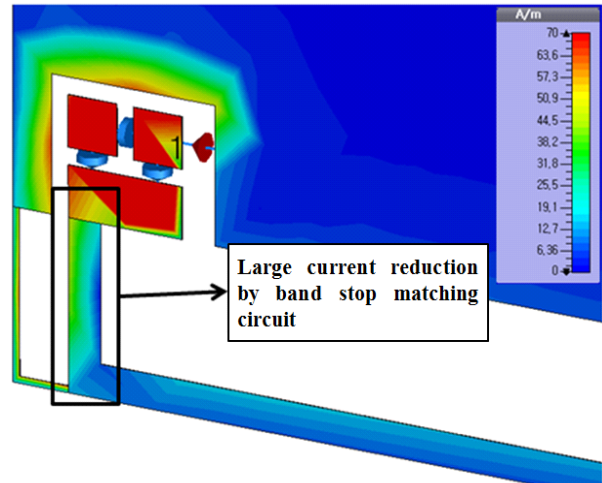


그림 7. 815 MHz에서 BSMC를 적용한 IFA의 전류분포
Fig. 7. Current flow of IFA with BSMC at 815 MHz.

수 있다. 페루프에 의해 향상된 커플링 효과는 그림 7에 나타난 BSMC에 의한 급격한 전류 분포 감소를 막아준다. 결과적으로 bypass capacitor를 적용했을 때 더 적은 전류 분포 변화량을 갖게 된다. 앞서 설명했듯이 전류 변화량의 감소는 벡터 포텐셜의 변화량을 감소시키고, 비방사 에너지를 감소시켜 안테나 효율을 높여준다. 안테나의 특성을 최적화 하기 위해 그림 8과 같이 파라미터 스터디를 진행하였으며, bypass capacitor의 값이 너무 크면 기존 안테나의 특성이 나빠져 안테나의 효율이 오히려 저하되는

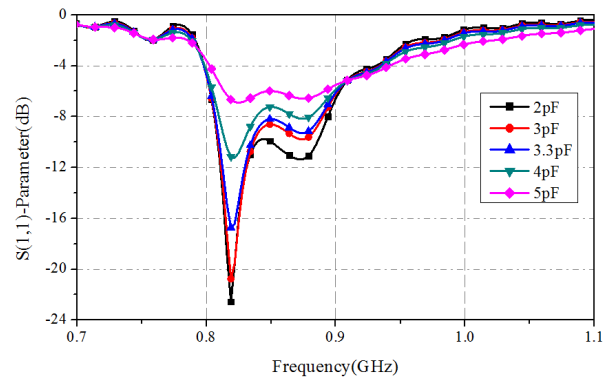


그림 8. Bypass capacitor 값에 따른 반사 계수 선도 시뮬레이션 결과
Fig. 8. Simulated S(1,1)-parameters according to bypass capacitor value.

것을 확인하였다. 본 논문에서는 안테나의 특성이 크게 저하되지 않는 값인 $C_b=3.3$ pF로 bypass capacitor를 설계하였으며 이러한 bypass capacitor의 효과를 확인하기 위해 그림 9와 같이 제작한 안테나를 측정하였다. 측정된 반사계수는 그림 10에 도시하였으며, bypass capacitor를 적용시켰을 때 -6 dB 기준 804~895 MHz의 대역폭을 갖는다. BSMC를 적용한 IFA와 BSMC와 bypass capacitor를 적용한 IFA가 거의 동일한 대역폭을 갖는 것을 알 수 있다. 그림 11의 안테나 효율 측정 결과를 보면 bypass capacitor를 적용했을 때 확장된 주파수 대역에서 안테나 효율이 10% 이상 증가하였다. 결과적으로 bypass capacitor를 적용하여 확장된 주파수 대역에서 기존의 BSMC를 적용한 안테나보다 더 높은 70% 이상의 안테나 효율을 얻

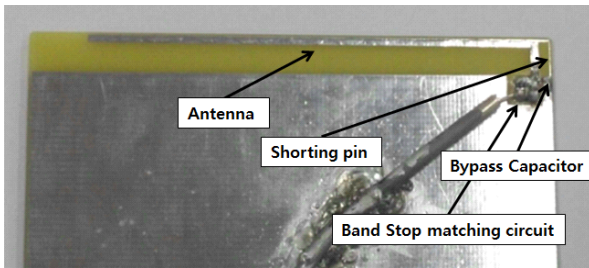


그림 9. 제작한 BSMC와 bypass capacitor를 적용한 IFA
Fig. 9. Fabricated IFA with BSMC and bypass capacitor.

