

무선전력전송용 RF 안테나 실이득 향상을 위한 EBG 적용 공극 유효 유전율 특성 분석

심원보¹, 김의연¹, 김건우², 김문영², 이은수¹

한양대학교 ERICA 전자공학부¹, 삼성전자 영상디스플레이사업부²

Analysis of Effective Permittivity for Wireless Power RF

Patch Antenna with air-gap and EBG

Wonbo Sim¹, Uiyeon Kim¹, Keonwoo Kim², Moonyoung Kim², and Eunsoo Lee¹

Hanyang University ERICA, Electrical Engineering¹, Samsung Electronics Visual Display Business²

ABSTRACT

본 논문에서는 무선전력전송용 안테나의 실이득(Realized Gain)을 향상시키기 위해 공극(Airgap) 및 mushroom 형태 EBG(Electromagnetic BandGap)가 적용된 마이크로스트립 패치 안테나 구조를 제시하였다. EBG가 적용된 패치 안테나에 공극을 삽입함으로써 유전체와 도체의 경계면에서 발생하는 표면파(Surface Wave)를 효과적으로 억제하고 유전 손실을 감소시켜 안테나의 실이득을 향상시킬 수 있다. 본 논문에서는 해당 공극 변화에 따른 안테나 실이득과 방사특성을 분석하고, 안테나의 정확한 설계에 필수적인 유효 유전율의 경향성을 제시하였다. EBG가 적용된 5.8GHz 구동용 단일 패치 안테나 시뮬레이션 결과, 제안하는 EBG의 최적 배치 및 1.3mm 공극 적용을 통해 기존 안테나 실이득 6.0 dBi 대비 9.9 dBi로 향상된 것을 확인할 수 있으며, 공극 변화에 따른 유효 유전율의 경향성을 본 논문에서 제시하였다.

1. 서론

마이크로스트립 패치 안테나는 높이가 낮고(low-profile), 무게가 가볍고, 면 구조를 가지며, 저렴하게 제작할 수 있기 때문에 널리 사용되고 있으나 대역폭이 좁고 효율이 낮다는 단점을 가진다. 대역폭을 쉽게 확장시키는 방법은 기판(Substrate)의 두께를 증가시키는 것이다. 그러나 기판의 두께가 증가하게 되면 표면파 발생이 증가하게 되어 안테나의 효율이 저하되는 단점이 있고, 패치에서 방사되는 전자파와 기판 경계에서 회절되는 표면파와의 간섭현상이 발생하여 안테나의 측엽(side lobe) 및 후방방사를 증가시키고, 실이득을 저하시킨다. 기존의 금속 접지판을 사용하는 PEC(Perfect Electric Conductor) 안테나 대신에 표면파의 복사를 억제하여 전자파의 전파를 효율적으로 제어할 수 있는 EBG(Electromagnetic BandGap) 구조의 소자 및 시스템 응용이 마이크로파 및 안테나 공학 분야에서 자주 사용되고 있다 [1]. 또한, 기판과 안테나 사이의 공극을 삽입하여 유효 유전율을 낮추어 유전 손실 감소시키고, 대역폭을 증가시켜 더 넓은 주파수 범위에서 안테나를 효과적으로 사용할 수 있다.

본 연구에서는 패치 안테나 FR4 기판 위에 공극을 추가했을 때 패치 안테나 설계에 필수적인 유효 유전율(ϵ_{eff})을 계산하였다. 또한, 제안하는 EBG의 최적 배치 및 1.3mm 공극 적용을 통해 기존 안테나 실이득 6.0 dBi 대비 9.99 dB로 향상된 것을 HFSS 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

2. 공극에 따른 유효 유전율 경향성 분석

패치 안테나에서 유효 유전율을 낮춰 유전 손실을 감소시키기 위해 그림 1과 같이 공극을 기판과 안테나 사이에 삽입하였다. 패

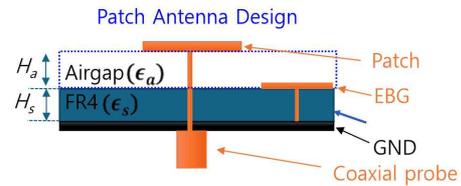


그림 1. 제안하는 공극 및 EBG를 포함한 간략화된 안테나 구조의 옆면도

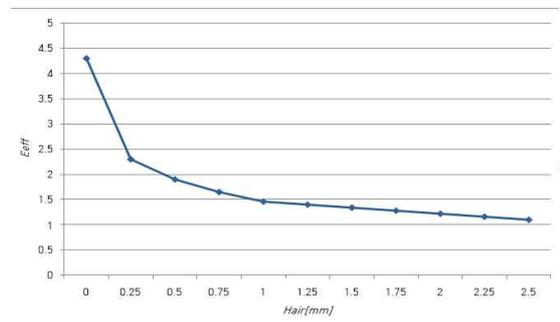


그림 2. 공극 변화에 따른 유효 유전율 특성

치 안테나를 정확히 설계하기 위해서는 공극에 의해 낮아진 유효 유전율(ϵ_{eff})을 도출해야 하는데, 유효 유전율을 결정하는데 있어 기판과 공극의 두께, 유전율 그리고 동작 주파수에 의해 복잡적이며 비선형적으로 영향을 받는다. 본 논문에서는 유효 유전율과 각 파라미터와의 관계성을 확인 후, 그 관계특성을 기반으로 영향력이 큰 파라미터에 대해 적용되는 계수의 가중치를 부여하였다.

