

5.8GHz DSRC 방식의 무선통신을 위한 자동차 내비게이션 단말기의 소형 평면배열 안테나 Compact Planar Array Antenna of a Vehicle Navigator for 5.8GHz DSRC scheme

윤 기 호 *
Gi-Ho Yun*

Abstract

In this paper, microstrip array antenna is proposed for the wireless communication of DSRC(dedicated short range communication) scheme at 5.8GHz, which works as a part of the Navigation terminal. The microstrip patches minimized from a rectangular microstrip antenna with a half wavelength are arrayed to be mounted on the narrow and long area in the top side of the navigation terminal. Besides, the array antenna can limit its own beamwidth to the driving lane and has better directivity. It is simulated to verify the validity of the proposed application. The prototype fabricated has a volume of 18x40x0.8mm³. From the measurement, it has circular polarization performance of 4dB axial ratio over 40MHz frequency band. In addition, antenna gain of 6.2dBi and 3dB beamwidth of 70° at cross section of driving lane have been achieved.

요 약

본 논문에서는 자동차용 내비게이션(navigation) 단말기에 내장된 DSRC 방식의 5.8GHz 대역 무선통신을 위한 패치 안테나를 설계하고 제작하였다. 폭이 좁고 긴 구조적 특징을 갖는 내비게이션 단말기의 상단면에 장착될 수 있도록 기존에 사용되어왔던 단일 반파장 마이크로스트립 패치안테나를 소형화하였고 배열하였다. 또한 배열을 통해 주행차선 안쪽으로 빔폭을 제한하였고, 소형화에 따른 이득저하를 보상하였다. 제안된 안테나를 시뮬레이션 함으로써 타당성을 검증하였으며, 제작된 안테나는 18x40x0.8mm³ 크기를 갖고, 4dB 축비대역폭이 40MHz인 원형편파특성을 나타낸다. 또한, 6.2dBi 이득과 자동차 진행차선의 횡단면 방향으로 약 70도의 빔 폭이 측정되었다.

Key words : DSRC(Dedicated Short Range Communication), Microstrip, Array Antenna, 5.8GHz

1. 서론

유료도로 요금징수시스템(ETC, electronic toll collection)등에 사용되는 자동차용 단말기는 5.8GHz에서 동작하는 단거리전용 무선통신인 DSRC(dedicated short range communication) 방식을 채용하고 있고 이의 안테나는 일반적으로 반파장 마이크로 스트립 패치안테나를 사용하고 있다[1][2]. 최근 이 단말기는 그림 1(a)에서 볼 수 있는 자동차 내비게이션(navigation) 단말기에 내장되는 추세이다. 이를

*성경대학교 정보통신공학부
(Dept. of Information and Communication Engineering,
Sungkyul University)

※ 이 논문은 성경대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었음

接受日:2011年 09月 28日, 修正完了日: 2012年 04月 01日
掲載確定日:2012년04월17일

위해 그림 1(b)의 전통적인 패치안테나를 그림 1(a)과 같이 제품의 상단 또는 유사한 위치에 장착되어야 톨게이트 노변기지국(RSU, road side unit) 안테나와 마주 보면서 최적의 전자파 에너지 교환이 가능해진다. 그림 1(c)은 이러한 무선통신 동작을 나타낸다. 이때 상용 DSRC 시스템의 기지국 RSU에서는 배열 패치안테나를, 내비게이션 단말기내의 ETC용 장치인 OBU(on board unit)에서는 단일 패치안테나를 사용한다. 이는 제품크기에 여유가 있는 기지국 RSU에서는 배열을 통해 안테나 빔 폭을 자동차 주행차선에서

내비게이션 단말기의 OBU 안테나 빔폭에는 제한을 두지 않았기 때문이다[1][2]. 그러나 단일 패치안테나의 넓은 빔폭으로 인해 인접 차선에서 동작중인 기지국 RSU 신호를 수신하는 오동작이 종종 발생하고 있다. 한편, 그림 1(b)처럼 5.8GHz 주파수에서 동작하는 단일 패치 안테나는 반파장으로 설계될 때 면적이 접지를 포함하여 약 $26 \times 26 \text{mm}^2$ 이상[3][4]로 내비게이션 단말기에 내장되기 위해서는 단말기의 크기가 매우 커져야 하거나 패치안테나를 위한 별도의 구조물이 필요하다. 이는 단말기 구조의 복잡도 증가, 가격상승 또는 사용자 불편함을 유발시킨다. 그리고 단일 패치안테나를 매우 작게 하는 방법이 있으나 이득감소 등의 성능이 떨어지는 문제점을 갖고 있다.

