

# 유리접지면 최적화를 통한 글래스 안테나의 성능 향상 기법

## The Method of Performance Improvement for On-Glass Antennas by Optimizing the Surface of the Window Ground

안 승 범 · 한 원 근\* · 추 호 성\*\*

Seungbeom Ahn · Wone Keun Han\* · Hosung Choo\*\*

### 요 약

본 논문에서는 차량 후면 유리에 여러 주파수 대역의 안테나를 집적화할 수 있는 유리접지를 이용한 안테나 급전 방법을 제안하였다. 유리접지가 가능하도록 동축 선로를 유리접지면에 직접 연결할 수 있는 어댑터를 설계 하였으며, 차체 접지 방식과 반사 손실을 비교 분석하였다. Azimuth 방향에서 높은 복사 이득을 얻기 위해 유리 접지의 크기와 위치를 최적화 하였으며, 도출된 유리접지면을 이용하여 삼각 패치 형상의 WiBro 안테나를 상용 세단의 후면 유리에 인쇄하고 반사 손실과 복사 패턴 성능을 측정하였다. 제안된 유리접지를 이용한 급전 방식은 차체 접지를 이용한 급전 방식과 유사한 반사 손실을 보이며, 2 dB 높은 azimuth 복사 이득이 나타내었다. 측정 결과, 제안된 유리접지면을 이용한 안테나 급전 방식을 이용하면 여러 주파수에서 동작하는 다양한 형태의 온-글래스 안테나를 후면 유리에 효과적으로 적용할 수 있음을 확인하였다.

### Abstract

In this paper, we propose a novel feeding method that uses a windshield ground in a vehicle. The feeding method enables for various antennas to integrate easily in a vehicle windshield. To connect a coaxial feeding cable directly to the windshield ground, we inserted a coaxial-to-ground adapter between the cable and the ground, and reflection coefficients using the proposed feeding method were compared to that using a conventional feeding method. The size and position of the windshield ground were optimized in order to achieve a high radiation gain in the azimuth direction. Then the triangular WiBro patch antenna, incorporating the proposed feeding method, was designed and installed on a rear windshield of a commercial sedan. The antenna using the proposed feeding method shows a similar reflection coefficient, and it shows 2 dB increased average azimuth radiation gain compared to that using a conventional sash ground method. These results demonstrate that the proposed feeding method can be applicable for integrating multiple antennas in a rear windshield.

Key words : On-Glass Antenna, Glass Ground, Radiation Pattern

### I. 서 론

차량 이동 통신의 비약적인 발전과 더불어 기존의 음성 통신 및 방송 수신 서비스 외에도 텔레매틱

「본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 IT산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음[KI002084, 내장형 안테나 어레이 기반의 차세대 차량용 이동 통신 시스템 기술 연구].」

LS산전(Central R&D Center RFID Team, LS Industrial System Co., Ltd.)

\*홍익대학교 물리학과(Department of Physics, Hongik University)

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

· 논문 번호 : 20101001-04S

· 교신저자 : 추호성(e-mail : hschoo@hongik.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2011년 1월 13일

스(telematics) 구현을 위한 다양한 형태의 차량 통신 시스템에 대한 연구 및 수요가 증가하고 있다<sup>[1]~[4]</sup>. 다수의 통신 시스템을 차내에서 구현하기 위해서는 많은 수의 송·수신용 안테나가 필요하지만, 차량에서는 공기 저항 및 차량 미관을 고려하여야 하므로 여러 대역의 다수 안테나를 장착할 수 있는 공간이 매우 한정적이다. 차량 내부에 안테나를 설치하면 차체에 의한 전파 차단 효과로 안테나 성능이 급격하게 저하되며, 차량 외부에 폴 형태의 다수 안테나를 장착할 경우 성능을 개선시킬 수 있지만, 안테나가 외부로 돌출되어 미관에 좋지 않고 내구성이 떨어지는 문제점을 갖는다. 최근에는 공기 저항 특성과 전파 차단, 미관 등을 고려하여 차량 측면 또는 후면 유리에 실크 스크린 인쇄 기법을 적용하여 안테나를 인쇄하는 글래스 안테나가 많이 사용되고 있다<sup>[5]~[9]</sup>. 글래스 안테나는 유리에 안테나를 인쇄하기 때문에 내구성이 높고 제작 단가가 낮으며, 비교적 큰 유리를 사용하므로 다수의 안테나를 집적화할 수 있는 장점을 가진다. 하지만 기존 글래스 안테나는 유리 측면 부위의 차체 접지면에서 급전 선로를 연장하여 급전하는 방식을 사용하였기 때문에 다수 안테나를 차량 유리에 탑재할 경우 접지가 가능한 넓은 차체 부위의 확보가 어렵다. 특히 1 GHz 이상의 주파수 대역에서는 급전 선로 자체가 공진 특성을 변화시켜 목표 대역에서 동작하는 안테나의 설계가 어려운 단점을 가진다.