그림 1에 제시된 제안하는 패치 안테나를 모델링하고, 공극 변화에 따른 유효 유전율을 그림 2에 제시하였다. 이는 기판과 패치 사이에 공극을 넣어 HFSS 시뮬레이션을 통해 패치 안테나의 길이를 도출할 수 있고, 안테나 길이 ↔ 유효 유전율의 계산식을 이용하여 공극 & 기판 두께 & 설계 주파수에 따른 유효 유전율을 표현할 수 있으며, 이는 아래와 같은 수식으로 나타낼 수 있다 [1].

$$\epsilon_{eff} = -\frac{\epsilon_a \times H_a}{\epsilon_s} + 0.23 \times H_s - 0.037 \times f_r + 1.68 (\because H_a \geq 0.5mm) \quad (1)$$

식 (1)에서 H_s 는 기판 두께, ϵ_s 는 기판 유전율, H_a 는 공극, ϵ_a 는 공기 유전율, f_r 는 설계 주파수이며, 해당 식을 통해 공극에 따른 유효 유전율을 파악할 수 있다.

3. EBG 구조 설계 및 특성 분석

본 논문에서 제안하는 air-gap이 추가된 안테나에 5.8GHz에서 구동하도록 하는 EBG를 추가함으로써 실현이득을 증가

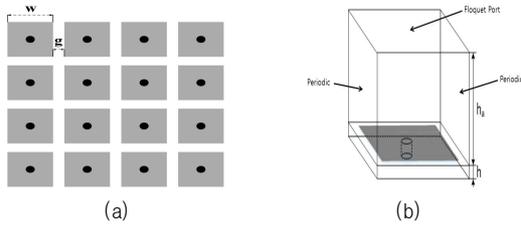


그림 3. (a) Mushroom EBG 상면도 (b) Bandgap 계산을 위한 단위셀 설정

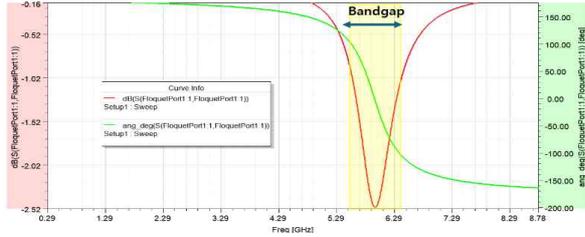


그림 4. EBG Reflection Phase ($W=8.0\text{mm}$, $g=0.1\text{mm}$)

시키고자 한다. EBG의 BandGap은 유전율, 도체 패치의 크기 및 간격에 의해서 결정되며, 본 연구에서 EBG 구조는 그림 3(a)와 같은 Mushroom 형태를 적용하였다. 동작 주파수 5.8GHz에서 구동하는 EBG 단위셀(Unit Cell)의 설계 구조는 아래 식과 같이 나타낼 수 있다 [2]-[3].

$$L = \mu_0 \times t, \quad C = \frac{W\epsilon_0(1+\epsilon_r)}{\pi} \cosh^{-1}\left(\frac{2W+g}{g}\right) \quad (2a)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2b)$$

EBG 단위셀을 상기 (2)을 이용하여 계산 후 그림 3(b)와 같이 HFSS Floquet Port를 이용하여 한 개의 단위셀에 대한 EBG의 BandGap을 해석하면 전체 주기적인 EBG 구조의 전자기적 특성을 해석할 수 있다. 본 연구에서 사용된 단위셀은 $h = 1.0\text{mm}$, $h_0 = 10\text{mm}$, $W = 8.0\text{mm}$, $g = 0.1\text{mm}$, $\epsilon_r = 4.3$ 로 설정하였다. HFSS 시뮬레이션 결과, 그림 4와 같이 제안하는 EBG 구조가 패치 안테나 동작 주파수 5.8GHz Bandgap 안에 존재함을 확인할 수 있다 [2].

