

ETCS용 원형편파 안테나의 설계 및 제작

Design and Fabrication of Circularly Polarization Antenna for Electronic Toll Collection System

李相睦*, 尹中漢*, 金興壽*

Sang-Mok Lee*, Joong-Han Yoon*, Heung-Soo Kim*

요 약

본 논문은 ETCS용 마이크로스트립 배열안테나를 설계, 제작 및 측정하였다. 외부전파환경의 영향을 줄이기 위하여 원형편파안테나를 사용하였으며, 더 넓은 축비대역폭과 반사손실대역폭을 얻기 위하여 시퀀셜 로테이션 배열방법을 사용하였다. 또한 ETCS용 안테나로 사용되기 위하여 노변장치용 안테나는 인접차선과 간섭없이 설정된 통신영역에서 정확히 통신할 수 있는 방사패턴을 제공하도록 설계되어야 한다. 본 논문에서 제작된 노변장치용 안테나의 sidelobe를 감소시키기 위하여 흡수체를 제작 부착하였다. 흡수체를 부착하여 측정한결과, 중심주파수에서 -20.675dB의 반사손실을 얻었으며, 축비는 0.35dB, 안테나이득은 20.26dBi를 얻었다. 그리고 SLL은 -20dB 이하로 감소된다는 것을 확인하였다.

Abstract

In this paper, a microstrip array antenna is designed, fabricated and measured for ETCS(Electronic Toll Collection System). To reduce effect of external propagation environment, we use edge-cutted element and to obtain wider axial ratio and increased bandwidth, we use the sequential rotation array method. Also to fulfill ETCS, roadside equipment are designed to be provide a radiation pattern which can accurately pinpoint the designated communication area without interference of another lanes. And we make and apply an absorber to the array antenna to reduce SLL(Side Lobe Level). From the measurement, we get that return-loss at center frequency is -20.675dB, axial ratio is 0.35dB and the gain is 20.26dBi. And we found that SLL is reduced.

1. 서 론

교통량 증가에 따른 교통혼잡 등의 문제 해결과 보다 향상된 주행 서비스를 제공하기 위하여 지능형교통시스템(ITS : Intelligent Transportation System)에 대한 연구가 세계 각국에서 활발히 진행되고 있다.

지능형교통시스템은 기존의 교통시설물에 첨단 정보통신기술을 결합시켜 시설 이용의 효율성을 높이려는 차세대 교통시스템으로서 도로교통정보를 신속히 수집, 분배함으로써 효율적인 교통관리를 가능하게 하여 교통문제를 대폭적으로 줄일 수 있는 해결책으로 기대되고 있다[1]-[2].

자동요금징수시스템(ETCS : Electronic Toll Collection System)은 여러 ITS 서비스 중 하나로서 노변장치(RSE : Road Side Equipment)와 센터장치로

* 仁荷大學校 電子工學科
(Department of Electronics Engineering, Inha University)
接受日:2002年 3月 25日, 修正完了日:2002年 7月 28日

구성되며, 도로를 대상으로 통과차량에 대한 통행요금을 자동 징수하는 시스템이다. ETCS의 목표는 정확하고 신뢰성이 높은 자동징수체계를 확립하고, 톨게이트에서의 지연 중 대기시간 단축으로 도로 이용율을 극대화하는 것이다. 즉, 게이트를 통과하는 모든 차량에 대하여 차량인식기능을 기본 기능에 덧붙여 근거리에서 정보를 주고 받는 시스템이다[3]-[5].

본 논문에서는 ETCS에 적합한 노변장치용 안테나를 설계, 제작 및 측정하였다. TTA 규격에 의해 RHCP를 갖는 안테나 구조를 선택하였으며, 충분한 축비대역폭을 얻기 위하여 시퀀셜 로테이션 배열방법을 이용한 배열안테나를 설계하였다. 배열방법은 2×2 시퀀셜 로테이션 배열을 subarray로 하여 4×4 마이크로스트립 배열안테나를 설계, 시뮬레이션한 후 실제 안테나를 제작하여 반사손실특성, 축비특성 및 방사패턴 등을 측정하여 시뮬레이션결과와 비교하였다. 설계시의 주된 목표는 단말기와 기지국간의 전파를 송수신할 때 인접차선의 간섭을 제거하기 위하여 안테나의 빔폭이 팬빔이 되도록 설계하는 것이며, SLL을 감소시키기 위하여 흡수체를 제작 안테나에 부착하였다. 흡수체를 부착하여 측정된 결과로부터 ETCS의 요구조건에 거의 적합한 특성을 얻었다.