본 논문에서는 내비게이션 단말기에 내장된 5.8GHz DSRC 방식의 무선통신용 안테나를 위하여 기존에 사용되고 있는 반파장 크기의 사각형 마이크로스트립 방사패치를 소형화하고 횡으로 배열하여 그림 2와 같이 단말기 상단의 좁고 긴 면에 장착될 수 있도록 한다. 횡으로 배열된 방사 패치들의 배열 간격을 조절함으로써 주행차선 안으로 빔 폭을 제한시킬 수도 있다[5]. 소형화를 통해 줄어든 이득은 배열에 의해 지향성이 개선되므로 보상된다. 제안된 응용은 상용 소프트웨어 툴(tool)을 이용한 시뮬레이션으로 확인되었고 시제품을 제작하고 측정하여 타당성을 입증하였다.

본 연구는 2장에서 제안된 응용의 구체적인 동작구조를 소개하고 이에 적합한 배열 패치안테나의 설계 및 시뮬레이션 결과들을 제시한다. 이를 바탕으로 3장에서 시제품을 제작하여 실험결과들을 나열하고 평가하였으며, 4장에서 결론을 맺었다.

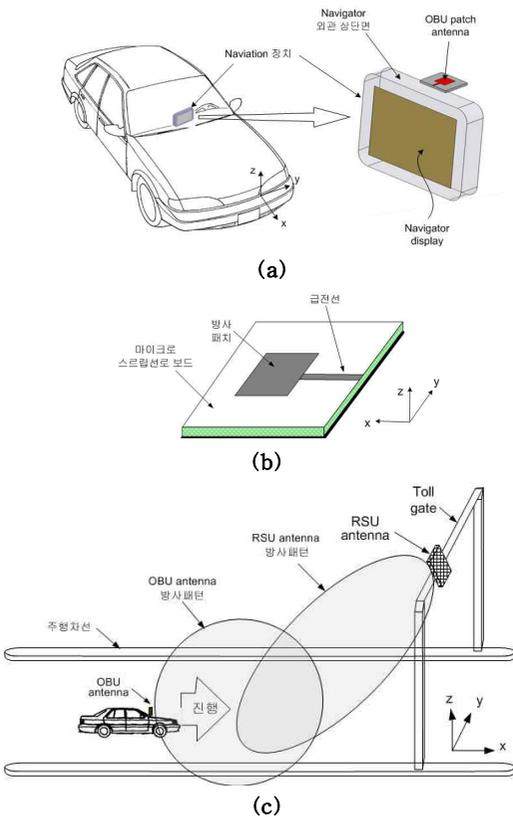


Fig.1. Configuration of ETC system operation
(a) Navigator combined with OBU antenna, (b) Existing OBU microstrip antenna, (c) Wireless communication between a vehicle and toll gate

그림 1. 유료도로 요금징수 시스템의 동작
(a) 내비게이션 단말기와 OBU 안테나의 결합구성 예, (b) 기존에 사용되는 자동차 OBU 안테나, (c) 자동차내의 OBU와 기지국 RSU의 무선통신 환경(약 70도의 빔폭)시키는 반면, 제품 크기가 작은

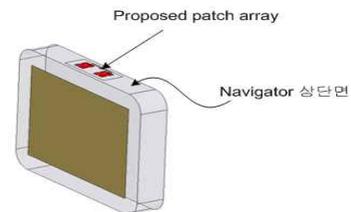


Fig. 2. The proposed antenna mounted on the Navigator
그림 2. 내비게이션 단말기에 장착된 제안된 안테나

