

병렬 T-정합 회로를 이용한 차량 유리 부착형 광대역 안테나 설계

Design of a Broadband Window Antenna Using a Parallel T-Matching Network

김윤건 · 계영철 · 지성환 · 추호성

Yoon Geon Kim · Youngchul Kay · Sunghwan Ji · Hosung Choo

요약

본 논문에서는 무선 인터넷 서비스 이용을 위한 WiBro 대역(2.3~2.4 GHz) 차량용 광대역 안테나를 개발하였다. 개발된 안테나의 급전부는 T-정합 방식을 응용한 다단 구조의 병렬 T-정합 방식을 이용하여 광대역 특성을 가질 수 있게 하였으며, 각각의 T-정합 회로는 비아-홀을 이용하여 연결하였다. 성능 검증을 위해서 설계된 안테나를 상용 세단의 후면 유리에 장착 후 반사 손실과 안테나 이득을 측정하였으며, 강전계와 약전계에서의 수신 성능 필드 테스트를 수행하였다. 측정 결과, 제안된 안테나는 WiBro 대역에서 300 MHz($S_{11} < -10$ dB, 2.296 ~ 2.596 GHz)의 대역폭을 가지며, azimuth 방향에서 평균 -5.13 dBi의 안테나 이득을 보였다.

Abstract

In this paper, we propose a broadband vehicle antenna that can operate at the WiBro band(2.3~2.4 GHz) for a wireless internet service. The feeding of the proposed antenna consists of two T-matching networks on both side of the polyarcylate substrate, and the two T-matching networks are connected through via holes. The designed antenna was built and installed on a rear window of a commercial sedan, and the antenna performances, such as the reflection coefficients and the radiation gain are measured in the open-sight area. The received signal strength of the designed antenna was also tested in a strong field area as well as in a weak field area. The measurement results show the matching bandwidth($S_{11} < -10$ dB) of about 300 MHz in the WiBro band and the average gain of about -5.13 dBi along the azimuth direction.

Key words : WiBro, Broadband Antenna, Vehicle Antenna

I. 서론

모바일 무선 인터넷 기술의 발전과 더불어 시간과 장소에 국한되지 않는 무선 인터넷 사용에 대한 요구가 지속적으로 증가되고 있으며, 최근에는 차량에서도 운행 중에 안정적인 무선 인터넷 접속이 가

능하도록 단말기를 차량 내부에 내장하는 기술이 많이 연구되고 있다. 모바일 무선 인터넷 기술로는 WiFi(Wireless Fidelity), HSDPA(High Speed Downlink Packet Access), WiBro(Wireless Broadband Internet)등이 있으며, 특히 WiBro는 차량의 이동 속도와 데이터 전송률을 고려할 경우, 차량용 모바일 무선 인터

「본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원 사업의 연구 결과로 수행되었음(NIPA-2011-C1090-1121-0005).」

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

· 논문 번호 : 20111213-157

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

· 심사일자 : 2012년 1월 10일 · 수정완료일자 : 2012년 1월 12일

넷으로 적용 가능성이 높은 기술로 보고되고 있다^{[1]~[3]}. 차량 내장형 WiBro 무선 인터넷의 전파 특성을 개선하기 위해서는 WiBro 단말기의 안테나를 차량 외부에 장착하는 것이 적절하며, 일반적으로 돌출형 폴 안테나가 사용될 수 있다. 최근에는 차량의 외관 및 내구성을 고려하여 차량에 장착되는 안테나를 차량의 후면이나 측면 유리에 인쇄하여 장착하는 기술이 많이 사용되고 있으며, FM 안테나 및 지상파 DMB 안테나가 주로 차량 유리에 인쇄되어 사용되고 있다^{[4],[5]}. 하지만 WiBro 무선 인터넷은 사용 주파수가 FM 및 지상파 DMB에 비해 10배 이상 높아, 차량 유리에 인쇄하여 사용할 경우 유전 손실이 높아지고 정합 특성이 저하되어 안테나의 성능이 열화될 수 있으며, 차체 전파 차단 효과로 무지향성 복사 패턴이 왜곡되고, 우천 등 외부 환경 변화로 인한 공진 주파수가 이탈되는 문제점을 가질 수 있다. 또한, 안테나의 물리적인 형상이 운전자의 시야 확보에 지장을 주지 않는 간략한 형상을 가져야 한다^{[6]~[8]}.

