

다중 루프 형태의 차량용 글래스 안테나

On-Glass Vehicle Antennas Using a Multi-Loop Structure

안 승 범 · 계 영 철 · 추 호 성

Seungbeom Ahn · Youngchul Kay · Hosung Choo

요 약

본 논문에서는 FM 라디오 수신을 위한 RV 차량용 글래스 안테나를 개발하였다. 형상이 간단하면서도 주어진 유리 면적을 효율적으로 이용하여 광대역 정합에 유리하고 높은 수직 편파 이득을 보이는 다중 루프 구조를 사용하였다. 또한, 상용 RV 차량에 장착 시 시야 확보 비율을 높이기 위해서 선로에 유기되는 전류 분포를 기반으로 선로 두께를 조절하여 안테나의 투명도를 향상시켰다. 제안된 안테나는 상용 RV 차량 쿼터 유리에 인쇄하였으며, 반사 손실과 이득 등의 안테나 성능을 반무반사실에서 측정하였다. 제안된 글래스 안테나는 FM 라디오 주파수 대역(80~110 MHz)에서 안테나 전방향(bore-sight direction: $\theta=90^\circ$, $\phi=270^\circ$) 평균 이득이 -9.67 dBi로 상용 모노폴 글래스 안테나의 평균 이득 -12.49 dBi와 천장 부착용 마이크로 안테나의 평균 복사 이득 -19.24 dBi 보다 높은 이득을 보였다.

Abstract

In this paper, we propose a novel on-glass antenna for FM radio reception in a recreation vehicle(RV). We use a multi-loop structure that takes advantage of a broad matching bandwidth and a high vertical radiation gain by efficiently utilizing a given space of a quarter glass in spite of the simple planar structure. Transparency of the antenna is also improved by adjusting the stripline widths based on the induced current distributions. The proposed antenna is printed on a quarter glass of a commercial vehicle and antenna performances such as the return loss and the gain are measured in a semi-anechoic chamber. The result shows the average gain of -9.67 dBi along the bore-sight direction($\theta=90^\circ$, $\phi=270^\circ$) in the FM radio band(80~110 MHz), which is higher than a commercial monopole typed on-glass antenna($G_{ave}=-12.49$ dBi) and micro-antenna($G_{ave}=-19.24$ dBi) mounted on the roof of the RV.

Key words : On-Glass Antenna, Multi-Loop Structure, FM Radio Band

I. 서 론

현대인의 생활에서 자동차는 실질적인 이동 수단으로 이동간에 정보 습득과 정보 교환, 차량 안전성 확보 및 편리성 증대 등을 위해 다양한 차량 정보 통신을 필요로 한다^{[1],[2]}. 특히 차량 정보 통신에서 전자파 송수신에 중요한 역할을 하는 차량용 안테나는 복사 성능뿐 아니라 안전성 및 외관을 고려하여 형

상이 간단하며 크기가 작고 내구성이 뛰어나야 한다. 다양한 정보 통신 중에서 FM 라디오 방송 수신은 차량 정보 통신 기술의 기본이 되므로 수신 성능 및 외관 향상을 위한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. FM 라디오는 다른 방송 및 통신에 비해 동작 주파수가 낮아 안테나 소형화가 어렵고 안테나 자체만의 성능으로는 양질의 FM 신호를 수신하기 어려워 위 안테나 종단에 증폭기를 연결하여 사용한다. $\lambda/4$

「본 논문은 (주)현대·기아 자동차의 지원 하에 이루어졌음.」

홍익대학교 전자전기공학부(School of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University)

· 논문 번호 : 20081104-138

· 수정완료일자 : 2009년 1월 5일

모노폴 안테나는 FM 신호 수신을 위해 약 75 cm 길이가 필요하므로 차량 앞이나 뒤에 장착되었을 때 내구성이 떨어지고 차량 외관을 저해하는 단점을 갖는다. 이러한 문제를 해결하고자 $\lambda/4$ 모노폴에 비해 크기가 작은 사크핀 안테나나 마이크로 안테나 등이 널리 이용된다. 그러나 안테나가 차량 외부에 위치하여 내구성이 낮고 외관에 좋지 않아 최근에는 글래스 안테나에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다^{[3]~[7]}.

글래스 안테나는 차량 유리에 안테나를 인쇄하는 형태로 안테나가 차량 외부로 돌출되는 단점을 해결할 수 있으며, 안테나를 따로 제작하지 않고 유리 제작 과정에서 원하는 형상을 인쇄하기 때문에 설계 비용이 줄일 수 있는 장점이 있다. 그러나 차량용 글래스 안테나는 일반적인 모노폴 안테나와 달리 높은 유전 손실을 갖는 제안된 크기의 유리에 안테나를 인쇄하기 때문에 안테나의 효율이 낮으며, 차체 접지면에 매우 근접하여 위치하므로 약 2λ ($\lambda=3$ m) 이상의 차체 전파 음영에 의한 복사 성능 저하를 보인다. 따라서 글래스 안테나를 설계할 때는 유리의 유전 손실에 의한 전력 손실과 차량 구조에 의한 영향 및 안테나의 복사효율 감소를 최소화하도록 안테나를 설계하여야 한다^[8]. 또한, 차종에 따라 차량 디자인에 어울리는 심미적 구조 및 시야 확보 등의 제한사항을 만족해야 한다.