II. 원형편파 안테나

2.1 단일급전 원형편파 안테나

마이크로스트립 안테나는 다른 안테나에 비해 무게가 가볍고 부피가 작으며 평면형구조에 적합하기 때문에 미사일이나 로켓 및 위성 등에 쉽게 부착될 수 있을 뿐 아니라, 포토에칭기법으로 제작이 간단하며 비용도 적게 든다. 또한 구조를 미소하게 변형시켜도 원형편파를 쉽게 구현할 수 있고, 안테나를 설계할 때 급전선과 정합회로를 동시에 구현할 수 있다. 그리고 발진기나 증폭기, 주파수혼합기, 위상변위기 등의 초고주파회로와 쉽게 연결할 수도 있기 때문에 많이 사용되고 있다. 그러나 대역폭이 좁고 표면파가 발생하여 손실이 크며 이득이 작고 사용될 수 있는 전력량

도 제한되어 있기 때문에 이를 극복하기 위한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다[6]-[7].

외부환경의 영향을 줄이고 다중경로에 의해 반사되는 신호를 수신하기 위해서는 원편파를 발생시켜야 한다. 원편파안테나는 90° 위상차가 나고 크기가 서로 같은 두 개의 직교모드에 의해 만들어 질 수 있다. 편파의 방향은 두 개 직교모드의 상대적인 위상차($+90^\circ$ 또는 -90°)에 의해 결정되는데, 원형편파를 만들어 낼 수 있는 형태는 여러 가지가 있으며, 그 중 본 논문에서는 커팅형 방사소자를 사용하였다[8]. 커팅형 방사소자는 하나의 급전라인으로 원편파를 발생시키므로 안테나를 배열형태로 배치할 경우 급전구조가 단순하게 되는 장점이 있는 반면, 축비대역폭이 협소해지는 단점이 있다. 따라서 이러한 단점을 극복하기 위하여 시퀀셜 로테이션 배열구조를 사용하였다.

2.2 시퀀셜 로테이션(Sequential rotation) 배열구조

일반적인 급전방식은 중심주파수에서 벗어날 수록 급전선의 특성임피던스와 방사소자의 입력 임피던스가 정합되지 않으므로 반사에 의해 대역폭이 감소하게 되지만, 시퀀셜 로테이션 배열방법은 원형편파를 사용하는 안테나의 반사손실 대역폭특성과 축비특성을 동시에 개선시킬 수 있는 방법이다. 시퀀셜 로테이션 배열의 기본적인 원리는 급전점에서 각 방사소자까지의 길이를 조절하여 반사전압이 급전점에서 상쇄되도록 하는 한편 급전선의 길이 차에 따른 각 방사소자의 위상지연을 보상하기 위하여 방사소자를 물리적으로 회전시켜 결국 각 방사소자에서 방사되는 전계는 동일시간에 동일위상이 되도록 하는 것이다.

일반적으로 시퀀셜 로테이션 배열을 형성하는 방사소자의 수를 M 이라 할 때 m 번째 방사소자의 위상과 회전된 각도는 다음 식에 의하여 결정된다.

$$\phi_m = \frac{(m-1)p\pi}{M} \quad (1)$$

여기서, p 는 정수이다. 그림 1(a)는 1×2 시퀀셜 로테이션 배열로서 $M=4, p=2$ 이다. 즉, 2π 의 각도를 4개의 방사소자로 나누어서 회전되어 있는 경우로서,

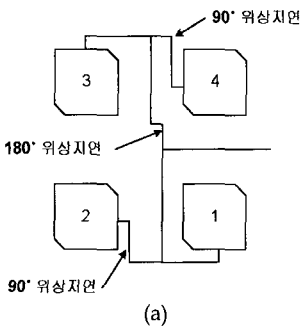
기본패치가 0, $\pi/2$ 의 위상차를 가지도록 하고 위와 아래 패치사이에 π 의 위상차가 되도록하면 1, 3번 패치와 2, 4번 패치가 서로 역위상이 되기 때문에 반사손실대역폭이 증가한다. 각 방사소자의 위상과 반사전압의 위상은 각 방사소자 사이의 왕복거리로 인하여 각 방사소자로부터 출력되는 반사전압은 급전점에서 상쇄된다.