II. 동작구조 및 설계

자동차용 내비게이션 단말기에 내장되어 동작하는 DSRC 방식의 무선통신용 안테나에 요구되는 사항들을 다음과 같이 열거할 수 있다. 첫째로, 소형이면서 장착이 용이한 구조여야 한다. DSRC 용 안테나는 그림 2와 같이 내비게이션 단말기 상단 면에 장착되어야 기지국 RSU와 무선통신에 유리하다. 따라서 단말기 상단 면보다 적은 면적을 차지하면서 이와 유사하게 좁고 긴 형상 일수록 장착의 편리성을 얻을 수 있다. 둘째로, 배열된 구조를 가져야 보다 나은 무선통신 성능을 달성할 수 있다. 주행차선 내에 있는 기지국 RSU와 일대일 무선통신하는 그림 1(c)과 같은 통신 환경에서 배열을 통해 빔폭을 주행차선내로 제어할 수 있는 경우, 인접차선에 있는 기지국 RSU와의 통신함으로써 발생하는 에러를 줄일 수 있다. 또한 차선폭의 변동에 따라 빔폭을 조정함으로써 일정한 통신 성능을 확보할 수 있다. 마지막으로, 안테나 소형화에 따른 성능저하를 보상할 수 있어야 한다. 통상, 안테나를 소형화하는 경우 이득저하나 대역폭의 감소 등의 문제점들이 발생될 수 있으며 이를 개선하거나 보상할 수 있는 안테나 구조가 바람직하다. 다행히 DSRC 방식 무선통신에서 요구되는 대역폭은 넓지 않아, 본 연구에서는 안테나 소형화과정에서 수반되는 대역폭 축소 문제 보다는 안테나 이득보상에 초점이 맞춰졌다.

본 연구에서는 상기와 같은 요구사항들을 만족하는 안테나로 그림 3과 같이 마이크로 스트립 패치들을 횡으로 배열한 안테나 구조를 제안한다. 각각의 패치는 전통적인 반 파장 사각형 마이크로 스트립구조의 방사패치를 소형화시킨 구조로서 내비게이션 단말기의 상단 면에 삽입될 수 있을 정도로 작게 설계된다. 또한 이를 횡으로 2개 배열하고 그 간격을 조정하여 빔을 제어한다. 배열에 따라 빔폭이 줄어들어 지향성이 높아지므로 기존의 단일 패치안테나 보다 큰 이득을 가질 수 있다.

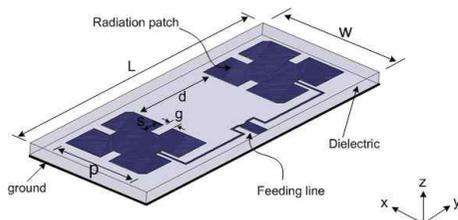


Fig. 3. Proposed array patch antenna

그림 3. 제안된 배열 패치안테나

제안된 안테나는 우선 기존에 사용돼온 마이크로 스트립 안테나의 전기적 성능을 만족하도록 설계 하며 이를 바탕으로 소형화 및 배열구조를 구현한다. 상용 내비게이션 단말기 제품들의 상단면 면적보다 적게, 접지면을 포함한 총 안테나 폭(width)이 18mm, 장축의 길이가 40mm가 되도록 한다. 또한 제안된 배열안테나의 빔폭은 주행차선의 횡단면(그림 3의 y-z면)을 기준으로 단일 방사패치의 빔폭(약 95°)보다는 좁게, 기지국 RSU 안테나 빔폭[1][2]와 근접하는 70도로 한다. 물론 배열 간격을 통해 빔폭은 조정가능하다[5]. 한편, 제안된 안테나는 지향성이 개선되므로 단일 반파장 패치안테나보다 개선된 이득을 설계목표로 하며, 기존의 상용 DSRC 단말기 안테나와 동일한 우선 원형편파(RHCP, right handed circular propagation) 특성을 갖는다. 이들 설계목표들을 DSRC 방식용 무선통신 안테나의 성능규격[1][2]에 맞춰 표 1에 정리하였다.

표 1. 설계목표

Table 1. Design goals

항 목		목표성능
동작주파수		5.795~5.815GHz
3dB 빔폭(beamwidth)	x-z 면	95°
	y-z 면	70°
크기(size)		18x40 mm ²
이득(gain)		6dBi
편파 특성	편파종류	우선원편파
	축비대역폭(4dB)	40MHz
	10dB 임피던스 대역폭	100MHz

전통적인 사각 마이크로 스트립 패치 안테나를 소형화하기 위해서는 방사패치의 측면 길이를 미앤더링(meandering)시켜 전류경로를 늘이는 방법[6]이 사용되었다. 본 연구에서는 그림 3과 같이 간격(g)과 길이(s)를 갖는 'c' 자형을 갖는 4개의 슬릿을 정사각형 패치의 각 측면에 둬으로써 방사패치의 한 변의 길이(p)가 12mm 되도록 한다. 따라서 접지면을 포함한 총 안테나 기판의 폭(W)이 18mm 가 되며, 배열 간격(d)을 포함하여 장축의 총 길이(L)가 40mm가 되도록 한다. 물론 장축의 길이(L)는 내비게이션 단말기 상단면의 좁고 긴 구조상 큰 제약은 없다. 배열간격 d를 이용하여 안테나 빔폭을 조정한다. 소형화된 패치들은 좁은 선폭을 갖는 'T' 형 급전선로를 이용하여 횡으로 연결되며, 전통적인 방법들[7][8]로 급전선로와 임피던스 정합을 실현한다.