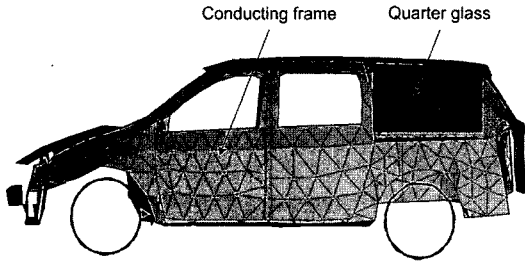
본 논문에서는 RV(Recreational Vehicle: 레저용 차량) 차량의 측면 유리에 해당하는 쿼터 유리를 이용하여 광대역 특성과 높은 복사 이득을 가지는 다중 루프 형태의 글래스 안테나를 제안하였다. 제안된 다중 루프 구조는 차량의 제한된 유리 공간을 효율적으로 이용하면서 다중 공진을 가져 광대역 임피던스 정합에 유리하고, 안테나의 수직 편파 이득을 높여 FM 라디오 신호를 보다 효과적으로 수신할 수 있다. 또한, 탑승자의 시야 확보를 향상시키기 위해 안테나의 선로 두께를 조절하여 투명도를 향상시켰다. 제안된 글래스 안테나의 성능을 검증하기 위해 상용 RV 쿼터 글래스에 안테나 패턴을 인쇄한 후 반무반사실에서 안테나 성능을 측정하였으며, 일반적인 안테나 형태인 $\lambda/4$ 모노폴 안테나, 천장에 부착하는 마이크로 안테나, 상용 RV 모노폴 글래스 안테나와 성능을 비교하였다. 측정 결과, 제안된 다중 루프 글래스 안테나는 FM 주파수 전대역(80~110 MHz)에서 전방향

(bore-sight direction: $\theta=90^\circ$, $\phi=270^\circ$) 평균 복사 이득이 상용 모노폴 글래스 안테나와 마이크로 안테나보다 높으며, 청음 테스트 결과에서도 좋은 성능을 보여 FM 대역 수신 안테나로 적합함을 확인하였다.

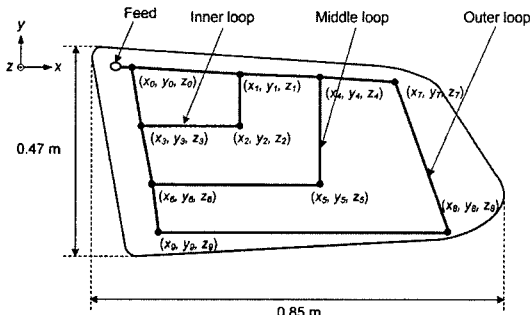
II. 다중 루프 글래스 안테나 구조 및 설계

루프 형태의 안테나는 형상이 간단하고 모노폴 안테나와 유사한 복사 패턴 및 이득을 보이며 특히 차량용 유리에 적용하였을 경우 효과적인 공간 활용과 실제 양산에 적용 가능한 형태를 지닌다^[9]. 하지만 단일 루프 형태의 글래스 안테나는 FM 주파수 전대역에서 동작하기 어려우며 특정 주파수에서 안테나의 수직 선로에 유기되는 전류 방향이 반대가 되어 수직 편파의 수신 성능이 감소되는 문제점이 있다^[10]. 이러한 문제점들을 해결하고자 다중 루프 형태의 글래스 안테나를 제안하였으며, 유리 공간을 효과적으로 사용하기 위해 급전부를 중심으로 일정 부분 선로를 공유하였다. 다중 루프 구조는 각 루프에 의한 다중 공진으로 광대역 특성과 복사 효율을 향상시킬 수 있으며, 동일 방향의 수직 선로(지표면과 수직인 안테나 선로) 전류 유기로 수직 편파 이득 감소를 줄일 수 있다.

그림 1은 안테나가 장착될 차량(RV 2006 기아 그랜드 카니발)과 안테나의 기본 구조를 보여주고 있다. 그림 1(a)와 같이 글래스 안테나는 오른쪽 후면에 장착되고 특성 임피던스가 50 Ω 인 동축 케이블을 통해 왼쪽 상단 모서리에서 급전된다. 그림 1(b)는 제안된 다중 루프 형태 글래스 안테나의 기본 구조로 3개의 루프가 급전부를 중심으로 상단과 좌측의 선로를 공유한다. 제안된 안테나의 개별 루프는 서로 다른 주파수에서 공진하여 FM 라디오 전 대역에서 동작하는 광대역 임피던스 정합 특성을 만족하고 각각의 루프는 공진 주파수에서 약 0.5 λ 의 길이를 가지도록 설계하였다. 외각 루프는 80 MHz에서 공진하며 전체 길이가 약 2 m(수평 선로: 1.2 m, 수직 선로: 0.8 m)이고, 내부 루프는 전체 길이가 약 0.9 m(수평 선로: 0.6 m, 수직 선로: 0.3 m)로 130 MHz에서 공진하도록 설계하였다. 중간 루프는 전체 1.4 m(수직 선로: 0.8 m, 수평 선로: 0.6 m)의 선로 길이를 보이며 FM 라디오 대역 중 중간 주파수에서 공진하도록 설계하여 외각 루프와 내부 루프의 높은 임피



(a) 차량 mesh 구조
(a) The mesh structure of the vehicle



(b) 다중 루프 안테나 구조 및 설계 변수
(b) The multi-loop antenna structure and the design parameters

그림 1. 차량 및 안테나 구조
Fig. 1. The vehicle and antenna structure.

던스를 조절하는 역할을 한다. 특히 중간 루프는 단일 루프에서 감소하는 수직 편파 이득을 증가시켜 FM 라디오 신호 수신을 향상시킨다. 단일 루프 형태를 갖는 경우, 특정 주파수에서 수직 선로에 유기되는 전류의 방향이 반대가 되어 수신 성능이 감소된다. 단일 루프에 중간 루프가 삽입되면 수직 선로에 유기되는 전류가 동일 방향으로 흐르며 FM 주파수 대역에서 발생하는 수직 선로 전류 감쇄를 최소화시킬 수 있다.

