유연성 기판을 이용한 자동차 유리 부착용 다중 대역 안테나

A Multi-Band Antenna on Automobile-Glass Using Flexible PCB

김 인 복 · 우 동 식 · 김 강 욱

In-Bok Kim · Dong-Sik Woo · Kang Wook Kim

요 약

본 논문에서는 대역 저지 U형태의 슬롯이 추가된 다중 대역 모노폴 안테나를 제안하였다. 안테나는 유연성을 가지는 폴리마이드 필름 기판으로 제작하였다. 제안된 안테나는 U-슬롯이 추가된 패치 형태의 모노폴 안테나로 2.7 GHz 대역에서 저지 특성을 갖도록 설계하였으며, 인접한 주파수 대역에서 반사 손실 특성의 개선을 얻을 수 있었다. 실제 자동차 유리에 부착한 실험을 통해 ISM 대역(2.4~2.483 GHz)과 WAVE 대역(5.85~5.925 GHz)에서 10 dB 이상의 반사 손실을 가지는 것을 확인하였다. 방사 패턴은 높은 주파수 대역에서 일부 패턴의 넓이 있으나 전반적으로 전방향성의 특성을 나타내었으며, 2.8, 5.7 dBi의 최대 이득을 가졌다.

Abstract

In this paper, we propose a multi-band monopole antenna with a band-notching U-slot, which is fabricated inside the flexible polyimide film substrate. The U-shaped slot located on the patch-shaped monopole antenna provides band-notch at 2.7 GHz, but also helps to improve return loss at adjacent frequency bands. The performance of the antenna attached on an automobile-glass has been simulated and measured. The fabricated antenna provides more than 10 dB return loss for ISM band(2.4~2.483 GHz) and WAVE band(5.85~5.925 GHz), 2.8~5.7 dBi maximum gain, and good radiation patterns.

Key words : Flexible PCB, Monopole Antenna, Band-Notched U-Slot, Multi-Band, Automobile-Glass

I. 서 론

최근 발생한 대교 연쇄 추돌 사고와 같은 인명 피해를 해결하기 위해 자동차간 통신 기술과 V2X 통신 응용 시스템 기술의 필요성이 대두되고 있다. 안전 서비스 제공을 위해 차량이나 도로상에서 발생한 긴급 상황 정보를 인프라 네트워크의 도움 없이 주변 차량에 전파할 수 있는 기술인 멀티홉을 활용한 전송기술이 필요하고, 메시지 전달의 신뢰성, 무선 네

트워드의 혼잡 제어 기술 등을 활용하고, 많은 개선이 필요하다. 그러나 현재 교통안전 서비스 제공을 위한 기반을 마련하고 있는 실정이나, 차내 망과의 연동, 이동 통신 기술 및 차 내 장치 기기와의 연결성을 위한 연구는 아직 부족한 상황이다. 따라서 다양한 자동차용 무선 시스템의 연구에 따라 다기능 다중 대역의 내장형 안테나 설계 연구 또한 필요성이 증가하고 있다. 지능형 교통시스템에 적용 가능한 자동차용 안테나 기술 확보와 더불어 V2X 표준(IEEE 802.11

「본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2012-H0401-12-1006).」

경북대학교 전자공학과(School of Electronics Engineering, College of IT Engineering, Kyungpook National University)

· Manuscript received October 12, 2012 ; Revised January 15, 2013 ; Accepted January 15, 2013. (ID No. 20121012-113)

· Corresponding Author : Kang Wook Kim (e-mail : kang_kim@ee.knu.ac.kr)

p, WAVE, DSRC)을 만족하면서 3G, Wibro, LTE 등의 다양한 이동통신 시스템과 연동 가능한 안테나와 그와 연관된 다양한 연구가 수행되고 있다^{[2]~[4]}.

현재 자동차용 안테나는 폴 형태와 샤크 핀 안테나와 같이 외부 돌출 형태의 안테나가 주로 사용되고 있다. 외부 돌출 형태의 안테나는 미관상 좋지 않으며, 공기 마찰로 인해 내구성이 낮고 보호용 케이스에 대한 추가 비용이 든다. 이를 해결하기 위해 자동차 내장형 안테나와 자동차 유리 표면에 안테나를 직접 인쇄하는 온-글라스 안테나에 대한 연구가 증가하고 있다^[5]. 안테나를 유리 표면에 인쇄하므로 생산 단가를 줄이고, 파장에 비해 넓은 면적을 사용하므로 높은 격리도와 적은 간섭의 장점을 가진다. 그러나 인쇄된 안테나가 수정이 필요할 경우 쉽게 수정이 어려운 단점이 있다.

