

DSRC 기반의 ETCS 기지국 안테나 설계 및 제작

Design and Fabrication of Base Station Antenna for ETCS based on DSRC

고 진 현*

(Jin-Hyun, Ko)

김 남 기**

(Nam-Ki, Kim)

하 재 권***

(Jae-Kwon, Ha)

요 약

본 논문에서는 ITS 서비스 구성 요소 중의 하나인 ETCS(Electronic Toll Collection System)에서 RSE(Road Side Equipment) 기지국 gantry에 장착되어 이동체와 무선 통신 링크를 연결해 주는 ETCS 기지국용 안테나를 설계 및 제작하고 그 특성을 측정하였다. ETCS 기지국용 안테나 특성은 적은 부엽 특성과 도로 상황과 이동체 탑재되는 OBU 위치에 따라 특정 형태의 빔 패턴이 요구된다. 또한 반사에 의한 multipath 신호 영향을 최소화하기 위해 원형편파 특성이 요구된다. 저 부엽의 빔 패턴을 얻기 위해 배열 패치 구조와 Taylor distribution에 의한 방사요소의 전류 weighting factor를 적용하였다. 제작된 안테나의 동작 중심 주파수는 5.8 GHz이고, 반사손실은 -10 dB를 기준으로 130 MHz, 10MHz 사용 대역내에서 축비 2.6 dB이하의 RHCP 편파 특성과 17 dBi 이득을 얻었으며, 빔 패턴은 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 잘 일치하고 있음을 보여주었다.

Abstract

This paper describes the design, fabrication, and measurement of a low side lobe antenna for RSE base station of the ETCS which is one of the ITS services. The antenna is installed on the gantry of road side and provides the wireless communication link between vehicles and RSE. The required characteristics of ETCS base station antenna are low sidelobe and specific beam pattern by the road and install environment and installed place of OBU. To minimize the affects of multipath signal by reflection, Circular polarization is required. To get low sidelobe of antenna, Array configuration and weighting factor by Taylor distribution in radiator elements are applied. The measured results of fabricated antenna are as follows; return loss of 130MHz by -10dB, an axial ratio of 2.6dB, and a gain of 17dBi. It is found that the measured beam patterns are similar to design results.

Key Words : DSRC, ETCS, RSE, OBE, Array Antenna, Taylor distribution

I. 서 론

지능형 교통 시스템(ITS : Intelligent Transport System) [1]의 구축과 도입 활용이 향후 국가 산업의 경쟁력 확보와 복지 국가 구현 측면에서도 중요한 이슈가

되고 있다. 이에 따라 세계 각국에서는 교통 시스템의 고도화를 추진하기 위해서 다양한 관련 서비스와 시스템이 개발되어 상용화되고 있으며, 국내에서도 1994년 건설교통부의 ITS 기본 계획 수립과 2001년 3월 'ITS 기본 계획 21'이 확정되었다. 이처

* 회원 : 블루웨이브텔 선임연구원

** 비회원 : 블루웨이브텔 전임연구원

*** 회원 : 블루웨이브텔 대표이사

† 논문접수일 : 2004년 3월 11일

럼 초기 연구와 투자가 정부주도의 인프라 구축 사업이 주를 이루었던 ITS 관련 연구와 산업이 점차 사업성 및 시장성에 기반하여 민간 기업들과 지방자치 단체의 인프라 구축 활성화에 따라서 ITS를 구성하는 하부시스템, 단말, 서비스, 컨텐츠와 같은 응용 시스템 개발 분야로 급속하게 확산 발전되고 있는 실정이다.

본 논문에서는 이와 같은 ITS 서비스 구성 요소 종에서 DSRC(Dedicated Short Range Communications) 기반의 ETCS(Electronic Toll Collection System)[2] 의 RSE(Road Side Equipment) 기지국 gantry에 장착되어 이동체와 무선 통신 링크를 연결해 주는 기지국 안테나를 설계 및 제작하고 그 특성을 측정하였다[3]. ETCS 기지국용 안테나는 이동체가 통과하는 도로 폭과 진행 방향 길이 내에서 모든 정보를 교환 처리할 수 있어야 하고, 해당 라인 이외의 다른 이동체와 통신 링크가 형성되지 않도록 저 부엽 특성이 요구되는 등, 안테나의 범 패턴 특성이 아주 중요하다. 따라서, 본 논문에서는 5.8GHz 대역의 평판 배열 안테나 구조에서 -20dB 이상의 저 부엽 특성과 3.5 m 도로 폭에 적합한 범 폭을 얻을 수 있는 안테나를 설계 제작하였다. 이 안테나는 다른 이동체의 표면 반사에 의한 multipath 신호 영향을 최소화하기 위해 원형편파를 채택하고, Taylor distribution[4][5]을 이용하여 방사 소자에 전력 급전을 통해 저 부엽 특성을 구현하였다.