설계 과정에서 안테나의 정확한 성능 예측을 위해 FEKO EM 시뮬레이터를 사용하였으며, 유리에 인쇄되는 안테나 패턴을 와이어 코팅으로 등가화하여 EM 시뮬레이션의 계산 속도 및 정확도를 높였다^[11]. 안테나가 장착될 RV 차량은 FM 라디오 주파수 대역의 파장($\lambda=3\text{ m}$, $f=100\text{ MHz}$)보다 2배 이상의 크기를 가지는 구조체로 차량을 포함하지 않고 안테나만을 이용하여 시뮬레이션할 경우 차체에 의해 발생할 수 있는 공진 및 손실 등을 고려할 수 없기 때문에 시뮬레이션 시 차량 구조를 포함시켰다. 차체

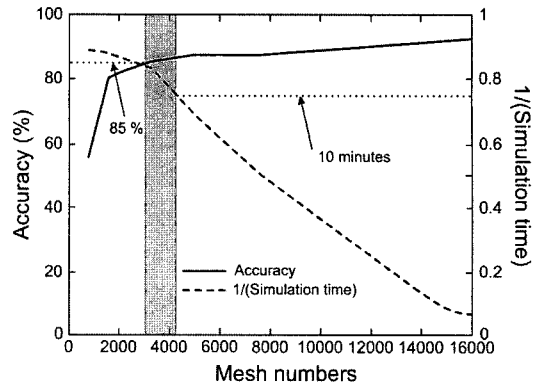


그림 2. Mesh 수에 따른 해석 시간과 정확도
Fig. 2. The simulation time and accuracy in terms of number of meshes.

를 포함한 안테나를 해석하면 약 $2 \times 1 \times 1 \lambda$ 크기의 공간을 해석해야 하며, 시뮬레이션에 많은 시간이 소요되어 최적화 알고리즘을 이용한 안테나 설계가 어렵다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 차량 mesh 수에 따른 해석 시간과 정확도를 확인하였으며 그림 2에 나타내었다. 정확도는 상용 모노폴 글래스 안테나의 측정 반사 손실과 시뮬레이션 반사 손실의 차이를 의미하며, 시뮬레이션 해석 시간은 mesh 7,700 개를 기준으로 설정하여 상대적인 시간을 계산하였다. 차량 mesh 수가 증가할수록 해석 정확도는 증가하며 3,000개 이상의 mesh를 가질 때 85% 이상의 정확도를 유지하였다. 해석 시간은 차량 mesh 수가 증가할수록 급격하게 증가하며 해석 정확도와 상대적인 시간을 고려하여 85% 이상의 정확도를 유지하면서 6개 표준 주파수 해석 시간을 10분 이내로 하기 위해 약 3,300개의 mesh수를 갖도록 mesh 수를 조절하였다(CPU: Intel® Core(TM)2 Quad CPU Q-6600 @2.4 GHz, RAM: 4 GB 사용시).

안테나를 시뮬레이션이 가능한 형태로 변환한 후 성능을 최적화하기 위해 유전자 알고리즘을 FEKO EM 시뮬레이터에 적용하여 최적의 안테나를 도출하였다^[12]. 제안된 안테나 설계는 각 루프의 좌표인 x_n, y_n, z_n 를 통해 결정하였으며, FM 라디오 전 주파수 대역에서 높은 안테나 이득을 얻기 위한 적합도 평가 함수는 다음의 식 (1)과 같이 정의하였다.

$$\text{Fitness} = \max[\min_f \{ \text{Gain}(\theta=90^\circ, \phi=270^\circ; f=80 \sim 110 \text{ MHz}) \}] \quad (1)$$

표 1. 최적화된 글래스 안테나 치수

Table 1. Dimensions of the optimized glass antenna.

| 좌표값 [cm] | (x_0, y_0, z_0) | (x_1, y_1, z_1) | (x_2, y_2, z_2) | (x_3, y_3, z_3) | (x_4, y_4, z_4) |
|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | (0, 0, 0) | (30, 0, 0) | (30, -14, 7) | (4, -14, 7) | (44, -3, 1) |
| | (x_5, y_5, z_5) | (x_6, y_6, z_6) | (x_7, y_7, z_7) | (x_8, y_8, z_8) | (x_9, y_9, z_9) |
| | (44, -27, 14) | (8, -27, 14) | (62, -4, 2) | (75, -39, 20) | (19, -39, 20) |

적합도 평가 함수는 80~110 MHz의 주파수 범위에서 안테나가 부착되어 있는 방향(bore-sight direction: $\theta=90^\circ$, $\phi=270^\circ$)으로 가장 낮은 이득을 최대화시키는 min-max 방법을 사용하였고 전체 주파수 대역에서 기준 최소 이득을 설정하여 안테나의 성능을 제한하였다. 가장 낮은 안테나 이득이 -15 dBi 이상이 되도록 최적화하였으며, 적합도 평가 함수가 -14 dBi 정도로 수렴하였을 때 가장 낮은 안테나 전방향 이득이 -13.6 dBi 값을 갖는 표본을 추출하여 글래스 안테나를 제작하였으며, 최적화된 글래스 안테나의 변수를 표 1에 나타내었다.

III. 성능 측정 및 투명도 향상 기법

최적화된 글래스 안테나를 검증하기 위해 850×470 mm 크기의 유리에 1 mm 두께의 선로로 다중 루프 글래스 안테나를 제작하였으며, 제작된 안테나를 그림 3에 나타내었다. 제작된 안테나의 성능 측정을 위해 안테나를 차량 측면에 탑재한 후 VSWR과 전방향 복사 이득을 반무반사실에서 측정하였다. 송신 안테나는 ETSI-Lindgren사의 3121C 다이폴이며, Agilent E5071A 네트워크 분석기를 이용하여 제작된 안테나의 수신 성능을 측정하였다. 그림 4는 최적화된 글래스 안테나의 VSWR로 실선은 측정 결과를 점선은

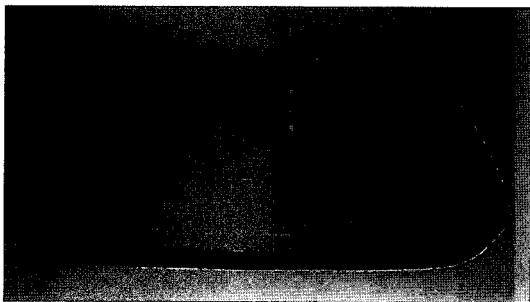


그림 3. 제작된 글래스 안테나 사진

Fig. 3. The photo of the fabricated on-glass antenna.

