

전방향성 방사 패턴을 갖는 차량용 HF 대역 저자세 안테나

Low-Profile Vehicle-Mounted Antenna with Omnidirectional Radiation Pattern at High-Frequency Band

조 성 용 · 정 재 영*

Sung-Yong Cho · Jae-Young Chung*

요 약

본 논문에서는 차량 루프(roof) 위에 탑재 가능한 HF(high frequency) 대역 초저자세 안테나를 제안한다. 본 안테나의 특징은 패치 형태의 낮은 높이(예: 5 cm, $0.0034 \lambda @ 20 \text{ MHz}$)에도 불구하고, 모노폴과 같은 전방향성 방사패턴을 갖는 것이다. 이를 위해 안테나 급전부와 패치의 모서리에 코일을 설치하여 품질계수(Q-factor)를 높이고, 코일 옆에 단락핀(shorting pin)을 연결하여 급전부와 단락핀에 동위상의 전류가 흐르도록 하였다. 코일은 상호인덕턴스와 내부저항 등을 고려하여 품질계수가 1,000에 이르도록 설계하였고, 단락핀을 단락판(plate) 형태로 변경함으로써 안테나 이득을 증가시켰다. 목표 주파수인 20 MHz에서 1/4파장 모노폴 안테나는 그 길이가 6 m에 달하는 것에 반해, 제안하는 안테나의 높이는 5 cm($0.0034 \lambda @ 20 \text{ MHz}$)에 불과하며, 패치 크기는 70 cm×70 cm ($0.047 \lambda \times 0.047 \lambda @ 20 \text{ MHz}$)로 차량 루프에 설치가 용이하다. 3차원 전파 시뮬레이션 소프트웨어를 이용해 계산한 안테나의 이득은 -9 dBi, 차량 루프에 탑재할 경우의 이득은 -2.7 dBi를 보였다. 안테나를 제작하여 측정된 수신전력값이 시뮬레이션을 통해 계산한 이득값과 유사한 경향성을 보였다.

Abstract

This paper proposes a high-frequency (HF) band on an extremely low-profile antenna that can be mounted on the roof of a car. This antenna generates a monopole-like omnidirectional radiation pattern despite the low height of the patch shape (5 cm, $0.0034 \lambda @ 20 \text{ MHz}$). A coil was installed at the edge of the antenna feeding part and the patch to increase the quality factor (Q-factor) and a shorting pin was connected next to the coil to ensure that in-phase current flows through the feeding part and shorting pin. The coil is designed such that the quality coefficient reaches 1,000 considering the mutual inductance and internal resistance. The Q-factor of the antenna is increased by changing the shorting pin to a shorting plate. A quarter-wavelength monopole antenna with a target frequency of 20 MHz is 6 m in length, whereas the proposed antenna height is only 5 cm ($0.0034 \lambda @ 20 \text{ MHz}$) and the patch size is 70 cm × 70 cm ($0.047 \lambda \times 0.047 \lambda @ 20 \text{ MHz}$), making it easy to install the antenna on the vehicle roof. The gain in the Q-factor of the antenna, calculated using a 3D radio wave simulation software, was -9 dBi, and the gain when it was mounted on the vehicle roof was -2.7 dBi. The power value measured by introducing the antenna showed a star similar to the gain value calculated via simulations.

Key words: High Frequency(HF) Band, Low-Profile Antenna, Omnidirectional Radiation Pattern, Chip Inductor

「본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 미래전투체계 네트워크 기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었음(UD190033ED).」
서울과학기술대학교 스마트생산융합시스템공학과(Department of Manufacturing System and Design Engineering, Seoul National University of Science and Technology)
*서울과학기술대학교 전기정보공학과(Department of Electrical and Information Engineering, Seoul National University of Science and Technology)
· Manuscript received February 23, 2021 ; Revised March 1, 2021 ; Accepted March 10, 2021. (ID No. 20210223-018)
· Corresponding Author: Jae-Yonung Chung (e-mail: jychung@seoultech.ac.kr)

I. 서 론

HF 대역은 아마추어 라디오 통신(HAM), 해상 통신, 단파 방송, 국제 통신 등에 사용된다. 군 통신의 경우, 원거리 지상 무선 통신(terrestrial wireless communication)의 주력 주파수로 사단 간 및 합정 간 통신, 연합훈련 및 상륙 작전 등에 사용된다^{[1][2]}. HF 대역의 파장은 10 m~100 m로, 효율적 무선통신을 위해 상당히 긴 안테나가 필요하다. 예를 들어, 20 MHz에서 이상적인 1/4 파장 모노폴 안테나의 길이는 6 m에 달한다. 이러한 모노폴을 차량에 탑재할 경우, 적에게 노출되기 쉽고 기동성을 저해한다. 차량 이동 시, 모노폴을 “-”자로 꺾어서 사용하곤 하는데, 이는 안테나 방사 성능에 큰 악영향을 미친다. 전파방사 주요부인 안테나의 끝부분이 금속 차체에 가까워짐에 따라 방사효율이 떨어지고, 지상 작전 시 요구되는 전방향성 방사패턴을 유지하기 어렵다.