본 논문에서는 차량의 후면 유리 내부에 부착이 가능한 WiBro 대역 인쇄형 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 기존에 많이 쓰이는 T-정합 회로를 응용한 병렬 T-정합 회로를 사용하여 광대역 특성을 구현하였다. 상단의 T-정합 회로와 하단의 T-정합 회로는 polyacrylate에 인쇄되어 비아-홀(via-hole)로 연결하였으며, 상판과 하판의 T-정합 회로는 비아-홀의 위치를 이용하여 서로 다른 주파수에서 공진하도록 설계되었다. 우천 등 외부 환경에 의한 공진 주파수 이탈을 고려하여 안테나의 동작 주파수 대역을 설정하였으며, 차체로 인한 안테나 성능 왜곡을 정확히 예측하기 위해 전체 차량을 포함하여 안테나의 EM 시뮬레이션을 수행하였다. 설계된 안테나를 실제 차량의 후면 유리에 부착한 후 WiBro 대역(2.35 GHz)에서 복사 성능을 측정된 결과, 평균 -5.13 dBi의 안테나 이득을 갖는 것을 확인하였다. 강우량에 따른 안테나의 공진 주파수 특성 변화를 측정하였으며, 높은 강우량에도 목표 대역에서 성능이 유지되는 것을 확인하였다. 또한, 수신 출력 필드 테스트를 강전계와 약전계 지역으로 나누어 수행하였으며, 제안된 안테나가 차량용 WiBro 무선 인터넷 안테나로 사용 가능함을 확인하였다.

II. 광대역 안테나 구조 및 설계

차량에서 방송 통신을 위해 일반적으로 사용되는 온-글래스 안테나와 같은 글래스 부착형 안테나는 황사, 우천 등 외부 환경이 변화하면 안테나에 근접한 유전체의 유전 특성이 민감해져 안테나 동작 주파수가 이동하여 수신 성능을 유지하기 어려우므로 광대역 특성을 가져야 한다.

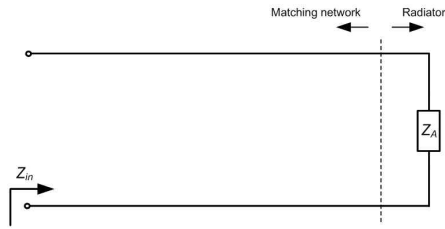
본 논문에서는 정합 회로를 삽입하여 광대역 특성을 구현하였으며, 단일 T-정합 회로를 응용한 병렬 T-정합 회로를 사용하여 차량 글래스 부착형 안테나를 설계하였다^[9]. 그림 1(a)는 정합 회로를 포함하지 않는 직접 연결 방식의 회로 모델이며, 안테나의 자체의 임피던스가 Z_d 일 때 반사 계수(Γ_d)를 구할 수 있다. 그림 1(b)는 안테나에 단일 T-정합 회로가 삽입된 것이며, 단일 T-정합 회로의 ABCD 매트릭스 식 (1)을 S-parameters인 식 (2)로 변환한 후 식 (3)을 이용하여 입력단 반사 계수(Γ_T)를 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{Z_1}{Z_3} & Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_3} \\ \frac{1}{Z_3} & 1 + \frac{Z_2}{Z_3} \end{bmatrix} \quad (1)$$

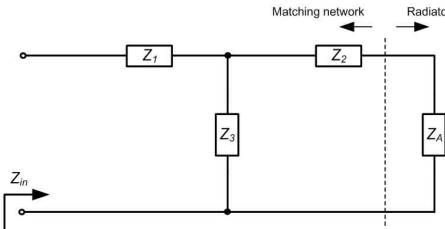
$$\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{A + \frac{B}{Z_0} - CZ_0 - D}{A + \frac{B}{Z_0} + CZ_0 + D} & \frac{2(AD - BC)}{A + \frac{B}{Z_0} + CZ_0 + D} \\ \frac{2}{A + \frac{B}{Z_0} + CZ_0 + D} & \frac{-A + \frac{B}{Z_0} - CZ_0 + D}{A + \frac{B}{Z_0} + CZ_0 + D} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\Gamma_T = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21} - \Gamma_d}{1 - S_{22}\Gamma_d}, \quad \Gamma_d = \frac{Z_A - Z_0}{Z_A + Z_0} \quad (3)$$

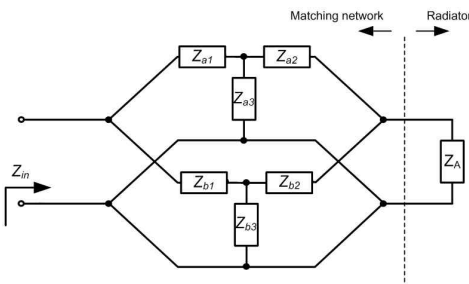
그림 1(c)는 제안된 병렬 T-정합 회로를 삽입한 회로 모델을 나타낸다. 병렬 T-정합 회로의 반사 계수 또한 단일 T-정합 회로와 동일한 방법으로 계산되지만, 두 T-정합 회로의 ABCD 매트릭스를 이용하여 전체 네트워크의 S-parameters를 결정되게 된다.



