

고조파 억제를 위한 IoT 센서용 소형 마이크로스트립 패치 안테나

이현승, 임정택, 정방철, 김철영*
충남대학교 전자공학과

Harmonic Suppression Compact Microstrip Patch Antenna for IoT Sensor

Hyun-Seung Lee, Jeong-Taek Lim, Bang-Chul Jung, Choul-Young Kim*

Dept. of Electronics Engineering, Chungnam National University

요약 본 논문에서는 요즘 많은 관심이 대두되고 있는 무선전력전송에 사용하는 렉테나를 소형화시키기 위해 대역저지필터(BSF)를 포함시켜 고조파를 억제시킨 IoT 센서용 소형 마이크로스트립 패치 안테나를 제안한다. 재 방사 될 수 있는 고조파 성분을 억압하기 위하여 대역저지필터 역할을 하는 U-slot을 안테나의 그라운드 면에 삽입시킴으로써 안테나의 크기를 그대로 유지하면서도 고조파를 제거할 수 있는 마이크로스트립 패치 안테나를 제안하였다. 제안한 안테나를 제작하여 측정해본 결과 BSF를 포함하지 않은 기준 안테나의 제 2고조파(4.6GHz)의 S11이 -5.61dB이었고, BSF를 포함한 안테나의 S11은 -0.338dB로 줄어들었으며, 방사효율도 29.76%에서 1.5%로 확연히 억제되었다. 또한 최대이득은 BSF를 포함하지 않은 안테나의 경우 2.89dBi에서 BSF를 포함한 안테나의 경우 -12dBi로 줄어드는 것을 확인하였다. 반면 기본주파수(2.45GHz)에서는 S11값이 -18dB에서 -15dB로 줄어들었고, 효율도 68.2%에서 60%로 약간 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 본 논문에서 제안한 대역저지 필터를 결합한 마이크로스트립 안테나를 렉테나에 응용할 경우, 고조파 차단 필터가 차지하는 많은 면적을 줄이면서도, 렉테나의 성능을 저하시키는 고조파 성분도 효과적으로 제거할 수 있을 것이라 사료된다.

Abstract This paper proposes an antenna incorporating a bandstop filter to miniaturize the rectenna used for wireless power transmission with the emerging interest these days. To suppress the harmonics that can be re-radiated, this paper proposes a microstrip patch antenna that can suppress the harmonics while maintaining the size of the antenna by inserting a U-slot, which acts as a bandstop filter, on the ground plane of the antenna. As a result, S11 of the second harmonic(4.6GHz) was reduced from -5.61dB to -0.338dB and the efficiency was suppressed significantly from 29.76% to 1.5%. In addition, the maximum gain was reduced to -12dBi from 2.89dBi. On the other hand, at the fundamental frequency (2.45GHz), the S11 value was reduced from -18 dB to -15 dB, and the efficiency was reduced slightly from 68.2% to 60%. In the case of applying a microstrip antenna combined with the proposed bandstop filter to a rectenna, it is believed that the harmonics that degrade the performance of the rectenna can be removed effectively while reducing the large area occupied by harmonic suppression.

Keywords : Bandstop filter(BSF), Wireless Power Transmission, Microstrip antenna(MSA), IoT sensor, Harmonic

1. 서론

무선 전력전송 기술 중 하나인 렉테나(Rectenna)는 정류회로(Rectifier)와 안테나(Antenna)의 합성어로서,

RF 신호를 받아들이는 안테나와 정류 다이오드, 다이오드, 부하 저항 등으로 구성되며, 안테나에 입사된 RF 전력을 정류회로를 통해 DC 전력으로 변환해주는 소자를 말한다[1,2]. 렉테나는 RF-to-DC 변환효율(Conversion

이 논문은 2016년도 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. NRF-2016R1A2B4 014834).

*Corresponding Author : Choul-Young Kim(Chungnam National University)

Tel: +82-42-821-5663 email: cykim@cnu.ac.kr

Received February 17, 2017

Revised (1st April 14, 2017, 2nd May 31, 2017)