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = 2(V_1 + V_2) \approx 0 \quad (2)$$

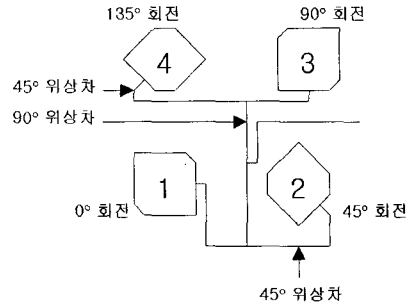
그러나 이러한 형태의 시퀀셜 로테이션 배열방법은 충분한 대역폭을 얻을 수 없다. 급전선의 길이가 다르게 되면 각 방사소자에 입력되는 신호는 동일시간에 위상이 지연되기 때문이다. 이것은 빔의 방향을 변화시키는 요인이 되며, 이러한 현상을 방지하기 위하여 방사소자를 물리적으로 회전시켜 결국 각 방사소자에서 방사되는 전계는 동일시간에 동일위상이 되도록 하는 것이다. 그림 1(b)에는 이러한 원리를 나타내고 있다. 이것은 $M=4, p=1$ 로서, 2×2 시퀀셜 로테이션 배열 또는 단축된 위상지연을 사용한 시퀀셜 로테이션 배열이라 하며, 4개의 방사소자가 위상 π 로 나누어 회전되었고, 각 방사소자에 입력되는 위상차는 $\pi/4$ 이다. 따라서, 각 방사소자로부터 반사전압은 급전점에서 상쇄되며 반사손실대역폭은 증가하게 된다.

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \approx 0 \quad (3)$$

이러한 방법은 그림 1(a)보다 광대역특성을 갖는 것으로 확인되었다[9]-[11]. 따라서 본 논문에서는 이러한 단축된 위상지연을 이용한 시퀀셜 로테이션 배열을 사용하여 제작하였다.



(a)



(b)

그림 1. 시퀀셜 로테이션 배열방법

(a) $p=2, M=4$ (b) $p=1, M=4$

Fig. 1 Sequential rotation array method

(a) $p=2, M=4$ (b) $p=1, M=4$

2.3 배열안테나의 설계

ETCS 노변장치용 안테나를 제작하기 위한 요구조건을 표 1에 나타냈다. 이 규격은 TTA에 의해 정해졌으며, 2001.4.7 정보통신부에 의해 고시되었다. 자가 전기통신설비용으로 5.795~5.815GHz가 분배되었으며, 사업용 전기통신설비용으로 5.855~5.875GHz 대역이 분배되었다. 편파형태는 안테나가 패치인 경우 RHCP(Right-Hand Circular Polarization)를 갖도록 하였다. ETCS에 적용될 안테나를 설계할 때 고려할 사항으로서 이득 외에 방사패턴이 원하는 영역 내에서 존재하는 것 역시 중요하다. 왜냐하면 불필요한 부빔이 인접 차선에 영향을 줌으로써 오 동작을 일으킬 수 있기 때문이다.

본 논문에서 배열안테나 설계시 4×4 배열안테나의 이득이 19.4dBi, 8×8 배열안테나의 이득은 24dBi인 것을 확인하였다. 따라서, TTA에서 제시한 이득인 22dBi 이상의 조건을 만족하기 위해서는 8×8 이상의 배열안테나를 설계해야 한다. 그러나 본 논문에서는 8×8 배열안테나의 크기가 매우 크기 때문에 설계와 제작이 간편하고 이득은 약간 감소하지만 크기가 8×8 배열안테나의 약 1/4인 4×4 배열안테나를 설계 및 제작하였다. 또한 주빔과 부빔 사이의 레벨 차이를 20dB로 설정함으로써 인접 레인과의 간섭영향이 최소화되게 하였다.