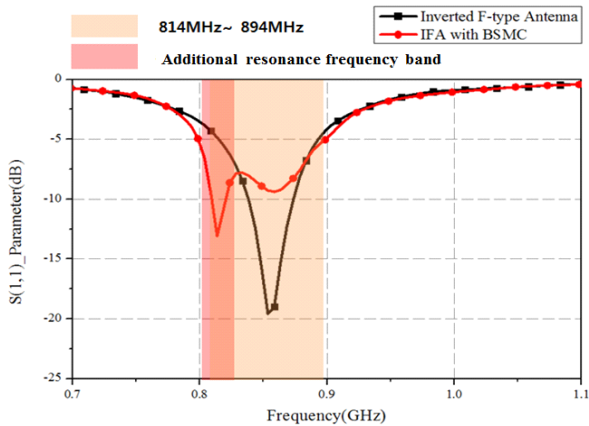


그림 10. IFA, BSMC를 적용한 IFA, BSMC와 bypass capacitor를 적용한 IFA의 반사계수 측정 결과
Fig. 10. S(1,1) measurement results of IFA and IFA with BSMC.

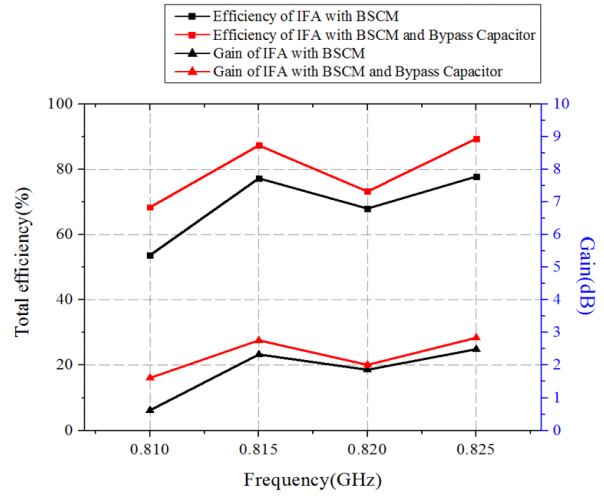


그림 11. 확장된 주파수 대역에서 BSMC를 적용한 IFA와 BSMC와 bypass capacitor를 적용한 IFA의 안테나 효율과 이득 측정 결과

Fig. 11. Antenna Efficiency and gain measurement results of IFA with BSMC and IFA with BSMC and bypass capacitor in the expanded frequency band.

을 수 있었다^{[3]~[5],[12]}. 특히, 815 MHz에서는 88%의 높은 안테나 효율을 얻었다. 그림 11과 그림 12를 보면 안테나 효율이 향상되었기 때문에 측정된 안테나의 이득 역시 0.3~0.4 dB 정도 향상된 것을 알 수 있다. 안테나 패턴은 모바일 안테나에 적합한 전방향성의 패턴을 갖는다. 안테나의 이득 및 효율 측정 결과는 한국전파진흥협회 전자과학기술원의 휴대폰 챔버에서 3-차원 패턴 측정을 통해 얻었다.

V. 결 론

본 논문에서는 bypass capacitor를 이용하여 BSMC가 적용된 IFA의 안테나 효율을 향상시키는 설계 기법을 제안한다. 본 논문에서 설계한 안테나의 동작 주파수는 LTE 저주파 대역 (814~894 MHz)이다. IFA에 BSMC와 bypass capacitor를 적용시켰을 때 -6 dB 기준 804~895 MHz의 대역폭을 가지며 이 대역폭은 BSMC를 적용한 IFA와 거의 동일하다. 하지만 안테나 효율은 bypass capacitor의 효과로 확장된 주파수 대역에서 10% 이상 향상되었다. 안테나의 이득 역시 안테나의 효율 향상으로 0.3~0.4 dB

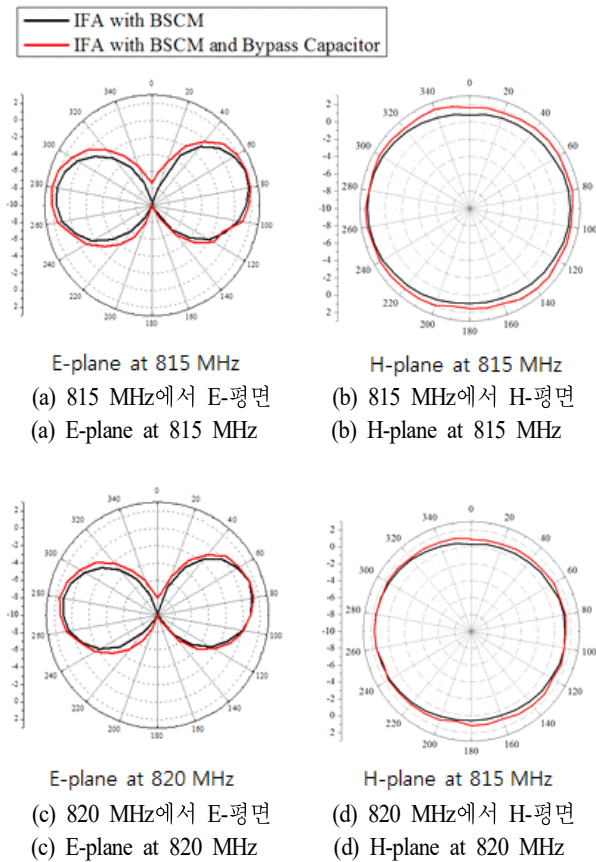


그림 12. BSMC를 적용한 IFA와 BSMC와 bypass capacitor를 적용한 IFA의 원거리장 패턴 측정 결과
 Fig. 12. Measured far-field pattern of IFA with BSMC and IFA with BSMC and bypass capacitor.