본 논문에서는 다수 안테나의 차량 집적이 용이하도록 기존의 차체 접지를 유리접지면으로 확장하는 새로운 글래스 안테나 급전 방법을 제안하였다. 먼저 동축 선로를 유리접지면에 직접 연결할 수 있는 어댑터를 설계하였으며, 기존 차체 접지 방식과 제안된 유리접지 방식을 이용한 안테나의 반사 손실 및 복사 성능을 비교·검증하였다. 유리접지면의 길이와 폭, 위치에 따른 안테나의 특성을 분석하여 2.3 GHz 대역의 WiBro 안테나 성능을 최적화 할 수 있는 유리접지의 크기와 위치를 도출하였다. 설계된 최적 유리접지면을 상용 세단 후면 유리에 인쇄한 후 안테나의 성능을 측정하였으며, 측정 결과 제안된 유리접지를 이용한 안테나 급전 방법은 급전부 설계가 용이하면서도 복사 이득 및 반사 손실 특성을 향상시킬 수 있어 다양한 차량용 고주파 안테나

분야에 사용이 가능함을 확인하였다.

## II. 차량 유리접지를 이용한 안테나 급전 구조

차량용 안테나는 내구성과 전파 차단 등을 고려하여 차량 유리에 안테나를 인쇄하는 글래스 안테나의 사용 빈도가 많아지고 있으며, 특히 차량 후면에 인쇄하는 안테나는 측면 유리에 비해 크기가 크고 전면 유리와 달리 운전자의 시야에 상대적으로 덜 민감하여 FM/AM 라디오, DMB 등의 방·통신 안테나로 널리 사용되고 있다<sup>[10],[11]</sup>. 최근에는 기존의 방·통신 시스템 이외에도 차량에서 WiBro, WiFi 등의 무선 인터넷과 텔레매틱스 서비스 구현을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

여러 주파수 대역의 안테나를 차량 유리에 집적시키기 위해서는 급전이 가능한 접지면을 확보하여야 한다. 그림 1은 실제 상용 후면 글래스 안테나의 급전 가능 위치를 보여주는 것으로 차량 구조상 유리의 상단과 하단보다 양 측면에서 안테나의 접지면 확보가 용이한 것을 알 수 있다. 하지만 다수의 안테나를 차량 유리에 집적할 경우에는 측면 프레임에서 충분한 접지면의 확보가 어려워지며, 안테나 장착 공간에도 제약이 따른다. 기존 차량 안테나의 급전 방식을 살펴보면 그림 2와 같이 차체 접지면과 글래스 안테나 사이에 연결 선로가 필요하며, 한 예로 FM 라디오 글래스 안테나의 경우 대략 20 cm 정도의 연결 선로가 사용된다. FM 라디오와 같이 저주파 대역 안테나는 연결 선로에 의한 성능 변화가 적지만 무선 인터넷과 같이 1 GHz( $\lambda=30$  cm) 이상의

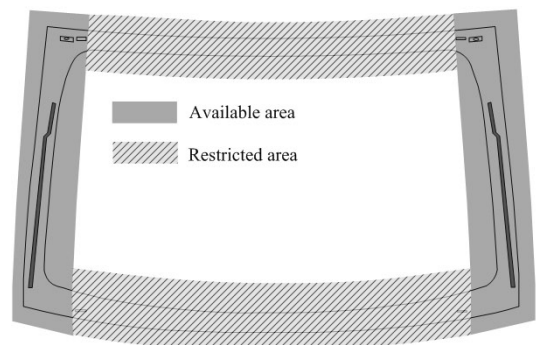


그림 1. 후면 유리의 안테나 급전  
Fig. 1. The feeder for the rear glass antenna.

