

글라스 인쇄형 안테나의 최신 설계 동향

안 승 범 · 추 호 성

홍익대학교 전자전기공학부

I. 요약

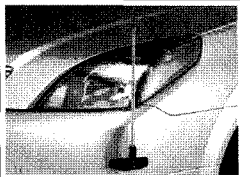
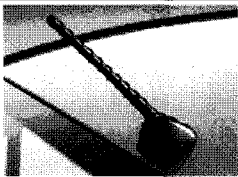
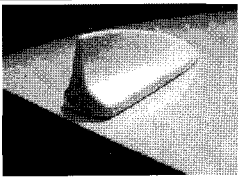
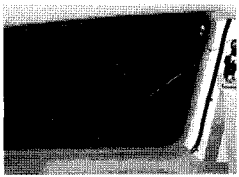
본 논문에서는 글라스 인쇄형 안테나의 최신 설계 방법에 대해 기술하였으며, 제안된 설계 방법을 이용한 차량 글라스 안테나의 설계 예제를 보여주었다. 먼저 현재 사용되고 있는 차량용 안테나들을 조사하고 각 안테나의 장·단점을 확인하여 글라스 인쇄형 안테나의 필요성을 살펴보았으며, 차종에 따른 글라스 인쇄형 안테나의 제한 사항과 설계 시 우선시 되어야 할 설계 목표를 제시하였다. 다음으로 안테나의 설계 방법을 사전 준비 단계, 성능 최적화 단계, 양산 최적화 단계로 분류하고, 각 단계의 세부적인 절차를 검토한 후, 제시된 설계 방법을 이용하여 설계된 FM 라디오 수신을 위한 RV용 단일 쿼터 글라스 안테나와 세단용 다중 리어 글라스 안테나의 설계 예제를 살펴보았다. RV용 단일 쿼터 글라스 안테나는 안테나의 복사 이득이 최대가 되도록 안테나를 최적화하였고, 반무반사실에서 반사 손실과 복사 이득의 성능을 측정하였다. 세단용 다중 리어 글라

스 안테나는 두 안테나의 복사 패턴으로부터 채널 용량이 최대가 되도록 안테나를 최적 설계하였으며, 반무반사실 측정과 함께 약전계 측정을 통해 두 안테나의 상관계수를 계산하였다.

II. 서론

차량용 AM/FM 라디오 또는 지상파 DMB 수신을 위한 안테나로 폴 형태의 안테나나 마이크로 안테나 또는 샤크 핀 안테나 등이 많이 사용되고 있다^{[1],[2]}. 하지만 이러한 안테나들은 외부 충격에 약해 내구성이 떨어지고 외부로 돌출되어 있어 미관이 좋지 않은 문제점을 가지며, 안테나 형상을 플라스틱 케이스나 견고한 형태로 만들기 위한 추가적인 비용을 필요로 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 차량 유리에 안테나를 인쇄하는 글라스 안테나에 대한 관심이 증대되고 있으며, 최근에 출시되는 대부분의 신형 세단이나 RV 차량에 실제 장착되어 사용되고 있다^{[3],[6]}. 글라스 안테나는 안테나가 차량

〈표 1〉 차량 안테나 종류 및 특성

형태	폴 안테나	마이크로 안테나	샤크 핀 안테나	글라스 안테나
사진				
내구성	약 2~3년	약 10년	반영구적	반영구적
단가	1	2	2.5	≈ 0
위치	앞면 또는 측면	뒷면	뒷면	측면 또는 뒷면
성능	100	95	90	85



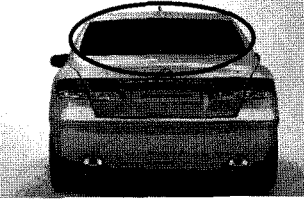
외부로 돌출되는 단점을 해결할 수 있으며, 안테나를 따로 제작하지 않고 유리를 제작하는 과정에서 원하는 형상을 인쇄하기 때문에 단가를 줄일 수 있는 장점이 있다. 그러나 차량용 글라스 안테나는 유전손실을 갖는 제안된 크기의 유리에 안테나를 인쇄하기 때문에 안테나의 효율이 낮고 협대역 특성을 가지며, 차량의 크기가 FM 주파수 대역에서 2λ ($\lambda=3\text{ m}$) 정도로 차체가 안테나의 성능에 많은 영향을 미친다. 따라서 차량 글라스 안테나를 설계 시에는 유리의 유전 손실에 의한 전력 손실과 차량 구조에 의한 영향 및 안테나의 복사 효율 감소를 최소화하도록 안테나를 설계하여야 한다^[6].