Accepted June 9, 2017

Published June 30, 2017

efficiency)이 중요한 파라미터가 이를 늘리기 위한 방안이 지속적으로 연구되고 있다. 렉테나의 변환효율을 개선하기 위해서는 RF 전력을 DC 전력으로 변환할 때 다이오드의 비선형성에 의해 생성될 수 있는 고조파 성분이 다시 안테나를 통해 재 방사되는 것을 차단할 필요가 있다. 따라서, 렉테나를 구성하는 안테나와 다이오드 사이에 고조파 차단 필터를 삽입한다[3-9]. 하지만, 고조파 차단 필터를 안테나와 다이오드의 사이에 삽입함으로써 안테나의 크기가 커진다는 단점이 존재했다. 본 논문은 상술한 문제점을 해결하기 위해, 고조파 차단 필터를 삽입하면서도 안테나의 크기가 커지지 않도록 하여 종래에 비해 안테나를 소형화시키는 기술을 제공하는데 그 목적이 있다. 상술한 목적을 달성하기 위하여 마이크로 스트립 패치 안테나의 그라운드 부분에 U-Slot를 포함시켜 고조파 제거가 가능한 마이크로스트립 안테나를 Fig. 1과 같이 제안한다.

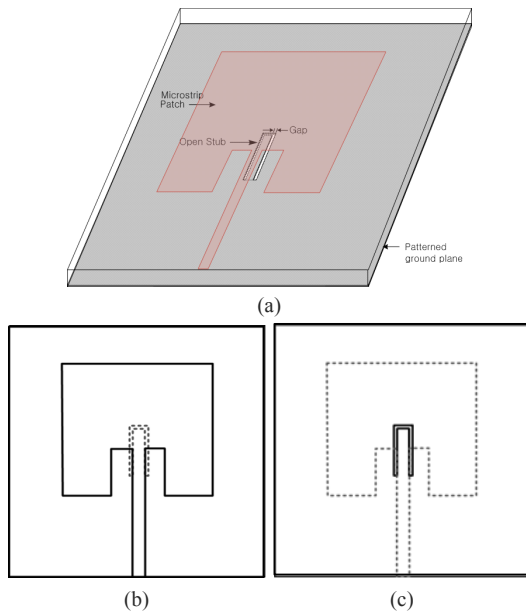


Fig. 1. Proposed microstrip antenna with the BSF (a) Geometry of the antenna (b) Top view (c) Bottom view

2. 설계 및 제작

2.1 설계

본 논문에서는 안테나의 크기를 확장시키지 않으면서도 안테나를 통해 재 방사되는 고조파 성분을 저지시키

기 위해 안테나의 기판(ground plane)에 U-Slot를 결합시켜 BSF를 포함한 마이크로 스트립 안테나를 Fig. 2와 같이 설계하였다. 안테나의 급전선 밑 기판에 폭이 1.68mm, 길이는 10mm의 오픈 스텐브와 같은 모양의 U-slot을 삽입하였다. Fig. 3은 BSF가 없는 기준 마이크로 스트립 안테나와 본 논문에서 제안한 BSF를 포함한 마이크로 스트립 안테나의 S_{11} 을 EM 시뮬레이션 하여 비교한 것이다. 시뮬레이션 결과는 Fig. 3과 같이 기준 마이크로스트립 안테나는 4.6GHz에서 2차 고조파가 나타났고, 본 논문에서 제안한 BSF를 포함한 마이크로 스트립 패치 안테나의 제 2고조파는 억제됨을 알 수 있다.

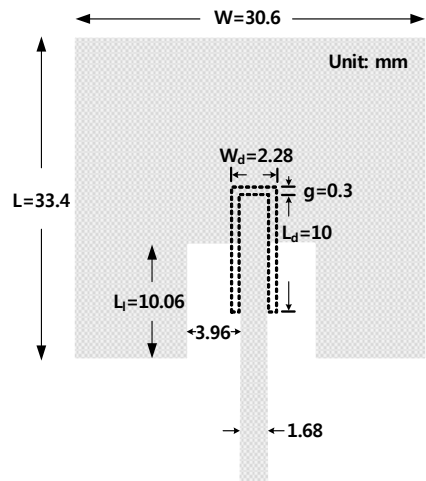


Fig. 2. Geometry of the MSA with the BSF

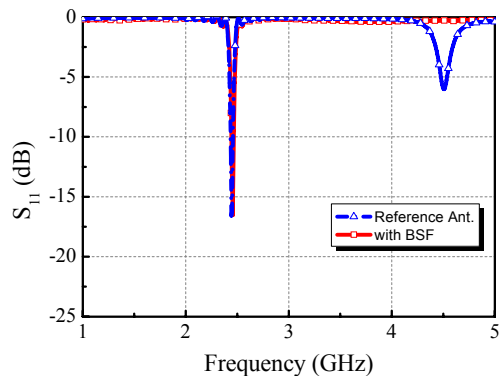


Fig. 3. Comparison S_{11} s of MSA with BSF and reference MSA(simulation)