표 1 ETC 시스템 노변장치용 안테나의 설계규격[12]
Table 1. The specification of antenna for RSE [12]

항 목	노변장치용 안테나
주파수	5.795~5.815GHz 5.855~5.875GHz
방사소자	microstrip patch antenna
안테나 구성	4개의 subarray
편파	RHCP
이득	22dBi
방사패턴	pen beam
3dB bandwidth	20°
main lobe/side lobe ratio	20dB

이러한 안테나를 설계하기 위해 Ensemble 8.0을 이용하여 시뮬레이션하였다. 다음의 그림 2는 설계된 RHCP 2×2 시퀀셜 로테이션 배열안테나이다. 각 패치의 크기는 16.6mm×16.6mm으로 가로와 세로가 동일한 크기를 가지며, 패치와 패치 사이의 간격인 dx와 dy는 각각 21.52mm로서 동일한 간격으로 배치하였다. 원형편파를 만들기 위하여 커팅된 모서리의 크기는 2.6mm이며, 4개의 λ/4 정합기를 사용하여 정합시켰다. 또한 동일위상에서 같은 방향으로 전류분포를 만들어 주기 위하여 각 급전길이를 적절히 조절하였다. 이 RHCP 2×2 시퀀셜 로테이션 배열안테나를 subarray로 사용하여 RHCP 4×4 시퀀셜 로테이션 배열안테나를 설계하였다.

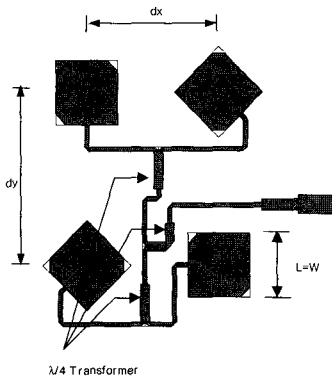


그림 2 설계된 RHCP 2×2 시퀀셜 로테이션 배열안테나
Fig. 2 Designed RHCP 2×2 sequential rotation array antenna

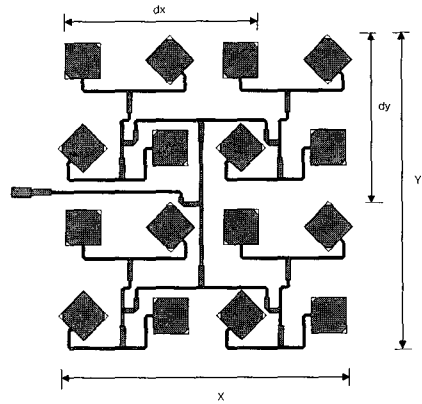


그림 3 설계된 RHCP 4×4 시퀀셜 로테이션 배열안테나
Fig. 3 Designed 4×4 sequential rotation array antenna

그림 3은 설계된 RHCP 4×4 시퀀셜 로테이션 배열안테나를 나타내고 있다. 전체 길이는 136.92×144.774mm이다. 2×2 배열 사이의 간격과 패치 사이의 간격은 x축과 y축이 각각 16.25mm, 18.54mm이다. 시뮬레이션 결과 반사손실은 -20dB을 기준으로 5.677GHz~6.03GHz, 3dB을 기준으로 축비대역폭은 5.6~5.954GHz, 이득은 5.8GHz를 기준으로 약 19.4dBi를 얻었다. 5.8GHz를 기준으로 하면 반사손실은 -40dB이며 축비는 0.5dB이다. 그림 4는 방사패턴에 대한 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 주빔과 부빔의 차이는 약 -12dB에서 -16dB이다. 이러한 결과를 바탕으로 RHCP 4×4 시퀀셜 로테이션 배열안테나를 제작 및 측정하였다.

