

# FM 라디오 수신을 위한 차량용 다이버시티 안테나 설계

## Design of Diversity Vehicle Antennas for FM Radio Reception

안승범 · 노용호\* · 오정훈\* · 추호성

Seungbeom Ahn · Youngho Noh\* · Junghoon Oh\* · Hosung Choo

### 요 약

본 논문에서는 FM 라디오 수신을 위한 차량용 온-글래스 안테나 간의 채널 용량과 다이버시티 이득에 대하여 연구하였다. 안테나 간의 상관 계수 및 채널 용량은 도심 환경에 해당하는 Rayleigh 채널 환경과 안테나의 시뮬레이션 3차원 복사 패턴을 이용하여 계산하였다. 직선형 안테나와 L자형 안테나를 이용하여 채널 용량을 계산하였고 안테나의 급전 위치 및 L자형 안테나의 형상을 변화시켜 채널 용량 변화를 확인하였다. 실제 세단에 적용 가능한 급전 위치를 가지며 채널 용량이 높은 안테나 형상을 후면 글래스에 인쇄하여 야외 약전계 지역에서 FM 수신 출력을 측정하였으며, 안테나 수신 신호 간의 상관 계수는 0.65로 낮은 값을 보였다. 차량용 온-글래스 안테나에서 높은 다이버시티 이득을 얻기 위해서는 안테나 간의 급전 위치가 최대한 이격되어야 하며, 급전간 거리가 일정 이상 확보되었을 때에는 안테나의 편파가 달라야 함을 확인하였다.

### Abstract

In this paper, we report on the channel capacity and diversity gain of the vehicle on-glass antenna for FM radio reception. The correlation coefficient and channel capacity were obtained using the simulated 3D radiation pattern of each antenna and the Rayleigh channel model for urban environment. To examine the channel capacity we used two antennas which are a simple straight antenna and L-type antenna. Then we observed the available channel capacity by varying the position of feeds and the shape of the L-type antenna. The sample antenna, which has a maximum feed distance with different polarizations, was built and the receiving performance was measured in the weak FM field area. From the results we confirmed that the distance between the feeds should be placed as far as possible for the high channel capacity. If the distance between the feeds are greater than a certain threshold value than the polarizations of the two antennas are getting more important for determining the channel capacity.

Key words : On-Glass Antenna, Channel Capacity, Diversity Antenna

### I. 서 론

FM 통신은 차량의 다양한 방송·통신 방식 중 기본이 되는 통신 매체로서 차량의 성능을 평가하는 중요한 요소 중 하나이며, 수신 성능 개선과 안테나

의 외관 향상을 위한 지속적인 연구가 시행되고 있다. FM 수신용 안테나로는  $\lambda/4$  모노폴, 마이크로 안테나 등이 주로 사용되어 왔으나, 이들 안테나는 크기가 크고 외부로 돌출되어 내구성이 낮고 외관이 좋지 않은 문제점을 가진다<sup>[1],[2]</sup>. 이러한 문제점을 해

「본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음[2009-F-042-01, 내장형 안테나 어레이 기반의 차세대 차량용 이동통신 시스템 기술연구.]」

「본 논문은 (주)현대·기아 자동차의 지원하에 이루어졌음.」

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

\* (주)현대·기아 자동차 연구개발총괄본부(Corporate Research & Development Division, Hyundai·Kia Motors)

· 논문 번호 : 20090529-12S

· 수정완료일자 : 2009년 8월 14일

결하기 위해 차량의 후면 또는 측면 유리에 안테나를 인쇄하는 온-글래스 안테나가 FM 수신용 안테나로 많이 사용되고 있다. 온-글래스 안테나는 안테나 형상을 유리에 직접 인쇄하기 때문에 제작 단가가 저렴하고 내구성이 반영구적인 특성을 보인다<sup>[3]~[7]</sup>. 하지만 안테나의 도체 선로를 높은 유전 손실을 갖는 유리에 인쇄하기 때문에 좁은 정합 대역과 낮은 복사 이득을 보이며, 특히 다중 경로 페이딩이 존재하는 도심 환경에서는 수신 성능이 더욱 감소하는 문제점을 가진다<sup>[8]</sup>. 최근 다중 경로 페이딩 환경에서 안테나의 수신 성능을 향상시키기 위해서, 후면 유리에 독립된 두 개의 안테나를 인쇄하는 다이버시티 온-글래스 안테나가 일부 차종에 적용되고 있지만, 차체를 고려한 안테나의 상호 결합 및 다이버시티 이득에 대한 연구는 미흡한 실정이다<sup>[9]</sup>.

