

## DSRC용 마이크로스트립 패치 안테나 설계 연구

박병호 · 최용석\* · 성현경

### A Study on Design of Microstrip Patch Antenna for Dedicated Short Range Communication

Byeong-Ho Park · Yong-Seok Choi\* · Hyeon-Kyeong Seong

School of Computer, Information and Communication Engineering, Sangji University, Wonju 220-702, Korea

#### 요 약

최근 국내에서도 교통정보시스템의 보급 및 개발이 확산되고 일부 서비스가 시범사업을 거쳐 상용화되면서 활용도가 높은 DSRC에 대한 관심이 높아졌으며 노변기지국과 차량 설치장비용 안테나가 연구되고 있다. 차량용 안테나의 경우 크기의 소형화가 요구되어 단일패치를 이용하였으나 대부분의 경우 소형화로 인하여 성능의 저하가 있었다. 또한, 기존에 연구되고 있는 안테나는 배열을 이용하여 성능을 높이는 방법이 일부 사용되고 있으나 배열을 사용하는 경우 안테나의 크기가 커지는 단점이 있다. 그러므로 본 논문에서는 DSRC의 OBU에서 사용할 수 있는 소형이며 제작이 용이한 단순한 구조의 CPW 급전을 이용한 마이크로스트립 패치 안테나를 설계 하였다.

#### ABSTRACT

As the development and distribution of the intelligent transport system is spreading recently and some of the services are commercialized through a pilot project, interest in DSRC with high utilization is increasing and antennas for roadside and on board equipment are being studied. A single patch was used for a vehicle antenna due to the requests of miniaturization of size, but there was performance degradation in most cases due to miniaturization. In addition, some methods to improve performance have been used in the antennas that were previously researched using the arrays, but they have the disadvantages of bulkiness in size of the antennas when using the arrays. Therefore, in this paper, the CPW fed microstrip patch antenna with the simple structure of being compact and easy to produce, which can be used in the OBU of DSRC, was designed.

**키워드** : DSRC 안테나, 5.8GHz 안테나, OBU 안테나, 마이크로스트립 패치 안테나

**Key word** : DSRC Antenna, 5.8GHz Antenna, OBU Antenna, Microstrip patch Antenna

접수일자 : 2014. 10. 27 심사완료일자 : 2014. 11. 11 게재확정일자 : 2014. 11. 27

\* **Corresponding Author** Yong-Seok Choi(E-mail:cys0736@daum.net, Tel:+82-33-738-7703)

School of Computer, Information and Communication Engineering, Sangji University, Wonju 220-702, Korea

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.2.393>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

ITS는 전기, 전자, 제어, 정보, 통신, 컴퓨터, 자동차 기술 등의 첨단기술과 교통체계를 접목한 기술로 심각한 교통 문제에 효과적으로 대응하여 교통의 이동성, 안전성, 효율성 등의 교통 환경을 획기적으로 개선하기 위한 새로운 교통시스템이다[1].