그간 안테나의 이득과 크기의 상쇄적 관계를 극복하기 위한 안테나 소형화 연구는 대부분이 수백 MHz에서 수 GHz 주파수 대역에서 이루어졌다^{[3]~[6]}. 전방향성 방사 패턴이 요구되는 지상 통신용 HF 또는 VHF 대역 안테나의 경우, 모노폴에 코일을 삽입하여 소형화를 이루는 방법이 주로 보고되고 있다. 참고문헌 [7]은 모노폴의 급전부에 두 개의 코일을 삽입하고, 매칭회로를 추가하여 길이를 35cm (0.12λ @ 100 MHz)까지 줄였다.

최근, 패치 안테나와 같은 저자세(low-profile) 평판 구조임에도 불구하고, 전방향성 방사 패턴을 보이는 안테나가 발표되고 있다^{[8]~[11]}. 이러한 안테나의 공통점은 단락핀(shorting pin)을 적소에 설치하여 평판 사이의 캐패시턴스를 상쇄함과 동시에, 단락핀에 흐르는 전류를 주요 방사원(radiation source)으로 활용하여 안테나 수평방향으로 고르게 전파가 방사하도록 한다. 지금까지 보고된 연구개발 사례가 대부분 수 GHz 대역에서 이루어진 반면, 참고문헌 [11]은 40 MHz 대역 전방향성 저자세 안테나를 위와 같은 원리를 기반으로 구현하였다. 이 논문에서는 추가적인 안테나 소형화를 위해서 평판의 가장자리 단락핀 옆에 코일을 설치하여 품질계수(Q-factor)를 높였다. 구현된 안테나의 높이는 3 cm(0.004λ @ 40 MHz)에 불과함에도 모노폴과 같은 전방향성 방사패턴을 보이나, 최대이

득은 -21 dBi로 낮다.

본 논문에서는 참고문헌 [11]의 구조를 기반으로 HF 20 MHz 대역의 평판형 초저자세 안테나를 설계하였다. 참고문헌 [11]에 비해 전기적 높이가 더 낮음에도 불구하고(5 cm, 0.0034λ @ 20 MHz), 안테나 이득을 개선하기 위해 4개의 코일을 안테나 가장자리에 설치하였고, 단락핀 대신 단락판(shorting plate) 구조를 사용하였다. 3차원 전자파 시뮬레이션 소프트웨어(Ansys HFSS)를 이용해 설계한 안테나의 최대이득 계산값은 -9 dBi였으며, 차량 루프(roof)에 설치한 경우 -2.7 dBi까지 증가하였다. 최적화된 안테나를 제작하고, 수신전력 측정 실험을 통해 안테나의 성능을 확인하였다.

II. 안테나 설계

그림 1은 제안하는 HF 대역 초저자세 안테나를 보여주고 있다. 총 5개의 코일 중 1개는 중앙의 급전부에, 나머지 4개는 70 cm×70 cm 넓이의 정사각형 상판의 모서리에 설치되어 있다. 접지면의 넓이는 100 cm×100 cm로 차량 루프보다 작게 설정하였다. 코일이 위치한 부분의 상판에 코일크기의 직사각형 구멍을 내어 불요 캐패시턴스 발생을 피하였다. 중앙 급전부의 코일에 연결된 급전핀과 단락핀 사이에는 인덕턴스 68 nH 칩 인덕터를 연결하여 안테나 매칭 최적화를 피하였다. 표 1은 안테나의 구조적 파라미터를 정리한 것이다.

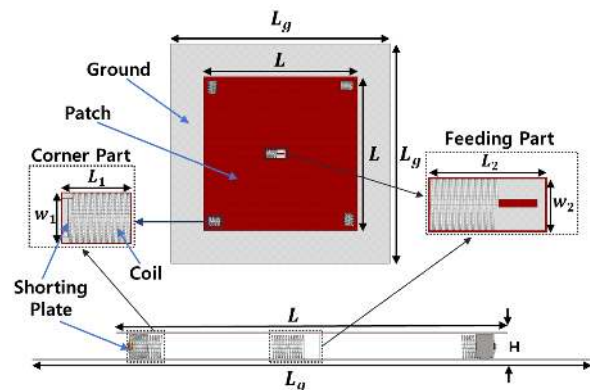


그림 1. HF 대역 초저자세 안테나 구조
Fig. 1. Geometry of proposed low-profile HF antenna.

표 1. 안테나 파라미터
Table 1. Antenna parameters.

Parameter	Value
L_g	100 cm
L	70 cm
H	5 cm
L_1	5.7 cm
W_1	4.2 cm
L_2	8.9 cm
W_2	4 cm

2.1 안테나 등가 회로

그림 2는 제안하는 안테나의 등가회로를 보여주고 있다. 중앙의 코일은 급전부와 직렬로, 나머지 모서리 코일들은 병렬로 연결되어 단락판에 의해 접지와 연결된다. 급전부와 모서리 부분에 위치한 코일은 위상 천이기와 같은 역할을 하여 모서리 4개의 단락판에 동위상의 전류가 흐르도록 해준다. 이를 통해 안테나의 높이를 물리적으로 증가시키지 않고 안테나의 유효 전기적 높이(effective electric length)를 증가시킬 수 있다^[12]. 일반 패치 안테나는 상판에 흐르는 전류에 의해 전파가 방사하여 방사패턴이 위쪽 방향(broadside)으로 향하는 지향성을 갖는다. 하지만 제안하는 안테나는 접지면과 상판 사이의 급전부와 단락판에 동위상으로 흐르는 전류에 의해 전파가 방사하여 모노폴과 같은 전방향성 방사패턴을 갖게 된다.