Fig. 4 (a)는 제안된 안테나에 삽입된 U_slot BSF 부분을 나타낸 그림이다. 이것을 등가 회로로 나타내면

Fig. 4 (b)와 같이 되며, C , L , R 값들은 식 (1) ~ 식 (3) 으로부터 구할 수 있다[10].

$$C = \frac{w_c}{2Z_0(w_0^2 - w_c^2)} \quad (1)$$

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 C} \quad (2)$$

$$R = \frac{2Z_0}{\sqrt{\frac{1}{|s_{11}(w_0)|^2} - (2Z_0(w_0 C - \frac{1}{w_0 L}))^2 - 1}} \quad (3)$$

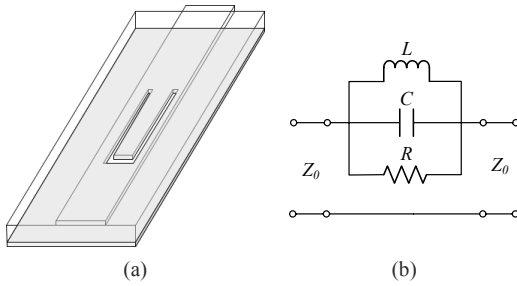


Fig. 4. U-slot of the BSF (a) Geometry of the U-slot BSF (b) Equivalent circuit of the U-slot BSF

2.2 제작 및 측정

시물레이션을 통하여 설계한 마이크로스트립 패치 안테나를 유전율 3.5, 높이 30 mil(0.76 mm)인 테프론 RF-35 기판을 이용하여 제작 하였다. 제작된 안테나의 S_{11} 과 방사패턴은 Agilent사의 8719ES 벡터 회로망 분석기로 측정하였다.

Fig. 5는 제작된 BSF를 포함한 마이크로스트립 패치 안테나를 보여 준다. Fig. 5(b)는 패치 안테나의 뒷면에 U-slot을 삽입한 것을 보여주고 있다. Fig. 6은 기준 안테나와 BSF를 포함한 제작된 안테나의 S_{11} 을 비교한 것을 보여준다. 시물레이션 결과와 마찬가지로 2차 고조파가 억제됨을 확인할 수 있다. 비교 결과 값을 Table 1에 나타내었다. 4.6GHz에서의 제 2고조파가 BSF에 의해 S_{11} 이 -5.61dB에서 -0.338dB로 줄어들었음을 확인할 수 있다. Fig. 7과 Fig. 8은 제작된 BSF를 포함한 마이크로스트립 패치 안테나의 방사패턴을 기본주파수(2.45GHz)와 제 2고조파(4.6GHz)에서 각각 측정한 값을 2차원 및 3차원 그래프로 보여주고 있다. 4.6GHz의 제 2고조파에서 방사 패턴이 확연히 줄어들었음을 확인할 수 있다. 자세한 값은 Table 1에 나타내었다.

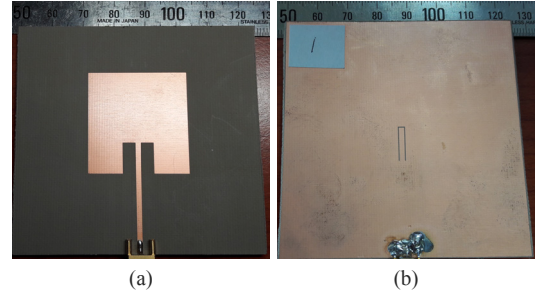


Fig. 5. A Photograph of the fabricated MSA (a) Top view (b) Bottom view

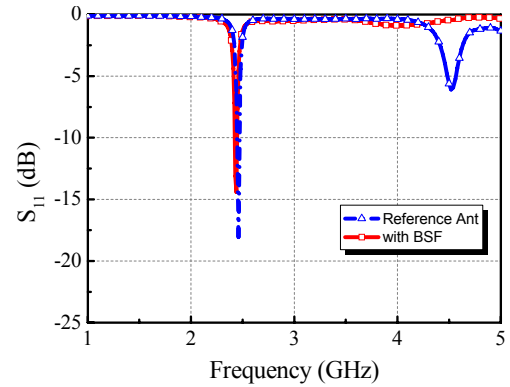
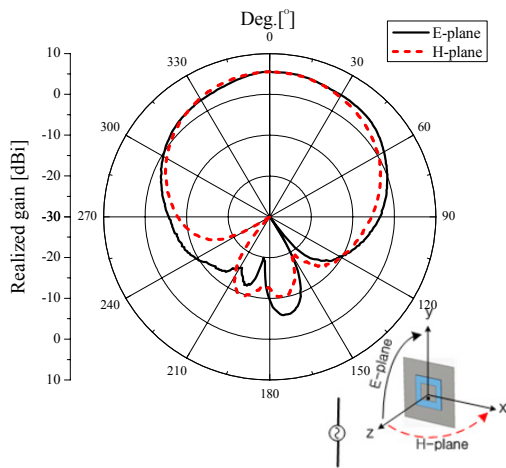


