

## 다중 루프 형태의 차량용 FM 수신 글래스 안테나 설계

°안 승범\*, 박 슬기\*, 주 호성\*, 오 이석\*, 이 선재\*\*, 노 용호\*\*

\*홍익대학교 전자전기공학부

\*\*주현대 · 기아 자동차 연구개발총괄본부

### Design of a vehicular on-glass antenna for FM radio reception using the multi-loop structure

°Seungbeom Ahn\*, Hosung Choo\*, Seulgi Park\*, Yisok Oh\*, Sunjai Lee\*\*, Yongho Noh\*\*

\*School of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University

\*\* Corporate Research & Development Division, Hyundai · Kia Motors

E-mail: [hschoo@hongik.ac.kr](mailto:hschoo@hongik.ac.kr)

#### Abstract

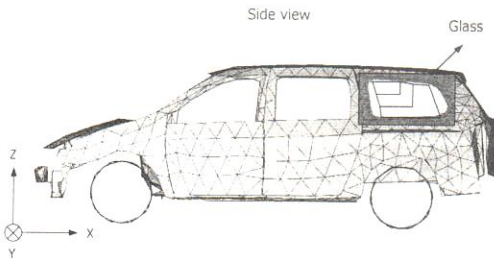
In this paper we propose a vehicular on-glass antenna that consists of multiple loops for receiving FM radio. The detail dimensions of the multiple loops are determined using a genetic algorithm in conjunction with a full wave EM simulator. Then the optimized antenna is printed on a quarter glass of a commercial vehicle and the antenna performance such as the gain and the return loss are measured in a semi-anechoic chamber. The resulting antenna shows the gain of more than -15 dBi along the bore-sight ( $\theta = 90^\circ$ ,  $\phi = 270^\circ$ ) in the frequency range from 80 MHz to 110 MHz, which is about 5 dB higher than a commercial monopole typed on-glass antenna.

#### I. 서 론

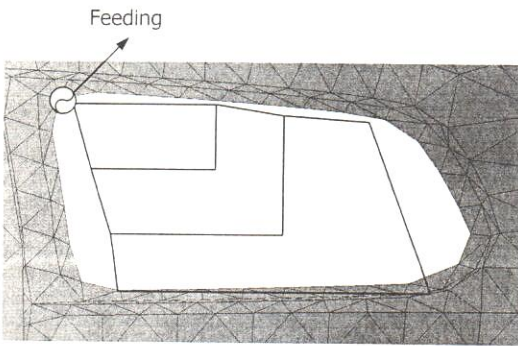
FM 라디오 수신을 위해 기존의 차량용 안테나는 차량 외부에 모노폴 형태의 폴을 세우거나 단일 혹은 다중 폴의 형상을 인쇄한 글래스 안테나를 사용하고 있다[1-4]. 하지만 차량 외부에 장착된 폴 형태의 안테나

는 내구성과 미관이 좋지 않은 문제점을 갖고 있는 반면 상용 글래스 안테나는 내구성과 차량 미관은 항상 시킬 수 있으나 안테나 형상을 인쇄할 수 있는 공간이 글래스의 크기에 의해 제한되어 성능이 저하되는 문제점을 가진다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 폴 형태 글래스 안테나와 비슷한 형태를 가지면서도 안테나 성능을 향상시키기 위한 몇몇 방안들이 연구되고 있다[5].

본 논문에서는 차량의 제한된 글래스 공간을 효율적으로 사용하면서 다중공진을 가져 FM 주파수 대역의 임피던스 정합에 유리한 다중 루프 형태의 차량용 글래스 안테나를 제안하였다. 제안된 글래스 안테나의 성능을 검증하기 위해 실제 차량에 실장하여 성능을 측정하였으며, 기존 폴 형태의 상용 글래스 안테나와 성능을 비교하였다. 제작된 안테나의 측정 반사손실과 복사이득 모두 시뮬레이션 값과 유사하고, FM 주파수 전대역(80 MHz ~ 110 MHz)에서 폴 형태의 상용 글래스 안테나보다 약 5 dB 이상 높은 -15 dBi의 복사이득을 보였다. 또한 안테나의 전방향(bore-sight direction:  $\theta = 90^\circ$ ,  $\phi = 270^\circ$ )으로 최대 복사 이득을 보이며 안테나 형상도 간략하여 실제 차량용 글래스 안테나로서 적용 가능함을 확인하였다.