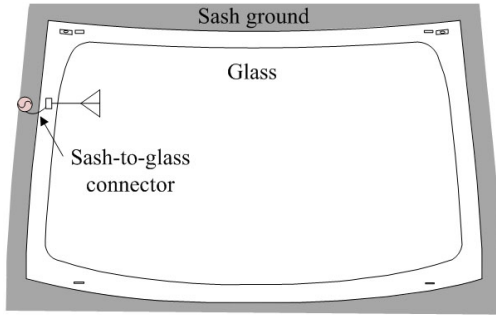


그림 2. 상용 글래스 안테나 급전 방식  
Fig. 2. The feeding method of a commercial glass antenna.

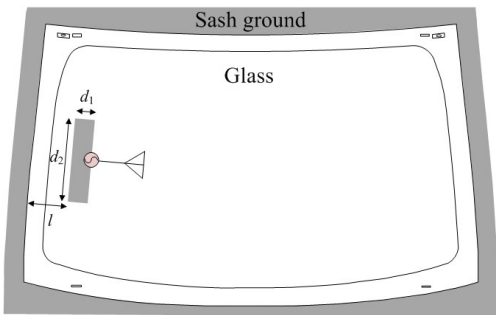
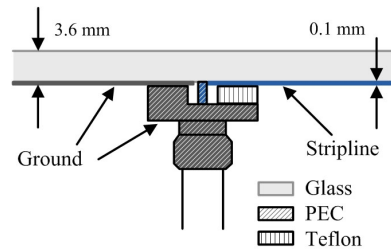
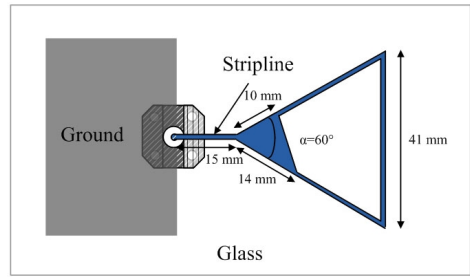


그림 3. 제안된 글래스 안테나 급전 방식  
Fig. 3. The proposed feeding method.

주파수를 사용한 경우에는 어댑터를 포함한 급전 선로로 인하여 안테나의 공진 특성이 변화됨에 따라 안테나가 목표 대역에서 동작하는데 어려움이 발생한다. 또한, 후면 유리 측면에 안테나가 위치하기 때문에 차폐 프레임에 의한 전파 차단으로 안테나의 복사 성능이 급감하는 문제점이 발생한다. 그림 3은 본 논문에서 제안하는 유리접지를 이용한 새로운 글래스 안테나 급전 방식을 보여주고 있다. 차폐 접지 면에서 급전 선로를 이용하여 차량 안테나 본체로 연결하는 기존의 급전 방식에서 후면 유리로 접지면을 이동시켜 다수의 안테나가 유리에 집적될 수 있도록 설계하였다. 이때 상용 차량의 FM 수신용 온-글래스 안테나와 열선 등에 의한 커플링 현상을 고려하지 않았다. 제안된 유리접지를 이용하여 안테나 급전을 하기 위해서는 유리접지면과 안테나 본체를 연결하는 어댑터가 필요하다. 그림 4는 본 논문에서 제안한 동축 선로 형태의 어댑터 형상으로 어댑터의 내심은 안테나 본체의 스트립라인과 연결하고, 외심



(a) 측면도  
(a) Side view



(b) 평면도  
(b) Top view

그림 4. 제안된 글래스 안테나 어댑터  
Fig. 4. The proposed adapter of a glass antenna.