본 논문에서는 세단의 후면 유리를 이용하여 다이버시티 성능을 최적화하기 위한 두 안테나 형상 및 급전 위치를 연구하였다. 먼저 시뮬레이션을 이용한 안테나의 3차원 복사 패턴을 바탕으로 두 안테나의 상관 계수와 채널 용량을 계산하였으며, 채널 환경은 비가시 영역(NLOS: Non Line of Sight) 특성을 보이는 Rayleigh 채널로 가정하였다<sup>[10]</sup>. 다이버시티 이득을 높이기 위해서는 안테나의 상관 계수가 낮아야 하며 채널 용량이 높아야 한다. 두 안테나의 급전 위치와 안테나의 접힌 길이 비에 따른 상관 계수를 구하여 온-글래스 안테나의 채널 용량 변화를 조사하였다. 실제 세단에 적용할 수 있는 급전점 위치를 가지며 높은 채널 용량을 보이는 두 안테나의 형상을 실제 차량의 후면 유리에 인쇄하고 안테나의 전면 방향 수직 이득을 전자파 반무반사실에서 측정하였으며, 두 안테나 사이의 상관 계수 검증을 위해 야외 약전계 지역에서 FM 방송 수신 출력을 차량 이동 중 측정하였다. 측정 결과, 두 안테나의 급전점 사이의 이격거리가 커질수록 높은 채널 용량을 보였으며, 급전점의 이격거리가 일정 이상 유지되면 안테나의 편파가 채널 용량을 결정하는 중요한 요인임을 확인하였다.

## II. 차량 안테나의 채널 용량 계산

다중 페이딩이 존재하는 도심 환경에서 안테나의

수신 성능을 향상시키기 위해 차량용 수신 안테나로 두 개의 안테나를 사용하는 다이버시티 시스템이 최근 널리 사용되고 있다. 다이버시티 시스템에서는 개별 안테나의 성능보다 안테나 간의 유사성인 상관 계수가 낮아 제한된 여러 환경에서 신호를 효과적으로 수신할 수 있어야 한다. 안테나 간의 상관 계수가 낮으면 높은 채널 용량을 보여 높은 다이버시티 이득을 나타낸다. 차량용 다이버시티 안테나를 설계할 때에는 FM 라디오의 효과적인 수신을 위해 안테나 간의 채널 용량이 커지도록 설계하여야 한다. 본 논문에서는 안테나의 급전 위치와 형상에 따른 채널 용량을 확인하기 위해 직선형 안테나와 접힌 형태의 L자형 안테나를 사용하여 상관 계수 및 채널 용량을 시뮬레이션 하였다. 이들 안테나 간의 채널 용량을 계산하기 위해서는 채널 환경에 대한 모델링과 안테나들 사이의 상관 계수가 필요하다. 일반적인 무선 채널은 가시 영역(LOS)과 비가시 영역(NLOS)에서의 채널로 구분되고, 가시 영역은 Rician 분포로, 비가시 영역은 Rayleigh 분포로 나타낸다<sup>[10]</sup>. 본 논문에서는 도심 환경에 보다 적절한 Rayleigh 채널 모델을 Gaussian 랜덤 함수를 이용하여 구현하였다. 안테나들 사이의 상관 계수는 안테나의 3차원 복사 패턴을 식 (1)에 대입하여 도출하였다.

$$\psi_{ij} = \frac{1}{\sigma_i \sigma_j} \oint E \left\{ \left( \mathbf{A}_i(\Omega) \cdot \mathbf{E}(\Omega) \right) \left( \mathbf{A}_j^*(\Omega) \cdot \mathbf{E}^*(\Omega) \right) \right\} d\Omega \quad (1)$$

여기서  $\sigma_i$ 와  $\sigma_j$ 는 안테나  $i$ 와  $j$ 에 의해 수신된 신호의 편차를 의미하며,  $\Omega$ 는  $(\theta, \phi)$ 의 입체각을 나타낸다.  $\mathbf{A}_i(\Omega)$ 와  $\mathbf{A}_j(\Omega)$ 는 각 안테나의 3차원 복사 패턴을  $\mathbf{E}(\Omega)$ 는 임의의 입사파를 의미한다<sup>[11],[12]</sup>. 안테나의 3차원 복사 패턴을 구하기 위해 FEKO EM 시뮬레이터<sup>[13]</sup>를 이용하였으며, 유리에 인쇄되는 안테나 패턴은 유전 물질로 코팅된 도체 와이어로 모델링하여 정확도를 유지하면서도 시뮬레이션 계산 속도를 높였다. 또한, 안테나가 장착될 차량의 크기는 대략 파장( $1 \lambda = 3 \text{ m}$ ,  $f = 100 \text{ MHz}$ )의 1.5배 정도로 차체가 안테나의 성능에 많은 영향을 미친다. 따라서 안테나 성능의 정확한 해석을 위해서는 EM 시뮬레이션에 차체를 반드시 포함해서 해석해야 한다<sup>[14]</sup>. 해석 정확도와 해석 시간을 고려하여 약 4,200개

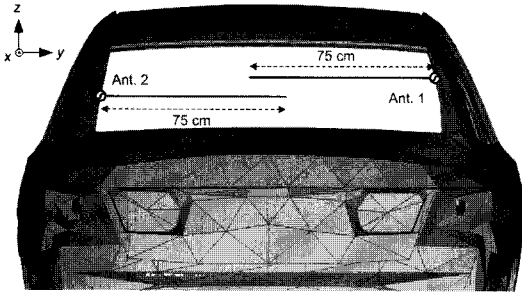


그림 1. 차량 및 기본 안테나 구조  
Fig. 1. The vehicle and basic antenna structure.