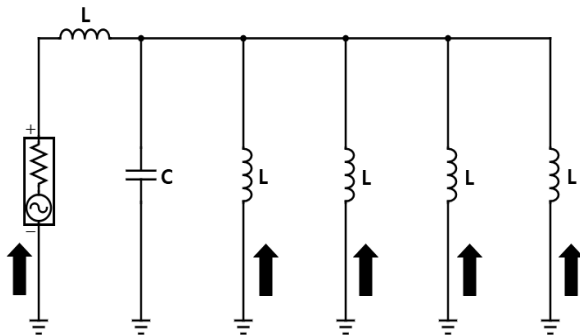


그림 2. 안테나의 등가회로 모델
Fig. 2. Equivalent circuit model of proposed antenna.

2.2 코일 설계

본 안테나에서 코일은 매우 중요한 구성품이다. 5개의 코일을 올바르게 설계하여 초저자세 구조임에도 목표 주파수인 20 MHz에서 안테나가 공진할 수 있도록 하고, 품질계수값 향상을 통해 이득을 개선할 수 있다.

그림 3은 코일의 구조 및 설계 파라미터들을 보여준다. 코일의 품질계수는 기본적으로 인덕턴스 값(L)이 클수록, 코일의 저항 값(R_{ac})이 작을수록 증가한다. L 은 식 (1)을 통해 구할 수 있다^[13].

$$L = (\mu_0 \pi D^2 N^2 k_L / 4) - [\mu_0 DN(k_{s(e)} + k_m) / 2] + L_I \quad (1)$$

여기서 D 코일의 직경, N 은 코일을 감은 횟수, k_L 은 나가오카 계수, l 은 코일 길이, L_I 은 내부 인덕턴스, μ_0 는 공기 중의 투자율이다. k_m 은 로사 상호 인덕턴스 수정계수로 원통형 표면에 균일한 전류 분포를 발생시킨다는 의미이다. $k_{s(e)}$ 는 등근 도체의 자기 인덕턴스에 대한 수정계수로 코일 권선의 지름(d)과 권선 간 간격(p)를 이용해 구할 수 있다^[14].

$$k_{s(e)} = 1.5 - \ln(2p/d) \quad (2)$$

반면, R_{ac} 는 식 (3)을 통해 구할 수 있다^[15].

$$R_{ac} = R_{dc} [1 + (\Omega - 1) \psi(N - 1 + 1/\psi) / N] \quad (3)$$

여기서 R_{dc} 는 코일의 dc 저항, ψ 는 근접 효과계수(proximity factor), Ω 은 유효 저항(effective resistance)이다. 후자는 식 (4)을 통해 구할 수 있다.

$$\Omega = D^2 / [4(D\delta_l - \delta_l^2)] \quad (4)$$

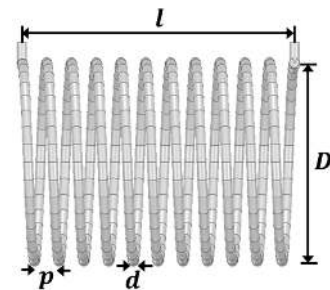


그림 3. 코일 파라미터
Fig. 3. Coil parameters.

식 (4)에서 δ_r 는 표피 깊이(skin depth)이다. 식 (1)과 식 (3)을 이용하여 품질계수(Q)를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Q = \frac{2\pi fL}{R_{ac}} \quad (5)$$

여기서 f 는 주파수이다. 주어진 높이(5 cm)와 상판크기 (70 cm×70 cm)를 이용해 목표주파수인 20 MHz에서 공진하기 위해서는 상당히 높은 Q값이 필요하다. 앞의 수식들을 기반으로 코일 파라미터들을 계산하고, 3차원 전파 시뮬레이션 모델에 입력한 후, 코일 구조를 최적화하는 과정을 거쳤다. 최적화된 코일 구조 파라미터는 $l=5.5$ cm, $D=4$ cm, $p=0.5$ cm, $d=0.2$ cm, $N=11$ 이다. 이때, 코일 특성 파라미터는 각각 $L=2.652 \mu\text{H}$, $R_{ac}=0.342\Omega$, $Q=970$ 으로 낮은 저항값과 높은 인덕턴스로 인해 Q값이 1,000에 가깝다.

그림 4는 중앙의 급전부에 위치한 코일을 포함하여 총 5개의 코일을 사용한 안테나의 H-평면 방사 패턴을 보여 주고 있다. 안테나의 H-평면 방사 패턴이 둥그런 원형 모양으로 안테나가 전방향성 방사 패턴을 갖고 있는 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 코일의 개수가 1개씩 증가할 때마다 안테나의 이득이 90° 수평 방향에서 증가하는 것을 나타낸다. 패치 아래에 통합된 코일에 전압과 흐르는 전류를 모두 같게 하였기 때문에 코일이 1개씩 증가할 때

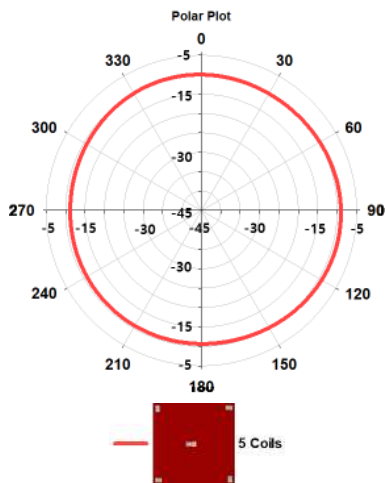


그림 4. 5개 코일을 사용한 안테나의 전방향성 방사패턴
Fig. 4. Omnidirectional radiation pattern of antenna using 5 coils.