설계된 배열 안테나는 2개의 동일한 방사패치들로

구성되며 이중 하나를 그림 4에 나타냈다. 정사각형 구조로 한 변의 길이(p)는 12mm이며, 4개 각 변의 중앙에 동일한 위치와 크기(2.7x1mm²)의 슬릿(slit)을 갖는다. DSRC 방식 무선통신의 환경에 적합한 편파 특성으로 우선원형편파특성을 가져야[1][2] 하는데, 본 연구에서는 단일 급전방식에서 잘 알려진 패치의 코너(corner)제거 방식[9]를 따른다. 즉, 그림 4에 있는 방사패치 우측 상단 코너와 좌측 하단 코너에 한 번의 길이가 0.9mm 인 직각삼각형 형상을 제거함으로써 급전점을 중심으로 상호 직교된 두 개의 공진모드

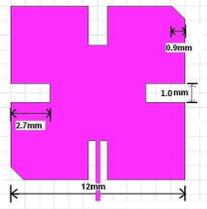
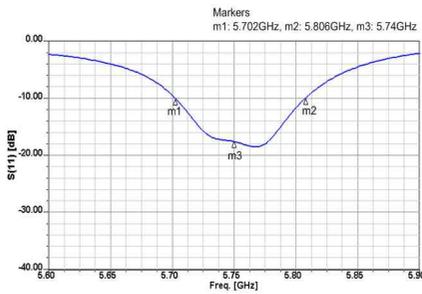
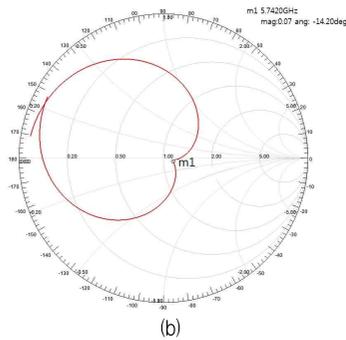


Fig. 4. Dimensions for a designed single patch
 그림 4. 설계된 단일 방사패치의 주요재원



(a)



(b)

Fig. 5 Simulation results for a designed patch array antenna
 (a) reflection coefficient, (b) impedance contour on the Smith chart
 그림 5. 배열안테나의 시뮬레이션 결과들
 (a) 반사계수, (b) 스미스차트상의 임피던스 궤적

를 형성시킨다. 또한 급전선로와 임피던스 정합이 용이하도록 패치의 중심에 가까운 위치에서 급전되게 한 결과 그림 4와 같이 4개의 슬릿 중 하나를 이용하였다.

안테나용 기판으로 유전율 3.2, 높이 0.8mm 인 Taconic 사의 TLC 기판을 사용하였고 시뮬레이션 툴(tool)로서 Ansoft사 HFSS를 이용하였다. 실제 동작 주파수는 5.8GHz 이나 제작상의 오차를 감안하여 60 MHz 아래쪽인 5.74GHz를 설계 중심주파수로 하였다. 그림 5(a)에 급전선로의 임피던스 정합에 따른 반사 계수(S11)의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 설계 중심 주파수 5.74GHz에서 약 -19dB의 반사특성을 나타냈

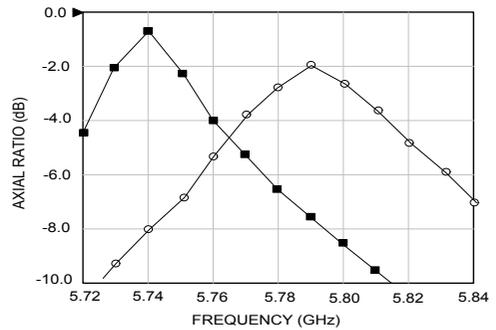


Fig. 6. Axial ratio performance(rectangular marked line: simulated, circle marked line: measured)
 그림 6. 축비 특성(사각표기실선: 시뮬레이션결과, 원 표기실선: 측정결과)