DSRC(dedicated short range communication)는 ITS를 구현하기 위해 도입된 새로운 근거리 통신 수단이며, 현재 ITS를 구현하기 위한 통신방식으로 가장 적합한 기술이다[2]. DSRC는 도로변에 위치한 노변기지국(RSE; road side equipment)과 차량 단말(OBE; on board equipment)이 무선 데이터 통신을 하도록 구성된 시스템으로 다양한 서비스에 적합한 통신 방식이다[3]. DSRC의 사용 주파수 대역은 5.8GHz대역이며, 데이터 전송속도는 양방향 링크가 1Mbps이상인 무선패킷통신 방식으로 운용된다[4]. ITS 시스템을 구성하기 위한 DSRC 시스템은 양방향 통신을 하도록 되어있으므로 다양한 교통 환경에서 통신이 원활하게 이루어 질 수 있으며 일대일 통신을 제공하기 위하여 차로의 수, 차로의 폭 등의 변수를 고려하여 구성한다[5]. 이를 위하여 노변 기지국의 안테나는 주변 차로의 차량 단말과의 통신을 방지하기 위하여 제한된 빔폭 및 부엽을 가져야 하며, 다중경로에 의해 반사된 신호를 수신하기 위하여 원형편파를 갖도록 설계된다[6]. 차량 단말용 안테나의 경우 작은 단말에 설치되어야 하는 특성 때문에 소형으로 설계되어야 하며 빔폭에 제한을 두지 않는 특징을 가지고 있다[7]. 하지만 단일패치 안테나의 빔폭이 너무 넓은 경우 인접 차선에서 동작중인 RSE의 신호를 수신하는 오작동이 발생할 수 있다는 단점이 있다. 또한, 5.8GHz의 주파수에서 동작하는 단일패치 안테나는 반파장으로 설계될 때, 면적이 접지를 포함하여 약  $26 \times 26 \text{ mm}^2$  이상으로 OBE에 내장되기 위해서는 단말기의 크기가 커지게 되거나 안테나를 위한 별도의 구조물 또는 외장형 안테나가 필요하게 될 수 있다. 이는 단말기 구조를 복잡하게하거나 사용자의 불편을 발생시킨다[8]. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 단일패치를 사용하면서도 작은 크기와 높은 이득을 보이는 CPW 급전을 이용하고 대칭된 역L자형 슬롯을 삽입하여 DSRC용 마이크로스트립 안테나를 설계하고 제작하였다. 또한 안테나 설계 시 소형화에 중요하

게 적용되는 매개변수들의 정확한 값을 적용하기 위하여 PSO(particle swarm optimization) 알고리즘과 HFSS(high frequency structure simulator)를 이용한 변수실험을 통해 안테나의 매개변수 값을 도출하였다.

## II. DSRC용 마이크로스트립 패치 안테나 설계

### 2.1. DSRC용 안테나의 특징

DSRC 기반의 OBU용 안테나의 설계 목표는 표 1과 같다. DSRC 통신을 위해 도로변에 설치된 노변기지국용 안테나는 차로폭 등의 특정 영역 범위 안에서 통신이 가능하도록 빔 영역이 제한되며, 차량통신장치의 안테나는 설치위치와 장소에 따라 기지국 간 통신이 원활하게 이루어지도록 가능한 넓은 빔폭을 갖는 안테나가 요구된다[9].

표 1. 안테나의 설계 목표

Table. 1 Design goal of antenna

항목	안테나 요구 성능
주파수범위(GHz)	5.795~5.870
안테나 이득(dBi)	8
편파특성	RHCP

안테나의 요구 성능은 DSRC용 무선통신 안테나의 성능규격[10, 11]을 기준으로 주파수범위의 경우 ETCS와 ATIS에서 모두 사용이 가능한 5.795GHz~5.870GHz가 요구되며, 안테나 이득은 8dBi가 요구된다.

### 2.2. HFSS/PSO 알고리즘

본 논문에서는 PSO 알고리즘을 사용하여 안테나의 매개변수를 추출하였다. PSO 알고리즘은 1995년도에 J.Kennedy와 R.C.Eberhart에 의하여 개발되어 현재까지 활발한 연구 중에 있으며, 자연선택의 진화 메커니즘이 아닌 새 떼와 물고기 떼 같은 생체군집의 사회적 행동양식을 바탕으로 하고 있다. PSO 알고리즘에서 각 입자는 최적의 해를 얻기 위해 다차원 탐색공간을 날아다니며, 그들 자신과 그들 이웃의 경험에 대한 정보를 이용하여 최적의 위치로 이동해 간다. 이를 위해 입자는 이전에 경험했던 최적의 위치정보에 대한 기억을 유지한다. 또한 PSO 알고리즘은 파라미터의 조절