본 논문의 II.에서는 ETC 시스템 개요와 ETC 기지국 안테나 기능 요구 사항과 설계 요구 규격을 제시한다. III.에서는 안테나 구조 설계와 설계 방법이 서술되고 IV.에서는 안테나 제작과 측정 결과가 분석되었으며, V의 결론 부분으로 구성된다.

II. ETCS 시스템 및 안테나 설계 요구 규격

DSRC 기반의 ETCS 시스템의 사양은 <표 1>과 같다. ETCS 기지국 안테나는 도로의 폭 3~4 m에 적용되는 범 폭과 길이 방향으로도 수 m 이상의 범 폭을 가져야 하며, 다른 이동체의 표면 반사에 의한 multipath 신호 영향을 최소화하기 위해 우원형 편

<표 1> DSRC 기반의 ETCS 시스템 사양

Item	Roadside Equipment
Frequency	5.8 GHz +5/-5 MHz
Maximum EIRP	10dBm
Coverage	3m ~ 200m
BER	< 10 ⁻⁵
Data Rate	1 Mbps
Modulation	ASK
Dynamic Range	-85dBm- -30dBm

파 특성이 요구된다.

ETCS에서 도로변에 설치된 노변통신장치(RSE)의 안테나는 차량에 설치된 차량통신장치(OBE: On Board Equipment)와 특정 영역 범위 안에서만 통신이 가능하도록 범 영역이 제한되지만, OBE에 장착되는 안테나는 설치 위치와 장소에 따라서도 기지국간의 통신이 원활하게 이루어지도록 가능한 넓은 범폭의 단일 패치 안테나가 요구된다. ETCS RSE 기지국용 안테나 요구 규격은 <표 2>와 같다.

<표 2> DSRC 기반의 ETCS 기지국 안테나 요구 규격(6)

Item	Roadside Equipment
Carrier Center Frequency	5.8 GHz
Bandwidth	>10MHz
Polarization	RHCP
Gain	>16dBi
VSWR	<1.5
Front to Back Ratio	40dBc
Cross-Polarization	>25dB
Side Lobe Level	>20 dBc

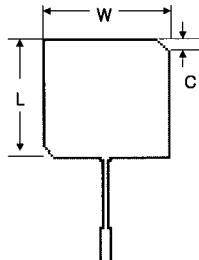
III. 안테나 설계

3-1 기본 안테나 설계

안테나 설계에서 사용할 기판 특성이 먼저 정의되면 단일 방사 요소를 설계하여, 공진 주파수와 대역 특성 등을 조사 분석한다. 사용된 안테나 방사 기판은 Chukoh사의 CGP-500 기판($\epsilon_r=2.6$, H=20mil)을 이용하였으며, MOM(Method of Moment)방식의 상용

화 도구 Ensemble 8.0로 모의 실험하여 안테나의 설계 변수들을 추출하였다. 제안된 기본 단일 안테나는 Corner truncated type을 이용하여 우수원형 편파(RHCP) 특성을 얻을 수 있는 구조를 선택하였다.[7]

중심 주파수 5.8 GHz의 단일 안테나 구조는 <그림 1>과 같으며, 이때의 설계 변수는 <표 3>과 같다.