Fig. 6. Comparison S_{11} s of fabricated MSA with BSF and reference MSA

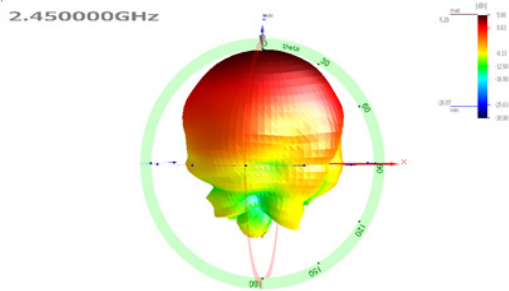
제 2고조파인 4.6GHz에서 BSF를 포함하지 않았을 때 최대이득은 2.89dBi였고, BSF를 포함시킨 안테나는 -12dBi로 줄어들었고, 안테나 방사효율도 29.76%에서 1.5%로 거의 억제됨을 확인할 수 있다. 기본주파수인 2.45GHz에서 시물레이션과는 달리 실측 S_{11} 값이 -18dB에서 -15dB로 줄어들었고, 효율도 68.2%에서 60%로 약간 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 그 이유는 U-slot이 삽입됨으로 그라운드 쪽으로 약간의 후방방사가 발생하면서 손실이 되었을 것이라고 사료 된다.

Table 1. Measured results of the reference antenna and MSA with BSF

Antennas		Fundamental (2.45GHz)	Second harmonic (4.6GHz)
Reference	S_{11} (dB)	-18	-5.61
	Maximum gain(dBi)	5.64	2.89
	Efficiency (%)	68.2	29.76
with BSF	S_{11} (dB)	-15	-0.338
	Maximum gain(dBi)	5.6	-12
	Efficiency (%)	60	1.5

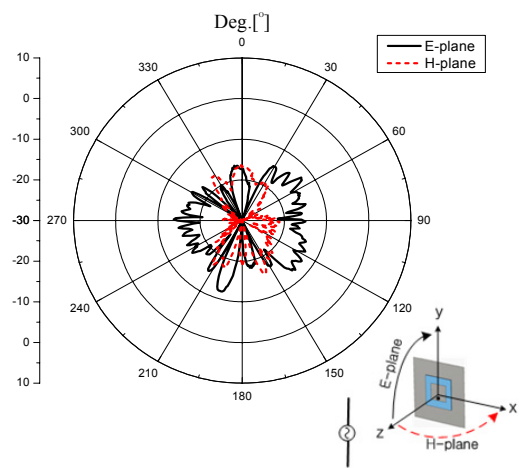


(a)

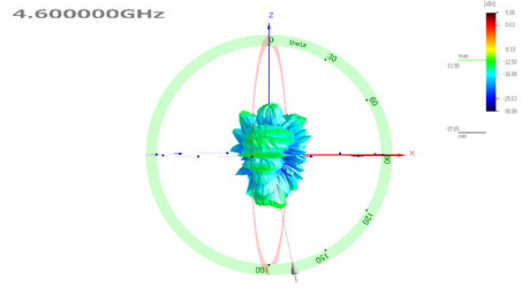


(b)

Fig. 7. Radiation pattern of the MSA with BSF at the 2.45GHz of the harmonic (a) 2D radiation pattern (b) 3D radiation pattern



(a)



(b)

Fig. 8. Radiation pattern of the MSA with BSF at the 4.6GHz of the harmonic (a) 2D radiation pattern (b) 3D radiation pattern

3. 결론

본 논문에서는 안테나에서 재 방사 될 수 있는 고조파 성분을 억압하기 위하여 BSF를 마이크로스트립 패치 안테나에 삽입하되, 안테나의 그라운드 면에 U-slot을 삽입시킴으로 안테나의 크기를 그대로 유지하면서도 고조파를 제거할 수 있는 마이크로스트립 패치 안테나를 제안하였다. 제작, 측정해본 결과 제 2고조파(4.6GHz)의 S_{11} 이 -5.61dB 에서 -0.338dB 로 줄어들었고 이득은 2.89dBi 에서 -12dBi 로 감소했으며, 안테나 방사효율도 29.76% 에서 1.5% 로 확연히 억제됨을 확인할 수 있었다. 본 논문에서 제안한 대역저지 필터를 결합한 마이크로스트립 안테나를 렉테나에 응용할 경우, 고조파 차단 필터가 차지하는 많은 영역을 줄이면서도, 렉테나의 성능을 저하시키는 고조파 성분도 효과적으로 제거할 수 있을 것이라 사료된다.