을 통해 입자의 전역탐색과 지역탐색 능력의 균형을 유지한다. 일반적으로 PSO 알고리즘은 이론의 간결성, 구현의 용이성, 연산의 효율성과 같은 장점을 가지고 있고, 짧은 계산시간 안에 최적의 해를 생성할 수 있다 [12,13]. 본 논문에서 사용된 PSO는 다음의 식(1)에 따라 계산된다.

$$v_{id} = w \cdot v_{id} + c_1 \cdot rand() \cdot (p_{id} - x_{id}) + c_2 \cdot rand() \cdot (p_{gd} - x_{id})$$

$$x_{id} = x_{id} + v_{id}$$

여기서  $x_{id}$  :  $d$ 번째 차원 상의  $i$ 번째 입자의 위치,  $v_{id}$  :  $d$ 번째 차원 상의  $i$ 번째 입자의 속도,  $p_{id}$  :  $d$ 번째 차원 상의  $i$ 번째 입자의 최적 위치,  $p_{gd}$  :  $d$ 번째 차원 상의 전역 최적 위치,  $c_1$ 과  $c_2$  : 양의 상수,  $rand()$  : 범위 (0, 1)의 랜덤 함수,  $w$  : 관성 중량이다.

본 논문에서는 HFSS와 PSO를 결합하여 DSRC용 마이크로스트립 패치 안테나 설계를 제안한다. HFSS는 순간방식을 기반으로 하는 전파 전자파 시뮬레이터이다. HFSS는 일반적인 형태의 3D 및 다층 구조를 분석하고, 널리 다른 RF, 무선 안테나 및 무선 마이크, RFICs(radio frequency integrated circuit), 패치 안테나, 와이어 안테나의 설계에 사용되고 있다. HFSS는 반사계수를 계산하고, VSWR과 방사 패턴에 사용할 수 있으나, HFSS에 의해 정의된 최적화 변수는 방향과 범위에 의해 제어되기 때문에 고정 비율에 의해 다른 한개만 연결이 가능하며, 변수 사이에 더 복잡한 관계는 HFSS에서 설정할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 또한 너비와 패치, 수직 슬롯에 대한 수평선 위치의 최적화와 같은 복잡한 변형과 최적화의 경우 HFSS 자체에서 문제가 중복되어 발생될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 HFSS와 PSO를 결합하여 마이크로스트립 패치 안테나의 매개 변수를 추출하고 그것을 바탕으로 안테나를 설계하였다.

### 2.3. 안테나 설계 및 실험환경

본 논문에서는 정사각형 링형 방사패치와 대칭된 역L자형 슬롯을 삽입하여 DSRC 주파수 대역을 갖는 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하였다. CPW 급전 구조는 마이크로파용 집적회로를 제작할 때 IC 집적회로에 전송선을 직접 쉽게 연결할 수 있다. 또한 중앙 스

트립 선로와 슬롯(S)의 폭을 변화시켜 원하는 다양한 임피던스를 쉽게 구현할 수 있고, 집적회로의 제작에 유리한 구조로 되어있다. 이와 같이 CPW는 단일평면 위에 선로와 접지면이 동시에 존재하고, 선로와 접지면 사이의 간격에 따라 특성이 변하게 되므로 마이크로스트립 선로에 비해 분산 즉, 주파수 변화에 따른 유효유전율 변화가 적다. 또한, 역L자형 슬롯의 경우 안테나의 이득을 높여주고, 대역폭, 중심주파수 등의 강점이 있어 금속안테나 및 특수 환경에서 사용되는 안테나 제작에 많이 사용되고 있다. 현재, OBU의 경우 E영역과 H영역에 대해 도로를 향해 빔을 집중할 수 있는 방사패턴이 요구되어 기존 연구에서는 슬롯을 결합한 형태의 적층형 안테나를 제작하였지만 안테나 후면 방사를 활용하지 못하기 때문에 자원낭비의 문제점이 발생하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 역L자 슬롯을 안테나에 대칭시켜 양방향에 동일한 방사패턴을 갖도록 설계 하였다. 또한 링형 방사패치를 사용하여 원형편파의 특성을 갖도록 하였다. 표 2는 안테나의 설계 매개변수를 나타낸 것이다.