은 유리접지면과 연결하였다. 외심의 바깥 면을 타고 되돌아가는 전류를 최소화하기 위해서 동축 선로의 외심을 접지면에 근접시켰으며, 내심과 연결된 안테나 본체의 스트립라인과 외심 사이에는 유전체인 테프론(teflon)을 삽입하여 안테나의 성능을 유지하면서 제안된 어댑터를 지지할 수 있도록 하였다. 이때 동축 선로는 실제 신호를 수신하기 위해 필요한 LNA(Low Noise Amplifier)가 삽입되었을 경우에는 동일한 접지면을 사용하여 연결한다. 외부 안테나 본체는 2.3 GHz에서 동작하는 WiBro 대역 안테나로 안테나의 입력 저항을 높이기 위해 삼각형 형태의 패치를 사용하였고, 시야 확보를 위해 내부 패치 일부를 제거하였다. 이때 제거되는 패치 내부의 길이에 의해 안테나의 빔 패턴을 조절하여 WiBro 신호가 주로 입사되는 방위각인  $\theta=90^\circ$ 에서 수신을 용이하게 할 수 있도록 하였다. 최종 안테나 본체 형상은 안테나의 반사 손실과 복사 패턴을 고려하여 유전자 알고리즘을 이용하여 최적 설계하였다. 제안된 어댑터 성능을 확인하기 위하여 차량 구조체를 포함한 WiBro 안테나의 시뮬레이션 반사 손실을 FEKO

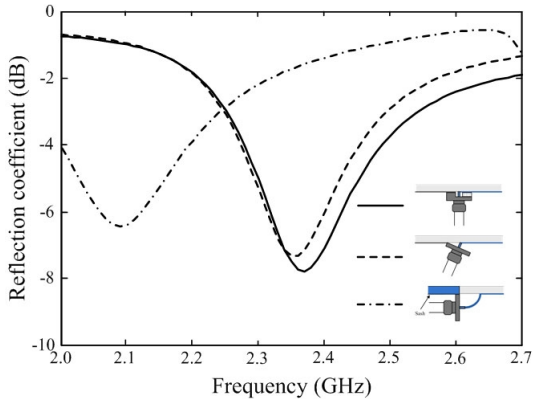
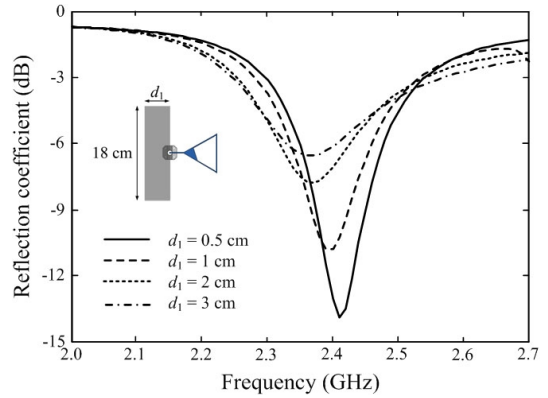


그림 5. 어댑터 형상에 따른 글래스 안테나 반사 손실  
Fig. 5. The reflection coefficients according to the shape of the adapter.

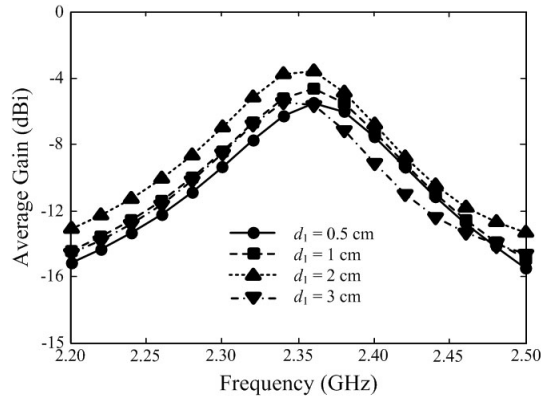
EM 시뮬레이터를 이용하여 확인하였다<sup>[12]</sup>. 어댑터 형상에 따른 WiBro 주파수 대역에서의 반사 손실을 그림 5에 나타내었으며, 제안된 급전 방식은 유전체가 삽입되지 않은 유리접지 급전 방식과 유사한 반사 손실 성능을 보이고 차체 접지를 이용한 급전 방식에 비해 우수한 반사 손실 성능을 나타내었다. 특히 차체 접지를 이용하는 기존 급전 방식은 안테나 본체와 어댑터를 연결하는 연장 선로로 인하여 공진 주파수가 약 300 MHz 이동한 것을 확인할 수 있다.