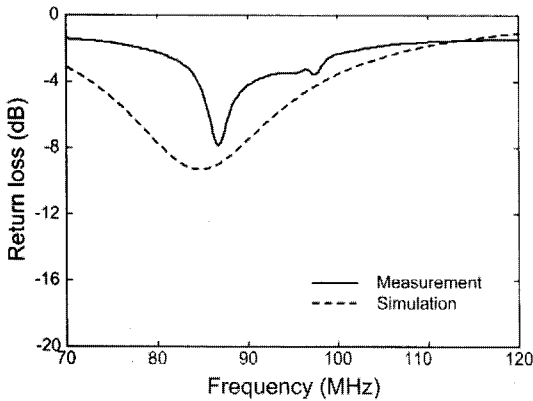


그림 2. 기본 형상 안테나의 반사 손실  
Fig. 2. The return loss of basic antenna.

mesh 수를 가지는 차량 구조체를 시뮬레이션에 포함시켰다. 그림 1은 후면 차체 mesh 구조와 안테나 형상을 보여주고 있으며, 다이버시티 안테나로 두 개의 직선형 안테나가 사용되었다. 각 안테나는 양 측면 프레임에서 급전되고, 안테나의 길이는 100 MHz에서 공진할 수 있도록 75 cm로 결정하였다. 기본 형상 안테나의 특성을 확인하기 위해 안테나의 반사 손실과 복사 패턴을 측정하여 시뮬레이션과 비교하였다. 그림 2는 오른쪽에 위치한 안테나 1의 측정과 시뮬레이션 반사 손실로 시뮬레이션과 측정이 유사함을 확인할 수 있으며, 안테나 2는 크기와 형상이 안테나 1과 동일하여 유사한 반사 손실을 나타내었다. 두 안테나 간의 isolation을 시뮬레이션을 통해 확인하였으며, FM 전 주파수 대역에서 -32 dB 이하의 낮은 값으로 isolation 특성이 우수하였다. 그림 3은 두 안테나의 azimuth 방향( $\theta=90^\circ$ ,  $\phi_{scan}$ )에서의 복사 패턴을 의미하며 실선은 측정 결과를 점선은 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 측정된 복사 패턴

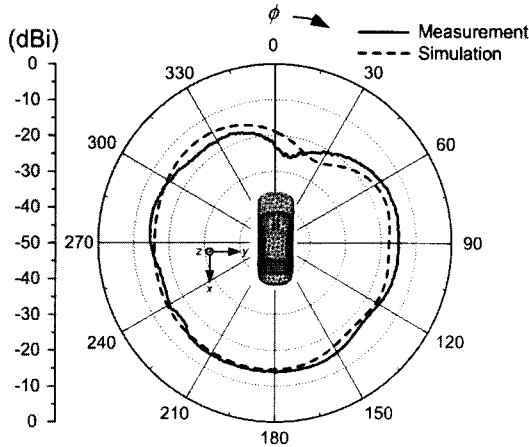
은 야기-우다 안테나와 제안된 안테나를 송·수신 안테나로 사용하고 Agilent E5071A 네트워크 분석기를 이용하여 반무반사실(30×30 m)에서 측정한 결과이다. 그림 3(a)와 (b)는 우측 안테나의 복사 패턴으로 각각 수직 편파 이득과 수평 편파 이득을 의미하며, 측정과 시뮬레이션 결과가 유사함을 알 수 있다. 수직 편파 이득은 무지향성 특성을 보이며 수평 편파 이득보다 약 10 dB 높은 특성을 보였다. 그림 3(c)와 (d)는 좌측 안테나의 수직 편파 복사 패턴과 수평 편파 복사 패턴으로 좌측 안테나와 동일하게 수직 편파 이득이 수평 편파 이득보다 높음을 확인할 수 있다. 두 안테나의 복사 패턴을 식 (1)과 식 (2)에 적용하여 채널 용량을 계산할 수 있다.

$$C = E \left\{ \log_2 \left[ \det \left( I_{n_R} + \frac{\rho}{n_T} \tilde{\mathbf{H}} \mathbf{H} \tilde{\mathbf{H}}^\dagger \right) \right] \right\} \quad (2)$$