표 2. 안테나의 설계 매개변수  
Table. 2 Design parameter of antenna

구분	설정 값
공진주파수( $f_o$ )	5.83GHz
유전율( $\epsilon_r$ )	2.1
유전체 기판 높이( $h$ )	1.6mm

안테나에 사용되는 기판은 두껍고 유전율이 낮을수록 대역폭이 넓다. 때문에 상대 유전율 2.1, 손실 탄젠트 0.0009, 높이 1.6mm인 RT/duroid 기판에 프린트된다. 다음 그림 1은 제안된 안테나의 구조이다.

제안된 안테나는 측면 CPW 그라운드에 위치하고 폭이 0.5mm인 2개의 대칭형 역L자형 슬롯, 정사각형 링 방사 패치 1개, 50Ω CPW 피드 구조로 구성된다. 50 Ω CPW 피드 구조는  $W3 = 1.4mm$ 의 너비비를 가진 단일 스트립이 있는 CPW 전송 라인, 그리고 CPW 그라운드면과  $s = 0.3mm$ 인 단일 스트립으로 구성된다. 안테나의 50Ω CPW 피드는 표준 방정식을 이용해 설계된다.

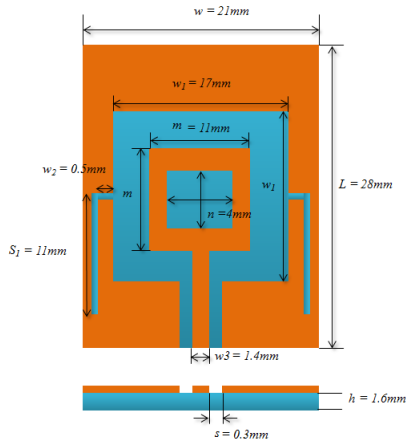


그림 1. 제안된 안테나 구조  
Fig. 1 Proposed antenna structure

(1) 패치 너비( $w$ )

설계 매개변수를 기준으로 패치 안테나 설계에 필요한 설정 값을 계산하였으며, 제작하고자 하는 사각형 패치의 너비( $w$ )를 구하는 계산식은 다음 식 (2)와 같다.

$$w = \frac{c}{2f_o} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2)$$

여기서  $f_o$  : 공진주파수,  $\epsilon_r$  : 유전율,  $c$  : 빛의 속도이다.

위의 식(2)에  $c = 3 \times 10^8 m/s$ ,  $f_o = 5.83 GHz$ ,  $h = 1.6 mm$ 를 대입하면 패치의 너비는  $w = 21 mm$ 가 된다.

(2) 실효유전율( $\epsilon_{reff}$ )

실효유전율은 패치의 가장자리와 라인에서 웨이브 전파에 대한 필드가 있으나 유전체 기판에 국한되지 않기 때문에 실효유전율의 값이 유전율보다 작아야한다. 따라서 실효유전율  $\epsilon_{reff}$ 은 다음의 식 (3)에 의해 얻어진다.

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (3)$$

여기서,  $\epsilon_r$  : 유전율,  $h$  : 유전체 기판의 높이,  $w$  : 패치의 너비이다.

위의 식에 유전체 기판의 높이  $h = 1.6 mm$ , 안테나 패치의 너비  $w = 21 mm$ 를 대입하면 안테나의 실효유전율은  $\epsilon_{reff} = 1.1$ 로 나타난다.

(3) 안테나 실효길이( $L_{eff}$ )

안테나의 실효길이는 안테나의 실효유전율을 결정하는 중요한 변수이기 때문에 안테나 제작 시 반드시 필요한 부분이다. 공진 주파수  $f_o$ 를 위한 안테나의 실효길이  $L_{eff}$ 는 다음의 식 (4)와 같다.