### III. 최적 유리접지 설계 및 성능측정

유리접지를 이용한 글래스 안테나의 성능을 개선하기 위하여 유리접지면의 크기와 위치를 최적화 하였다. 안테나 급전 선로는 제안된 어댑터를 이용하여 설계하였으며, WiBro 대역 안테나를 급전부와 연결하여 안테나의 반사 손실과 복사 이득 성능을 분석하였다. 차량 유리에 장착된 안테나의 정확한 성능 예측을 위해 EM 시뮬레이션 과정에서 차량 전체 mesh를 포함하여 안테나를 해석하였다. 먼저 유리접지면의 폭에 따른 안테나의 성능을 분석하였으며, 그림 6에 나타내었다. 접지면 길이는 18 cm로 고정하고 폭의 길이는 0.5 cm, 1 cm, 2 cm, 3 cm의 4가지 경우로 분류하였으며, 안테나의 반사 손실과 azimuth 방향 평균 복사 이득을 계산하였다. 유리접지면의 폭이 2 cm인 경우가 반사 손실 성능은 다소 저하되지만 0.5 cm인 경우에 비해 평균 복사 이득이 1~2



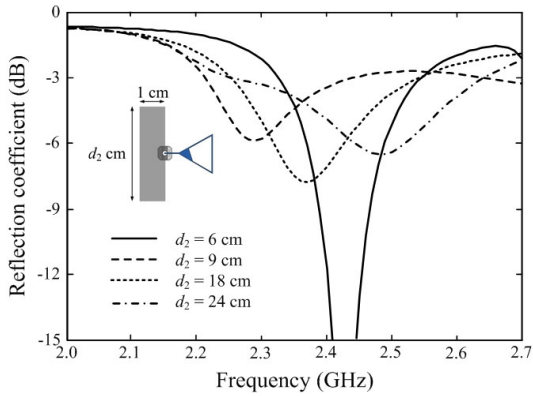
(a) 반사 손실  
(a) Reflection coefficients



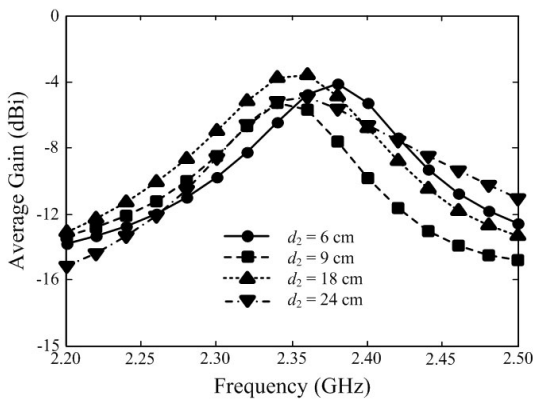
(b) Azimuth 평균 복사 이득  
(b) The average radiation gain in azimuth plane

그림 6. 유리접지면 폭에 따른 성능 변화  
Fig. 6. The performance change according to the width of the glass ground.

dB 정도 향상되는 것을 확인할 수 있다. 다음으로 유리접지면의 길이에 따른 안테나의 성능을 확인하였으며, 그림 7에 나타내었다. 유리접지면의 폭은 1 cm로 고정하고, 길이를 6 cm에서 24 cm까지 변화시켰다. 접지면의 길이가 증가함에 따라 공진이 낮은 주파수로 이동하는 경향을 보였으며, 평균 복사 이득이 약 2 dB 정도 변하는 것을 확인할 수 있다. WiBro 동작 주파수인 2.3 GHz에서 2.4 GHz 대역을 고려하여 접지면의 최적 크기를 결정하였으며, 유리접지면의 폭이 2 cm이고, 길이가 18 cm인 경우가 가장 높은 평균 복사 이득을 보였다. 마지막으로 접지면과 차체 사이의 거리에 따른 안테나의 시뮬레이션 azimuth 복사 패턴 변화를 그림 8에 나타내었다. 거



(a) 반사 손실  
(a) Reflection coefficients



(b) Azimuth 평균 복사 이득  
(b) The average radiation gain in azimuth plane

그림 7. 유리접지면 길이에 따른 성능 변화  
Fig. 7. The performance change according to the length of the glass ground.