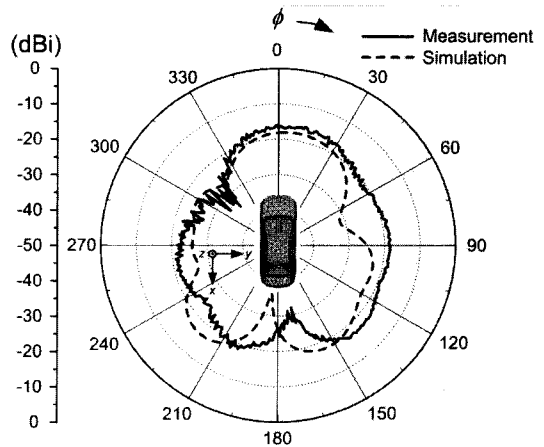
여기에서,  $n_T$ ,  $n_R$ 은 송신 안테나와 수신 안테나의 개수를 의미하며,  $\tilde{\mathbf{H}}$ 는 평탄 페이딩의 정규화된 변환 매트릭스를,  $\rho$ 는 신호 대 잡음비를 나타낸다<sup>[11],[12]</sup>. 도심 환경 해석을 위해  $\tilde{\mathbf{H}}$ 를 비가시 영역이 존재하는 Rayleigh 채널로 모델링하여 Gaussian 랜덤 함수로 설정하였다. 입사파의 각 스펙트럼은 고도 방향으로 평균이  $90^\circ$ 이고 분산이  $30^\circ$ 인 Gaussian 분포를 적용하였으며, 방위 방향으로는 균일 분포를 적용하였다<sup>[15]</sup>. 두 직선형 안테나는 0.98의 안테나 상관 계수를 보였으며, 4.52 bps/Hz의 채널 용량 결과를 나타내었다.

### III. 채널 용량 극대화를 위한 안테나 형상 연구

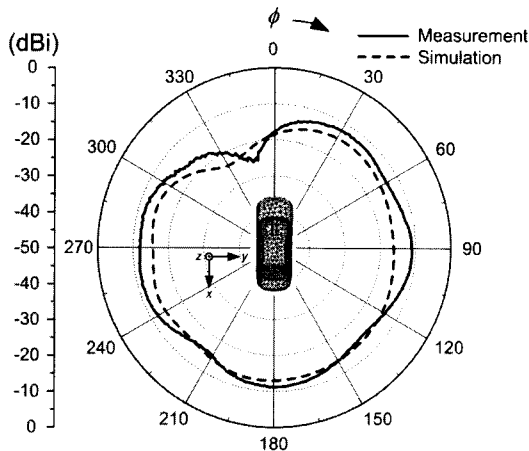
안테나 형상 및 급전 위치에 따른 다이버시티 은-글래스 안테나의 상관 계수와 채널 용량을 직선형 안테나와 L자형 안테나를 이용하여 확인하였다. 직선형 안테나는 100 MHz에서 공진하도록 75 cm로 고정하였으며, L자형 안테나는 수평선로  $x_1$ 과 수직선로  $x_2$ 로 구성되고 길이의 합은 75 cm로 고정하였으며,  $x_2/x_1$ 의 비율을 증가시키며 채널 용량을 관찰하였다. 두 안테나의 급전 위치 조합에 따라 세가지 안테나 기본 구조를 설정하였다. 첫 번째 기본구조는 그림 4와 같이 우측에 위치한 동일 프레임에서 두 안



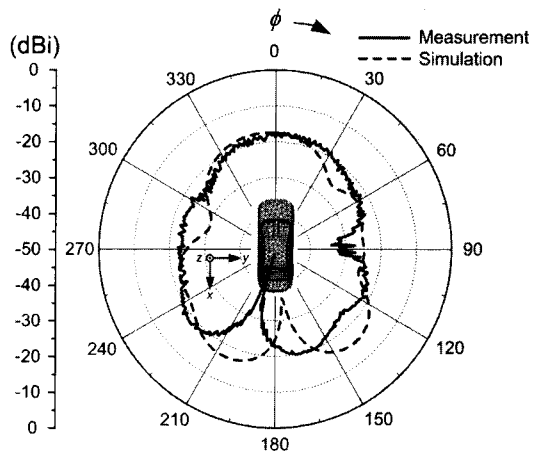
(a) 안테나 1의 수직 편파 복사 패턴  
(a) The vertical radiation pattern of Antenna 1



(b) 안테나 1의 수평 편파 복사 패턴  
(b) The horizontal radiation pattern of Antenna 1



(c) 안테나 2의 수직 편파 복사 패턴  
(c) The vertical radiation pattern of Antenna 2



(d) 안테나 2의 수평 편파 복사 패턴  
(d) The horizontal radiation pattern of Antenna 2

그림 3. 기본 형상 안테나의 복사 패턴( $\theta=90^\circ$ )  
Fig. 3. The radiation pattern of basic antenna( $\theta=90^\circ$ ).