본 논문에서는 자동차 온-글라스 안테나의 단점을 보완하며, 유연성(flexible)의 기판을 이용한 자동차 유리 탈부착용 안테나를 설계하였다. 설계에 사용된 유연성의 기판은 주로 소형 전자 기기에 사용되어진다. 이는 집적화된 소형 전자 기기는 내부 공간을 확보하기가 어려우므로 유연성의 기판을 이용하여 공간을 확보함과 동시에 쉽게 내장이 가능한 장점을 얻을 수 있기 때문이다. 이러한 유연성 기판을 이용한 안테나는 굴곡이 있는 자동차 유리 표면에 쉽게 탈부착이 가능하여 자동차 안테나의 내장성을 높이는 장점을 가진다. 앞서 살펴본 온-글라스의 장점을 가지는 내장형 안테나를 설계함과 동시에 단점을 극복한 안테나를 설계하였다. 또한, 대역 저지 특성을 가지는 U-슬롯을 삽입하여 다양한 서비스의 제공을 위한 다중 대역 특성을 가지도록 하였다. 안테나에 삽입된 U-슬롯은 $\lambda/4$ 협대역 공진기이며^{[6],[7]}, U-슬롯 자체의 전류 분포에 따라 원하는 주파수 대역에서 저지 특성을 얻음과 동시에 인접한 주파수 대역에서 반사 손실 특성의 개선을 얻을 수 있다. 그리고 U-슬롯의 길이와 폭을 조절하여 원하는 대역에서 저지 특성을 얻을 수 있다^[8]. 제안된 안테나는 U-슬롯이 추가된 패치 형태의 모노폴 안테나이며, ISM 대역(2.4~2.483 GHz)과 WAVE 대역(5.85~5.925 GHz)에서 동작하는 다중 대역 특성을 가진다. 설계된 안테나를 직접 자동차 유리에 부착하는 실험을 통해 성능을 검증하였다.

II. 본 론

2-1 안테나 설계

그림 1은 본 논문에서 제안하는 안테나의 구조를 보여준다. 제안된 안테나는 U자 모양의 슬롯과 사각 패치, 그리고 같은 평면에 위치하는 접지면으로 구성되어 있다. 안테나의 구조는 그림 1의 측면도와 같이 동(copper) 선로 및 판을 유연성을 가지는 필름 형태의 폴리마이드(polymide, 비유전율 3.5)가 둘러싸인 형태이며, 약 0.2 mm의 두께를 가진다. 이 안테나가 자동차 유리(soda-lime glass, 비유전율 7.3, 두께 5 mm)에 안테나가 부착되는 구조를 가진다. 제안한 안테나의 최적화된 설계 변수를 표 1에 요약하였다.

설계된 안테나는 다음과 같은 순서를 통해 설계하였다. CST Microwave Studio™ 3D EM 시뮬레이터를 이용하여 그림 2와 같이 WAVE 대역(5.85~5.925 GHz)에서 동작하는 안테나를 설계하고, 대역 저지 U-슬롯을 삽입하여 인접한 ISM 대역(2.4~2.483 GHz)

그림 1. 안테나 구조

Fig. 1. Structure of antenna.

표 1. 제안한 안테나의 최적화된 설계 변수(mm)

Table 1. The optimized parameters of the proposed antenna(mm).

A	B	C	D	E	F
37	47	35	21	35	22
G	H	I	W	L	T
3	1	3	21	11	5
GLASS		100×100×5

그림 2. U-슬롯 유무에 따른 안테나 시뮬레이션 결과
Fig. 2. Simulated results of the antenna with/without the U-slot.

그림 3. 저지 대역(2.7 GHz)에서의 전류 분포
Fig. 3. Surface current density of the antenna at the stop band(2.7 GHz).

에서의 동작 특성을 개선하여 다중 대역 특성을 얻도록 하였다.

대역 저지 U-슬롯에서는 저지하고자 하는 대역에서 전류가 그림 3과 같이 슬롯의 가장자리 주위에 집중되고, 내부와 외부에서 서로 반대 방향으로 흐르게 된다. 이와 같은 특성으로 인해 안테나가 전송선로 모드처럼 동작하게 되어 저지하고자 하는 주파수 대역에서 높은 임피던스를 전송하고, 안테나 급전 점에서는 거의 0에 가깝게 되어 결국 저지하고자 하는 주파수 근처에서 높은 감쇠가 나타난다. 또한, U-슬롯으로 인해 인접한 대역에서는 반사 손실 특성의 개선을 얻을 수가 있다.

$$f_c = c_v / \{4 \times [L + (W/2) - T] \times \sqrt{\epsilon_{eff}}\} \quad (1)$$

where c_v : the speed of light
 ϵ_{eff} : effective dielectric constant

(a) 설계 변수 W 변화에 따른 반사 계수
(a) Reflection coefficient as changing parameter W

(b) 설계 변수 L 변화에 따른 반사 계수
(b) Reflection coefficient as changing parameter L

(c) 설계 변수 T 변화에 따른 반사 계수
(c) Reflection coefficient as changing parameter T

그림 4. U-슬롯 설계 변수 변화에 따른 시뮬레이션 결과
Fig. 4. Simulated results as changing parameters of U-slot.