제안하는 air-gap 적용한 안테나 및 EBG의 영향을 분석하기 위해 그림 5와 같이 동축케이블 급전 기반 마이크로스트립 안테나를 모델링하였다. EBG가 적용되는 FR4 기판 두께 H_0 는 1.0mm, Airgap H_0 는 1.3mm로 설정하였다. EBG를 집적하는 방법은 다양하지만, 본 논문의 목적은 안테나 실이득 향상이기 때문에 기판의 길이 방향으로만 EBG를 집적하였다 [3]. 5.8GHz E-plane에서 지향성(Directivity, DI)의 복사 패턴을 시뮬레이션한 결과를 그림 6에 나타내었으며, 그 결과 그림 5에 제시된 3가지 안테나별로 각각 7.0 dBi, 8.8 dBi, 10.5 dBi를 달성함을 알 수 있다. 즉, 공극 및 EBG 안테나는 단순 PEC 안테나 대비 3.5 dB, 공극 안테나 대비 1.7 dB DI가 개선됨을 알 수 있다. 3dB 빔폭은 각 85도, 80도, 48도로 점차 감소하였음을 알 수 있으며, 이는 공극을 삽입하는 경우 기판의 두께 증가로 지향성이 증가하는 것을 의미한다. 또한, PEC 안테나를 사용하는 경우 기판 끝의 표면파로 인한 손실이 발생하나, 제안하는 안테나의 EBG가 적용될 경우 기판 표면파를 억제하므로 지향성이 더욱 증가하여 안테나 성능이 개선된다는 것을 알 수 있다. 안테나의 기판 손실을 고려한 RealizedGain (RG, 실이득) 방사 특성을 그림 7에 나타내었다. 시뮬레이션 결과, 각각 6.0 dBi,

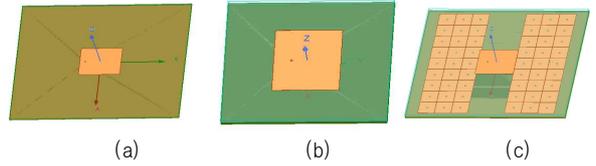


그림 5. 동축케이블 급전 마이크로스트립 안테나 (a) PEC 안테나 (b) 공극 안테나 (c) 공극 및 EBG 안테나

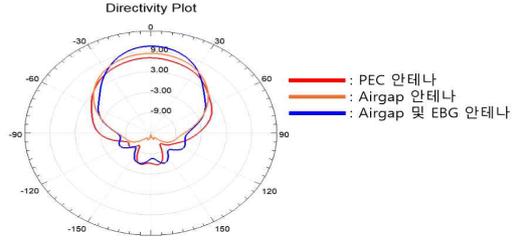


그림 6. E-plane의 PEC, 공극, 공극 및 EBG 안테나 지향성 방사 패턴

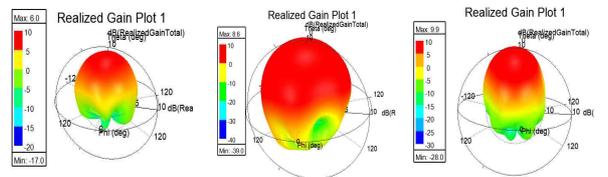


그림 7. (a) PEC 안테나 (b) 공극 안테나 (c) 공극 및 EBG 안테나 실이득

8.6 dBi, 9.9 dBi로 제안하는 안테나는 PEC 안테나 대비 3.9 dB, 공극 안테나 대비 1.3 dB 증가하였다. 지향성(DI) 대비 실이득(RG) 차이가 더 큰 것을 알 수 있는데, 이는 공극에 의해 낮아진 유효 유전율로 유전 손실이 감소하는 것을 의미한다. 또한, 후방 방사각이 -17 dBi, -30 dBi, -28 dBi로 공극을 삽입했을 경우 더 크게 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 무선전력용 안테나 방사손실을 줄이기 위해 마이크로스트립 패치안테나에 공극과 EBG를 적용한 새로운 형상의 안테나를 제안하였다. 공극 삽입시 안테나의 크기를 결정하는 유효 유전율의 경향성을 수식으로 도출하였고, 제안하는 EBG를 최적화하기 위해, HFSS Floquet Port를 이용하여 EBG의 크기를 도출하였다. 시뮬레이션 결과, 5.8GHz 안테나에 공극 및 EBG 적용시, 유전 손실 감소와 표면파 억제 효과로 인해 E-plane의 Directivity 및 RealizedGain이 증가하고, 후방 방사 감소하여 안테나 성능이 개선됨을 확인할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] D. Sievenpiper, L. Zhang, R. Broas, N. Alexopoulos, and E. Yablonovitch "High-impedance electromagnetic surfaces with a forbidden frequency band," IEEE Trans. Microw. Theory and Techniques, vol. 47, no. 11, pp. 2059-2074, Nov. 1999.
- [2] R. Shahzad "Characterization of the reflection and dispersion properties of 'Mushroom'-Related Structures and Their Application to Antennas," MS.D, Dept. elect. And Comp Eng. Univ. Toronto, 2012.
- [3] 김상우, 김부균, and 신종덕 "Mushroom 형태의 EBG 구조가 집적된 마이크로스트립 패치 안테나의 방사 특성 해석", 전자공학회 논문지, 제 44권 TC편 제 4, pp. 48-50, 2008년 4월.