테나가 급전되는 형상이다. 시뮬레이션 결과 두 안테나는 0.8 이상의 높은 상관 계수 값을 보였으며, 채널 용량도 그림 5(b)와 같이 4.6 bps/Hz 이하의 낮은 값을 나타내었다. L자형 안테나의 접힌 비율을 증가시켜 두 안테나의 형상이 다르게 하여도 높은 상관 계수 값을 보였으며, 이는 안테나의 형상보다

안테나의 급전 위치 및 거리가 채널 용량 및 상관 계수 결정에 중요한 요소임을 의미한다. 또한 L자형 안테나의 비율이 적어져서 두 안테나의 형상이 유사할 때 오히려 채널 용량이 높아지는 것은 두 안테나가 근접하여 생기는 상호 결합 특성으로 두 안테나의 복사 패턴이 변화하였기 때문이다.

표 1. 수신출력 간의 상관계수

Table 1. The correlation coefficient between the received powers of two antennas.

구간(s)	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	100~120	120~140	140~160	160~180	전체
상관계수	0.01	0.56	0.17	0.66	0.51	0.47	0.47	0.45	0.40	0.65

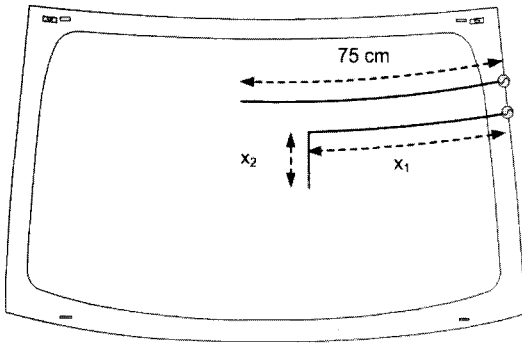


그림 4. 동일면에서 급전된 경우의 안테나 구조  
Fig. 4. The antenna structure in case of feeding at same frames.

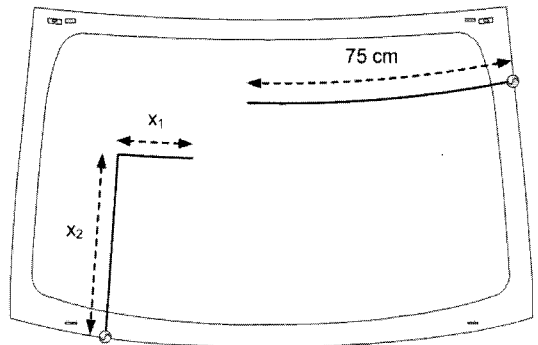
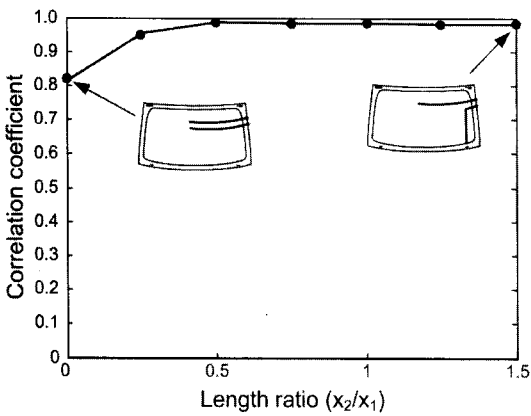
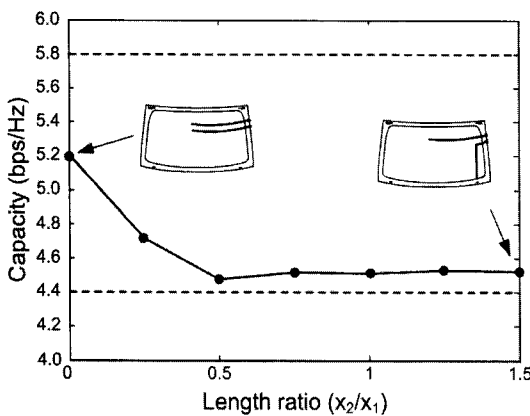


그림 6. 측면과 하단부에서 급전된 경우의 안테나 구조  
Fig. 6. The antenna structure in case of feeding at side and bottom frames.