References

- [1] J. C. Lin, "Space solar-power stations, wireless power transmissions, and biological implications," IEEE Microwave Magazine, pp. 36-2, Mar. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1109/6668.990673>
- [2] T. W. Yoo and K. Chang, "Theoretical and experimental development of 10 and 35 GHz rectennas," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 40, no. 6, pp. 1259-1266, June 1992. DOI: <https://doi.org/10.1109/22.141359>
- [3] C. Brown and J.F. Triner, "Experimental thin-film, etched-circuit rectenna," IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., pp.185-187, Jun. 1982. DOI: <https://doi.org/10.1109/MWSYM.1982.1130655>
- [4] T. W. Yoo and K. Chang, "Theoretical and experimental development of 10 and 35GHz rectennas," IEEE Trans. Micro. Theory Tech., vol.40, pp.1259-1266, Jun. 1992. DOI: <https://doi.org/10.1109/22.141359>
- [5] P. Koert, J. Cha, and M. Macina, "35 and 94 GHz rectifying antenna systems," SPS' 91-Power from Space Dig., pp.541-547, Aug. 1991.

- [6] J. O. Mc Spadden, L. Fan, and K. Chang, "Design and experiments of a high-conversion-efficiency 5.8 GHz rectenna," IEEE Trans. Micro. Theory Tech., vol. 46, no. 12, pp. 2053-2060, Dec. 1998.
DOI: <https://doi.org/10.1109/22.739282>
- [7] T. W. Yoo and K. Chang, "Theoretical and experimental development of 10 and 35GHz rectennas," IEEE Trans. Micro. Theory Tech., vol. 40, pp. 1259-1266, Jun. 1992.
DOI: <https://doi.org/10.1109/22.141359>
- [8] J. O. Mc Spadden and K. Chang, "A dual polarized circular patch rectifying antenna at 2.45 GHz for microwave power conversion and detection," IEEE MTT-SInt. Micro. Symp. Dig., pp. 1749-1752, 1994.
DOI: <https://doi.org/10.1109/MWSYM.1994.335103>
- [9] C. K. Ghosh, "Harmonics suppression of microstrip antenna using open ended stubs," Microwave and optical technology letters, vol. 58, no. 6, pp. 1340-1345, June 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1002/mop.29809>
- [10] D. J. Woo, J. W. Lee, C. S. Pyo, W. K. Choi, "Novel U-Slot and V-Slot DGSSs for Bandstop Filter With Improved Q Factor," IEEE Trans. Micro. Theory Tech., vol. 54, no. 6, pp. 2840-2847, Jun. 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TMTT.2006.875450>

이 현 승(Hyun-Seung Lee)

[정회원]



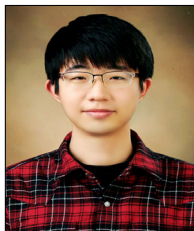
- 2000년 2월 : 원광대학교 원광대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2014년 2월 : 충남대학교 충남대학원 전자공학과 (공학박사)
- 2014년 3월 ~ 2017년 2월 : 충남대학교(박사 후 과정)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 시간강사

<관심분야>

안테나, 필터, 레이더, 추적 알고리즘

임 정 택(Jeong-Taek Lim)

[준회원]



- 2016년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 충남대학원 전자공학과 (공학석사 과정)

<관심분야>

mm-wave 집적회로 및 시스템

정 방 철(Bang Chul Jung)

[정회원]



- 2004년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
- 2008년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
- 2010년 3월 ~ 2015년 8월 : 경상대학교 정보통신공학과 교수
- 2015년 9월 ~ 현재 : 충남대학교 정보통신공학과 교수

<관심분야>

차세대 이동통신, 통계적 신호처리, 다중안테나 시스템

김 철 영(Choul-Young Kim)

[정회원]



- 2004년 2월 : 한국 과학기술원 전자공학과 (공학석사)
- 2008년 2월 : 한국 과학기술원 전자공학과 (공학박사)
- 2009년 3월 ~ 2011년 2월 : 미국 캘리포니아 샌디에고(UCLA) 전자 및 컴퓨터공학과 (박사 후 과정)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

근거리 레이더 및 위상배열 안테나 응용을 위한 MMIC 및 시스템