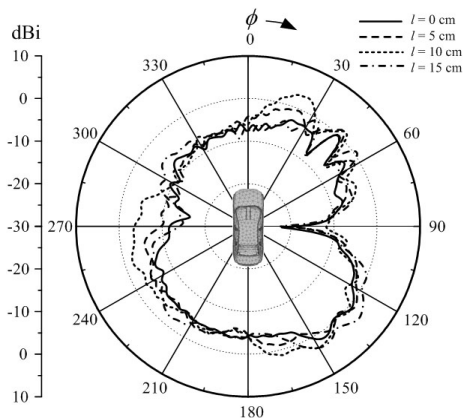


그림 8. 유리접지면 위치에 따른 복사 패턴  
Fig. 8. The radiation pattern according to the position of the glass ground.

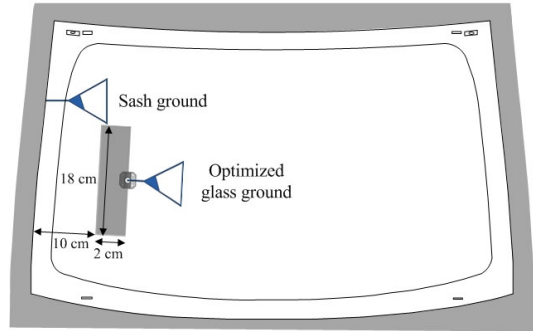


그림 9. 최적 유리접지면 크기와 위치  
Fig. 9. The optimized size and position of the glass ground.

리  $l$ 이 0 cm인 경우는 차체에 유리접지가 연결되는 경우를 의미하며, 거리를 15 cm까지 증가시키며, 2.35 GHz에서의 azimuth 복사 패턴을 확인하였다. 유리접지가 차체에 연결되어 있는 경우는 안테나가 부착되어 있는 좌측의 전면 방향에서 안테나의 복사 이득이 급감하는 것을 확인할 수 있다. 안테나가 차체에서 멀어질수록 안테나의 복사 이득이 증가하는 추세를 보이며, 거리  $l$ 이 10 cm인 경우가 가장 높은 평균 복사 이득을 보였다. 이는 안테나와 차체 프레임과의 거리가 차체에 의한 성능 감쇄를 결정짓는 중요한 요소임을 의미한다.

그림 9는 최적화된 유리접지면과 글래스 안테나의 성능 측정을 위해 실제 차량에 탑재된 형상을 보여 준다. 기존 방식과 성능 비교를 위해 차체 측면 접지면에서도 동일한 안테나를 급전한 후 안테나의 반사 손실과 복사 이득의 성능을 비교·분석하였다. 안테나 성능 측정에는 테스트 안테나로 Schwarzbeck Mess사의 BBHA 9120D 광대역 혼 안테나를 사용하였고, 글래스 안테나의 성능을 야외 측정장에서 Agilent 8753D 네트워크 분석기를 이용하여 측정하였다<sup>[13]</sup>. 그림 10은 안테나의 반사 손실 특성을 보여주며, 두 가지 급전 방법 모두 WiBro 주파수 대역에서 -10 dB 이하의 정합을 만족하였으며 유사한 반사 손실 특성을 나타내었다. 다음으로 두 가지 급전 방식을 이용한 안테나의 azimuth 복사 패턴을 측정하였으며, 그림 11에 나타내었다. 그림 11(a), 그림 11(b), 그림 11(c)는 각각 2.30 GHz, 2.35 GHz, 2.40 GHz에서의 복사 패턴 측정 결과로 실선은 제안된 유리접지를 이용한 안테나의 복사 패턴이며, 점선은 차체 접지면

표 1. 평균 azimuth 복사 이득 비교

Table 1. The comparison of the average azimuth radiation gains.