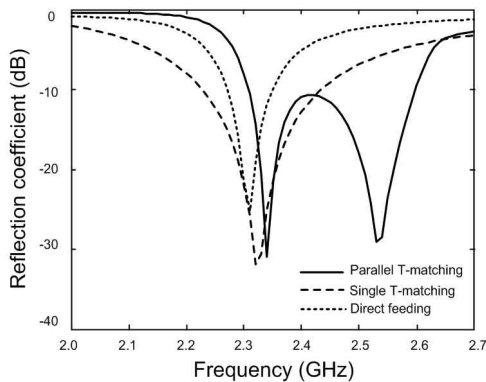
(a) Direct 정합 모델
(a) The direct network circuit model



(b) T-정합 회로 모델
(b) The T-matching network circuit model



(c) 병렬 T-정합 회로 모델
(c) The parallel T-matching network circuit model



(d) 병렬 T-정합 회로, T-정합 회로, direct 정합의 밴드 폭 비교

(d) Comparison with simulated return loss with parallel T-matching network, T-matching network and, direct network

그림 1. 매칭 회로에 따른 반사 계수 비교

Fig. 1. Comparison of reflection coefficient each matching networks.

$$\begin{bmatrix} Y_{11}^a & Y_{12}^a \\ Y_{21}^a & Y_{22}^a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{D_a}{B_a} & \frac{A_a D_a - B_a C_a}{B_a} \\ -\frac{1}{B_a} & \frac{A_a}{B_a} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} Y_{11}^b & Y_{12}^b \\ Y_{21}^b & Y_{22}^b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{D_b}{B_b} & \frac{A_b D_b - B_b C_b}{B_b} \\ -\frac{1}{B_b} & \frac{A_b}{B_b} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$[Y] = [Y^a] + [Y^b] \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{Y_{22}}{Y_{21}} & -\frac{1}{Y_{21}} \\ -\frac{Y_{11} Y_{22} - Y_{12} Y_{21}}{Y_{21}} & -\frac{Y_{11}}{Y_{21}} \end{bmatrix} \quad (7)$$

두 개의 T-정합 회로(T_a, T_b)를 병렬로 연결하였을 때, 각각의 ABCD 매트릭스를 어드미턴스 매트릭스인 Y^a 와 Y^b 로 변형한 후 어드미턴스 합으로 전체 네트워크를 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다. 다시 식 (7)과 같이 ABCD 매트릭스로 변환 후 반사 계수는 식 (2)와 식 (3)으로 계산할 수 있다. 이러한 방식의 병렬 T-정합 회로는 식 (3)을 이용하여 반사 계수를 구할 때 직접 급전 방식의 경우와 단일 T-정합 회로보다 고차방정식을 만들어 내며, 이는 동작 주파수 근처에 다수의 공진을 유도하여 안테나가 광대역 특성을 가질 수 있도록 한다. 각각의 회로 모델이 특성에 따라 대역폭이 확장되는 것을 그림 1(d)에 나타내었다^[10].

광대역 특성을 가지는 병렬 T-정합 회로를 차량 후면 유리에 박막 형태로 부착 가능하게 구현하기 위해서 다단 평면 구조의 인쇄형 안테나를 제안하였다. 그림 2(a)는 본 논문에서 제안한 병렬 T-정합 회로를 가지는 차량 부착형 안테나의 구조이다. 제안된 안테나는 정합 회로 부분과 방사부로 구성되며, 그림 2(b)에 나타난 상단의 T-정합 회로와 그림 2(c)에 나타난 하단의 T-정합 회로가 다중 공진을 이끌어낼 수 있도록 박막 형태의 polyacrylate(두께 2 mm, $\epsilon_r=3.25, \tan \delta=0.016$) 기판 위에 인쇄되었으며, 비아-홀로 상하단을 연결하였다. 또한, 제작된 안테나가 차량에 장착될 때 안테나 연결 선로에 의한 공진

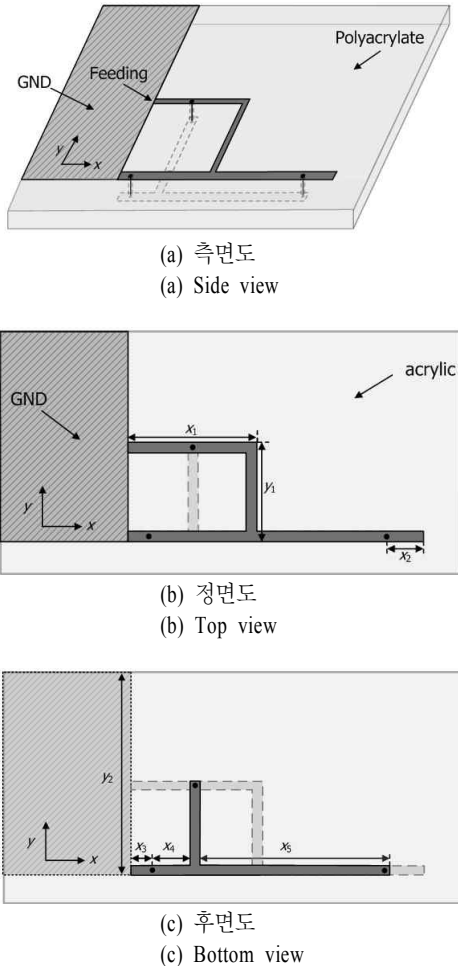


그림 2. 제안된 안테나의 구조 및 형상
Fig. 2. Geometry of the proposed antenna.