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_o \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (4)$$

위의 식에  $\epsilon_{reff} = 1.1$ ,  $c = 3 \times 10^8 m/s$ ,  $f_o = 5.83 GHz$ 을 대입하면 안테나의 실효길이는  $L_{eff} = 29 mm$ 를 나타낸다.

(4) 패치의 증가 길이 ( $\Delta L$ )

패치의 길이는 패치의 증가 길이( $\Delta L$ )가 중요한 변수로 적용되기 때문에 그 증가 길이를 먼저 구하여야 한다. 증가 길이를 나타내는 식은 식(5)와 같다.

$$\Delta L = 0.412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3)(w/h + 0.264)}{(\epsilon_{reff} - 0.258)(w/h + 0.8)} \quad (5)$$

위의 식에 안테나의 높이( $h$ ), 패치의 너비( $w$ ), 안테나의 실효 유전율( $\epsilon_{reff}$ )를 대입하면 안테나의 증가길이는  $\Delta L = 0.5 mm$ 로 나타난다.

(5) 패치 길이( $L$ )

패치 길이( $L$ )는 식 (6)같이 나타낼 수 있다. 식 (6)에 안테나 실효길이 및 증가길이를 대입하면 패치의 길이  $L = 28 mm$ 로 나타난다.

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (6)$$

위의 단계에 따라 안테나 제작에 필요한 매개변수를 구하였다. 표 3은 앞의 식에 의해 구해진 안테나 제작에 필요한 매개 변수들이다.

표 3. 실험 파라미터

Table. 3 Simulation parameter

구분	설정 값
패치 너비( $w$ )	21mm
패치 길이( $L$ )	28mm
실효 유전율( $\epsilon_{reff}$ )	1.1
안테나 실효 길이( $L_{eff}$ )	29mm

위의 매개 변수를 바탕으로 최적화된 시뮬레이션 결과의 안테나 설계 치수를 구할 수 있었다. 설계된 안테나는 CPW 급전을 사용하였고 역L자형 슬롯 두 개를 CPW 그라운드 양쪽에 배치하여 대역폭의 확장과 높은 이득을 얻을 수 있도록 하였다.

2.4. 실험결과

측면 CPW 그라운드의 2개의 대칭형 역L자형 슬롯이 제안된 안테나의 대역폭을 효과적으로 확장시켰다. CPW 그라운드에 매설된 2개의 역L자형 슬롯이 대역폭과 이득에서 중요한 역할을 하기 때문에 슬롯을 따르는 전류 분포를 구하였다. 제안된 안테나의 전류 분포는 HFSS를 이용해 실험하였으며, 비교를 위해 슬롯이 없는 안테나 또한 실험하였다. 그림 2는 제안된 안테나의 시뮬레이션 된 전류 분포이다.

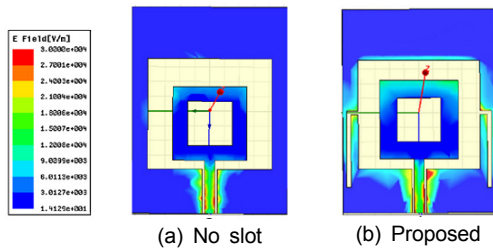


그림 2. 제안된 안테나 및 슬롯이 없는 안테나의 전류 분포  
Fig. 2 Proposed antenna and current distribution of antenna without slot

그림 2(a)는 슬롯이 없는 안테나의 전류 분포이며, 전류는 급전 신호 스트립과 방사 패치를 따라서 흐르고 CPW 그라운드를 따라 흐르는 전류는 적다. 그림 2(b)는 5.83GHz에서의 전류 분포를 보여준다. 전류는 주로 CPW 급전 스트립과 2개의 역L자형 슬롯을 따라 흐르

며 그러한 슬롯들은 전류 분포의 경로를 연장시키고, 이를 통해 안테나의 대역폭이 확장된다.