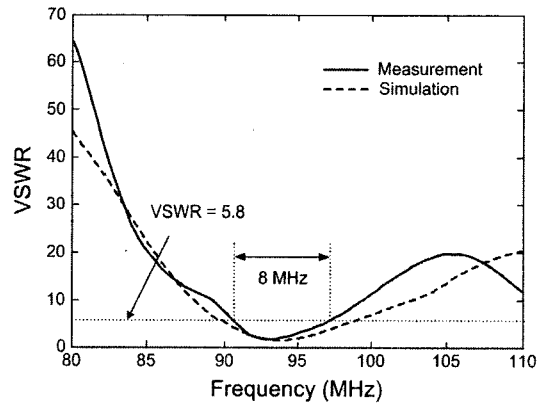


그림 4. 최적화된 안테나의 VSWR

Fig. 4. The VSWR of the optimized antenna.

은 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 측정과 시뮬레이션이 FM 전 주파수 대역에서 일치하며 8.5 %의 -3 dB 상대 대역폭(VSWR<5.8, 90~98 MHz)을 만족하였다. 또한, 안테나의 전방향 복사 이득은 모든 주파수 대역에서 -15 dBi 이상의 높은 복사 이득을 보였으며, 평균 복사 이득은 -6.95 dBi로 우수한 성능을 나타냈다.

최적화된 쿼터 글래스 안테나는 차량의 오른쪽 측면에 부착되어 리어(rear) 글래스 안테나보다 상대적으로 안테나가 설치된 방향에 탑승한 차량 탑승자의 시야에 많은 영향을 미치며 탑승자의 시야 확보를 위해 안테나 구조를 간단히 하거나 투명도를 향상시켜야 한다. 글래스 안테나의 선로에 유도되는 전류 분포를 바탕으로 선로 두께를 조절하여 유사한 성능을 보이면서도 탑승자의 시야 확보에 유리한 안테나를 설계하기 위해 전류량 기반 투명도 향상 기법(transparency-improvement process based on the current distribution)을 제안하였다. 전류량 기반 투명도 향상 기법은 안테나 선로에 흐르는 전류의 밀도를 분석하여 성능에 많은 영향을 미치는 주요 선로의 너비는 일정 두께를 유지하고 적은 양향을 미치는 선로의

너비는 가늘게 하는 것으로 유사한 성능을 유지하면서 안테나의 투명도를 향상시킬 수 있다. 그림 5는 최적화된 글래스 안테나의 루프별 정규화된 전류 분포로서 외곽 루프의 최대 전류를 1로 정규화하였다. 실선은 외곽 루프에 흐르는 전류의 평균으로 FM 주파수 전대역 평균이 0.51이고, 점선은 중간 루프에 흐르는 전류의 평균으로 외곽 루프의 63%인 0.32가 유지된다. 일점쇄선은 내부 루프에 흐르는 전류의 평균으로 외곽 루프 전류의 50% 정도의 전류가 유지된다. 세 루프에 유지되는 전체 전류의 70%가 외곽 루프에 유지되기 때문에 외곽 루프의 선로 두께는 일정하게 유지하고 중간 루프와 내부 루프의 선로 두께를 가늘게 하여 안테나의 투명도를 증가시켰다. 그림 6은 전류량을 기반으로 안테나 선로 두께를 조절했을 때의 시뮬레이션 전방향 복사 이득을 나타내고 있다. 실선은 최적화된 글래스 안테나로 선로 두께를 기본 조건인 1 mm로 유지하였을 경우를 의미하며, 점선은 내부와 중간 루프의 두께를 외곽 루프 두께의 1/4로 줄인 0.25 mm 결과를 일점쇄선은 내부와 중간 루프의 두께를 외곽 루프 두께의 1/10로 줄인 0.1 mm 결과를 보여주고 있다. 세 경우의 시뮬레이션 결과, 내부와 중간 루프는 외곽 루프 두께의 1/4 이상을 유지할 경우 안테나의 성능에는 큰 변화가 없으며 탑승자의 시야에 많은 영향을 미치는 내부와 중간 루프의 투명도를 향상시킬 수 있음을 보여준다.

전류량 기반 투명도 향상 기법을 적용하여 내부와 중간 루프의 선로 두께($w=0.25$ mm)를 외곽 루프의

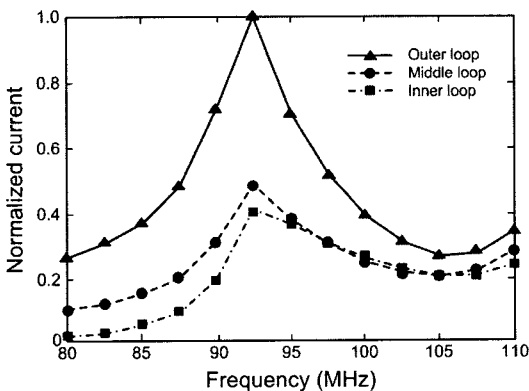


그림 5. 최적화된 안테나의 루프별 전류
Fig. 5. The current on each loop of the optimized antenna.

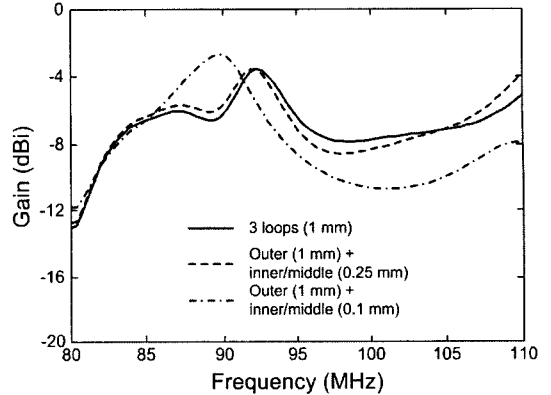


그림 6. 선로 두께에 따른 안테나의 전방향 이득
Fig. 6. The bore-sight gain depending on stripline widths.