이 U-슬롯의 구조는 식 (1)과 같이 W (슬롯 수평 길이), L (슬롯 수직 길이), T (슬롯 두께)의 설계 변수로 정의할 수 있다^[8].

그림 4는 U-슬롯의 설계 변수의 변화에 따른 안테나의 반사 손실 특성의 변화를 보여준다. U-슬롯은 설계 변수에 따른 성능이 최적화되도록 설계하였으며, 식 (1)을 통해 약 2.7 GHz 대역에서 대역 저지 특성을 가지도록 하였다. 시뮬레이션 결과와 같이 슬롯의 길이(W 또는 L)가 증가하면 저지 대역이 낮아지고, 슬롯의 두께(T)가 증가하면 저지 대역이 높아지는 것을 확인하였다.

2-2 안테나 제작 및 측정 결과

그림 5는 제작한 안테나의 사진을 보여주고 있다. 안테나는 유연성을 가지는 필름 형태의 폴리마이드 유전체가 동판 및 선로로 구성된 안테나를 코팅한 형태로 제작되었다. 기판의 유연성으로 인해 그림

(a) 제작된 안테나
(a) Fabricated antenna

(b) 안테나의 유연성, 자동차 유리에 부착된 안테나
(b) Flexibility of the antenna, antenna on automobile-glass

그림 5. 제작된 안테나
Fig. 5. Fabricated antenna.

그림 6. 반사 계수 측정 결과
Fig. 6. Measured reflection coefficient.

5(b)와 같이 쉽게 휘어지고, 탄력성을 가지고 있어 휘어지더라도 본래의 형태로 쉽게 회복한다. 그리고 안테나가 유전체로 코팅된 형태이기 때문에 안테나의 탈부착이나 외부 환경의 영향에도 안테나 형상의 변형이나 손상을 받지 않는 장점을 가진다. 신호 인가 부분은 쉽게 탈부착이 가능한 SCMP 커넥터를 사용하여 커넥터 사용에 적합하도록 변형하였다.

안테나를 그림 5(b)와 같이 자동차 유리에 장착하여 반사 손실을 측정하였으며, 그림 7과 같은 구성으로 방사 패턴을 측정하였다. 측정된 안테나의 반사 손실은 그림 6에서 보여주듯이 2.1~2.9 GHz, 5.6~6.6 GHz 대역에서 10 dB 이상의 결과를 얻었으며, 시뮬레이션 결과와 거의 유사함을 확인하였다.

그림 7. 안테나 방사 패턴 측정 구성도
Fig. 7. Test setup of radiation pattern.

(a) 2.4 GHz 방사 패턴

(a) Radiation pattern at 2.4 GHz

(b) 5.9 GHz 방사 패턴

(b) Radiation pattern at 5.9 GHz

그림 8. 방사 패턴 측정 결과

Fig. 8. Measured radiation patterns

그림 8(a)는 2.4 GHz에서의 안테나 방사 패턴을 보여주고 있는데, x-y평면에서 일반적인 모노폴 안테나와 유사하게 전 방향성 특성을 보이며, 최대 이득은 2.8 dBi를 얻었다. 그림 8(b)는 5.9 GHz에서의 방사 패턴을 보여주고 있는데, 다중 대역을 커버하는 안테나 특성으로 인해 높은 주파수 영역에서 일부 방향으로 방사 패턴의 널이 발생하였고, 최대 이득은 5.7 dBi를 얻었다. 향후 높은 주파수 영역에서의 방사 패턴을 개선하는 노력을 할 것이다.

본 논문에서 제안된 안테나는 설계와 측정을 통해 앞, 뒤, 옆의 차량 유리 모든 부분에 설치가 가능하며, 각각의 차량 무선 통신 시스템에 적합하도록 실험을 통해 적절한 위치를 선정하면 될 것이다. 최

근 선루프나 지붕 일부를 유리로 적용한 차량이 많아지고 있어 차량 지붕에 설계한 안테나의 접목도 가능할 것이다.