그림 3은 제안된 안테나의 반사손실 실험결과를 나타낸 것이다. 제안된 안테나의 실험결과 5.77GHz~5.92GHz의 대역폭을 보였으며 공진주파수는 5.83GHz로 나타나 5.79GHz~5.87GHz의 요구대역폭을 만족하였다.

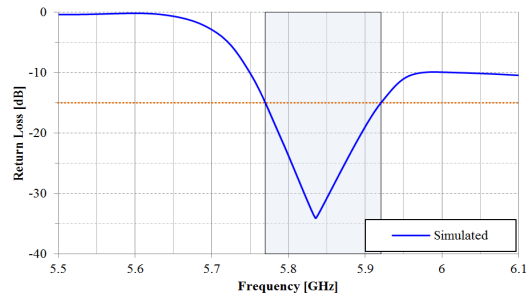


그림 3. 제안된 안테나의 반사손실 시뮬레이션 결과  
Fig. 3 Simulation results of reflection loss of fabricated antenna

그림 4는 5.83GHz에서의 E영역 방사패턴의 결과를 나타낸 것이다. 실험결과 9.9dBi의 높은 이득을 가지며 85°의 3dB 빔폭을 갖는 것으로 나타나 우수한 특성을 보였다.

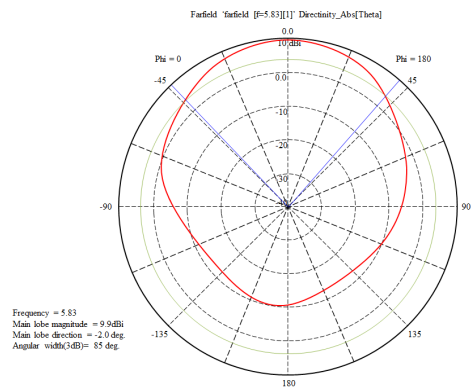


그림 4. 5.83GHz에서의 E영역 방사패턴 시뮬레이션 결과  
Fig. 4 Simulation results of E-field radiation pattern at 5.83GHz

그림 5는 안테나의 H영역 방사패턴의 실험 결과를 나타낸 것으로 실험결과 안테나의 이득은 9.9dBi로 나타났으며, 3dB 빔폭은 70° 인 패턴을 얻을 수 있었다.

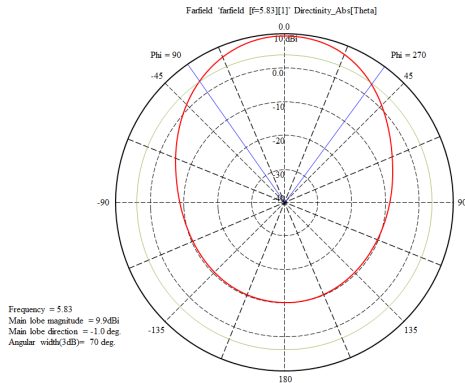


그림 5. 5.83GHz에서의 H영역 방사패턴 시뮬레이션 결과  
**Fig. 5** Simulation results of H-field radiation pattern at 5.83GHz

2.5. 비교 결과

타 연구와의 비교 분석을 위해 차량 및 노변에 부착되는 DSRC용 안테나 관련 연구들을 분석 대상으로 하였으며, 안테나의 비교 항목은 정보통신부고시 제 2001-21호와 한국정보통신기술협회의 “5.8GHz대역 노변기지국과 차량단말기 간 근거리전용 무선통신”을

기준하여 안테나의 크기, 대역폭, 최대 이득, 반사손실로 비교 분석을 실시하였다. 비교에 사용된 논문들은 급전방식이 모두 다르고, 주파수 범위와 대역폭, 이득 등의 값이 달라 비교 대상으로서 미흡하지만 논문의 객관적인 평가를 위하여 비교 분석을 실시하였다. 표 4는 안테나 비교 결과를 나타낸 것이다.