선로 두께($w=1$ mm)보다 가늘게 안테나를 제작하였으며 동일한 조건에서 안테나의 성능을 측정하였다. 그림 7은 루프 수에 따른 글래스 안테나의 주파수별 수신 전압을 나타내며, 모든 주파수에서 세 개의 루프를 갖는 제안된 안테나의 성능이 가장 우수함을 확인할 수 있다. 각 주파수에서 제안된 안테나의 평균 수신 전압은 각각 50.42 dB μ V (80 MHz), 60.32 dB μ V (90 MHz), 56.78 dB μ V (100 MHz), 53.36 dB μ V (110 MHz)로 50 dB μ V 이상을 나타내며, ϕ 방향으로의 복사패턴 변화가 25 dB 이내로 복사 패턴 넓이 최소화 되었다. 그림 8은 투명도가 향상된 다중 루프 글래스 안테나의 측정 전방향 이득을 보여준다. 제안된 안테나와의 성능 비교를 위해 상용 RV 차량에서 쓰이고 있는 모노폴 글래스 안테나(점선)와 100 MHz에서 공진하는 $\lambda/4$ 모노폴 안테나(일점쇄선), 마이크로 안테나(쇄선)를 상용 RV 차량에 부착하여 측정하였다. 측정 결과, 선로 두께가 조절된 제안된 글래스 안테나는 최적화된 글래스 안테나와 유사한 전방향 이득을 나타내며, 평균 전방향 복사 이득이 -9.67 dBi로 RV 상용 모노폴 글래스 안테나 평균 복사 이득(-12.49 dBi)에 비해 3 dB 좋은 성능을 보이고 천장 부착용 마이크로 안테나의 평균 복사 이득(-19.24 dBi)보다 약 10 dB 향상된 성능을 나타냈다. 또한, $\lambda/4$ 모노폴 안테나의 평균 전방향 이득과의 차이가 약 3 dB 내외로 유사함을 확인하였다. 글래스 안테나의 실제 성능을 시험하기 위해 실제 증폭기가 포함되어 있는 급전 선로를 연결하고 FM 라디

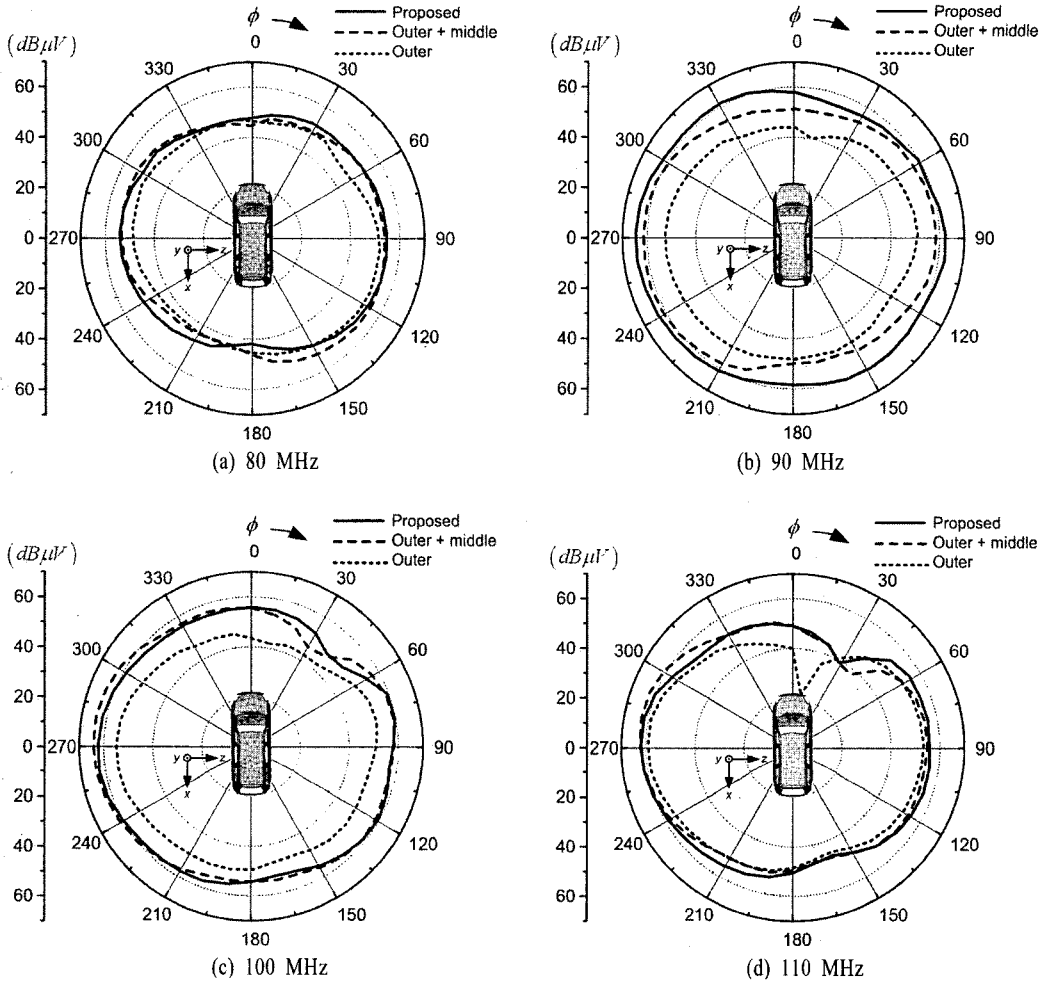


그림 7. 루프 수에 따른 주파수별 안테나 수신 전압

Fig. 7. The received voltage strength depending on the number of loops in terms of frequency.

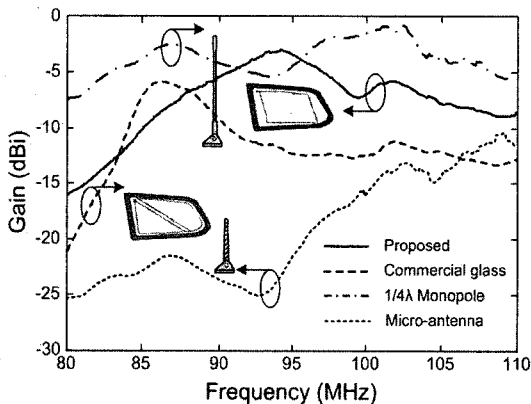


그림 8. 투명도가 향상된 안테나의 전방향 이득

Fig. 8. The bore-sight gain of the antenna after transparency is improved.