글라스 안테나는 적용되는 차종에 따라 안테나의 형상과 설계 시 제한 사항 등이 결정된다. <표 2>에 나타낸 것과 같이 SUV(Sports Utility Vehicle)는 사람이 탑승하지 않는 위치의 측면 유리를 사용하기 때문에 안테나의 형상에는 제한 사항이 많지 않지만 유리의 크기가 작아 대역폭 성능 확보에 어려움이 있다. 따라서 SUV용 글라스 안테나는 소형이면서 광대역 특성을 가지도록 안테나를 설계하는 것이 필요하다. 다음으로 RV(Recreational Vehicle)는 사람이 탑승하는 뒤쪽 측면 유리를 사용하므로 유리의 크기가

비교적 커서 안테나의 설계가 용이하나, 내부 탑승자의 시야를 방해하지 않아야 하므로 안테나 형상에 제약이 따른다. 따라서 RV용 글라스 안테나를 설계할 때는 높은 복사 이득 성능과 함께 탑승자의 시야에 영향을 미치지 않도록 안테나 형상을 간략화하여 높은 투명도를 유지하도록 설계하여야 한다. 마지막으로 세단용 글라스 안테나는 후면 유리에 안테나를 인쇄하기 때문에 큰 유리를 이용할 수 있는 장점이 있지만 안테나 선로를 후면 열선 선로와 공유해서 사용함으로써 설계 자유도가 매우 낮은 문제점이 있으며, 운전자의 시야 확보를 위한 형상의 제약도 존재한다. 따라서 세단용 글라스 안테나 설계에서는 열선의 형상을 고려한 안테나 설계가 필요하며, 안테나 형상을 간략화하여 높은 투명도를 유지하여야 한다.

최근에는 도심의 다중 경로 페이딩 환경에서 글라스 안테나의 수신 성능을 보다 향상시키기 위해 다중 안테나를 후면 글라스에 인쇄하여 사용하는 다이버시티 글라스 안테나가 일부 고급 차종에 적용되고 있다^[7]. 차량용 다이버시티 안테나는 단일 안테나의 복사 특성뿐 아니라 안테나 간의 상관계수나 채널 용량 등을 고려한 안테나 설계가 필요하다^{[8]~[9]}. 본 논문에서는 차종에 따른 FM 수신용 글라스 안

<표 2> 차종에 따른 글라스 안테나의 장·단점

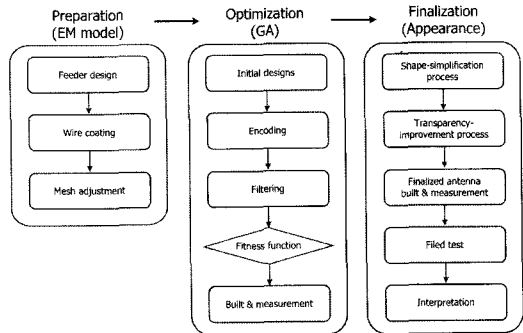
형태	SUV	RV	세단
사진			
장점	형상 제한 없음	설계 자유도 높음	큰 유리 크기
단점	작은 유리 크기	안테나 형상 제약	열잡음 발생 낮은 디자인 자유도
설계 목표	높은 성능	높은 성능 간략화된 디자인 높은 투명도	간략화된 디자인 높은 투명도 열선 고려한 설계

테나의 최신 설계 방법에 대해 살펴보고, 제안된 방식을 사용한 몇 가지 설계 예제에 대하여 기술하였다. 먼저 차량용 안테나 설계 방법을 사전 준비 단계, 성능 최적화 단계, 양산 최적화 단계의 과정으로 분류하고 각 단계의 세부적인 절차를 검토하였다. 제시된 설계 방법을 이용하여 FM 라디오 수신을 위한 상용 RV와 세단의 글라스 안테나를 설계하였다. RV용 단일 쿼터 글라스 안테나는 복사 이득이 최대가 되도록 안테나를 설계하였고, 최적 설계된 안테나의 반사 손실과 복사 이득을 반무반사실에서 측정하였다. 세단용 다중 리어 글라스 안테나는 두 안테나의 3차원 복사 패턴으로부터 채널 용량이 최대가 되도록 안테나를 설계하였으며, 반무반사실 측정과 함께 약전계 지역 주행 측정을 통해 두 안테나의 상관계수를 계산하고 다이버시티 성능을 검증하였다.