III. 결론

본 논문에서는 지능형교통시스템의 구현을 위하여 사용되는 DSRC용 마이크로스트립 패치 안테나를 설계 및 제작하였다. 제작된 안테나는 지능형교통시스템의 응용 중에서 ATIS와 ETCS에서 사용이 가능한 차량탑재장치용 안테나로 제작되었으며 소형화와 고이득의 성능을 구현하였다. 또한, 안테나 설계 및 제작의 편의성을 위하여 CPW 급전방식을 이용하여 단면 형태의 마이크로스트립 패치 안테나를 설계 및 제작하였으며 OBU 내부에 장착되기 위한 소형화와 중심주파수 및 대역폭, 이득과 같은 특성을 최적화하기 위하여 역L자형 슬롯과 사각형 링 방사패치를 중요한 변수로 설정하였다.

안테나의 공진주파수는 ATIS와 ETCS의 가용 대역폭인 5.795GHz ~5.870GHz의 중심주파수인 5.83GHz로 설정하였으며, 기관의 유전율은 2.1로 설정하였다.

표 4. 제작된 안테나와 기존 연구된 안테나의 비교 결과

Table. 4 Comparison result of antenna designed in other papers and antenna designed in this paper

	급전방식	주파수 범위(GHz)	대역폭 (MHz)	최대 이득(dBi)	중심주파수에서의 반사 손실(dB)	안테나 크기(mm)
Kim [23]	개구면 결합급전	5.4~6.0	600	8	-19	90×90×1
Liao [24]	SMA 급전	5.2~5.8	600	4.63	-13	36.9×25.8×0.8
Sim [25]	동축 급전	5.8~6.0	200	3.82	-8.7	40×40×1.6
Ljiguchi [26]	단일 급전	5.82~6.58	760	4.59	-38	22.6×22.6×6.9
Yem [27]	CPW 급전	5.8~6.71	910	5.9	-35	52×41×1.6
Vuong [28]	동축 급전	5.78~5.89	110	16.74	-16	85×152×2.4
Leonardi [29]	단일 급전	5.71~5.84	130	5.52	-28.02	40×40×2.45
본 논문의 제작 안테나	CPW 급전	5.77-5.92	150	9.8	-33	21×28×1.6

유전체 기관의 높이는 1.6mm로 선정된 뒤 각각의 설계 매개변수를 적용하여 안테나를 제작하여 측정한 결과 주파수 범위 5.77GHz~5.92GHz 대역에서 반사손실이 -15dB이하로 나타났으며, 중심주파수인 5.83GHz에서는 약 -33dB로 안테나의 특성이 양호한 것으로 나타났다. 또한 안테나의 방사 패턴의 측정 결과 E영역에서 이득이 9.8dBi, 빔폭이 92°로 나타났으며 H영역에서 이득이 9.8dBi, 빔폭이 70°로 나타났다.