오 신호가 잘 수신되지 않는 약전계 지역을 선택하여 특정 주파수 대역의 신호를 수신하였다. 청음 테스트 결과 기존 상용 모노폴 글래스 안테나보다 우수한 수신 성능을 나타내어 FM 라디오 수신용 차량 안테나로서 적합한 형태임을 확인하였다.

IV. 다중 루프 글래스 안테나의 동작원리 분석

FM(80~110 MHz) 대역의 수평신호는 지면에 의한 감쇄와 지형 고도에 의한 변화로 신호 수신에 어려움이 있기 때문에 수직 신호에 의해 대부분의 신호가 수신되며 효과적인 FM 라디오 수신을 위해서는 안테나의 수직 편파 이득이 높아야 한다^[13]. 제안된 루프 형태 안테나의 수직 편파 이득을 확인하기

위해 루프 수에 따른 성능 변화를 확인하였다. 그림 9는 루프 수에 따른 주파수별 수직 편파 이득으로 실선은 제안된 세 개의 루프를 가지는 글래스 안테나를 점선은 외각 루프와 중간 루프를 갖는 글래스 안테나를 일점쇄선은 외각 루프만을 갖는 글래스 안테나의 수직 편파 이득을 의미한다. 외각 루프만을 가지는 글래스 안테나는 98 MHz에서 수직 편파 이득이 -25 dBi 정도로 매우 낮은 값을 가지며 외각 루프에 중간 루프가 첨가됨에 따라 수직 편파 이득이 향상됨을 확인할 수 있다. 루프 첨가에 의한 안테나 수직 편파 이득 증가의 원인을 분석하기 위해 루프의 수직 선로에 유기되는 전류를 확인하였으며, 제안된 안테나의 최대 전류를 1로 정규화하였다. 그림 10에서 실선은 세 개의 루프를 갖는 글래스 안테나의 수직 선로에 유기되는 평균 전류를 보여주며, FM 주파수 전체 대역에서 0.3 이상의 전류가 유기됨을 확인할 수 있다. 점선은 외각 루프에 중간 루프가 첨가된 글래스 안테나의 수직 선로 평균 전류로 3개의 루프를 갖는 글래스 안테나에 유기되는 전류와 유사하며 모든 주파수에서 차이가 0.1 이내임을 확인할 수 있다. 일점쇄선은 외각 루프만을 갖는 글래스 안테나의 수직 선로 평균 전류로서 90 MHz 미만에서는 제안된 글래스 안테나와 유사하지만 90 MHz 이상에서는 유기되는 전류가 급격히 감소하는 것을 알 수 있다. 특히 98 MHz에서는 전류의 방향을 바꾸는 폴이 수직 선로에 존재하여 수직 선로에 유기되는 전류가 급격히 감소하는 것을 확인할 수 있다.

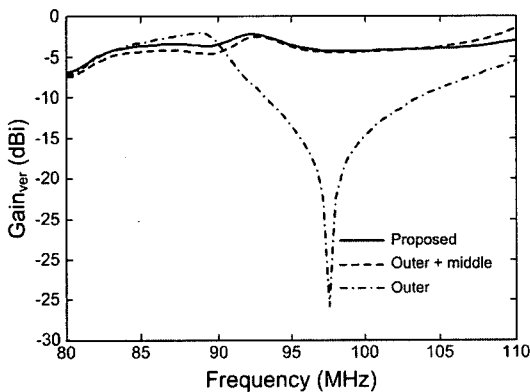


그림 9. 루프 수에 따른 주파수별 수직 편파 이득
Fig. 9. The vertical gain strength depending on the number of loops in terms of frequency.

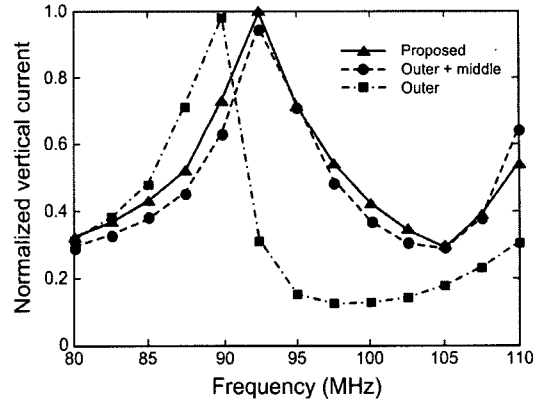


그림 10. 루프 첨가에 따른 수직 선로 전류
Fig. 10. The vertical current component depending on the number of loops.

제안된 다중 루프 글래스 안테나의 다중 공진을 확인하기 위해 등가 회로 모델을 적용하였으며, 시뮬레이션의 입력 저항과 입력 리액턴스로부터 각 소자들의 값을 도출하는 data fitting 방법을 이용하였다. 글래스 안테나의 등가 회로 모델은 그림 11과 같으며, 개별 루프는 RLC 값을 통해 입력 저항과 입력 리액턴스를 만족하는 개별 소자로 표현될 수 있다. 표 2는 각 주파수에서 공진하는 RLC 값을 표현하고 있으며, 개별 루프의 동작 주파수는 80.3 MHz, 111 MHz, 135.5 MHz이다. 그림 12는 등가회로 모델 및 시뮬레이션에 의한 입력 임피던스를 보여주고 있으며, 등가 회로 모델과 시뮬레이션 결과가 일치함을 확인할 수 있다. 제안된 안테나는 가장 낮은 80.3 MHz에서의 공진과 가장 높은 135.5 MHz

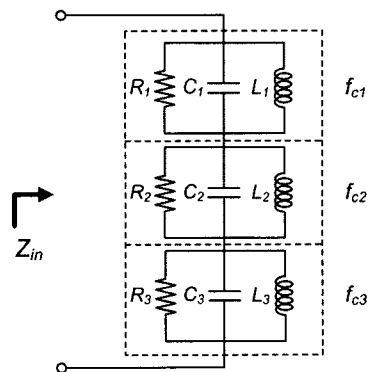
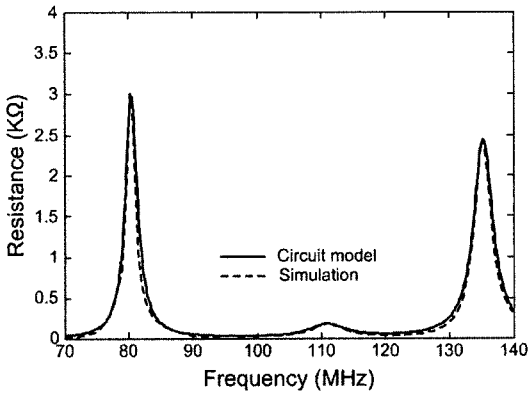


그림 11. 제안된 안테나 등가 회로 모델
Fig. 11. The equivalent circuit model of the proposed antenna.