Ⅲ. 차량용 글라스 안테나 설계 방법과 설계 예제

3-1 차량용 글라스 안테나 최신 설계 방법

제안된 글라스 안테나 설계 방법은 EM 시뮬레이션 툴과 최적화 알고리즘을 이용하며, 기존의 설계 방식(trial-and-error)보다 시간과 인력을 줄일 수 있다. 차량용 글라스 안테나 설계 방법의 순서도는 [그림 1]과 같으며, 크게 사전 준비 단계, 성능 최적화 단계, 양산 최적화 단계로 분류된다. 사전 준비 단계는 EM 시뮬레이터를 이용하여 글라스 안테나의 시뮬레이션이 가능하도록 안테나의 급전부 위치와 글라스의 등가 코팅 조건을 조절하고, 최적화 알고리즘을 적용하기에 적당한 mesh수로 차량 구조를 변경하는 과정을 의미한다. 차량 글라스 안테나의 급전부는 [그림 2]와 같이 차량 급전부와 증폭기가 연결되어 있으며, 증폭기는 다시 글라스 급전부와 연결되는 형태를 보인다. 이를 시뮬레이션에 적용하기 위해 차량 급전부에서 케이블이 수직으로 나와 증폭기 없이 글



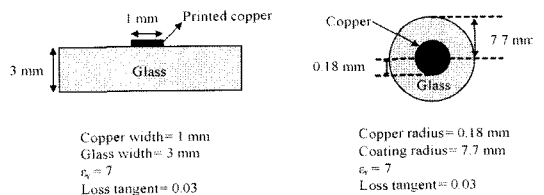
[그림 1] 차량 글라스 안테나 설계 순서도



(a) 실제 차량 급전부 사진 (b) 시뮬레이션 적용 위한 급전부 형상

[그림 2] 차량 글라스 안테나 급전

라스 안테나의 급전부에 직접 연결되는 형태로 모델링 하였다. 안테나의 전도성 선로는 EM 시뮬레이션의 계산 속도 및 정확도를 높이기 위해 와이어 코팅 기법을 사용하였으며, 유리가 코팅된 구리 와이어로 등가화하였다. 와이어 코팅 기법은 [그림 3]에서 같이 3 mm의 두께를 가지는 유리 위에 1 mm로 인쇄되는 전도성 선로를 반지름 0.18 mm의 구리 와이어에 반지름 7.7 mm의 유리로 코팅되어 있다고 가정하였다. 구리 와이어의 두께와 유리의 코팅 두께는 차종에



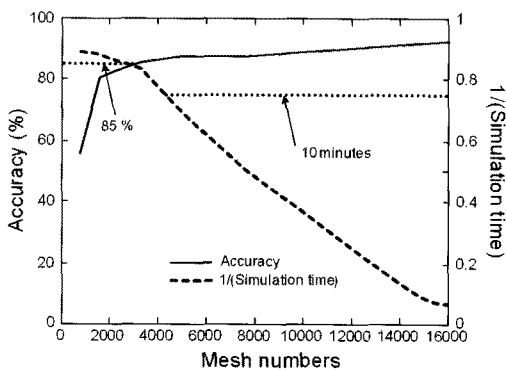
[그림 3] 차량 글라스 안테나 와이어 코팅 기법

파라 조금씩 다른 값을 보이며 안테나 단품 성능 측정을 통해 정확한 값을 도출할 수 있다. 일반적으로 차량 크기는 안테나 동작 주파수의 2~3 λ로 안테나 성능에 많은 영향을 미치며, 따라서 차체를 고려하여 안테나를 설계하여야 한다. 차량을 포함한 안테나의 해석 시간을 단축하기 위해 차체에 흐르는 전류량을 기반으로 차량 mesh 수를 적절히 조절하여야 한다. 차량의 mesh 수를 조절할 때에는 해석의 정확도와 해석 시간을 고려하여 mesh 수를 결정하여야 하며, [그림 4]에서와 같이 85 % 이상의 해석 정확도를 유지하면서 6개 테스트 주파수에서 안테나를 해석하는데 10분 이내의 시간이 걸리도록 mesh 수를 선택하였다.