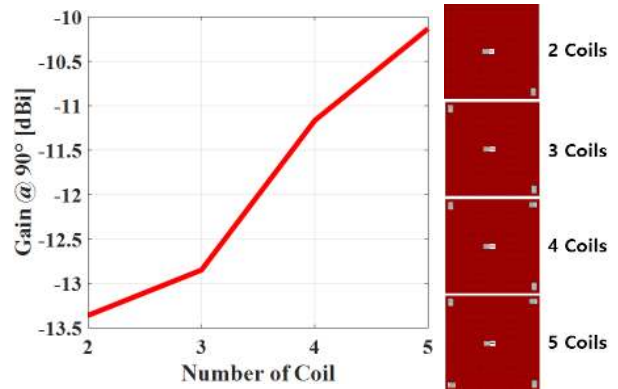


그림 5. 코일 개수에 따른 안테나 이득의 변화
Fig. 5. Change in antenna's gain according to the number of coil.

다 이득이 증가하였다. 안테나 중앙의 급전부에 위치한 코일을 포함하여 코일의 개수를 2개에서 5개로 늘려 90° 수평 방향에 이득이 -13.5 dBi에서 -10.13 dBi로, 3.37 dBi 증가하였다.

2.3 단락판 설계

초저자세 패치 형태임에도 그림 4와 같이 전방향성 방사가 가능한 이유는 안테나의 주요 방사원이 접지면과 상판을 잇는 단락핀(shorting pin)에 흐르는 전류이기 때문이다. 그림 6(a)는 코일 끝에 연결된 단락핀을 보여준다. 그리고 그림 6(b)는 본 안테나에 적용된 단락판(shorting plate)를 보여준다. 단락판을 사용함으로써 단락핀 대비 안테나 이득을 1 dB 이상 향상시킬 수 있었다. 이는 단락판의 가장자리에 강한 전류가 유도되기 때문이다. 그림 6(b)를 보면 큰 단락판 양 옆에 작은 평판 2개가 수직으로 결합되어 있는 것을 볼 수 있다. 이 작은 평판쌍의 크기를 조정하여 안테나 방사의 전방향성을 개선할 수 있었다.

그림 7은 단락판의 표면전류 분포를 시뮬레이션을 통해 도해한 것이다. 단락판의 가장자리 전류값이 높으며, 특히 작은 평판에 강한 전류가 분포되어 있음을 확인할 수 있다. 그림 8(a)와 그림 8(b)는 각각 단락핀과 단락판이 적용되었을 때 안테나 상판의 표면전류 분포를 보여준다. 두 경우 모두 5개의 코일 부분에 전류가 집중되어 있는 것을 관찰할 수 있으나, 단락핀을 사용했을 때에 비해 단

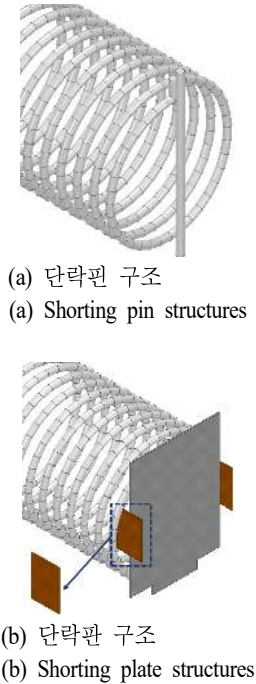


그림 6. 단락핀과 단락판의 비교
Fig. 6. Comparison of shorting pin and shorting plate structures.

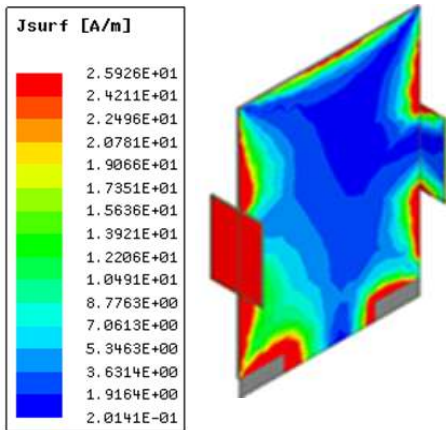


그림 7. 단락판의 표면전류 분포 시뮬레이션 결과
Fig. 7. Simulated surface currents on shorting plate.

락판을 사용했을 때 코일이 존재하지 않는 상판 부분에 표면전류 계산값이 작다. 즉, 단락판을 사용하면 코일과 단락판 결합구조에 전류가 더욱 집중되어 전방향성 이득이 커지게 된다. 그림 9는 단락핀과 단락판을 사용했을 때 공진주파수 20 MHz에서의 방사패턴 비교 그래프이다.