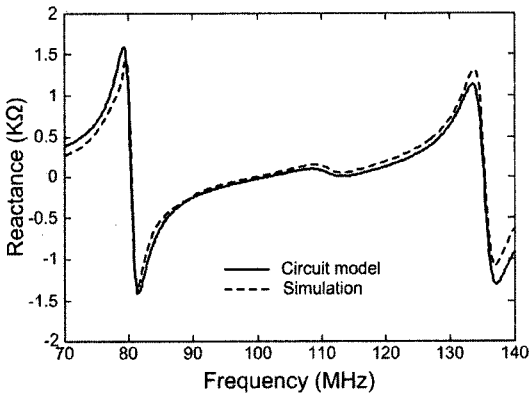
표 2. 최적화된 안테나 등가회로 모델 RLC값

Table 2. RLC values of the equivalent circuit model for the optimized antenna.

| fre (MHz) | $f_{c1}=80.3$ | | | $f_{c2}=111$ | | | $f_{c3}=135.5$ | | |
|----------------|---------------|-------|-------|--------------|-------|-------|----------------|-------|-------|
| $R(\Omega)$ | R_1 | C_1 | L_1 | R_2 | C_2 | L_2 | R_3 | C_3 | L_3 |
| $C(\text{pF})$ | | | | | | | | | |
| $L(\text{nH})$ | 3,000 | 23 | 170 | 160 | 137 | 15 | 2,450 | 18 | 78 |



(a) 입력 저항
(a) Input resistance



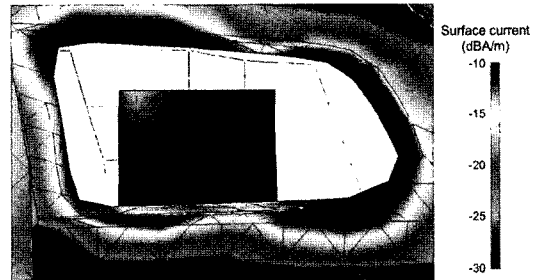
(b) 입력 리액턴스
(b) Input reactance

그림 12. 제안된 안테나의 입력 임피던스
Fig. 12. The input impedance of the proposed antenna.

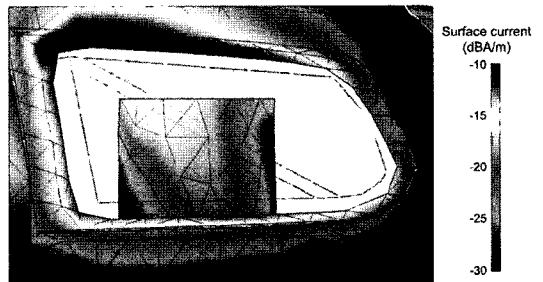
에서의 공진을 통해 전체 FM 주파수 대역에서 안테나가 동작하며 111 MHz에서 공진하는 중간 루프를 통해 광대역 50 Ω 임피던스 정합이 가능하도록 해준다. 입력 저항은 그림 12(a)에서 보는 바와 같이 90~110 MHz 대역에서 25~60 Ω의 일정한 값을 가지며 입력 리액턴스 또한 그림 12(b)와 같이 0 Ω에 근접한 값을 가져 임피던스 정합에 유리함을 확인하

였다.

쿼터 유리는 차량 후면 뒷좌석과 가까운 거리에 위치하기 때문에 내부의 탑승자나 물체에 의해 안테나 성능이 변화하며 일정 수준 이상의 수신을 위해서는 차량 내부에 의한 영향이 적어 안테나의 복사 패턴 변화가 작아야 한다. 차량 내부의 물체에 의한 안테나의 성능 변화를 확인하기 위해 인체 특성에 해당하는 유전율($\epsilon_r=75$)과 도전율($\sigma=0.95$ S/m)을 가지는 형상을 차량 내부에 위치시켜 물체에 유기되는 표면 전류 및 글래스 안테나에 유기되는 전류변화를 확인하였다^[14]. 그림 13은 100 MHz에서 안테나



(a) 제안된 안테나
(a) The proposed antenna



(b) 상용 안테나
(b) The conventional antenna

그림 13. 안테나에 의해 유기되는 차량 내부 물체의 표면 전류
Fig. 13. The induced surface current on an internal object by the antenna.

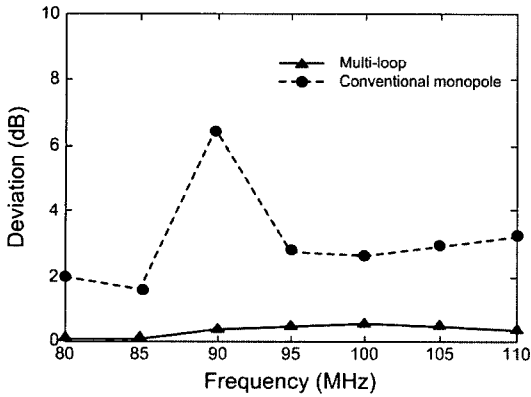


그림 14. 차량 내부 물체에 의한 복사 이득 변화
Fig. 14. The gain deviation due to an internal object.