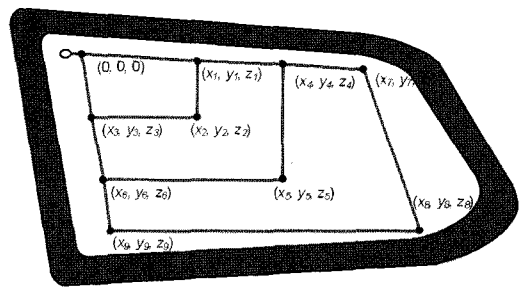
성능 최적화 단계는 최적화 알고리즘을 이용하여 안테나 성능을 최적화하는 단계로서 세부적으로는 초기 디자인 결정, 형상 인코딩, 필터링 작업들이 포함된다. 초기 디자인 결정 과정에서는 차량의 종류와 글라스의 크기 및 모양, 동작 주파수 등을 고려하여 안테나의 기본 형상을 확정한다. 형상 인코딩 과정에서는 안테나의 실질적인 형태를 최적화 과정에 적용시키기 위해 2진 코드로 부호화한다. [그림 5]는 다중 루프 형태의 안테나에 대한 인코딩 과정을 보여주며 [그림 5](a)와 같이 제안된 다중 루프 형태의 안테나를 [그림 5](b)와 같이 각각의 좌표 크기를 이

진 데이터로 전환하여 인코딩한다. 인코딩된 안테나의 기본 형상을 설계 목표에 맞는 적합도 함수로 최적화하여 안테나의 최적 형상을 결정한다. 최적화 알고리즘으로는 유전자 알고리즘을 사용하였고, 최적화 과정에서 안테나의 성능 예측은 FEKO EM 시뮬레이터를 사용하였다^{[10],[11]}. 필터링 과정은 구조상 적합하지 않은 형상을 EM 해석에서 제외시키는 과정으로 원하지 않는 형상 필터링(undesired shape filtering)과 연결 보장 필터링(connection warranted filtering) 등을 적용할 수 있다. 최적화 과정으로 도출된 안테나는 실제 차량에 부착하여 측정을 통해 성능을 검증한다.

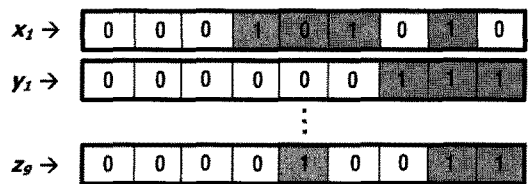
양산 최적화 과정에서는 성능 검증이 끝난 글라스 안테나의 외관을 향상시켜 양산에 적용 가능한 형태로 만든다. 안테나 성능에 영향을 덜 미치는 선로를 제거하는 형상 간략화 기법(shape-simplification process)과 선로의 두께를 조절하여 안테나 투명도를 향상시키는 투명도 향상 기법(transparency-improvement process)을 적용하여 안테나의 외관을 향상시키며, 운전자 및 탑승자의 시야 확보에 유리한 구조로 유사한 안테나



[그림 4] Mesh 수에 따른 해석 시간과 정확도



(a) 안테나 기본 형상



(b) 인코딩 기법

[그림 5] 안테나 설계 - Encoding

성능 범위 내에서 형상을 개선시킨다. 형상 간략화 기법은 최적화된 안테나 형상이 복잡하여 미관상에 문제점을 가지고 있거나 실제 양산에서 적용할 수 없는 위치에 선로가 있을 경우 선로에 흐르는 전류량을 기반으로 글라스 안테나의 형상을 간략화 하는 것이다. 주파수에 따라 안테나의 전도성 선로에 흐르는 전류의 밀도를 시뮬레이션 툴을 이용하여 분석하고 전류량이 일정 정도 이하로 흐르는 선로를 제거함으로써 글라스 안테나 형상을 간략화 할 수 있다. 투명도 향상 기법은 설계된 글라스 안테나의 미관을 더욱 향상시키기 위해 선로에 흐르는 전류량을 분석하여 안테나 성능에 많은 영향을 미치는 주요 선로의 너비는 일정 두께를 유지하고 덜 영향을 미치는 선로의 너비는 가늘게 하여 외관을 향상시킨다. 최종적으로 도출된 안테나는 수신 성능 측정을 통해 양산 적용 가능성을 확인한다. 수신 성능 측정은 실제 차량에 안테나를 장착하여 정차 및 주행 중에 통신 신호의 수신 성능을 확인하는 것으로 FM의 경우는 약전계 지역에서 청음 테스트를 통해 방송 신호를 확인하거나 특정 방송 신호의 수신 출력을 측정하는 방법으로 진행된다. 또한 지상파 DMB의 경우는 DMB 단말기를 통해 방송 수신율과 끊김 횟수를 확인하는 방법으로 진행된다.