(a) 상관 계수  
(a) Correlation coefficient



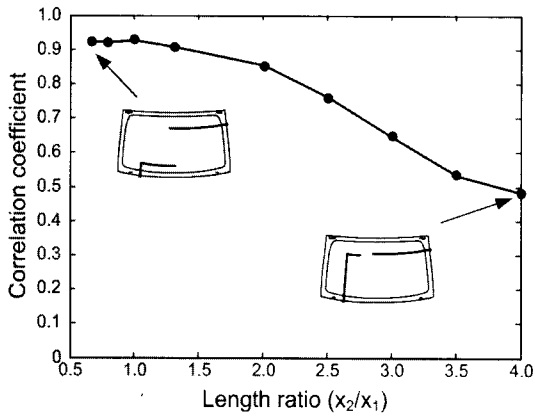
(b) 채널 용량  
(b) Channel capacity

그림 5. 동일면에서 급전된 경우의 상관 계수와 채널 용량

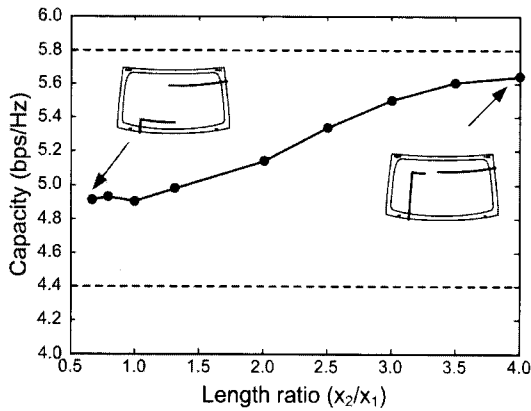
Fig. 5. The correlation coefficient and channel capacity in case of feeding at same frames.

두 번째 기본구조는 그림 6과 같이 L자형 안테나가 하단 프레임에서 급전되고, 직선형 안테나는 우측에서 급전되는 경우이다. 이전과 동일하게 접힌 비율  $x_2/x_1$ 를 증가시키면서 상관 계수와 채널 용량을 계산하였다. 그림 7에서 보는 바와 같이  $x_2/x_1$  비율에 관계없이 4.8 bps/Hz 이상의 채널 용량을 보였다. 이는 안테나 형상보다도 안테나의 급전 위치가 채널 용량 결정에 중요한 역할을 함을 의미한다. L자형 안테나의  $x_2/x_1$  비율에 따른 채널 용량 변화를 보면 수직성분  $x_2$ 의 비율이 증가할수록 두 안테나의 편파 성분이 다르게 되고 따라서 보다 높은 채널 용량을 가진다. 다이버시티 안테나에서 채널 용량을 높이기 위해서는 안테나 간의 급전 위치가 이격되어야 한다. 급전 위치가 근접할 경우에는 안테나 간의 상호 결합에 의해 복사 패턴이 변화하여 낮은 채널 용량을 보인다. 또한 안테나 급전간의 거리가 일정이상 이격되었을 경우에는 안테나들의 편파가 달라야 높은 채널 용량을 가질 수 있다. 따라서 두 번째 예제처럼 급전 간의 거리가 확보되고 안테나의 편파가 다른 경우가 차량용 다이버시티 안테나로 적합하지만, 상용 차량에서는 차량 외관 및 구조적인 문제로 인하여 급전 위치에 대한 제한이 있다.

실제 차량에서는 그림 6과 같이 후면 유리 상단과 하단에서는 안테나의 급전이 불가능하며, 양 측면 프레임에서만 급전이 가능하다. 급전점의 이격거리를 유지하면서도 실제 급전 가능한 위치에서 급전되는 안테나 형상을 그림 8에서 보여주고 있다. 두 안테나는 좌·우측 프레임에서 급전되어 급전점 이격 거리를 최대로 유지하였고, L자형 안테나의 접힌 비



(a) 상관 계수  
(a) Correlation coefficient



(b) 채널 용량  
(b) Channel capacity

그림 7. 측면과 하단부에서 급전된 경우의 상관 계수와 채널 용량

Fig. 7. The correlation coefficient and channel capacity in case of feeding at side and bottom frames.

을  $x_2/x_1$ 를 증가시키면서 상관 계수와 채널 용량을 계산하였다. 그림 9와 같이 접힌 비율이 증가하여 두 안테나의 편파가 달라질수록 안테나의 상관 계수는 낮아졌으며 채널 용량이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

최대 채널 용량을 보이는 직선형 안테나와 L자형 안테나 형상( $x_2/x_1=1.5$ )을 차량 후면 유리에 제작하고 성능을 측정하였다. 두 안테나의 전면 방향(bore-sight direction:  $\theta=90^\circ$ ,  $\phi=0^\circ$ ) 수직 성분 이득은 반무반사실에서 측정하였으며, FM 주파수 대역인 80~120 MHz에서 직선형 안테나는 -17.44 dBi의 평균