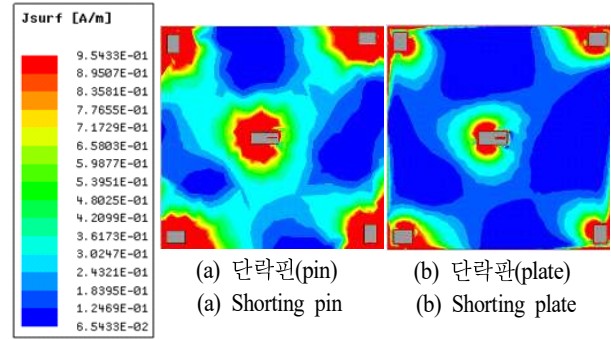


그림 8. 단락핀과 단락판을 사용한 안테나 상판의 전류분포 비교
Fig. 8. Comparison of surface currents distribution on top plate when shorting pins and plates are used.

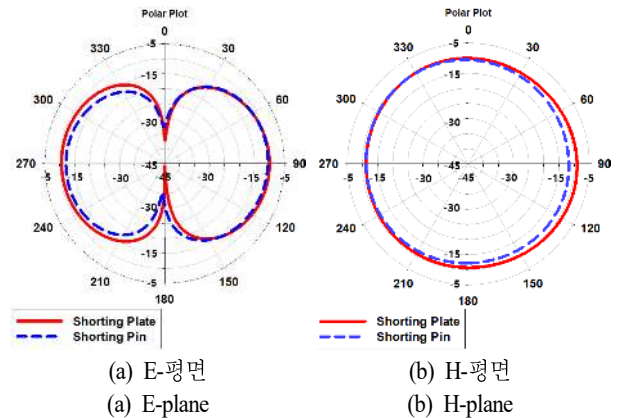


그림 9. 단락핀 구조와 단락판 구조의 방사 패턴 비교
Fig. 9. Comparison of radiation pattern of shorting pin structure and shorting plate structure.

보다시피 단락판을 사용했을 때, 더 대칭적인 전방향성 패턴과 향상된 이득을 얻을 수 있었다. 단락핀과 단락판을 각각 사용했을 경우의 안테나 최대이득은 각각 -10.16 dBi와 -8.99 dBi로, 단락판 사용으로 1.17 dB의 이득 증가를 꾀할 수 있었다.

2.4 시뮬레이션을 통한 안테나 성능 계산

이번 절에서는 최적화된 안테나의 특성(반사계수, 방사패턴, 이득 등)에 대해 논의하고, 제안한 안테나가 차량 루프에 탑재되었을 때 안테나 특성이 어떻게 변하는지

관찰한다. 그림 10은 시뮬레이션에 사용된 차량 모델이다. 차량 캐드 파일을 SpaceClaim 소프트웨어에 파일 내보내기 기능을 이용해 변환하고, HFSS 소프트웨어의 “Heal” 기능을 이용해 잘못된 경계면을 복구하고 오류를 수정하는 과정을 거쳤다.

그림 11은 안테나가 단독으로 무공간(free-space)에 존재할 때와 차량루프에 탑재되었을 때의 반사계수를 비교

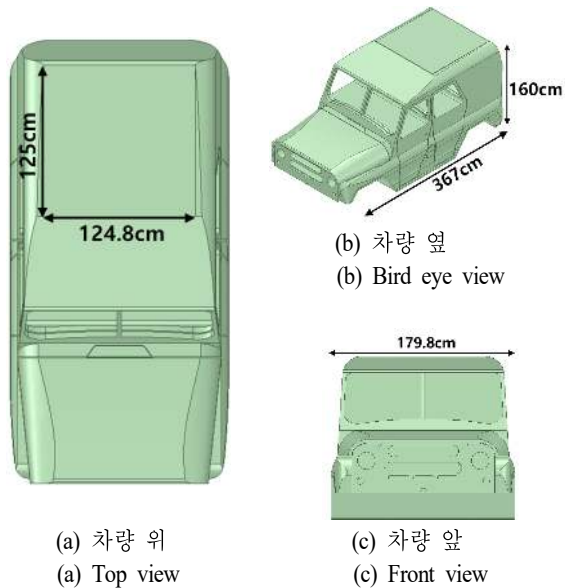


그림 10. 시뮬레이션에 사용된 차량 모델
Fig. 10. Vehicle model for simulation.

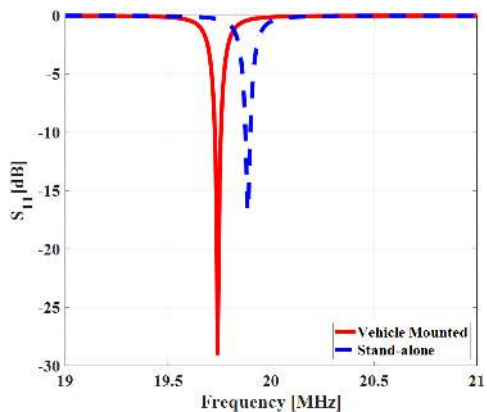


그림 11. 안테나 반사계수 시뮬레이션값의 비교
Fig. 11. Comparison of simulated antenna reflection coefficients.