(a) 차량 구조



(b) 제안된 글래스 안테나 형상

그림 1. 차량 구조 및 제안된 글래스 안테나

## II. 본 론

루프 형태의 안테나는 모노폴 안테나와 유사한 복사 패턴 및 이득을 가지면서도 크기가 작아 소형화에 유리하다[6]. 특히 차량용 글래스에 적용 시 글래스 내부의 인쇄 가능한 공간을 모노폴에 비해 보다 효율적으로 사용할 수 있으며 구조가 단순하여 미관상 보기 좋을 뿐만 아니라 실제 양산에 적용 가능한 형태를 갖는다. 하지만 단일 루프 형태는 FM 주파수 전대역에서 동작하는 글래스 안테나의 설계가 어렵고 특히 특정 주파수에서 전류의 수직성분이 상쇄되어 수직방향 편파의 수신 성능이 감소하는 문제점이 있다. 이러한 단일 루프 안테나의 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 일부 선로를 공유하는 다중 루프 형태의 글래스 안테나를 제안하였다.

그림 1 (a)는 제안된 글래스 안테나가 장착된 차량 구조를 보여주고 있으며 안테나는 오른쪽 후면에 장착되고 글래스 왼쪽 상단에서 급전된다. 글래스 안테나의 성능 분석에 있어 정확한 결과를 도출하기 위해서는 글래스 단품 뿐 아니라 차량 전체 구조를 포함한 안테나 해석이 반드시 필요하다. 차량을 포함한 안테나 해석 시간을 줄이기 위해 차체에 유기되는 전류량이 많은 부위의 mesh 수는 늘리고 적은 부위의 mesh 수는 줄이는 방법을 사용하였다. 그림 1 (b)는 제안된 글래스 안테나의 구조로 3 개의 루프가 급전부를 중심으로 상단과 좌측의 선로를 공유하는 형태를 보이며 서로 다른 주파수 대역에서 공진하여 광 대역 임피던스 정합 특성을 가지도록 각각의 루프 길이를 설계 하였다. 또한 넓은 주파수 대역에서 수직성분 편파 특성을 향상시켜 높은 복사 이득을 가지도록 다중 루프의 위치를 최적화 하였다.

안테나의 최적 설계는 유전자 알고리즘을 FEKO EM 시뮬레이터에 적용하여 도출하였으며, 최적화 과정에 사용되는 비용평가 함수는 다음과 같다[7,8].

$$Cost = \min \{ Gain(f, \theta = 90^\circ, \phi = 270^\circ) \}, \quad (1)$$

where  $80 \text{ MHz} \leq f \leq 110 \text{ MHz}$

비용평가 함수는 글래스 안테나가 부착되어 있는 방향 ( $\theta = 90^\circ, \phi = 270^\circ$ )으로 FM 라디오 주파수 대역 (80 MHz ~ 110 MHz) 중 가장 낮은 이득을 최적화 과정을 통해 향상시켜 전체 주파수 대역에서 일정 이상의 이득을 가지도록 하였다.