주파수 이동을 고려하여 접지면을 확보하였으며, 비아-홀의 위치를 조절하여 두 개의 공진이 서로 가까워지게 하여 광대역 특성을 이끌어냈다. 설계 변수는 상판의 T-정합 회로의 크기(X_1, Y_1), 하판의 T-정합 회로의 크기(X_4, X_5), 비아-홀의 위치(X_3, X_4, X_5), 방사부의 길이(X_2)가 사용되었다. 제안된 안테나의 상단의 T-정합 회로는 2.6 GHz, 하단의 정합 회로는 2.3 GHz에서 동작하도록 설계하였으며, 정합 회로에 연결되어 있는 비아-홀의 위치를 조절하여 두 개의 공진점을 조절하였다. 2.3 GHz 대역에서 안테나 선로에 유기되는 전류량은 급전부에 1 W의 전력이 인가되었을 때 상단의 T-정합 회로에서 평균 83 mA, 하단의 T-정합 회로에서 평균 95 mA에 비해 방사부

표 1. 안테나의 설계 변수

Table 1. Antenna parameters of the optimized antenna.

X_1	X_2	X_3	X_4
86	6	8	36
X_5	Y_1	Y_2	
68	10	80	

에서는 평균 31 mA임을 확인하였으며, 안테나의 전기적인 크기를 줄이기 위해 안테나 선로에 상대적으로 작은 전류가 유기되는 방사부의 길이를 최소화하였다.

제안된 안테나의 성능을 예측하기 위해서 FEKO의 EM 시뮬레이션을 사용하였으며, 보다 정확한 성능 예측을 위해 차량 형상을 EM 시뮬레이션에 추가하였다. 정확한 해석 결과를 가지기 위해서는 차량 전체의 형상을 모두 포함하여 EM 시뮬레이션을 진행해야 하지만, 동작 주파수에서 차량 구조체의 mesh 수가 85,000($38 \times 14 \times 11 \lambda$)개 이상이 되므로 성능 예측 시간이 크게 증가한다. 따라서 정확한 성능 예측과 해석에 소비되는 시간을 최소화하기 위해서는 EM 시뮬레이션에 들어가는 차량 구조체를 간소화시켜야 하기 때문에, 안테나 성능에 큰 영향을 미치지 않는 차량 타이어, 웬더(fender) 등을 제거하였다. 또한, 안테나가 부착되는 후면 프레임의 mesh 분포를 조밀하게 하였으며, 구조체에 상대적으로 전류가 적게 유기되는 부분은 mesh 분포를 드문드문하게 하여 EM 시뮬레이션 시간을 단축하였다.

제안된 안테나를 대역폭 특성을 보다 개선하고 무지향성 복사 특성을 높이기 위해 Pareto 유전자 알고리즘을 이용하여 설계 변수($X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, Y_1, Y_2$)를 최적화 하였다^{[11],[12]}. Pareto 유전자 알고리즘에서 한 개의 개체군(population size)은 40개의 유전자(chromosome)로 구성되고, 교배 확률(probability of crossover)은 80 %, 돌연변이 확률(probability of mutation)은 1 %로 정하였으며, 사용한 비용 평가 함수는 식 (8)과 식 (9)에 나타내었다.

$$Cost1 = 1 - \frac{BW_{ANT}}{BW_{WiBro}} \quad (8)$$

$$Cost2 = |G_{\max}(f, \theta, \phi) - G_{\min}(f, \theta, \phi)|$$

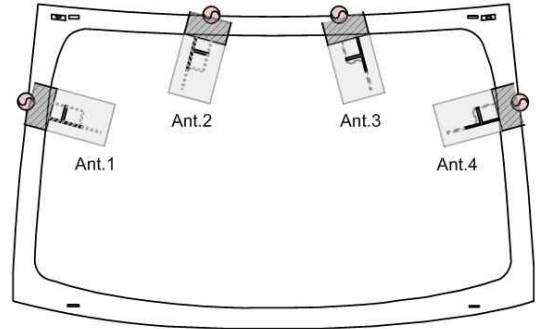
where, $2.3\text{ GHz} \leq f \leq 2.6\text{ GHz}$, $\theta = 90^\circ$, $0^\circ \leq \phi \leq 360^\circ$ (9)

식 (8)의 비용평가 함수는 제안된 안테나의 대역폭이 최적화되는 설계 변수를 찾는 비용 평가 함수로 사용하였다. BW_{WiBro} 는 WiBro 대역을 포함하는 300 MHz 대역폭(2.3~2.6 GHz)을 나타내며 BW_{ANT} 는 제안된 안테나의 2.3 GHz와 2.6 GHz 사이에서 -10 dB 대역폭을 나타낸다. 식 (9)은 제안된 안테나가 차량에 후면 유리에 장착될 때 차량 프레임의 영향으로 무지향성 복사 패턴의 왜곡을 최소화하기 위해 사용되었으며, 주파수 대역 내에서 azimuth 방향의 최대 이득(G_{max})과 최소 이득(G_{min})을 비용평가 함수로 사용하였다. 최적화된 안테나는 두 비용 평가 함수의 값을 최소화 하는 형상으로 결정하였으며, 설계 변수들은 표 1에 정리하였다.