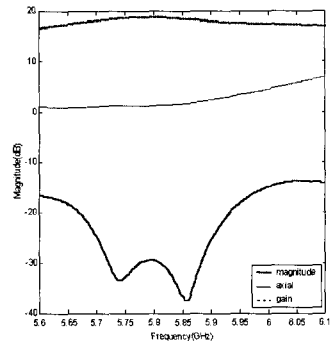


그림 4 설계된 안테나의 반사손실, 축비대역폭, 이득 (시뮬레이션 결과)
Fig. 4 The return loss, axial ratio and gain of designed array antenna(The result of simulation)

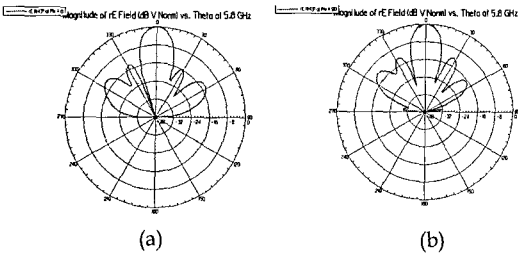


그림 5 설계된 안테나의 방사패턴(시뮬레이션 결과)
(a) E-plane (b) H-plane

Fig. 5 The radiation pattern of designed array antenna
(The result of simulation) (a) E-plane (b) H-plane

III. 배열안테나의 제작 및 측정

TTA에 의해 정해진 규격에 따라 단축 지연된 RHCP 2×2 시퀀셜 로테이션 배열방법을 이용하여 RHCP 4×4 마이크로스트립 배열안테나를 설계 및 제작하였다. 제작 기판은 타코닉사의 TLY-5A-0620-C1/C1으로서 유전률이 2.17, 두께가 1.54mm인 기판을 사용하였다.

일반적으로 안테나에 사용되는 기판의 유전률이 낮을 수록 방사각이 잘 되고 두께가 두꺼울 수록 대역폭이 증가되므로 유전률이 낮고 두께가 두꺼운 매질을 사용하여 설계하였다. 그림 6은 실제 제작된 RHCP 4×4 시퀀셜 로테이션 배열안테나를 보여주고 있다. 20dB을 기준으로 5.78GHz~5.874GHz까지 약 94MHz의 대역폭을 실제 측정값으로 얻었으며, 또한 축비대역폭은 시뮬레이션 결과에서 5.67GHz~5.98GHz로 310MHz의 값을 얻었다. 그림 7은 제작된 RHCP 4×4 시퀀셜 로테이션 배열안테나의 반사손실을 나타내고 있으며, 그림 8은 RHCP 4×4 시퀀셜 로테이션 배열안테나의 축비에 대한 측정결과를 나타내고 있다.

여기서 반사손실은 네트워크 해석기로서 측정하였으며, 방사패턴과 축비 및 이득은 사방이 밀폐된 무반사실에서 측정하였다.

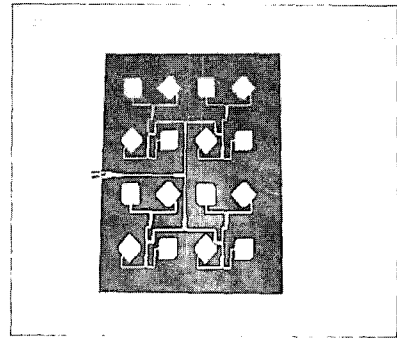


그림 6 제작된 단축위상지연을 이용한 RHCP 4×4 시퀀셜 로테이션 배열안테나

Fig. 6 Fabricated RHCP 4×4 sequential rotation array antenna using shortened phase delay

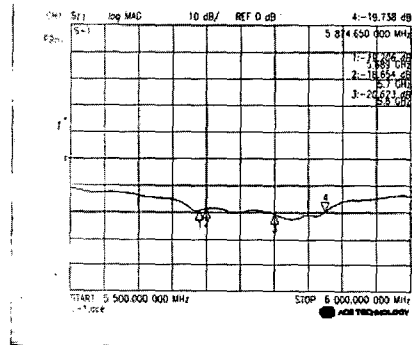


그림 7 RHCP 4×4 시퀀셜 로테이션 배열안테나의 반사손실(측정결과)
Fig. 7 The return loss of RHCP 4×4 sequential rotation array antenna(The result of measurement)