3-2 RV용 단일 글라스 안테나 설계 예제

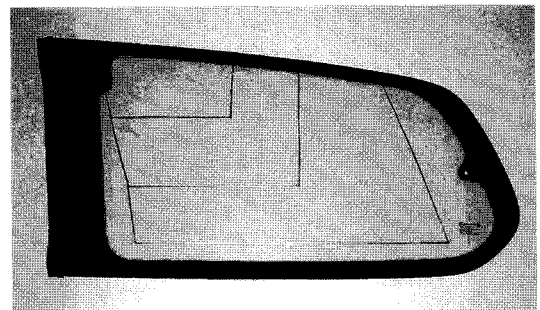
FM 라디오 수신을 위한 RV용(2006 기아 그랜드 카니발) 단일 안테나로 다중 루프 형태의 안테나를 제안하였다. 다중 루프 형태의 안테나는 형상이 간단하고 모노폴 안테나와 유사한 복사 패턴 및 이득을 보이며, 효과적인 공간 활용과 실제 양산에 적용하기 용이한 형태를 지닌다^[12]. 또한 다중 루프 구조는 각 루프에 의한 다중 공진으로 광대역 특성과 복사 효율을 향상시킬 수 있으며, 고조파에 의한 수직 성분 감소를 줄일 수 있다^[13]. 다중 루프 안테나의 형상은 [그림 5]와 같이 각 루프의 좌표인 x_n, y_n, z_n 를 통해

결정하였으며, FM 라디오 전 주파수 대역에서 높은 안테나 이득을 얻기 위한 적합도 평가 함수는 다음과 식 (1)과 같이 정의하였다.

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

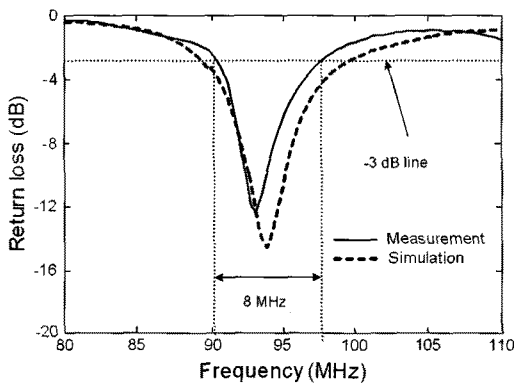
적합도 평가 함수는 80~110 MHz의 주파수 범위에서 안테나가 부착되어 있는 방향(bore-sight direction: $\theta=90^\circ, \phi=270^\circ$)으로 가장 낮은 이득을 최대화시키는 min-max 방법을 사용하였고, 전체 주파수 대역에서 기준 최소 이득을 설정하여 안테나의 성능을 제안하였다. 가장 낮은 안테나 이득이 -15 dBi 이상이 되도록 최적화하였으며, 적합도 평가 함수가 -14 dBi 정도로 수렴하였을 때 가장 낮은 안테나 전방향 이득이 -13.6 dBi 값을 갖는 표본을 추출하였다.

최적화된 글라스 안테나 성능을 검증하기 위해 850×470 mm 크기의 유리에 1 mm 두께의 선로로 안테나를 제작하였으며, 제작된 안테나를 [그림 6]에 나타내었다. 안테나를 차량 측면에 탑재한 후 반사 손실과 전방향 복사 이득을 반무반사실에서 측정하였다. 송신 안테나는 ETSI-Lindgren사의 3121C 다이폴을 사용하였으며, Agilent E5071A 네트워크 분석기를 이용하여 제작된 안테나의 수신 성능을 측정하였다. [그림 7]은 최적화된 글라스 안테나의 반사 손실을 나타내며, 측정과 시뮬레이션이 FM 전 주파수 대역

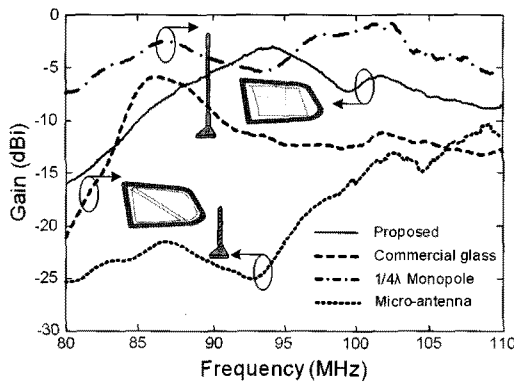


[그림 6] 제작된 RV용 글라스 안테나 사진

에서 일치하며 8.5%의 -3 dB 상대 대역폭을 만족하였다. [그림 8]은 제안된 다중 루프 글라스 안테나와 성능 비교를 위한 상용 안테나의 전방향 복사 이득을 보여주고 있다. 측정 결과, 최적화된 글라스 안테나의 평균 전방향 복사 이득이 -9.67 dBi로 RV 상용 모노폴 글라스 안테나 평균 복사이득(-12.49 dB)에 비해 3 dB 좋은 성능을 보이고, 천장 부착용 마이크로 안테나의 평균 복사 이득(-19.24 dB)보다 약 10 dB 향상된 성능을 나타냈다. 또한 $\lambda/4$ 모노폴 안테나와 평균 전방향 이득이 약 3 dB 내외로 유사함을 확인하였다.