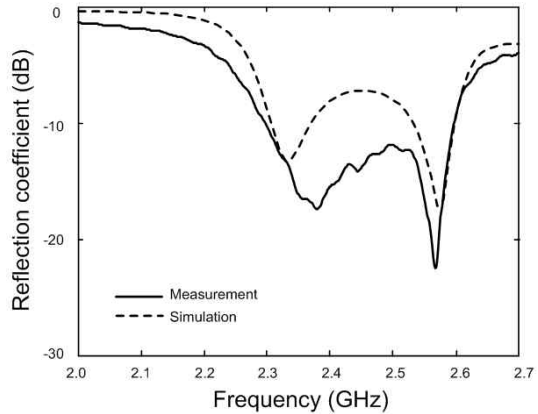
III. 안테나 성능 분석 및 필드 테스트

최적화된 차량용 안테나의 성능을 검증하기 위해 실제 상용 세단 차량에 탑재하여 성능을 측정하였다. 4개의 최적화된 안테나를 실제 상용 세단에서 급전이 가능하고, 지면과 약 20°의 경사를 가지는 차량 후면 유리의 측면과 상단에 부착하였으며, 장착 위치를 그림 3(a)에 나타내었다. 그림 3(b)는 후면 유리 왼쪽 측면에 위치한 안테나 1의 반사 손실 결과를 나타내며, 실선이 측정 결과이고, 점선이 EM 시뮬레이션 결과이다. 최적화된 안테나의 대역폭은 300 MHz($S_{11} < -10\text{ dB}$, 2.296~2.596 GHz)로 측정을 통하여 WiBro 전 대역에서 동작이 가능함을 확인하였다.

일반적으로 안테나는 주변 환경의 변화에 따라 실효유전율이 변화하게 되며, 이와 같은 유전율의 변화는 안테나의 전기적 성질을 변화시켜 동작 주파수를 이동시킨다^[13]. 특히 차량 후면 유리에 안테나를 장착하는 경우, 후면 유리에 먼지가 많거나 날씨의 영향으로 물방울이 맺히게 되면 유리의 근접 유전율이 변화한다. 결과적으로 안테나의 공진 주파수가 이동하게 되며, 목표 주파수 대역에서 안테나를 통한 정보통신이 원활히 이루어지지 않는 문제를 야기한다. 그림 4는 우천시 차량 후면 유리의 환경 변화에 따른 안테나의 공진 주파수 변화를 확인하기 위하여 안테나를 장착한 후면 유리에 인위적인 수막을



(a) 후면 유리 안테나 장착 위치
(a) Positions of the proposed antennas

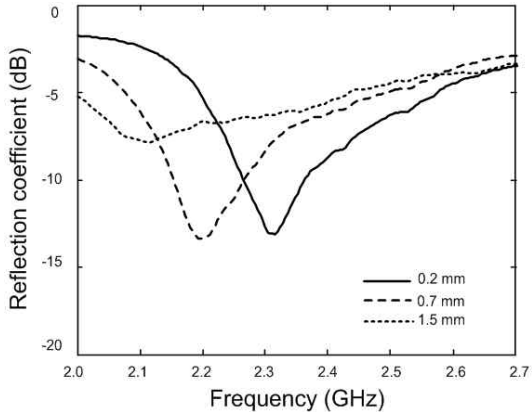


(b) Ant 1의 반사 손실 시뮬레이션 및 측정
(b) Reflection coefficient of Ant 1

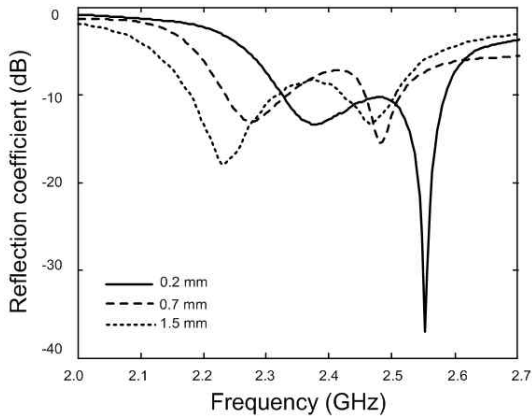
그림 3. 안테나 장착 위치 및 반사 계수
Fig. 3. Antenna positions and reflection coefficient.

만들어 모의실험을 진행하였다. 일반적으로 차량 정보 통신에 쓰이는 $\lambda/4$ 모노폴 안테나를 polyacrylate에 인쇄하여 차량 후면 유리에 장착한 후 반사 손실을 측정하였으며, 수막 두께가 증가하게 되면 공진 주파수가 이동하여 성능이 열화되는 것을 그림 4(a)에 나타내었다. 반면, 최적화된 안테나는 차량 후면 유리의 수막 두께가 증가하여 공진 주파수가 이동하여도 최적화된 안테나의 광대역 특성으로 인하여 WiBro 대역에서 동작 가능한 대역폭을 유지하는 것을 그림 4(b)를 통해 확인할 수 있다.