주파수(GHz)	2.30	2.35	2.40	평균
제안된 유리접지 안테나(dBi)	-1.11	-1.77	-2.35	-1.74
차량 접지 안테나(dBi)	-4.56	-3.78	-3.53	-3.96

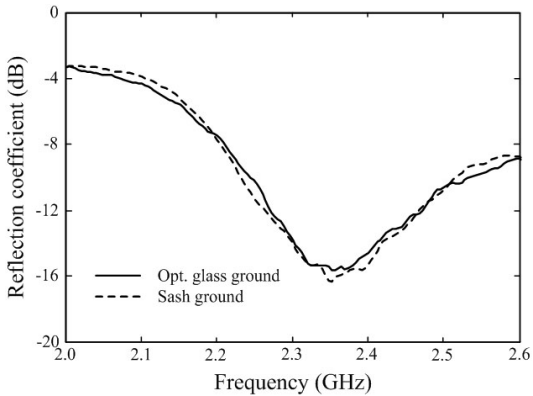


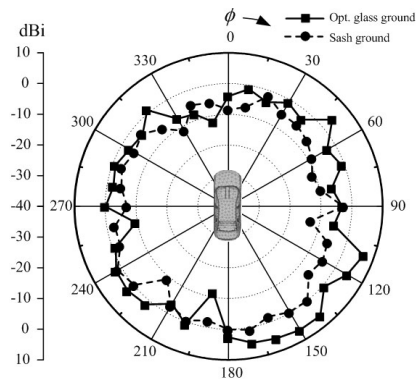
그림 10. WiBro 안테나 측정 반사 손실 비교

Fig. 10. The comparison of the measured reflection coefficients for the WiBro antenna.

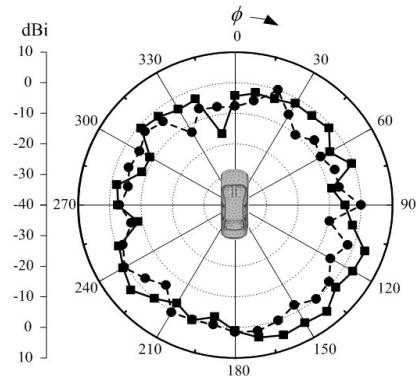
을 이용한 경우를 의미한다. 각 주파수 대역에서의 평균 복사 이득을 표 1에 나타내었으며, 3개 주파수 대역 모두에서 제안된 유리접지를 이용한 안테나가 차체 접지면을 이용한 안테나보다 평균 2 dB 이상 높은 평균 복사 이득을 보였다. 그림 12는 최적 도출된 유리접지를 이용한 글래스 안테나에 흐르는 전류 분포를 보여주고 있다. 유리접지와 안테나에 흐르는 전류의 방향이 반대로 생성되고, 어댑터와 유리접지면 사이에 전류가 원활히 흐르는 것을 확인할 수 있다. 제안된 유리접지를 이용한 글래스 안테나는 기존 접지 방식보다 우수한 성능을 보이며, 제작 또한, 용이하여 고주파 대역 글래스 안테나나 집적화된 글래스 안테나 설계에 사용이 가능할 것으로 사료된다.

#### IV. 결 론

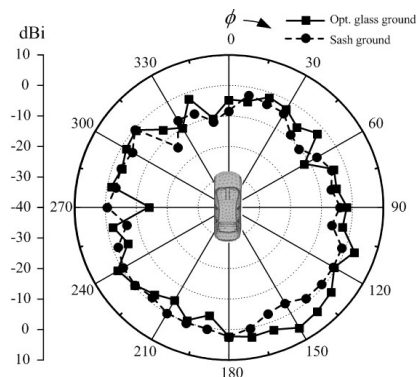
본 논문에서는 차량 후면 유리에 여러 주파수 대역의 안테나를 장착할 수 있는 유리접지를 이용한 안테나 급전 방법을 제안하였다. 후면 유리에 유리접지가 가능하도록 제작이 용이한 동축 선로 형태의 어댑터를 제안하여 차체 접지 방식과 반사 손실 성



(a) 2.30 GHz



(b) 2.35 GHz



(c) 2.40 GHz

그림 11. WiBro 안테나 측정 복사 패턴 비교

Fig. 11. The comparison of the measured radiation patterns for the WiBro antenna.