[그림 7] 최적화된 RV용 글라스 안테나의 반사 손실



[그림 8] 최적화된 RV용 글라스 안테나의 전방향 이득 비교

3-3 세단용 다중 글라스 안테나 설계 예제

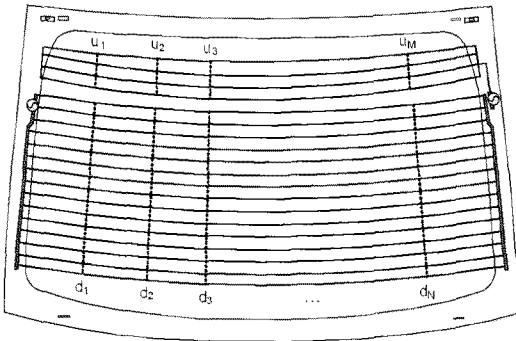
다음으로 FM 라디오 수신을 위한 세단용(2007 현대 그랜저 TG Q 240) 다중 안테나를 설계하였다. [그림 9](a)는 차량 뒤쪽에 위치한 리어 글라스 안테나의 설계 파라미터를 보여주고 있다. 안테나는 오른쪽 측면에서 급전되는 위쪽 안테나(antenna 1)와 왼쪽 열선 바에서 급전되며, 열선과 동일한 선로를 사용하는 아래쪽 안테나(antenna 2)로 구성된다. 각 안테나의 수평 선로는 열선 선로와 공유하여 사용함으로써 형상을 변화시킬 수 없으며, 따라서 수직 선로의 위치와 개수를 변화시켜 안테나의 성능을 최적화하였다. 안테나 성능 최적화를 위한 적합도 평가 함수로 도심 환경에서 안테나의 수신 성능을 평가하는 채널용량을 이용하였으며, 채널 용량을 구하기 위해 먼저 안테나들 사이의 상관계수를 식 (2)와 같이 안테나의 3차원 복사 패턴을 이용하여 도출하였다. 도심 환경에 보다 적합한 Rayleigh 채널 모델을 Gaussian 랜덤 함수를 이용하여 구현하였다.

$$\Psi_{ij} = \frac{1}{\sigma_i \sigma_j} \int E\{ \{A_i(\Omega) \cdot E(\Omega)\} \cdot \{A_j^*(\Omega) \cdot E^*(\Omega)\} \} d\Omega \quad (2)$$

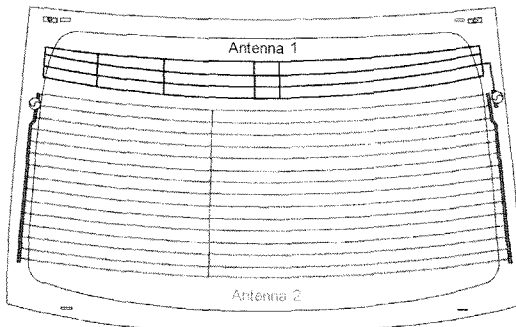
여기서 σ_i 와 σ_j 는 안테나 i 와 j 에 의해 수신된 신호의 편차를 의미하며, Ω 는 (θ, ϕ) 의 입체각을 나타낸다. $A_i(\Omega)$ 와 $A_j(\Omega)$ 는 각 안테나의 3차원 복사 패턴을 $E(\Omega)$ 는 임의의 입사파를 의미한다^{[14],[15]}. 계산된 상관계수를 아래의 식 (3)에서 대입하여 채널 용량을 계산할 수 있다.

$$C = E \left[\log_2 \left\{ \det \left(I_{n_r} + \frac{\rho}{n_T} \bar{H} \Psi \bar{H}^* \right) \right\} \right] \quad (3)$$

여기에서, n_T , n_R 는 송신 안테나와 수신 안테나의 개수를 의미하며, \bar{H} 는 평탄 페이딩의 정규화된 변환 매트릭스를 ρ 는 신호 대 잡음비를 나타낸다. 입



(a) 안테나 설계 파라미터



(b) 최적화된 안테나 형상

[그림 9] 다이버시티 안테나 설계 파라미터 및 최적 설계된 안테나 형상

사파의 각 스펙트럼은 고도 방향으로 평균이 90°이고 분산이 30°인 Gaussian 분포를 적용하였으며, 방위 방향으로는 균일 분포를 적용하였다.