한 것이다. 안테나 단독의 경우와 차량 탑재의 경우 공진 주파수가 각각 19.89 MHz와 19.75 MHz로, 후자의 경우, 넓은 차체가 접지면 역할을 하여 공진주파수가 조금 낮아졌다. 차체의 영향은 방사패턴 계산값에서 분명하게 나타났다. 그림 12(a)와 그림 12(b)는 안테나 단독의 방사패턴과 차량루프에 탑재했을 때의 3차원 방사패턴 비교이다. 안테나 단독의 경우 최대 이득 -8.99 dBi의 도넛모양 전방향성 방사패턴을 보여주는 반면, 차량에 탑재된 경우 금속차체의 영향으로 방사패턴이 40도 정도 기울면서 최대이득이 -2.7 dBi를 기록했다. 그림 13의 2차원 방사패턴 비교 그래프는 이를 더 명확히 보여준다. 그림 13(a)는 E-평면 방사패턴을 비교한 것으로, 안테나가 차량 루프에 탑재되면서 방사패턴의 아래위로 기울고 이득이 증가된 것을 확인할 수 있다. 한쪽이 긴 직사각형 차체가 안테나의 접지면으로 활용되면서 방사패턴이 차체 길이방향으로 기운 것을 볼 수 있다. 그림 13(b)의 H-평면 방사패턴을 보면 차량 탑재 후에도 전방향성 방사를 유지하고 거대 금속차체 덕분에 이득이 증가하였다.

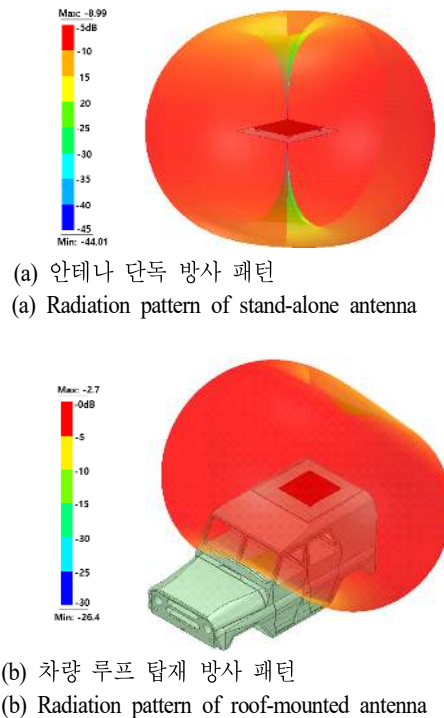


그림 12. 안테나의 3차원 방사패턴의 비교
Fig. 12. Comparison of antenna 3D radiation patterns.

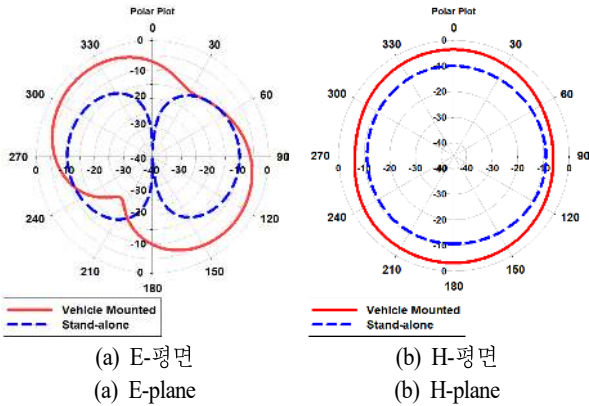


그림 13. 안테나의 2차원 방사패턴의 비교
Fig. 13. Comparison of antenna 2D radiation patterns.

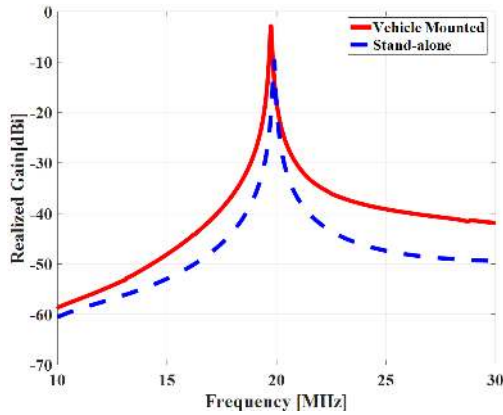


그림 14. 안테나의 실현이득 시뮬레이션값의 비교
Fig. 14. Comparison of antenna realized gains.

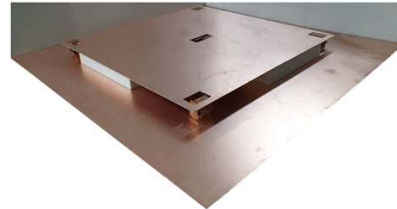
마지막으로 그림 14는 주파수에 따른 안테나의 실현이득을 비교한 것으로, 안테나 공진주파수에서 급격하게 이득이 높아지는 고품질계수 특성을 관찰할 수 있다. 또, 안테나를 차량에 탑재한 경우가 그렇지 않은 경우보다 약 6 dB 이상 실현이득이 높다. 안테나 자체의 접지면보다 넓은 금속차체가 접지면 역할을 하여 안테나 이득이 증가되었다.

III. 안테나 제작 및 측정

시뮬레이션을 통해 최적 설계된 안테나를 제작하였다. 그림 15는 제작된 안테나의 사진을 보여준다. 안테나 상판과 접지는 도금된 FR-4 기판을 사용하였고, 단락핀은



(a) 안테나 사진 - 위
(a) Top view



(b) 안테나 사진 - 옆
(b) Bird eye view

그림 15. 제작된 안테나 사진
Fig. 15. Pictures of fabricated antenna.

두께 0.4 mm 동판, 코일은 직경 2 mm 동선으로 제작하고 납땜으로 결합하였다.