그림 5는 최적화된 안테나의 방위각(azimuth)인 $\theta=90^\circ$ 에서 2.35 GHz 대역 복사 패턴을 나타낸다. 최적화된 안테나 단독 복사 패턴은 일반적인 모노폴 안테나에 정합 회로가 추가된 것이므로 무지향성 복사 패턴을 나타내지만, 차량에 후면 유리에 안테



(a) 직접 급전 회로를 가지는 안테나의 수막의 두께에 따른 반사 계수
 (a) Reflection coefficient of a direct feeding antenna according to water film depth

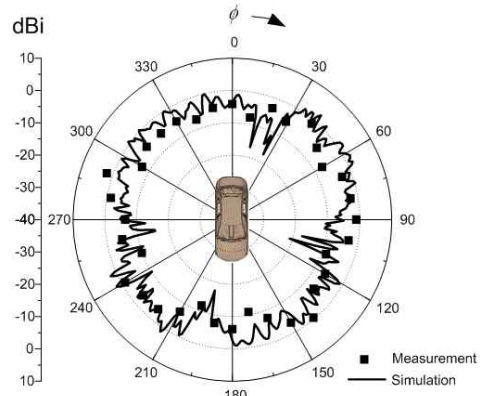


(b) 병렬 T-정합 회로를 가지는 안테나의 수막의 두께에 따른 반사 계수
 (b) Reflection coefficient of a parallel T-matching antenna according to water film depth

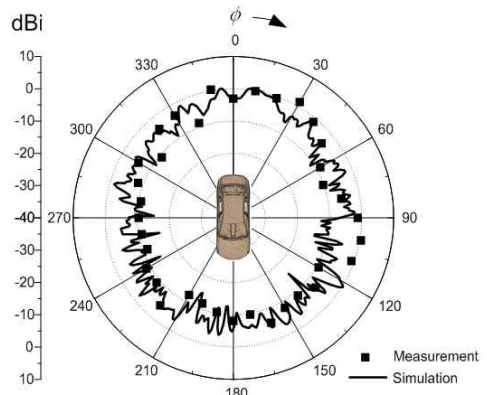
그림 4. 수막의 두께에 따른 반사 계수 비교
 Fig. 4. Comparison of reflection coefficient according to water film depth.

나를 장착하게 되면 차체 전파 차단 효과로 복사 패턴이 왜곡된다. 그림 5(a)는 차량 후면 유리 측면에 장착된 안테나 1의 복사 패턴을 나타내며, 그림 5(b)는 차량 후면 유리 상단에 장착된 안테나 2의 복사 패턴을 나타낸다. 안테나 3은 안테나 2와, 안테나 4는 안테나 1과 대칭으로 장착되어 있으므로 복사 패턴이 각각 대칭으로 나타나는 특징을 가지며, 방위각 방향에서 평균 -5.13 dBi의 안테나 이득을 보였다.

그림 6(a)는 병렬 T-정합 회로로 이루어진 최적화



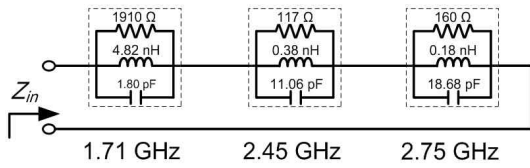
(a) Ant 1의 2.35 GHz 대역 복사 패턴
 (a) Azimuth pattern of Ant 1 at 2.35 GHz



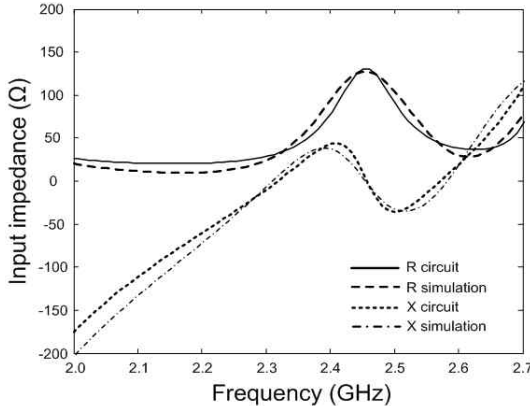
(b) Ant 2의 2.35 GHz 대역 복사 패턴
 (b) Azimuth pattern of Ant 2 at 2.35 GHz

그림 5. 제안된 안테나의 복사 패턴
 Fig. 5. Azimuth patterns of the proposed antenna.

된 안테나의 등가회로 모델이며, RLC를 이용하여 나타내었다. 그림 6(b)는 등가회로 모델과 EM 시뮬레이션에 의한 입력 임피던스가 일치함을 알 수 있으며, 1.71 GHz와 2.75 GHz의 큰 공진과 2.45 GHz의 작은 공진에 의하여 WiBro 대역에서 50 Ω 정합이 유리함을 확인할 수 있다. 최적화된 안테나의 수신 출력을 검증하기 위해 최적화된 안테나를 차량 후면 유리에 장착한 뒤 강전계(서울시 마포구 상암동 일대)와 약전계(서울시 마포구 상수동 일대)에서 스펙트럼 분석기(Aglient 8593A)를 이용하여 차량을 10 km/h로 이동하면서 수신 출력을 측정하였다. 그림 7은 수신 출력을 측정하기 위한 테스트 셋업을 나타내며, 비교 대상으로 2.3 GHz 대역에서 일반적으로



(a) 안테나 등가회로
(a) Equivalent circuit model of the antenna



(b) 입력 임피던스 비교
(b) Input impedance comparisons

그림 6. 안테나 등가회로 및 입력 임피던스
Fig. 6. Equivalent circuit model and input impedance of the antenna.