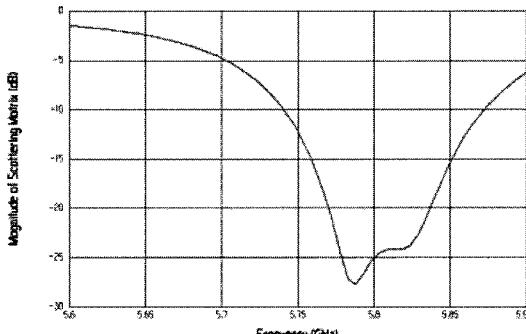


<그림 1> 단일 패치 안테나 설계

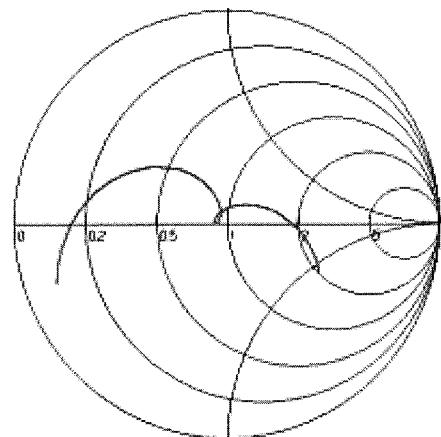
<표 3> 단일 패치 안테나 설계 사양

Parameter	Value [mm]
W	16.07
L	16.07
C	1.46
d1	35

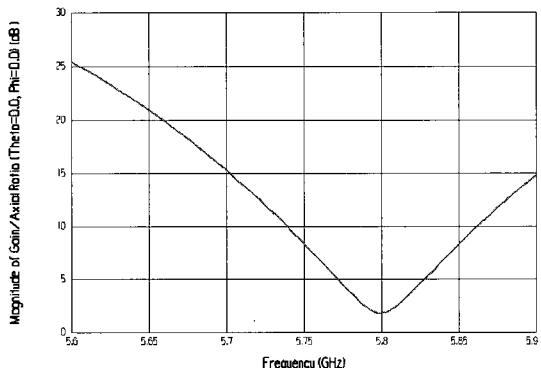
그림 2는 기본 단일 안테나의 반사계수 시뮬레이션 특성으로 5.80GHz 중심으로 100MHz 이상의 광대역 임피던스 매칭이 이루어졌음을 알 수 있다. 축비는 5.8GHz +/- 25MHz 영역에서 1.5 dB ~ 2 dB 이내로 양호한 특성을 보여주고 있다.



1) 단일 안테나의 반사계수



2) 단일 안테나의 입력 임피던스 특성



3) 단일 안테나의 축비 특성

<그림 2> 단일 안테나 시뮬레이션 결과

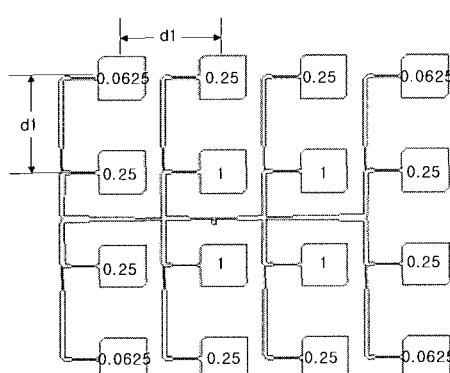
3-2. 배열 안테나 설계

단일 안테나의 설계를 기본으로 배열 안테나가 설계되며, 주 범의 폭과 전체 이득 규격에 따라서 안테나 방사 소자 간 간격, 공급되는 전류, 위상 및 소자 수가 결정된다. 2장의 요구 규격과 같이 -20dB 이하의 부엽 레벨을 마이크로스트립 패치 배열 안테나 구조에서 얻는 것이 용이하지 않다. 또한, 고 이득을 얻기 위한 급전 회로망(Feeding Network)을 좁은 공간 상에 배치하다보면 방사 소자간의 상호 결합과 급전 라인 자체의 방사 효과 등으로 원하지 않는 부엽 레벨이 증가할 뿐만 아니라, 상하 좌우에 있어서 대칭적인 범 패턴 특성을 얻는 것도 용이하지 않다. 그렇지만, ETCS 기지국

용 안테나의 가장 중요한 요구 사양은 낮은 부엽레벨을 얻는 것이므로, 방사 소자 각각의 공급 전류의 weighting factor 제어를 통해 낮은 부엽을 얻도록 하였다.

안테나의 이득이 커지면 범폭은 좁아지고, 부엽준위를 작게 하면 범폭은 넓어진다. 부엽 레벨을 억압하면 범폭이 확산되고 이득은 작아진다고 하는 것은 일반적으로 말하는 안테나의 Trade off 특성이다. 따라서, 낮은 부엽 준위와 특정 범폭을 갖는 마이크로스트립 안테나를 설계하기 위해서는 부엽레벨을 임의로 규정하고 Taylor distribution 배열 방법을 이용해서 구해진 전류 분포에 상응하는 전력을 각 소자에 공급하여야 한다. 이를 위해 각 소자들이 Taylor-distribution 전류 분포에 해당하는 크기의 전류가 공급되도록 급전망이 설계되어야 한다. 이때 위상이 일정하도록 패치간 거리는 $\lambda_g = 35$ mm로 유지해주어야 한다. 제작된 안테나는 급전망구성이 직렬로 연결되었기에 주파수 대역폭이 좁기 때문에 주파수가 변하면 λ_g 의 값이 변하고, 각 소자의 여진 위상이 변화하기 때문에 범위 안테나의 정면에서 어긋난 방향으로 향하므로 주의하여야 한다.