그림 16은 네트워크분석기를 이용하여 측정한 안테나의 반사계수를 시뮬레이션 계산값과 비교한 것이다. 보다 시피 공진주파수가 잘 일치하나, 측정값의 대역폭이 조금 더 넓은 것을 볼 수 있다. $S_{11} < -10$ dB 대역폭이 측정값

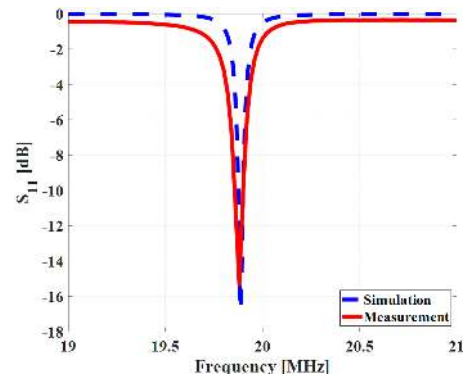


그림 16. 반사계수 측정결과와 시뮬레이션 결과의 비교
Fig. 16. Comparison of measured and simulated reflection coefficients.

과 시뮬레이션값의 경우 각각 24 kHz와 16 kHz이다. 이는 칩인덕터, 코일, 기판 등의 손실에 의해 품질계수가 낮아졌기 때문이다.

그 다음으로 안테나의 수신전력을 측정하였다. 안테나의 이득 및 방사패턴을 측정해야 하지만, 파장이 긴 HF대역 야외시험장 사용에 어려움이 있어 간이 테스트를 한 것이다. 수신전력 측정 셋업은 그림 17과 같다. HF대역 모노폴 안테나(RH-10M)를 신호발생기(R&S SGT100A)를 이용해 급전하고, 제작한 초저자세 안테나를 스펙트럼 분석기(Anritsu MCS2038C)에 연결하여 수신전력을 측정하였다. 송신측 모노폴 안테나는 길이 조절을 통해 14~29 MHz 범위 내에서 공진주파수 조정이 가능한 제품이다. 1 MHz 단위로 송신 안테나 길이를 조정하면서 5 dBm 파워의 사인파를 신호발생기를 통해 인가하였다. 송신 안테나와 수신 안테나 사이의 거리는 10 m로, 안테나 동작주파수인 20 MHz의 파장을 고려하면 근거리장에 속하는 구간이다. 정확한 측정을 위해서는 원거리장에서 실험을 수행해야 하지만 공간 제약상 근거리에서 실험을 하였다.

그림 18은 측정된 수신전력을 시뮬레이션을 통해 계산한 실제이득 값과 비교한 그래프다. 공진주파수인 20 MHz 근방에서 수신전력 측정값이 실제이득 시뮬레이션 값과 같이 급격하게 증가하지 않고 20 MHz 이후에 급격하게 감소하지 않는 것은 실내 실험환경의 제약 때문으로 판단된다. 하지만 전반적인 경향성의 유사함은 제작된

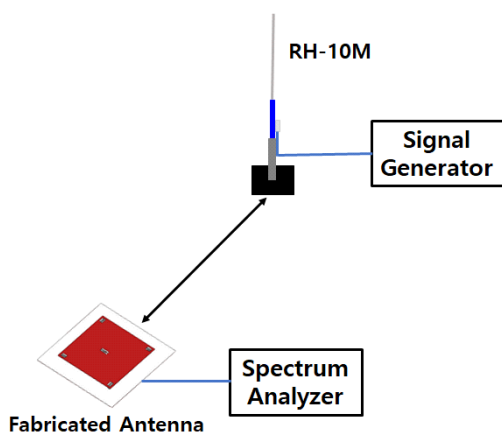


그림 17. 제작된 안테나의 수신 전력 측정 셋업
Fig. 17. Received power measurement set-up.

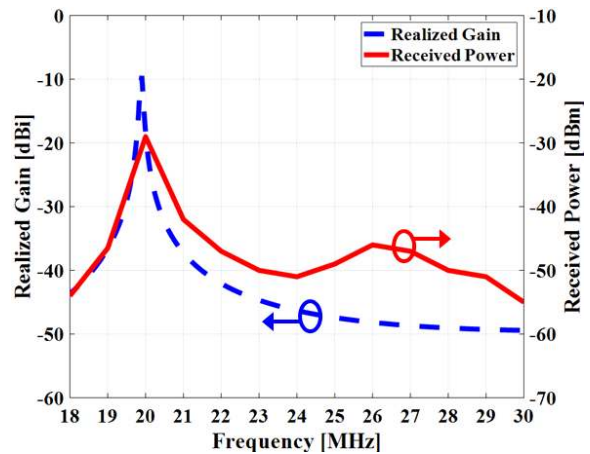


그림 18. 안테나의 실제이득 시뮬레이션값과 수신전력 측정값의 비교
Fig. 18. Comparison of antenna's realized gain simulation result and received power measurement result.