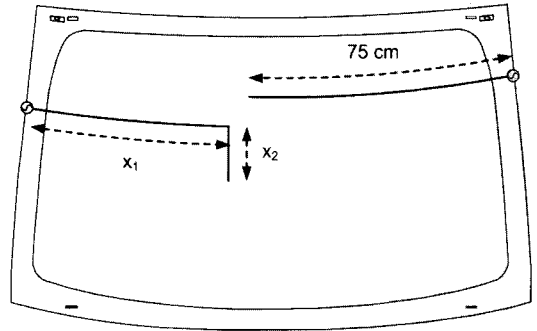
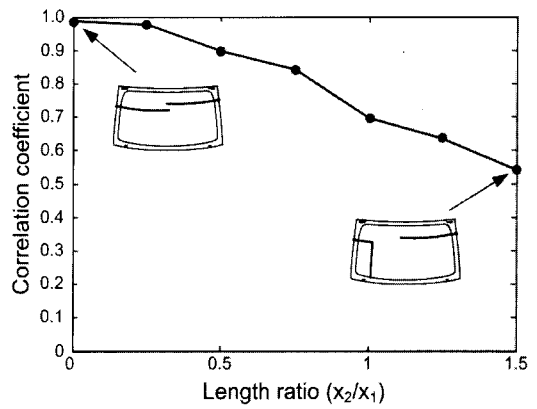
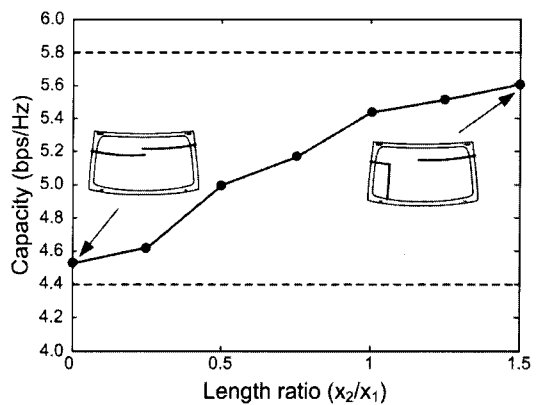


그림 8. 반대면에서 급전된 경우의 안테나 구조  
Fig. 8. The antenna structure in case of feeding at opposite frames.



(a) 상관 계수  
(a) Correlation coefficient



(b) 채널 용량  
(b) Channel capacity

그림 9. 반대면에서 급전된 경우의 상관 계수와 채널 용량

Fig. 9. The correlation coefficient and channel capacity in case of feeding at opposite frames.

수직 이득을 보였으나, 95 MHz에서 이득이 -40 dBi 정도로 급격히 감소하는 부분을 보였다. 반면 L자형 안테나는 -9.49 dBi의 높은 평균 수직이득을 보였으며, 전대역에서 -15 dBi 이상의 높은 이득을 보였다. 두 안테나의 상관 계수를 검증하고자 FM 약전계 지역(서울시 영등포구 여의도 일대)에서 두 안테나의 수신 출력을 측정하였다. FM 라디오 대역 중 중심 주파수에 해당하는 99.9 MHz에서의 수신 출력을 스펙트럼 분석기(Agilent 8593A)를 이용하여 초당 3회의 수신 출력을 측정하였다. 1.2 km 구간을 약 20 km/h 속도로 이동하며 위치에 따른 수신 세기를 비교하였다. 그림 11에서 보는 것과 같이 수신 출력은 시간에 따라 급격하게 변화하며 직선형 안테나를 통해 수신되는 출력과 L자형 안테나를 통해 수신되는 출력이 서로 다른 것을 확인할 수 있었다. 또한, 두

안테나 간의 유사성이 낮아 직선형 안테나와 L자형 안테나의 수신 출력 경향이 다르며, 그 결과 두 안테나에 의한 지속적인 신호 수신에 가능함을 확인하였다. L자형 안테나의 평균 수신 출력은 -48.73 dBm으로 직선형 안테나의 평균 수신 출력보다 약 8 dB 우수하였다. 마지막으로 두 안테나의 FM 라디오 수신 출력 간의 상관 계수를 계산하였으며, 20초 구간별 상관 계수와 전체 구간의 상관 계수를 도출하였다. 구간별 상관 계수는 0.01에서 0.66으로 매우 낮은 값을 보였으며 전체 상관 계수는 0.65를 나타내었다. 제안된 직선형 안테나와 L자형 안테나는 비가시 영역 페이딩 환경에서 FM 라디오 수신에 적절함을 확인하였다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 FM 라디오 수신을 위한 차량용 다이버시티 온-글래스 안테나의 채널 용량에 대하여 조사하였다. EM 시뮬레이션을 통해 두 안테나 간의 상관 계수와 채널 용량을 계산하였으며, 정확한 해석을 위해 차체를 포함하여 안테나를 복사 패턴을 해석하고 다중 페이딩 환경을 가정하였다. 온-글래스 안테나의 급전 위치 및 안테나 형상에 따른 채널 용량의 변화를 확인하기 위해 급전 위치 및 L자형 안테나의 접힌 비율을 변화시켜 세 가지 기본 경우에 대하여 조사하였다. 실제 세단에 적용할 수 있는 급전점 위치를 보이는 안테나를 제작하여 야외 약전계 지역에서 FM 라디오 수신 출력을 측정하였으며, 두 안테나의 상관 계수는 매우 낮은 값을 보였다. 시뮬레이션 및 측정결과 안테나 급전간의 거리가 채널 용량을 결정하는 중요한 요소였으며, 급전간 이격거리가 일정 이상 유지될 때는 두 안테나의 편파가 달라야 높은 채널 용량을 가짐을 확인하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] S. Egashira, T. Tanaka, and A. Sakitani, "A design of AM/FM mobile telephone triband antenna", *IEEE Trans. Antenna Propag.*, vol. 42, no. 4, pp. 538-540, Apr. 1994.
- [2] Y. Hong, Y. Shin, C. Mun, Y. Lee, and J. Yook,