에 의해 물체에 유기되는 표면 전류를 보여주고 있으며, 그림 13(a)는 제안된 다중 루프 글래스 안테나에 의한 표면 전류 분포를 그림 13(b)는 RV 상용 모노폴 글래스 안테나에 의한 표면 전류 분포를 나타내고 있다. 사람이나 물체 모양을 원기둥으로 나타내었고 제안된 다중 루프 글래스 안테나에 의해 물체에 유기되는 표면 전류(-30 ~ -25 dBA/m)는 상용 모노폴 글래스 안테나에 의해 유기되는 표면 전류(-26 ~ -15 dBA/m)보다 작았다. 또한, 차량 내부 물체에 의한 각 안테나의 ϕ 방향 복사 이득 변화를 계산해본 결과, 그림 14와 같이 다중 루프 글래스 안테나는 모든 주파수에서 평균 0.32 dB 복사 이득 변화를 보여 상용 모노폴 글래스 안테나의 평균 복사 이득 변화인 3.08 dB보다 안정적인 복사 이득을 유지하였다. 따라서 제안된 글래스 안테나는 차량 내부의 사람이나 물체에 대한 영향이 적어 안정적인 FM 라디오 신호 수신에 가능함을 확인하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 FM 라디오 수신을 위한 RV용 다중 루프 형태의 쿼터 글래스 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 급전부와 일부 선로를 공유하는 세 개의 루프로 구성되었으며, 80 MHz와 130 MHz에서 공진하는 내부와 외각 루프를 설계하고 110 MHz에서 공진하는 중간 루프를 삽입함으로써 광대역 임피던스 특성을 만족하였다. 또한, 중간 루프 삽입을 통해 루프의 수직 선로에 흐르는 전류를 동일 방향으

로 유도함으로써 안테나의 수직 편파 이득을 높여 효과적인 FM 라디오 신호를 수신할 수 있도록 하였다. 최적화된 글래스 안테나는 선로에 흐르는 전류량을 바탕으로 선로 두께를 조절하여 안테나의 투명도를 향상시켰다. 투명도가 향상된 글래스 안테나는 FM 라디오 전대역에서 -15 dBi 이상의 높은 이득을 나타내었고, 평균 복사 이득이 -9.67 dBi로 기존의 상용 모노폴 글래스 안테나보다 3 dB 높은 평균 복사 이득을 보였으며, 천장에 부착하는 마이크로 안테나보다 10 dB 우수한 성능을 나타내었다. 또한, 차량 내부의 사람이나 물체에 의한 안테나의 성능 변화가 적어 FM 라디오 신호를 안정적으로 수신할 수 있음을 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] 임명섭, "차량 통신 네트워크 기술", 한국통신학회지, 24(9), pp. 86-95, 2007년 9월.
- [2] K. Yegin, "On-vehicle GPS antenna measurements", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 6, pp. 488-491, 2007.
- [3] M. Cerretelli, G. B. Gentili, "Progress in compact multifunction automotive antennas", *Int. Conf. Electromagnetics in Advanced Applications*, vol. 1, pp. 93-96, Sep. 2007.
- [4] Y. Hong, Y. Shin, C. Mun, Y. Lee, and J. Yook, "Multi-functional vehicle antenna system for FM and PCS services", in *Proc. IEEE Int. Symp. Antenna Propag.*, Honolulu, HI, vol. 1, pp. 1092-1095, Jun. 2007.
- [5] 심재륜, 이준호, 이성신, 김효채, "차량용 FM 라디오 수신을 위한 유리창에 프린트된 안테나의 개발", *대한전자공학회논문지*, 35(5), pp. 436-441, 1998년 5월.
- [6] Y. Noh, Y. Kim, and H. Ling, "Broadband on-glass antenna with mesh-grid structure for automobiles", *Electron. Lett.*, vol. 41, no. 21, pp. 1148-1149, Oct. 2005.
- [7] R. Abou-Jaoude, E. K. Walton, "Numerical modeling of on-glass conformal automobile antennas", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 46, no. 6, pp.

845-852, Jun. 1998.
 [8] K. Fujimoto, J. R. James, *Mobile Antenna System Handbook*, Norwood, MA: Artech House, 1994.
 [9] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, New York: Wiley, 1997.
 [10] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, New York: Wiley, 1998.
 [11] <http://www.feko.info>, EM Software & Systems, "FEKO Suite 5.2."
 [12] J. Horn, N. Nafpliotis, and D. E. Goldberg, "A

niched Pareto genetic algorithm for multiobjective optimization", in *Proc. 1st IEEE Conf. Evolutionary Computation*, vol. 1, pp. 82-87, Jun. 1994.
 [13] M. Meeks, "VHF propagation over hilly, forested terrain", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 31, no. 3, pp. 483-489, Mar. 1989.
 [14] 조광윤, 최형도, "전자파 환경 평가용 인체·생체팬텀에 관한 고찰", *한국전자파진흥지*, 7(6), 1997년 12월.

안 승 범



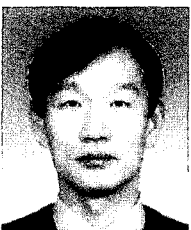
2004년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)
 2006년 2월: 홍익대학교 전자공학과 (공학석사)
 2007년 3월~현재: 홍익대학교 전자정보통신공학과 박사과정
 [주 관심분야] 구조체 안테나 설계, 최적화 알고리즘을 이용한 차량 글래스 안테나 설계, EIRP/ ERP 측정

추 호 성



1998년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학사)
 2000년 8월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학석사)
 2003년 5월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학박사)
 2003년 6월~2003년 8월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (Post Doctor)
 2003년 8월~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 조교수
 2006년 1월~2007년 12월: 한국전자파학회 영문논문지 편집위원
 2006년 1월~현재: 한국전자파학회 학회지 편집위원
 [주 관심분야] 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한 안테나 설계, RFID용 태그 및 리더 안테나

계 영 철



1980년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1982년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1991년 5월: Univ. of Southern California, Electrical Engineering (공학박사)
 1991년 8월~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 교수
 [주 관심분야] 음성 신호 처리, 인식 알고리즘의 최적화, RFID용 태그 및 리더 안테나