다이버시티 안테나의 수직 선로 위치와 개수는 다음의 적합도 함수를 이용하여 최적 설계하였다.

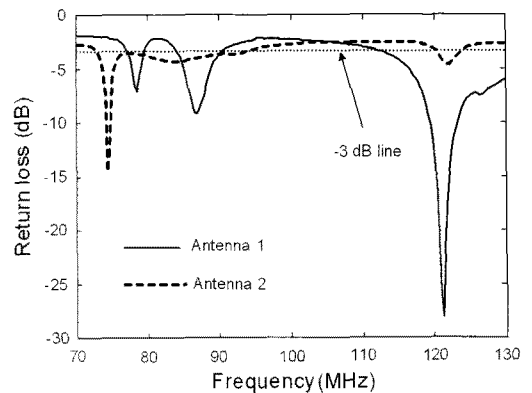
$$\text{Fitness} = \text{Max} \left[\frac{1}{N} \left\{ \sum_{f_i}^N C(f_i); f_i = 80 \sim 110 \text{ MHz} \right\} \right] \quad (4)$$

적합도 평가 함수는 80~110 MHz의 주파수 범위에서 두 안테나의 3차원 복사 패턴을 이용하여 상관계수를 계산하고, 계산된 상관계수를 이용하여 계산된 채널 용량이 최대가 되도록 설계하였다. 최적 설계된 안테나 형상은 [그림 9](b)와 같으며, 상단 안테

나는 4개의 수직 선로를 가지며 하단 안테나는 1개의 수직 선로를 나타내었다.

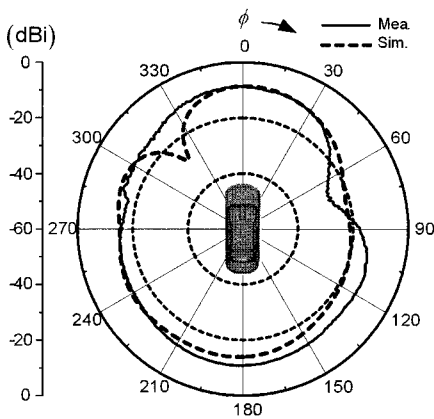
안테나의 성능을 확인하기 위해 단일 안테나의 측정과 동일한 측정 환경에서 안테나의 반사 손실과 복사 패턴을 측정하였다. [그림 10]은 다이버시티 안테나의 반사 손실을 보여주고 있으며, 실선은 상단 안테나의 반사 손실을, 점선은 하단 안테나의 반사 손실을 보여주고 있다. 안테나의 -3 dB 상대 대역폭은 각각 17.5%와 21.5%를 보였으며, 상단 안테나는 높은 주파수에서 정합되었으며 하단 안테나는 낮은 주파수에서 정합되었다. [그림 11]은 100 MHz에서의 두 안테나의 수직 복사 패턴으로 시뮬레이션과 측정 결과가 매우 유사함을 확인할 수 있으며, 안테나는 평균 수직 이득이 -13.96 dBi와 -14.66 dBi로 -15 dBi 이상의 높은 이득을 나타내었다.

두 안테나의 상관관계를 검증하고자 FM 약전계 지역(서울시 영등포구 여의도 일대)에서 두 안테나의 수신 출력을 측정하였다. 99.9 MHz의 주파수를 사용하고, 광고 기지국에서 5 kW의 전력을 송신하는 경기방송(<http://www.kfm.co.kr>)을 선택하여 스펙트럼 분석기(Agilent 8593A)를 이용하여 초당 3회의 수신 출력을 측정하였다. 1.2 km 구간을 약 20 km/h 속도로

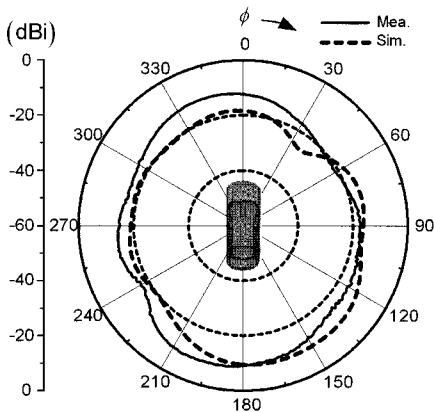


[그림 10] 최적화된 세단용 다이버시티 글라스 안테나 반사 손실

이동하며, 위치에 따른 수신 세기를 비교하였다. [그림 12]에서 보는 것과 같이 수신 출력은 시간에 따라 급격하게 변화하며, 두 안테나의 수신 출력 경향이 다름을 확인할 수 있었다. 평균 수신 출력은 상단 안테나가 하단 안테나에 비해 약 2 dB 높은 53.09 dBm을