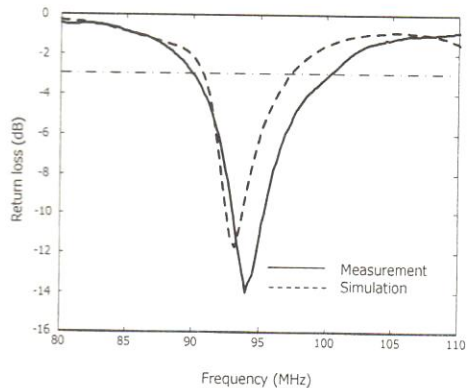


그림 2. 제작된 글래스 안테나의 반사손실

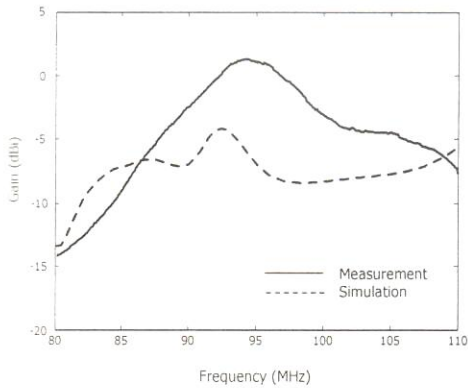


그림 3. 제작된 글래스 안테나의 복사이득

최적화된 안테나의 성능 검증을 위해 실제 차량에 설치하여 반사손실과 복사이득을 측정하였다. 그림 2 는 안테나의 반사 손실을 나타내고 있으며 실선은 측정 결과를 점선은 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 측정과 시뮬레이션 값이 매우 유사하며, 89 MHz ~ 101 MHz 대역에서 -3 dB 반사손실로 넓은 임피던스 정합을 나타내었다. 그림 3 은 제작된 안테나의 FM 주파수 대역(80 MHz ~ 110 MHz)에서 전방향 ( $\theta = 90^\circ$ ,  $\phi = 270^\circ$ ) 복사이득을 보여준다. 측정과 시뮬레이션 값이 모든 주파수 대역에서 -15 dB 이상으로 폴 형태의 상용 글래스 안테나에 비해 약 5 dB 이상의 높은 값을 가졌으며, 95 MHz 주변의 시뮬레이션과 측정 복사이득의 차이는 최적화 과정에서 설계변수 설정을 용이하게 하기 위해 글래스의 곡면도를 고려하지 않은 영향으로 사료된다.

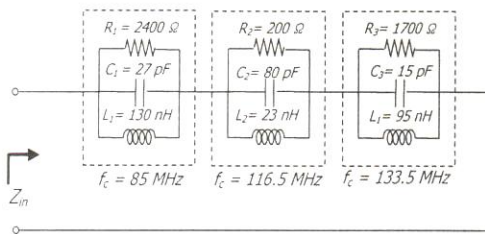
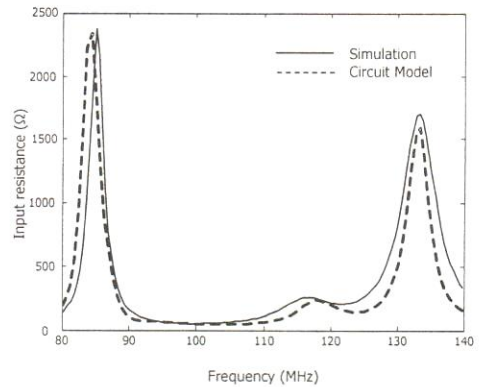


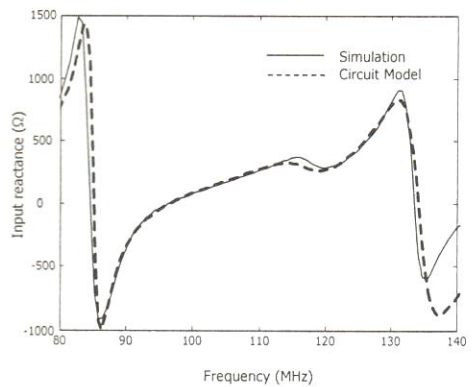
그림 4. 글래스 안테나 등가회로 모델

그림 4 는 제안된 글래스 안테나의 동작 원리를 분석하기 위한 등가회로 모델로서 시뮬레이션의 입력 저항과 입력 리액턴스로부터 각 소자들의 값을 역으로 추

출하였으며 크기가 가장 큰 루프부터 각각 85 MHz, 116.5 MHz, 133.5 MHz 에서 공진 하는 직렬 등가회로로 표현된다. 그림 5 는 등가회로 모델 및 시뮬레이션에 의한 입력 임피던스를 보여주고 있으며 실선은 시뮬레이션을 점선은 등가회로 모델 결과를 의미한다. 가장 낮은 85 MHz 에서의 공진과 가장 높은 133.5 MHz 에서의 공진이 전체 FM 주파수 대역에서 임피던스 변화를 완만하게 해주며 중간 주파수인 116.5 MHz 에서의 공진에 의해 임피던스 값이 보정되어 광대역 특성을 만족시킨다. 입력 저항은 그림 5 (a)에서 보는 바와 같이 90 MHz ~ 110 MHz 대역에서 33 ~ 50 Ω 의 일정한 값을 가지며 입력 리액턴스 또한 그림 5 (b)와 같이 0 Ω 에 근접한 값을 가짐으로써 임피던스 정합에 유리함을 확인하였다.