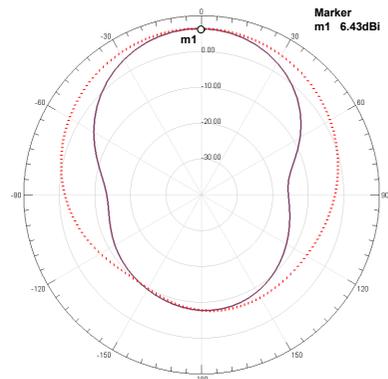


Fig. 7. Simulated radiation patterns of the array antenna
 (solid line: y-z plane, dotted line: x-z plane)
 그림 7. 배열안테나의 방사패턴 시뮬레이션결과
 (실선: y-z 면, 점선: x-z면)

으며 104MHz의 10dB 대역폭을 나타낸다. 그림 5(b)에 시뮬레이션된 임피던스 궤적이 나와 있으며 스미스차트 상에 마커(m1)로 표시된 5.74GHz 지점에서 꼬임(kink)현상을 보여주고 있어 설계된 배열안테나가 상호 직교된 2개의 공진모드를 형성하는 원형편파 특성을 나타냄을 알 수 있다. 그림 6에 보는 바와 같이 원형편파 성능 지수를 나타내는 축비(axial ratio) 특성은 시뮬레이션 결과 5.74GHz를 중심으로 약 40MHz 주파수 범위에 걸쳐 최소 4dB 축비 성능을 보여준다. 그림 7에는 그림 3의 우측하단에 있는 직교 좌표축에 근거하여 5.74GHz에서 시뮬레이션된 배열안테나의 방사패턴을 보여준다. x 축은 자동차 주행차선 방향이며, z축은 지상방향으로 대비되어진다. 점선으로 표현된 x-z면의 패턴은 일반적인 단일 패치 안테나의 방사패턴과 유사하게 3dB 빔폭이 약 95도를 나타내나 y-z면 상의 패턴은 2개의 패치가 배열된 결과로 약 70도의 3dB 빔폭을 나타낸다. 또한, 안테나 이득이 반파장 단일 배치안테나[10]보다 약 0.6dB 상승된 6.43dBi를 갖는다.

III. 제작 및 실험결과

시뮬레이션을 통하여 최적화된 설계치를 바탕으로 제작된 배열 안테나의 사진을 그림 8에 나타내었다. 마이크로스트립 선로를 이용한 안테나는 유전율 3.2, 기판높이 0.8mm 인 Taconic 사의 TLC 기판을 사용하였다. 접지면을 포함한 안테나의 전체 면적은 18x40mm²로 표 1의 설계 목표의 관련 항목을 만족한다. 이는 전통적인 반파장 방사패치를 사용하여 동일 간격으로 배열한 구조보다 면적이 약 40% 줄어들었다. 2개의 동일한 패치들이 "T"형 구조를 갖는 급전선로를 통해 연결되었다. 그림 8에서 급전점(feeding point)은 반(half)쪽 비아(via)홀 구조로 패치에 회로기판과 뿔납을 통해 바로 연결될 수 있다. 안

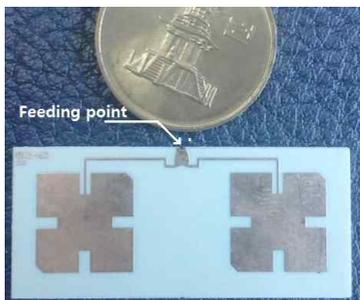


Fig. 8. Photo of the fabricated array antenna
그림 8. 제작된 배열 안테나의 시제품 사진

테나의 제 특성들은 공인된 전파 무반사실을 이용하여 측정되었다. 그림 9는 제작된 안테나의 급전점에서 반사계수를 나타낸다. 설계 주파수인 5.74GHz 보다 60MHz 위쪽 인 5.8GHz의 동작 중심주파수에서 약 -19dB의 반사 특성을 나타내며, 10dB 임피던스 대역폭은 5.8GHz를 포함하여 약 100MHz 가 측정되었다. 마커(marker) 2와 3은 원형편파 특성에서 흔히 볼 수 있는 2개의 공진 주파수점들이다. 이러한 특성은 그림 10의 임피던스 궤적에서 마커 1의 꼬임(kink)으로 표현되며 설계된 안테나가 원형편파 특성을 나타냄을 확인할 수 있다. 또한, 이들의 성능지수는 축비(axial ratio) 특성으로 평가될 수 있으며 그림 6에서 원표시 실선으로 볼 수 있는 바와 같이 실제 동작주파수인 5.8GHz를 포함하여 약 40MHz의 4dB 축비 대역폭이 측정되었다. 측정된 축비특성과 10dB 임피던스 대역폭은 표 1의 관련 관련항목들에 근접한다.