각 안테나 소자에 계산된 값의 전력분배기를 급전하기 위해 전력분배기의 폭을 좌우 비대칭으로 하여 임피던스를 각각 다르게 설계하고 전체 급전선로를 구성한다[8]. 그림 3은 제안된 기본 안테나에 Taylor distribution을 적용하여 전력 분배된 배열 안테나를 보여주며 16개의 안테나 소자를 4x4 배열한 구성도이다.



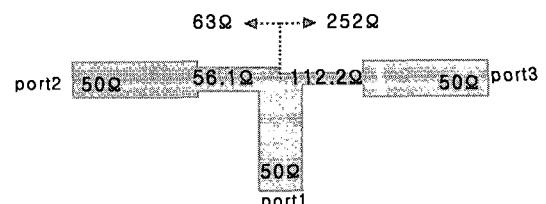
〈그림 3〉 제안된 안테나 구조와 테일러 분포

〈표 4〉 부엽 준위의 설계값이 -25 dB인 경우

소자	Taylor distribution에 의한 전류분포
1	1
2	4
3	4
4	1

-25dB의 부엽 준위를 얻기 위한 각 패치별 전력 크기는 표 4와 같다. 전력 크기는 최소크기에 대한 상대적인 값이다 4×4 패치 배열 구조에서 사용되는 급전 회로망은 그림 4와 같다.

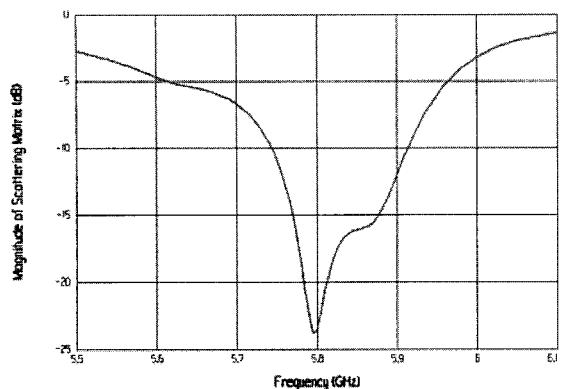
3-Port 모두 50Ω 으로 정합시키고 전력은 1:4로 분배되어 있음을 볼 수 있다. 임피던스 정합을 위해 $\lambda/4$ 변환기를 사용하였다. 그림 4에서 56.1Ω 과 112.2Ω 이 $\lambda/4$ 변환기이다. 구하는 식은 $Z_L = \sqrt{Z_L Z_x}$ 이다. 여기서 Z_L 은 Z_L 과 Z_x 의 기하학적 평균이다. 그림 4에 적용시키면 $56\Omega = \sqrt{50\Omega \cdot 63\Omega}$ 이 구해지게 된다.



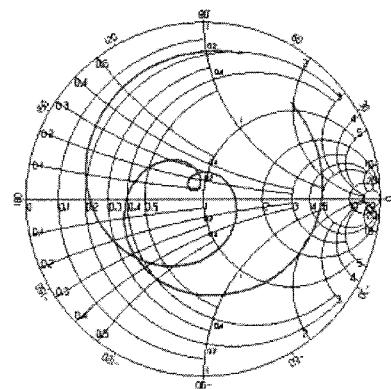
〈그림 4〉 1:4 전력 분배기 설계

배열소자가 증가할수록 일부 특성은 개선된다. 임피던스 정합 특성을 보이는 피드손실과 정재파비는 배열에 따른 부정합요소가 발생되어 단일 소자에 비해 높아진다. 피드 손실이 증가하더라도 배열수가 많아지면 소자수에 비례하는 공진대역이 넓어져 대역폭은 증가한다. 주범폭은 배열수가 증가하더라도 정방형이 되지 않으면 오히려 감소한다. 정방형이 아닌 배열은 가로세로 전계 세기가 큰 차이를 보이고 이로 인해 전계를 안테나 중심으로 집중시킬 수 없기 때문이다. 따라서, 제작될 안테나는 정방형으로 설계를 하였다.