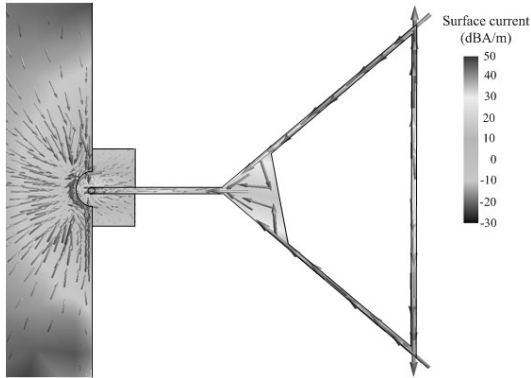


그림 12. 최적 설계된 WiBro 안테나의 전류 분포  
Fig. 12. The surface current of the optimized WiBro antenna.

능을 비교하였다. WiBro 대역에서 동작하는 삼각 패치 형상의 안테나를 이용하여 안테나의 복사 성능을 분석하였으며, 유리접지의 길이와 폭, 위치를 최적화하여 안테나 성능을 극대화하였다. 최적화된 유리접지의 크기와 위치를 상용 세단 후면 유리에 인쇄하여 안테나의 성능을 측정하였다. 제안된 유리접지를 이용한 안테나는 차체의 전파 차단에 의한 성능 감쇄가 줄어 차체 접지 방식을 이용하는 경우보다 azimuth 복사 이득이 2 dB 이상 향상되었다. 제안된 유리접지를 이용한 안테나 급전 방법은 설계가 용이하면서도 안테나의 성능을 향상시킬 수 있어, 다중 안테나의 글래스 집적화 등의 용도로 사용이 가능함을 확인하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] W. Lee, S. Kang, S. Lim, M. Shin, and Y. Kim, "Adaptive hierarchical surrogate for searching web with mobile devices", *IEEE Trans. Consumer Electronics.*, vol. 53, no. 2, pp. 769-803, May 2007.
- [2] K. Yang, S. Ou, H. Chen, and J. He, "Multihop peer-communication protocol with fairness guarantee for IEEE 802.16-based vehicular networks", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 56, no. 6, pp. 3358-3370, Nov. 2007.
- [3] L. Le, A. Festag, R. Baldessari, and W. Zhang, "Vehicular wireless short-range communication for improving intersection safety", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 11, pp. 104-110, Nov. 2009.
- [4] 임명섭, "차량 통신 네트워크 기술", 한국통신학회지, 24(9), pp. 86-95, 2007년 9월.
- [5] 안승범, 노용호, 오정훈, 추호성, "FM 라디오 수신을 위한 차량용 다이버시티 안테나 설계", 한국전자과학회논문지, 20(8), pp. 761-769, 2009년 8월.
- [6] 안승범, 계영철, 추호성, "다중 루프 형태의 차량용 글래스 안테나", 한국전자과학회논문지, 20(3), pp. 230-239, 2009년 3월.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] S. Ahn, S. Park, Y. Noh, D. Park, and H. Choo, "Design of an on-glass vehicle antenna using a multiloop structure", *Microw. Opt. Tech. Lett.*, vol. 52, no. 1, pp. 107-110, Jan. 2010.
- [11] 강우준, 계영철, 박슬기, 오정훈, 추호성, "다중 선로가 로딩된 T-DMB 수신용 차량 글래스 안테나 설계", 한국전자과학회논문지, 20(7), pp. 664-672, 2009년 7월.
- [12] FEKO Comprehensive EM solutions, [Online]. Available: <http://www.feko.info/>
- [13] Transmit antenna. [Online]. Available: <http://www.schwarzbeck.de/>

### 안 승 범



2004년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)  
 2006년 2월: 홍익대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2011년 2월: 홍익대학교 전자정보통신공학과 (공학박사)  
 2011년 1월~현재: LS산전 중앙연

구소 RFID연구팀 선임연구원

[주 관심분야] RFID Tag 안테나 설계, 구조체 안테나 해석 및 설계, 최적화 알고리즘을 이용한 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 부교수  
 [주 관심분야] 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한 안테나 설계, RFID용 태그 및 리더 안테나

### 한 원 근



1982년: 서울대학교 물리학과 (이학사)  
 1984년: 서울대학교 물리학과 (이학석사)  
 1986년: 브라운대학교 물리학과 (이학석사)  
 1991년 브라운대학교 물리학과 (이학박사)

1991년~현재: 홍익대학교 물리학과/기초과학과

[주 관심분야] 전산물리학