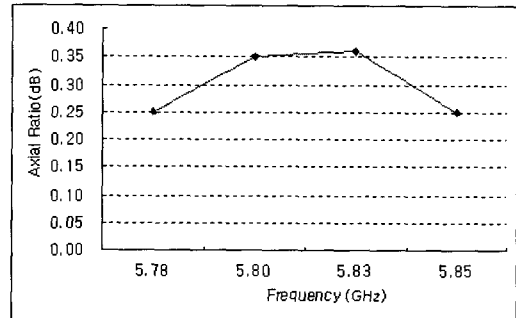


그림 8 RHCP 4×4 시퀀셜 로테이션 배열안테나의 축비(측정결과)
Fig. 8 The axial ratio of RHCP 4×4 sequential rotation array antenna(The result of measurement)

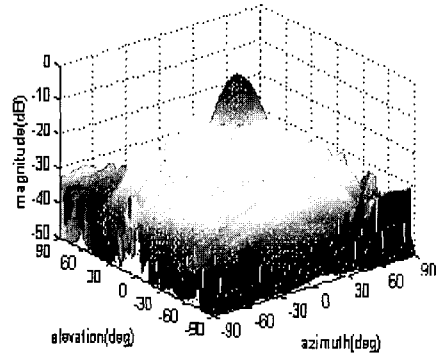
한편 고속도로 톨게이트의 인접차선간 간섭을 최소화하기 위해서는 흡수체를 사용하여 SLL을 낮추어야 한다[13]. 그림 9는 흡수체를 부착한 안테나를 나타내고 있다. 여기서 흡수체는 금속판 내부에 부착되어 있다.

그림 10은 흡수체가 부착된 안테나의 측정결과를 나타내고 있다. 측정결과 반사손실의 경우 부엽준위가 -20dB 이하로 나타났다. 대부분의 방사패턴은 대칭적인 형태를 가지고 있으나 본 논문의 측정결과는 비대칭적인 형태가 나타나고 있다. 이러한 형태의 패턴이 측정된 이유는 본 논문에서 사용된 흡수체를 제작할 때 직접 손으로 만들었기 때문에 흡수체의 농도와 두께가 일정하지 못했기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 좀 더 정밀한 제작이 가능하면 충분히 대칭적인 형태의 방사패턴을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

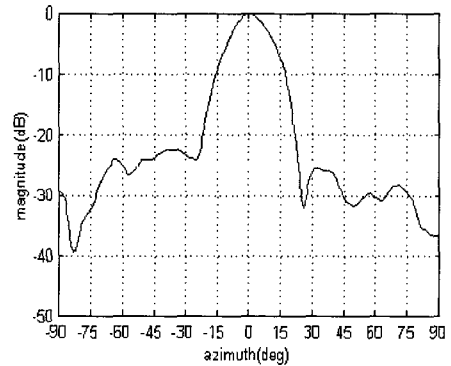
이득은 20.26dBi로 측정되었다. 이러한 측정치는 참고문헌[13]의 측정치와 다른 결과를 보여주고 있다.



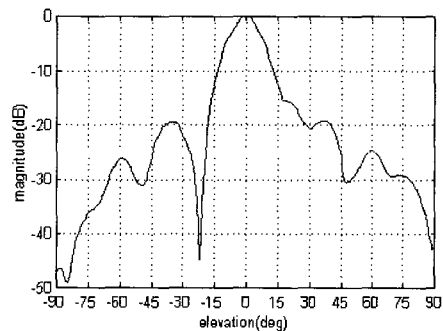
그림 9 흡수체를 부착한 RHCP 4×4 시퀀셜 로테이션 배열안테나
 Fig. 9 RHCP 4×4 sequential rotation array antenna with absorber



(a)



(b)



(c)

그림 10 흡수체가 부착된 RHCP 4×4 시퀀셜 로테이션 배열안테나의 방사패턴(측정결과)

(a) 3차원 방사패턴 (b) 방사패턴(E-plane) (c) 방사패턴(H-plane)

Fig. 10 The radiation pattern of RHCP 4×4 sequential rotation array antenna with absorber(The result of measurement)

(a)The radiation pattern of 3D (b)The radiation pattern(E-plane) (c)The radiation pattern(H-plane)