안테나의 특성이 시뮬레이션 계산값과 큰 차이가 없을 것임을 증명한다. 추후 대전 한국표준연구원 또는 이천 전파시험인증센터의 야외시험장을 활용하여 제안하는 안테나를 원거리장 영역에 위치한 상태에서 정확한 안테나 이득과 방사패턴을 측정하고자 한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 차량 루프 위에 탑재 가능한 HF 대역 초저자세 안테나를 설계 및 제작하였다. 패치 형태와 같은 낮은 높이인 5 cm로 안테나가 전방향성 방사 패턴을 갖게 설계하였다. 코일을 품질계수가 1,000에 가깝도록 최적화한 후 코일 옆에 단락판을 연결하여 동위상 전류를 흐르게 하였으며, 패치의 중앙 부분과 모서리 부분에 5개의 코일을 설치하여 안테나의 이득을 증가시켰다. 그 결과, 안테나 단독의 이득은 -8.99 dBi이며, 차량 루프에 탑재시킨 경우, 이득이 -2.7 dBi가 되는 것을 시뮬레이션 결과로 확인하였다. 안테나를 실제 제작하여 반사계수와 수신전력을 측정된 결과, 시뮬레이션 결과와 유사하다는 것을 확인하였다.

References

[1] J. H. Kim, Y. J. Kim, "Optimized design scheme of data

- transfer for military mobile devices of deep operations unit," in *Proceedings of the Korea Information Processing Society Conference*, Nov. 2016, vol. 23, no. 20, pp. 181-183.
- [2] S. G. Lee, S. N. Kang, S. B. Lee, E. D. So, and J. S. Lim, "An enhanced data communication protocol based on HF radios for supporting naval operations," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 21, no. 10, pp. 1990-1998, Oct. 2017.
- [3] K. Cho, S. Hong, "Design of a VHF/UHF/L-band low-power active antenna for mobile handsets," *IEEE Antennas Wireless Propagation Letters*, vol. 11, pp. 45-48, 2012.
- [4] J. S. You, H. Jo, H. Cho, and J. Yu, "Compact meander slot magnetic dipole antenna for wide-angle scanning," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 30, no. 10, pp. 799-802, Oct. 2019.
- [5] H. Piao, Y. Jin, J. Tak, and J. Choi, "Compact mobile quad-band slot antenna design for GPS L1, WiMAX, and WLAN applications," *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 17, no. 2, pp. 57-64, Apr. 2017.
- [6] D. D. Cara, J. Trajkovikj, R. Torres-Sánchez, J. F. Zürcher, and A. K. Skrivervik, "A low profile UWB antenna for wearable applications: The tripod kettle antenna (TKA)," in *2013 7th European Conference on Antennas and Propagation(EuCAP)*, Gothenburg, Apr. 2013, pp. 3257-3260.
- [7] O. Manoochenhri, M. A. Salari, and A. Darvazehban, "A short broadband monopole antenna," in *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, vol. 83, pp. 240-244, Jan. 2018.
- [8] D. Wu, X. Chen, "Compact and low-profile omnidirectional circularly polarized antenna with four coupling arcs for UAV applications," *IEEE Antennas Wireless Propagation Letters*, vol. 16, pp. 2919-2922, Sep. 2017.
- [9] N. Nguyen-Trong, A. Piotrowski, and C. Fumeaux, "A frequency-reconfigurable dual-band low-profile monopolar antenna," *IEEE Transactions on Antennas Propagation*, vol. 65, no. 7, pp. 3336-3343, Jul. 2017.
- [10] L. Akhondzadeh-Asl, J. Hill, J. Laurin, and M. Riel, "Novel low profile wideband monopole antenna for avionics applications," *IEEE Transactions on Antennas Propagation*, vol. 61, no. 11, pp. 5766-5770, Nov. 2013.
- [11] F. T. Dagefu, J. Choi, M. Sheikhsofla, B. M. Sadler, and K. Sarabandi, "Performance assessment of lower VHF band for short-range communication and geolocation applications," *Radio Science*, vol. 50, no. 5, pp. 443-452, May 2015.
- [12] J. Oh, K. Sarabandi, "A low-profile omnidirectional planar antenna with vertical polarization employing two in-phase elements," in *2011 30th URSI General Assembly and Scientific Symposium*, Istanbul, Aug. 2011, pp. 1-4.
- [13] P. L. Dowell, "Effects of eddy currents in transformer windings," in *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, Aug. 1966, vol. 113, no. 8, pp. 1387-1394.
- [14] D. Knight, "Rosa's mutual inductance correction for the roundwire solenoid," 2010. Available: http://www.g3ynh.info/zdocs/magnetics/appendix/Rosa/Rosa_km.pdf
- [15] K. L. Corum, J. F. Corum, "RF coils, helical resonators and voltage magnification by coherent spatial modes," in *5th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Service (TELSIKS 2001)*, Nis, Sep. 2001, vol. 1, pp. 339-348.

조 성 용 [서울과학기술대학교/석사]

<https://orcid.org/0000-0002-0876-6006>



2017년 2월: 경민대학교 정보통신학과 (공학사)

2021년 2월: 서울과학기술대학교 스마트
생산융합시스템공학과 (공학석사)

[주 관심분야] 안테나 설계, 전자파 측정

정 재 영 [서울과학기술대학교/부교수]

<https://orcid.org/0000-0002-0982-6066>



2002년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학사)

2002년 6월~2004년 6월: 모토로라 코리아 연구원

2007년 3월: 미국 오하이오주립대 전기 및
컴퓨터공학과 (공학석사)

2010년 6월: 미국 오하이오주립대 전기 및
컴퓨터공학과 (공학박사)

2010년 6월~2012년 8월: 삼성전자 책임연구원

2012년 9월~현재: 서울과학기술대학교 전기정보공학과 부교수

[주 관심분야] 전자파 측정, 안테나 설계