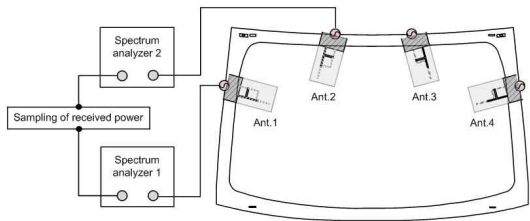


그림 7. 필드 테스트 셋업
Fig. 7. Test setup.

차량 정보 통신에 쓰이는 $\lambda/4$ 모노폴 안테나를 차량 외부 및 내부에 두고 측정된 결과를 제안된 안테나와 비교하였다. 그림 8(a)는 강전계에서 $\lambda/4$ 모노폴 안테나의 측정 결과를 나타내며, 평균 수신 출력은 차량 지붕에 장착하였을 때 -41.17 dBm, 내부에 장착하였을 때 -47.88 dBm이다. 최적화된 안테나의 강전계 지역 수신 출력 결과를 그림 8(b)에 나타내었으며, 평균 수신 출력은 -44.94 dBm인 것을 확인하였다. 또한, 그림 8(c)와 그림 8(d)는 약전계에서 수신 출력을 나타낸다. $\lambda/4$ 모노폴 안테나의 평균 수신

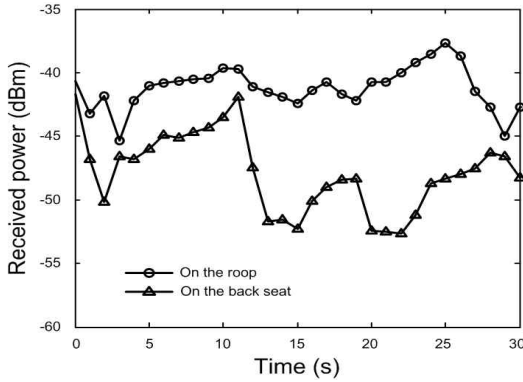
출력은 차량 지붕에 장착하였을 때 -68.63 dBm이며, 내부에 장착하였을 때 -70.69 dBm이다. 또한, 최적화된 안테나의 평균 수신 출력은 -69.57 dBm이다. $\lambda/4$ 모노폴 안테나를 차량 외부에 장착하였을 때에 비하여 내부에 장착하였을 때 성능이 급격하게 감소되는 것을 확인할 수 있으며, 최적화된 안테나는 차량 내부에 장착된 $\lambda/4$ 폴 안테나보다 높은 수신 출력을 가지는 것을 확인하였다.

IV. 결 론

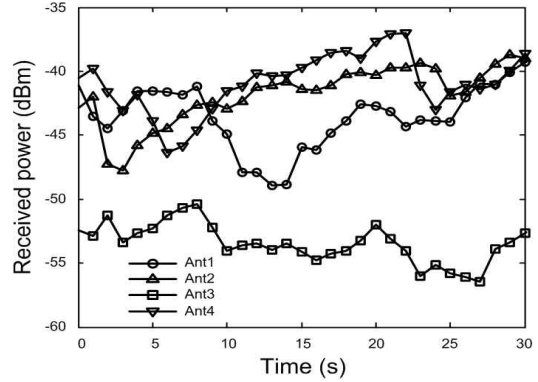
본 논문에서는 환경 변화에 의한 성능 왜곡에도 WiBro 대역에서 일정 이상의 수신 성능을 유지하는 차량용 광대역 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 병렬 T-정합 회로와 방사부로 이루어져 있으며, 대역폭 향상과 무지향성 복사 패턴 특성을 가지기 위해 Pareto 유전자 알고리즘을 이용하여 성능 최적화를 하였다. 차량 후면 유리 상하좌우에 최적화된 안테나를 부착하여 성능을 측정하였으며, 측정 결과, WiBro 대역(2.3~2.4 GHz)을 기준으로 300 MHz($S_{11} < -10$ dB, 2.296~2.596 GHz)의 대역폭을 가지며, azimuth 방향에서 평균 -5.13 dBi의 안테나 이득을 보여 WiBro 대역 차량 장착용 안테나로 사용이 가능함을 확인하였다. 차량 후면 유리 주변의 경우량 변화에 따른 공진 주파수의 이동을 측정하였으며, 주변 환경이 변화하여도 WiBro 대역에서 동작하는 것을 확인하였다. 강전계와 약전계에서 최적화된 안테나를 일반적으로 차량 정보통신에 사용되는 $\lambda/4$ 모노폴 안테나와 수신 출력 성능을 비교하였을 때, 내부에 장착된 $\lambda/4$ 모노폴 안테나보다 다소 높은 수신 레벨을 가지는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