IV. 결 론

본 논문은 RHCP 2×2 시퀀셜 로테이션 배열을 subarray로 이용하여 ETC시스템의 노변장치용 안테나를 설계, 제작 및 측정하였다. 즉, RHCP 2×2 시퀀셜 로테이션 배열을 subarray로 이용하여 흡수체가 부착된 RHCP 4×4 시퀀셜 로테이션 배열안테나를 설계, 제작 및 측정하였다. 안테나는 중심주파수 5.8GHz를 기준으로 반사손실은 -20.675dB이며, 축비는 0.35dB을 얻었다. 또한 이득은 약 20.26dBi를 얻었고, HPBW는 18°를 나타냈으며, 최대부엽준위는 -20dB 이하로 낮아지는 것을 확인하였다.

이득이 TTA 규격에서 제정한 22dBi보다 약 1.74dBi 낮지만, 실제시스템에 본 안테나를 적용하여 측정한 결과 자동차가 시속 60km/h, 150km/h로 돌게이트를 통과했을 경우 양호하게 운용되고 있음을 확인하였다. 향후 TTA 규격인 22dBi 이상의 이득을 가지는 안테나가 반드시 필요할 경우, 이러한 조건을 만족하는 8×8 이상의 배열안테나를 설계할 때, 본 논문이 기초 자료로서 충분히 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

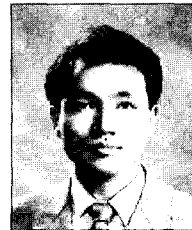
참 고 문 헌

1. 창원대학교 산업기술연구소, ITS 무선통신 방식 연구, 한국전자통신연구소, 1997.6
2. 대한 전자공학회, ITS 특집, 대한전자공학회 학회지 제 28권 5호, 2001
3. 한국전산원, ITS 자동요금 징수시스템 기본모델 개발을 위한 연구, 1998.11
4. SK Telecom, "Intelligent Transportation System", Telecomm. Review, 제 9권 4호, 1999
5. 최광주, "ETC서비스 규격", TTA 저널 통권 77호, 9월, 93-100, 2001
6. P. Garg, P.Bhartia, I. Bahl and A. Ittipiboon, "Microstrip Antenna Design Handbook", Artech House Publishers
7. A. Balanis, "Antenna theory analysis and design" J. Wiley & Sons, INC

8. J. R. James and P. S. Hall, Handbook of Microstrip Antennas, IEE Electromagnetic Waves Series 28
9. P. S. Holl, J. S. Dahele, and J. R. James, "Design principles of sequentially, circularly polarized microstrip antennas", IEE Proc., Pt. H. vol. 136, no. 5, pp.381-389, 1989.
10. P. S. Hall, "Application of Sequential Feeding to Wide Bandwidth, Circularly Polarized Microstrip Patch Arrays", IEE Proc., Pt. H, vol. 5, October 1989
11. 양태식, 이범선, "단축된 위상지연 사용하는 2×2 시퀀셜 로테이션 배열의 특성분석", 한국통신학회 하계종합학술발표회 논문집, 1999
12. 한국정보통신기술협회, "5.8GHz대역 노변 기지국과 차량 단말기간 근거리 전용무선통신표준 (TTAS.KO-06.0025)", 2000.10
13. 이덕재, 류정기, 임인성, 민경일, 오승엽, "ETCS용 마이크로스트립 배열안테나의 설계 및 제작", 한국통신학회 하계종합학술발표회 논문집, pp.173-176, 2000

저 자 소 개

李 相 睦 (正會員)



1984년 2월 한국항공대학교 항공전자공학과 졸업(공학사)

1986년 2월 한국항공대학교 항공전자공학과 대학원 졸업(공학석사)

1996년 8월 ~ 현재 인하대학교 전자공학과 박사과정 수료

1990년 3월 ~ 현재 : 재능대학 정보통신과 부교수

[주관심분야] 안테나 설계, 통신망, 통신이론

尹 中 漢 (正會員)

제 4권 제 1호 논문 00-01-10 참조

현재 인하대학교 전자공학과 박사과정

金 興 壽 (正會員)

제 6권 제 1호 논문 02-01-04 참조

현재 인하대학교 전자공학과 교수