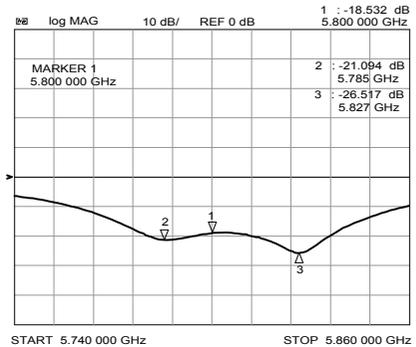


Fig. 9. Measured return loss at feeding point
그림 9. 배열안테나 급전점의 반사계수 측정결과

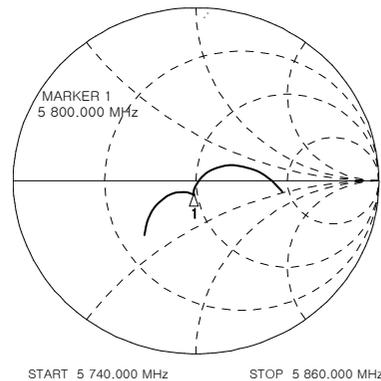


Fig. 10. Measured impedance locus on the smith chart
그림 10. 스미스 차트 상의 임피던스 궤적의 측정결과

그림 11의 측정된 방사패턴들은 그림 3의 우측하단에 보이는 직각좌표계에 근거한다. 점선으로 표현된 방사패턴은 x-z 평면에서 측정된 것으로 100도 이상의 넓은 3dB 빔 폭을 나타낸다. 실선으로 표현된 방사패턴은 y-z 의 평면에서 측정된 것으로 70도의 3dB 빔 폭을 나타낸다. 2개의 방사패치를 배열한 결과로 빔 폭이 좁아졌다. 이들은 그림 7의 시뮬레이션 결과에 근접하나 전체적으로 빔폭이 넓어졌다. 이는 제작된 시제품의 유전체손실과 도체손실, 그리고 커넥터 연결손실 등이 시뮬레이션 보다 커져 방사체 공진기 Q값이 낮아졌기 때문이다. 배열 안테나의 이득은 6.2dBi로 측정되었다. 이들 측정 결과들과 일반적으로 DSRC 방식의 무선통신 단말기 안테나들에 사용되는 반파장 단일패치 안테나[3][10]들을 비교해 볼 때, x-z면상의 3dB 빔폭은 유사한 반면 y-z 면상의 3dB 빔폭은 약 30도 줄어들었다. 또한 이득은 약 0.4dB 증가되었다. 즉, 방사패치들을 배열함으로써 차선 진행방향으로 전자파 에너지가 더욱 집중되어 지향성이 개선된 것이다. 더욱이 차선폭이 변경되는 경우에 배열간격을 조절하여 빔폭을 어느 정도 원하는 값으로 맞출 수 있는 여건도 갖는다. 표 2에 측정된 결과들을 정리하였고 표1에서 제시된 목표성능들과 비교하였다. 제작된 시제품은 목표성능들을 대부분 근접하게 달성하고 있다.

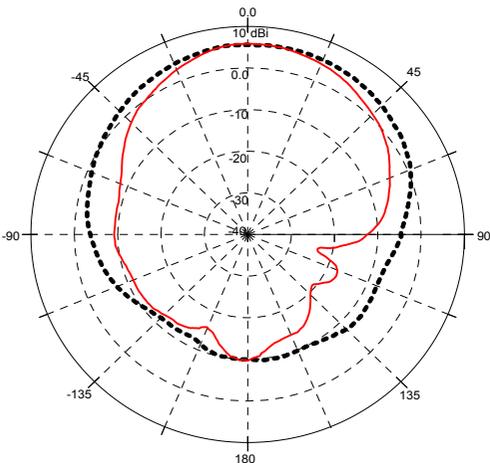


Fig. 11. Measured radiation patterns of the fabricated array antenna(solid line: y-z plane, dotted line: x-z plane)
 그림 11. 제작된 배열 안테나의 방사패턴 측정결과 (실선: y-z 면, 점선: x-z 면)