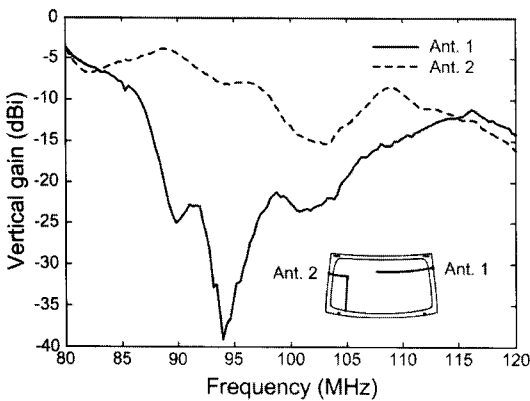


그림 10. 전면 방향 수직 이득  
Fig. 10. The vertical gain at bore-sight direction.

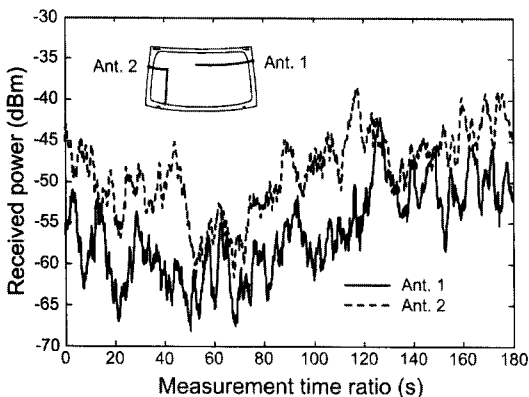


그림 11. Field test에 의한 FM 라디오 수신 출력  
Fig. 11. The received power of FM radio by field test.

- "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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 심재륜, 이준호, 이성신, 김효채, "차량용 FM 라디오 수신을 위한 '유리창에 프린트된 안테나의 개발', 대한전자공학회논문지, 35(5), pp. 436-441, 1998년 5월.
- [6] L. Low, R. Langley, R. Breden, and P. Callaghan, "Hidden automotive antenna performance and simulation", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 54, no. 12, pp. 3707-3712, Dec. 2006.
- [7] 안승범, 계영철, 추호성, "다중 루프 형태의 차량용 글래스 안테나", 한국전자과학회논문지, 20(3), pp. 230-239, 2009년 3월.
- [8] A. S. Bajwa, J. D. Parsons, "Small-area characterization of UHF urban and suburban mobile radio propagation", *Inst. Elec. Eng. Proc.*, vol. 129, no. 2, pp. 102-109, Apr. 1982.
- [9] C. Shimizu, Y. Kuwahara, "Analysis of a diversity antenna mounted on the vehicle for FM radio", in *Proc. IEEE Int. Symp. Antenna Propag.*, Honolulu, HI, vol. 1, pp. 1068-1071, Jun. 2007.
- [10] G. D. Durgin, *Space-Time Wireless Channels*, London: Prentice Hall PTR, 2002.
- [11] G. J. Foschini, M. J. Gans, "On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas", *Wireless Personal Commun.*, vol. 6, no. 3, pp. 311-335, Mar. 1998.
- [12] L. Dong, H. Choo, R. W. Heath, and H. Ling, "Simulation of MIMO channel capacity with antenna polarization diversity", *IEEE Trans. Wireless Comm.*, vol. 4, no. 4, pp. 1869-1873, Jul. 2005.
- [13] <http://www.feko.info>, EM Software & Systems, "FEKO Suite 5.4".
- [14] K. Fujimoto, J. R. James, *Mobile Antenna System Handbook*, Norwood, MA: Artech House, 1994.
- [15] W. C. Jakes, *Mircowave Mobile Communications*, New York: Wiley, 1974.

안 승 범



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

노 용 호



1997년 2월: 수원대학교 전기공학과 (공학사)  
 1997년 2월~2003년 6월: 현대자동차 연구개발총괄본부 전자설계2팀 연구원  
 2005년 5월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학석사)  
 2005년 6월~현재: 현대자동차 연구개발총괄본부 멀티미디어설계2팀 선임연구원  
 [주 관심분야] 차량용 안테나 설계



오 정 훈



1996년 2월: 한국과학기술원 항공 우주공학과 (공학사)

1998년 2월: 한국과학기술원 항공 우주공학과 (공학석사)

2003년 2월: 한국과학기술원 기계공학과 항공우주공학전공 (공학박사)

2003년 2월~현재: 현대자동차 연구개발총괄본부 멀티미디어평가팀 선임연구원

[주 관심분야] 차량용 안테나 설계

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~현재: 한국전자파학회 학회지, 영문학회지, 편집위원

[주 관심분야] 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한 안테나 설계, RFID용 태그 및 리더 안테나