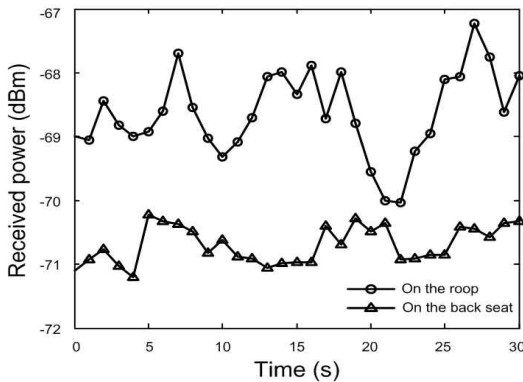
[1] J. Jung, H. Lee, and Y. Lim, "Broadband flexible comb-shaped monopole antenna", *IET Proc. Inst. Elect. Eng. Microwaves, Antennas Propag.*, vol. 3, no. 2, pp. 325-332, Oct. 2009.
[2] Y. S. Shin, S. O. Park, "A compact loop type antenna for bluetooth, S-DMB, Wibro, WiMax, and WLAN Applications", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 6, pp. 320-323, Jul. 2007.



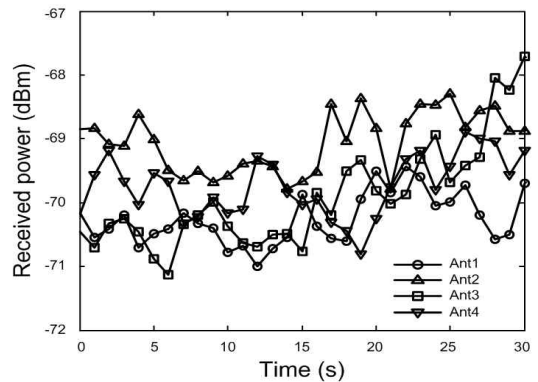
(a) 강전계에서 $\lambda/4$ 폴 안테나의 수신 강도
 (a) Received power of a $\lambda/4$ monopole antenna in a strong E-field area



(b) 강전계에서 제안된 안테나의 수신 강도
 (b) Received power of the proposed antenna in a strong E-field area



(c) 약전계에서 $\lambda/4$ 폴 안테나의 수신 강도
 (c) Received power of a $\lambda/4$ monopole antenna in a weak E-field area



(d) 약전계에서 제안된 안테나의 수신 강도
 (d) Received power of the proposed antenna in a weak E-field area

그림 8. 제안된 안테나와 $\lambda/4$ 폴 안테나의 수신 출력 비교
 Fig. 8. Comparison of received power for proposed antenna and a $\lambda/4$ monopole antenna.

[3] 홍용의, 이치우, 김기호, 양묘근, 성원모, "PCB를 이용한 T-DMB(Band III)/DAB(L-Band)/Wibro 삼중 대역 안테나", 한국전자과학회논문지, 18(2), pp. 227-232, 2007년 2월.
 [4] 안승범, 노용호, 오정훈, 추호성 "FM 라디오 수신을 위한 차량용 다이버시티 안테나 설계", 한국전자과학회논문지, 20(8), pp. 761-769, 2009년 8월.
 [5] 강우준, 계영철, 박슬기, 오정훈, 추호성, "다중선로가 로딩된 T-DMB 수신용 차량 글래스 안테나 설계", 한국전자과학회논문지, 20(7), pp. 664-672, 2009년 7월.
 [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] 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.
 [8] J. C. Batchelor, R. J. Langley, and H. Endo, "On-glass mobile antenna performance modeling", *IET Proc. Inst. Elect. Eng. Microwave Antennas Propag.*, vol. 148, no. 4, pp. 233-238, Aug. 2001.
 [9] C. Cho, H. Choo, and I. Park, "Broadband RFID tag antenna with quasi-isotropic radiation pattern", *Electron. Lett.*, vol. 41, no. 20, pp. 1091-1092, Sep.

2005.

[10] Reinhold Ludwig, Pavel Bretchko, *RF Circuit Design: Theory and Applications*, International Ed., Prentice Hall, 2000.

[11] J. Horn, N. Nafpliotis, and D. E. Goldberg, "A niched Pareto genetic algorithm for multiobjective optimization", in *Proc. IEEE Evolutionary Computation Conf.*, vol. 1, pp. 82-87, 1994.

[12] FEKO Comprehensive EM solutions, [Online]. Available: <http://www.feko.info/>

[13] 정영철, 이경원, 육종관, "초고속 비행체 안테나 보호용 섬유강화 세라믹 복합체 특성 연구", *한국전자과학회논문지*, 17(3), pp. 295-306, 2006년 3월.

김 윤 건



2010년 8월: 홍익대학교 전자전기 공학과 (공학사)
 2010년 9월~현재: 홍익대학교 전자정보통신대학원 석사과정
 [주 관심분야] 구조체 안테나 해석 및 설계, 무선전력전송

지 성 환



2006년 2월: 홍익대학교 전자전기 공학과 (공학사)
 2011년 3월: 홍익대학교 전자정보통신공학과 (공학석사)
 [주 관심분야] RFID용 태그 및 리더 안테나 설계

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

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