## REFERENCES

- [ 1 ] N. R. Velaga, M. A. Quddus, and A. L. Bristow, "Developing an Enhanced Weight-based Topological Map-matching Algorithm for Intelligent Transport Systems," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 17, Issue 6, pp. 672 - 683, 2009.
- [ 2 ] I. K. Park, "DSRC Strategy and Future ITS," *The Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 49, No. 9, pp. 105-119, 2006.
- [ 3 ] J. H. He, Z. Tang, O. Tim, and T. Chen, "Performance Analysis of DSRC Priority Mechanism for Road Safety Applications in Vehicular Networks," *Wireless Communications & Mobile Computing*, Vol. 11, Issue 7, pp. 980-990, 2011.
- [ 4 ] M. Ghoraiishi, N. Lertsrisopon, J. I. Takada, I. Samed, and H. Sakamoto, "Analysis of DSRC Service Over-Reach Inside an Arched Tunnel," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 25, Issue 8, pp. 1517-1525, 2007.
- [ 5 ] K. Nwizege, F. Good, A. Taneh, and S. Neenwi, "Performance Analysis of Adaptive Rate Mechanism for IEEE 802.11p in DSRC for Road Safety Application in Vehicular Networks," In *Proc. of the International Conference on Computational Intelligence, Modelling & Simulation*, pp. 362-366. 2011.
- [ 6 ] M. Westrick, M. Almalkawi, V. Devabhktuni, and C. Buting "A Low-profile, Low-cost Antenna System with Improved Gain for DSRC Vehicle-to-Vehicle Communications," *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, Vol. 23, Issue 1, pp. 111-117, 2013.
- [ 7 ] K. B. Yeon, H. K. Lee, D. H. Lee, and J. K. Hwang, "Prototype Developments of Vehicle Antenna for SMART Highway WAVE Communication system," In *Proc. of the IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, pp. 448-450. 2012.
- [ 8 ] X. Guan, S. Di, H. Zhang, and W. Xiao, "Realization of RF Section of OBU in ETC System," In *Proc. of the International Conference on Electronics, Communications and Control*, pp. 1073-1076, 2012.
- [ 9 ] K. F. Lee, Ed., "Advances in Microstrip and Printed Antennas," John Wiley, 1997.
- [ 10 ] TTA, "Standard of DSRC Radio Communication between Road-side Equipment and On-board Equipment in 5.8 GHz band," TTASKO-06.0025\_R1, TTA, 2000.
- [ 11 ] Ministry of Information and Communication, "MIC Notice No. 2001-21," MIC Notice, Ministry of Information and Communication, 2001.
- [ 12 ] Y. L. Li, W. S. Long, B. Z. Wang, "An Improved PSO Algorithm and Its Application to UWB Antenna Design," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 12, pp. 1236-1239, 2013.
- [ 13 ] R. A. Hooshmand, S. Soltani, "Fuzzy Optimal Phase Balancing of Radial and Meshed Distribution Networks using BF-PSO Algorithm," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 27, Issue 1, pp. 47-57, 2012.



박병호(Byeong-Ho Park)

2008년: 상지대학교 컴퓨터정보공학부(공학사)  
 2010년: 상지대학교 컴퓨터정보공학부(공학석사)  
 2010년~현재: 상지대학교 컴퓨터정보공학부 박사과정(수료)  
 2010년~현재: 상지대학교 외래교수  
 2011년~현재: 신안산대학교 외래교수  
 2012년~현재: 안산대학교 외래교수

\*관심분야: Ubiquitous Sensor Network, Mobile Telecommunication, Mesh Network, RFID/WSN 설계, 보안 및 응용 등



**최용석(Young-Seok Choi)**

2002년 : 상지대학교 전자계산학과 이학사  
2007년 : 상지대학교 대학원 컴퓨터정보과 공학석사  
2012년 : 상지대학교 대학원 컴퓨터정보과 공학박사  
2012년~현재 : 상지대학교 컴퓨터정보공학부 외래교수, (주)코스모티어 기술연구소 선임연구원  
※관심분야 : Ubiquitous Sensor Network, Mobile Telecommunication, Mesh Network, Satellite Communication, RFID/WSN 설계, 보안 및 응용 등



**성현경(Hyeon-Kyeong Seong)**

1982년: 인하대학교 전자공학과 공학사  
1984년: 인하대학교 대학원 전자공학과 공학석사  
1991년: 인하대학교 대학원 전자공학과 공학박사  
2005년~2006년 : 미국 Naval Postgraduate School 방문교수  
1991년~현재 : 상지대학교 컴퓨터정보공학부 교수  
※관심분야 : Multiple-Valued Logic Design, Computer Architecture Design, Information & Coding Theory, Cryptography Theory & Security, RFID/WSN 설계 및 응용 등