정도 향상되었다. 결과적으로 확장된 주파수 대역에서 70% 이상의 안테나 효율을 얻을 수 있었다. 본 논문에서는 bypass capacitor의 효과를 실험적으로 확인하였으며, 이를 이용하면 BSMC를 적용한 여러 형태의 안테나의 효율을 향상시킬 수 있음이 기대된다.

References

[1] B. T. Jiang, J. F. Mao, "Design of an PIFA-IFA-monopole in dual-SIM mobile phone for GSM/DCS/Bluetooth operations," in *2008 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology*, Nanjing, Apr. 2008, pp. 1050-1053.

[2] Y. Sung, "Simple inverted-F antenna based on independent control of resonant frequency for LTE/wireless wide area network applications," *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 9, no. 6, pp. 553-560, Apr. 2015.

[3] D. Lee, Chi, W. C. Choi, J. Ahn, and Y. J. Yoon, "A simple monopole antenna for Hepta-band LTE/WWAN metal-framed mobile phone," in *2015 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)*, Hobart, TAS, Nov. 2015, pp. 1-3.

[4] P. W. Lin, K. L. Wong, "Simple monopole slot antenna for WWAN/LTE handset application," in *Asia-Pacific Asia-Pacific Microwave Conference 2011*, Melbourne, VIC, Dec. 2011, pp. 829-832.

[5] S. Mufti, A. Tennant, and L. Seed, "3D printed electrically small planar inverted-F antenna: Efficiency improvement through voluminous expansion," in *2016 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI)*, Fajardo, Jul. 2016, pp. 811-812.

[6] S. Zhu, S. Almari, A. O. AlAmoudi, and R. J. Langley, "Implanted antenna efficiency improvement," in *2013 7th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, Apr. 2013, pp. 3247-3248.

[7] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 4th ed. Hoboken, John Wiley & Sons, pp. 411-415, 1990.

[8] Y. W. Chi, K. L. Wong, "Very-small-size folded loop antenna with a band-stop matching circuit for WWAN operation in the mobile phone," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 51, no. 3, pp. 808-814, Mar. 2009.

[9] K. Yamada, T. Ohira, "Graphical representation of the power transfer efficiency of lumped-element circuits based on hyperbolic geometry," *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, vol. 64, no. 5, pp. 485-489, May 2017.

[10] T. Yang, W. A. Davis, W. L. Stutzman, and M. C. Huynh, "Cellular-phone and hearing-aid interaction: An antenna solution," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 50, no. 3, pp. 51-65, Jun. 2008.

[11] S. Yoo, L. Qu, J. Kim, and H. Kim, "Mobile antenna performance improvement by ground mode tuning using a closed loop," *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 11, no. 8, pp. 1121-1126, Feb. 2017.

[12] Y. L. Ban, Z. X. Chen, Z. Chen, K. Kang, and J. L.

Li "Decoupled Hepta-band antenna array for WWAN/LTE smartphone applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 13, pp. 999-1002, May 2014.

배 장 환 [연세대학교/석·박사 통합 과정]



2016년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학사)
2016년 9월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 석·박사 통합 과정
[주 관심분야] 안테나 및 마이크로웨이브

임 선 호 [연세대학교/석·박사 통합 과정]



2014년 2월: 동국대학교 반도체과학과 (이학사)
2014년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 석·박사 통합 과정
[주 관심분야] Small Antenna, Medical 및 Hyperthermia Applications

최 우 철 [LG 전자/선임연구원]



2011년 8월: 동국대학교 전기전자공학과 (공학사)
2011년 9월~2018년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 석·박사 통합 과정
2018년 3월~현재: LG 전자 MC 사업부 선임연구원
[주 관심분야] Small Antenna, Medical 및

Hyperthermia Applications

윤 영 중 [연세대학교/교수]



1981년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학사)
1986년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)
1991년 2월: Georgia Institute of Technology (공학박사)
1992년~1993년: 한국전자통신연구원 위

성통신기술연구원

1993년~현재: 연세대학교 전기전자공학과 교수
2011년: 한국전자과학회 학회장
[주 관심분야] 안테나 및 전파전파