(a) 입력 저항



(b) 입력 리액턴스

그림 5. 글래스 안테나의 입력 임피던스

그림 6은 100 MHz에서의  $\phi$  방향에 따른 수신전압 복사패턴으로서 전방향 이득이 -2 dBi 인 야기-우다 (Yagi-Uda) 안테나와 1 mW 를 송출하는 시스템을 연결한 후 30 m 떨어진 거리에서 증폭기를 연결하지 않고 글래스 안테나를 차량에 부착하여 입력단에서 수신되는 전압을 측정된 결과이다. 제안된 글래스 안테나는 FM 주파수 대역(80 MHz ~ 110 MHz)에서 안테나가 실장되어 있는 방향( $\phi = 270^\circ$ )으로 60 dB $\mu$ V 이상의 매우 높은 수신 전압을 나타내었다. 이는 폴 형태의 글래스 안테나 수신전압에 비해 약 10 dB $\mu$ V 이상 높아 실제 양산용 글래스 안테나로 적합함을 확인하였다. 측정 결과를 재검증하기 위해 증폭기가 부착된 실제 FM 수신기에 글래스 안테나를 연결하여 청음 평가를 하였으며, 청음 평가에 있어서도 상용 폴 형태의 글래스 안테나보다 좋은 성능을 보였다. 마지막으로 루프 수에 따른 수직 편파의 복사특성 변화를 확인하기 위해 제안된 글래스 안테나의 루프 수를 줄여가면서 수신전압 성능을 확인하였으며 루프의 개수가 감소할수록 수직방향 편파 이득이 감소함을 알 수 있었다.

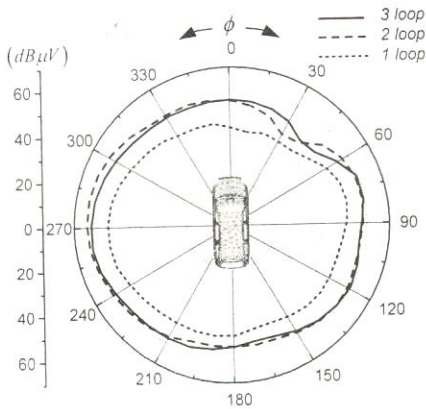


그림 6.  $\theta = 90^\circ$ 에서의 수평 방향 수신전압 복사패턴

### III. 결 론

본 논문에서는 기존의 글래스 안테나 설계에 비해 비용과 시간을 절감하고 제한된 글래스에서 최대의 성능을 가질 수 있도록 선로를 공유하는 다중 루프 형태의 차량용 글래스 안테나를 개발하였다. 개발된 글래스 안테나를 실제 양산되는 차량에 실장하여 측정하였으며,

측정한 안테나의 반사손실과 복사이득 모두 시뮬레이션 값과 매우 유사함을 확인하였다. 전방향 ( $\theta = 90^\circ, \phi = 270^\circ$ ) 복사이득은 FM 주파수 전대역(80 MHz ~ 110 MHz)에서 -15 dBi 이상의 값을 가졌으며, 평균 수신전압은 전 주파수 대역에서 약 57.37 dB $\mu$ V 로 기존의 폴 형태 글래스 안테나에 비해 10 dB $\mu$ V 높은 수신성능을 보였다. 제안된 글래스 안테나는 실장된 안테나의 전방향( $\theta = 90^\circ, \phi = 270^\circ$ )으로 최대 복사가 이루어지며 미관을 고려한 단순한 형태로서 실제 양산에 적용 가능함을 확인하였다. 마지막으로 최적화된 안테나를 등가회로 모델로 분석하여 광대역 동작원리를 살펴보고 루프 수에 따른 수직방향 편파 특성을 확인하였다.

### Acknowledgement

본 연구는 ㈜현대·기아 자동차, ㈜엔지비 지원 하에 이루어졌음.

### 참고문헌

- [1] K. Fujimoto, and J. R. James, *Mobile antenna system handbook*, Artech House, Morwood, MA, 1994.
- [2] D. Bolle and M. Morganstern, "Monopole and conic antennas on spherical vehicle", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 17, no. 4, pp. 477-484, July 1969.
- [3] R. Abou-Jaoude and E. K. Walton, "Numerical modeling of on-glass conformal automobile antennas", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 46, no. 6, pp. 845-852, June 1998.
- [4] J. C. Batchelor, R. J. Langley, and H. Endo, "On-glass mobile antenna performance modeling", *IEE Proc.*, vol. 184, no. 4, pp. 233-238, Aug. 2001.
- [5] Y. Noh, Y. Kim, and H. Ling, "Broadband on-glass antenna with mesh-grid structure for automobile", *Electron. Lett.*, vol. 41, no. 21, pp. 342-343, Oct. 2005.
- [6] W. L. Stutzman, and G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, 2nd Ed., New York: John Wiley & Sons, 1998.
- [7] Y. Rahmat-Samii, and E. Michielssen, *Electromagnetic Optimization by Genetic Algorithms*, New York: Wiley, 1999.
- [8] <http://www.feko.info>, EM Software & System, "FEKO suit 5.2."