III. 결 론

본 논문에서는 자동차 온-글라스 안테나의 단점을 보완하며 내장성을 높인 유연성 기판을 이용한 안테나를 설계하고 구현하였다. 제안한 안테나는 굴곡이 있는 자동차 유리에 쉽게 탈부착이 가능하며, 외부 환경에 쉽게 손상되지 않는 형태를 가진다. 실제 자동차 유리에 부착한 실험을 통해 ISM 대역(2.4 ~ 2.483 GHz)과 WAVE 대역(5.85 ~ 5.925 GHz)에서 10 dB 이상의 반사 손실을 가지는 것을 확인하였다.

방사 패턴은 높은 주파수 대역에서 일부 패턴의 넓이 있으나, 전반적으로 전방향성의 특성을 나타내었으며, 2.8, 5.7 dBi의 최대 이득을 가졌다. 또한, U-슬롯을 추가하여 2.7 GHz 대역에서 저지 특성을 갖도록 설계하였으며, 인접한 주파수 대역에서 반사 손실 특성의 개선을 얻을 수 있었다. 본 논문에서 제안한 안테나는 크기 37×47×0.2 mm으로 소형이며, 자동차 내부 유리에 쉽게 장착이 가능하다. 따라서 제안한 안테나는 자동차와 장치 기기, 자동차와 자동차 그리고 자동차와 인프라 간의 정보 전달에 사용될 다양한 자동차용 무선 통신기기에 접목이 가능할 것이다. 향후 성능이 향상된 다양한 형태의 자동차용 안테나 개발을 진행할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Rod Waterhouse, *Printed Antennas for Wireless Communications*, John Wiley & Sons, Ltd., 2007.
- [2] 여수철, 주무용, 이경문, 정봉식, "차량용 삼중대역 소형 패치 안테나의 설계", 한국정보기술학회 논문지, 8(1), pp. 59-64, 2010년 1월.
- [3] 이승재, 윤중환, 이진우, "차량에 적용 가능한 T-DMB / GPS / Mobile 안테나의 제작과 측정", 한국전자통신학회논문지, 25, pp. 629-636, 2011년 10월.
- [4] 양태훈, 김우진, 김종국, 황진규, 김정균, "이동통신 서비스를 위한 Pole Type 통합형 차량용 안테나", 한국자동차공학회 학술대회 및 전시회, pp. 1795-1800, 2010년 11월.
- [5] 안승범, 추호성, "글라스 인쇄형 안테나의 최신 설계 동향", 한국전자과학회지 전자파기술, 20(6), pp. 17-26, 2009년 11월.
- [6] A. Kerkhoff, H. Ling, "A parametric study of band-notched UWB planer monopole antenna", *IEEE Antennas Propagation Society Int. Symposium*, vol. 2, pp. 1768-1771, 2004.
- [7] A. Kerkhoff, H. Ling, "Design of a planar monopole antennas for use with ultra-wideband(UWB) having a band-notched characteristic", *IEEE Int'l Symposium on Antenna and Propagation*, Columbus, OH, vol. 1, pp. 803-833, 2003.
- [8] A. A. Shaalan, M. I. Ramadant, "Single and dual band-notched UWB monopole antennas with U-shaped slot", *Antennas and Propagation (MECAP), 2010 IEEE Middle East Conference*, pp.1-8, 2010.

김 인 복

2008년 2월: 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 (공학사)
 2010년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
 2010년 3월~현재: 경북대학교 전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] 다이오드 검파기, 믹서 및 주파수 체배기, 마이크로파 및 밀리미터파 안테나 및 시스템 설계

우 동 식

2002년 2월: 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 (공학사)
 2004년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
 2004년 3월~현재: 경북대학교 전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 안테나 및 시스템 설계

김 강 욱

1985년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)

1987년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)

1996년 7월: University of California, Los Angeles. 전자공학과 (공학박사)

1987년~1990년: 한국전기연구소 연구원

1996년~1998년: University of California, Los Angeles. Post-Doctor 연구원

1998년~1999년: P-Com, Inc. 마이크로파 설계연구원

1999년~2001년: Narda DBS Microwave, RF 설계연구원

2001년~2005년: 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 조교수

2006년~2011년: 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 부교수

2011년~현재: 경북대학교 IT대학 전자공학과 교수

2007년 5월~현재: 이엠와이즈통신(주) 대표이사

[주 관심분야] 마이크로파 통신시스템 및 서브시스템, 마이크로파 및 밀리미터파 부품 및 패키징, 무선 통신용 안테나, 전자기 상호 작용 및 전자기 수치 해석