표 2. 제작된 안테나의 측정결과 및 목표성능과 비교
 Table 2. Summary on the measured results and comparison to design goals

항 목		목표성능	측정결과
동작주파수		5.795~5.815GHz	5.795~5.815GHz
3dB 빔폭(beamwidth)	x-z 면	95°	90°
	y-z 면	70°	70°
크기 (size)		18x40mm ²	18x40mm ²
이득 (gain)		6dBi	6.2dBi
편파	편파종류	우선원편파	우선원편파
특성	축비대역폭(4dB)	40MHz	40MHz
	10dB 임피던스 대역폭	110MHz	100MHz

IV. 결론

본 연구에서는 5.8GHz 대역에서 소형화된 마이크로 스트립(microstrip) 배열 안테나를 제안하였으며, DSRC 방식의 무선통신이 내장된 자동차용 내비게이션 단말기에 적용하였다. 단말기 상단의 좁고 긴 면에 장착될 수 있도록 기존에 사용되어 왔던 반파장 패치안테나를 소형화시켰고, 이를 횡으로 2개의 방사패치를 배열하였다. 설계·제작된 안테나를 측정할 결과, 주행차선의 횡단면으로 약 70도의 3dB 빔폭과 6.2dBi 이득을 얻었다. 따라서 항상된 지향성과 배열간격의 조절을 통해 자동차 주행방향으로 전자파 빔을 제한시킬 수 있으며, 소형화에 따른 안테나의 성능 저하를 보상할 수 있다.

본 연구에서 제안된 배열안테나는 내비게이션 단말기 뿐 아니라 도시 교통상황 정보수집, 무선CCTV, 주차관리등과 같이 DSRC 방식을 따르는 소형 무선통신 제품에 적용될 수 있다.

참고문헌

[1] Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange Between Roadside and Vehicle Systems-5GHz Band DSRC MAC and Physical Layer Spec., ASTM 2213-03
 [2] 오종택, DSRC 국제표준화, TTA Journal, Vol. 70, July 2000
 [3] Daniel Megnet, Heinz Mathis, "Circular Polarized Patch Antenna for 5.8 GHz Dedicated Short-Range Communication," *Proceedings of the 39th European*

- Microwave Conference*, pp.638-641, 2009
- [4] Y. Xia and J. Luo, "RHCP Patch Antenna for Automotive DSRC System," *2010 Wireless Comm. Networking and Mobile Computing (WiCOM)*, pp.1-3, Sept. 2010
- [5] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, 2nd ed. John Wiley & Sons, 1997
- [6] J.H. Lu, and K.L. Wong, "Slot loaded, meandered rectangular microstrip antenna with compact dual frequency operation," *Electronic letters*, Vol. 34, pp. 1048-1050, May 1998
- [7] Mailloux, R., McIlvanna, J., and Kernweis, N., "Microstrip array technology," *IEEE Trans. on A.P.*, Vol.29, pp.25 - 37, 1981
- [8] D.M. Pozar, "Microstrip antennas," *Proceedings of IEEE*, Vol.80, No.1, pp.79-91, 1992
- [9] W.S. Chen, C.K. Wu and K.L. Wong "Novel Compact Circularly Polarized Square Microstrip Antenna," *IEEE Trans. on A.P.*, Vol. 49, No. 3, pp.340-342, March 2001
- [10] Gh. Z. Rafi, etc., "Low-Profile Integrated Microstrip Antenna for GPS-DSRC Application," *IEEE ANT. AND WIRELESS Prop. Letters*, Vol.8, pp.44-48, 2009

저 자 소 개

윤 기 호 (정회원)


1984년 2월 : 연세대학교 전자공학과
(공학사)

1986년 2월 : 연세대학교 대학원
전자공학과 (공학석사)

1999년 2월 : 연세대학교 대학원
전자공학과 (공학박사)

1985년 1월~1997년 2월 : 삼성

종합기술원, 삼성전기 근무

1997년 3월~2009 2월 : 호남대학교 전파공학과 부교수

2009년 3월~현재 : 성결대학교 정보통신공학부 조교수

<주관심분야> RF 능동 및 수동회로/시스템, 안테나