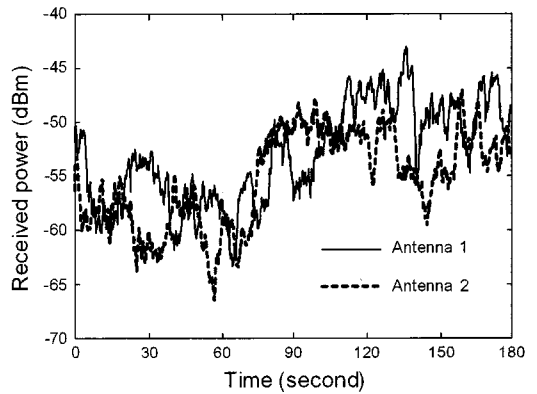


(a) Antenna 1



(a) Antenna 2

[그림 11] 최적화된 세단용 다이버시티 글라스 안테나의 복사 패턴



[그림 12] 최적화된 세단용 다이버시티 글라스 안테나의 시간에 따른 수신 출력

나타내었고, 다이버시티 시스템이 두 안테나 중 높은 수신 출력을 보이는 안테나를 선택하였을 경우 상단 안테나만을 사용하는 경우보다 1 dB 이상 높은 수신 출력을 보였다. 마지막으로 두 안테나의 수신 출력 간의 상관계수를 계산하였으며, <표 3>에 나타내었다. 30초 구간별 상관계수와 전체 구간의 상관계수를 도출하였으며, 구간별 상관계수는 0.18에서 0.62로 매우 낮은 값을 보였으며, 전체 상관계수는 0.52를 나타내었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 글라스 인쇄형 안테나의 최신 설계 방법을 제안하였으며, 차종에 따른 글라스 안테나의 설계 예제를 확인하였다. 가장 먼저 차량용 안테나의 최근 동향과 차종에 따른 글라스 안테나의 장·단점 등을 살펴보았으며, 도심 환경에 적합한 다이버시티 안테나에 대하여 확인하였다. 다음으로 글라스

<표 3> 최적화된 다이버시티 안테나 수신 출력 간의 상관계수

시간(s)	0~30	30~60	60~90	90~120	120~150	150~180	전체
상관계수	0.18	0.52	0.62	0.44	0.27	0.19	0.52

인쇄형 안테나의 설계 방법을 사전 준비 단계, 성능 최적화 단계, 양산 최적화 단계로 체계화하고, 각 단계의 설계 방법에 대하여 살펴보았다. 제안된 안테나 설계 방법을 이용하여 RV용 단일 글라스 안테나의 설계 예제와 세단용 다이버시티 글라스 안테나의 설계 예제를 제시하였으며, 최적화된 안테나의 성능을 검증하여 FM 라디오 수신에 적합한 안테나임을 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] M. Cerretelli, G. B. Gentili, "Progress in compact multifunction automotive antennas", *Int. Conf. Electromagnetics in Advanced Applications*, vol. 1, pp. 93-96, Sep. 2007.
- [2] 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.
- [3] 안승범, 계영철, 추호성, "다중 루프 형태의 차량용 글라스 안테나", *한국전자과학기술논문지*, 20(3), pp. 230-239, 2009년 3월.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] K. Fujimoto, J. R. James, *Mobile Antenna System Handbook*. Norwood, MA: Artech House, 1994.
- [7] 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.
- [8] C. Shimizu, Y. Kuwahara, "Analysis of a diversity antenna mounted on the vehicle for FM radio", In *Proc. IEEE Int. Symp. Antenna Propag.*, Honolulu,
- [9] 안승범, 노용호, 오정훈, 추호성, "FM 라디오 수신을 위한 차량용 다이버시티 안테나 설계", *한국전자과학기술논문지*, 20(8), pp. 761-769. 2009년 8월.
- [10] <http://www.feko.info>, EM Software & Systems, "FEKO Suite 5.5."
- [11] 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.
- [12] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*. New York: Wiley, 1997.
- [13] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*. New York: Wiley, 1998.
- [14] 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.
- [15] 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.

≡ 필자소개 ≡

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

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

2007년 1월~2007년 12월: 한국전자파학회 영문지 편집위원

2007년 1월~현재: 한국전자파학회 학회지 편집위원

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