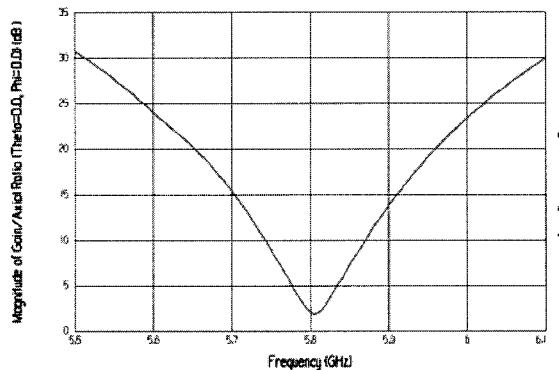
그림 4에서는 설계된 전력분배기를 이용해 아래



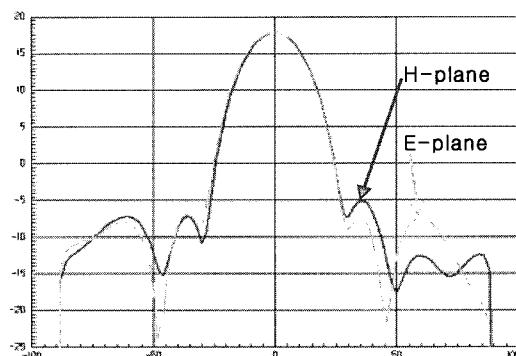
1) 4×4 안테나의 반사손실 특성



2) 4×4 안테나의 입력임피던스 특성



3) 4×4 안테나의 축비 특성



〈그림 5〉 제안된 배열 안테나의 시뮬레이션 결과

이로 확장시킨 안테나를 시뮬레이션한 결과로 각각 반사손실, 축비, 방사 패턴을 보여준다.

배열안테나 역시 단일 안테나의 특성을 따라가기 때문에 임피던스 매칭이 단일 소자와 거의 유사함을 알 수 있으며, 축비 특성 또한 1.5 dB~2 dB 이내로 양호하다. 방사패턴을 보면 메인로브와 첫 번째 부엽의 레벨차이는 약 25 dB로 설계하고자 했던 방사패턴을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

IV. 제작 및 측정결과 분석

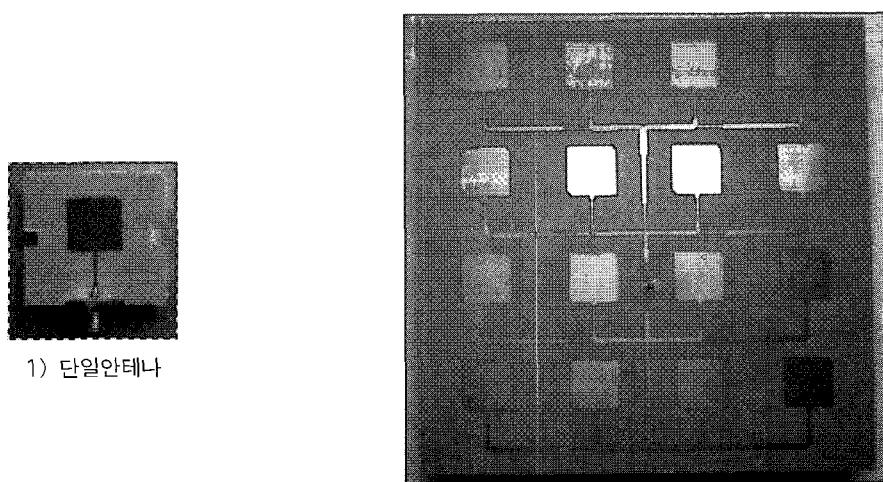
설계된 단일 안테나 및 4×4 배열 안테나는 그림 6과 같다. 당사의 필름 제작 시설과 예정 장비, 그리고 그동안 축적된 설계 기술과 제작 기술과의 오

차를 극복할 수 있는 경험으로 0.05mm 이내 오차의 선폭과 패치 설계 제작이 가능하였다.

그림 6은 제안된 안테나의 실제 제작된 모습이다. 측정은 HP 8510C Network Analyzer를 이용하였다. 제작된 단일 안테나와 마이크로스트립 어레이 안테나의 반사손실 및 입력 임피던스는 그림 7과 같다.

측정결과는 시뮬레이션에서 얻은 특성들과 거의 동일함을 알 수 있었다. 반사 계수의 그래프와 입력 임피던스의 추이를 살펴보면 시뮬레이션과 비교했을 때 13 MHz~32 MHz정도의 주파수 편이는 있으나 제작된 안테나의 대역폭이 시뮬레이션 결과값 보다 조금 넓어졌음을 알 수 있다.

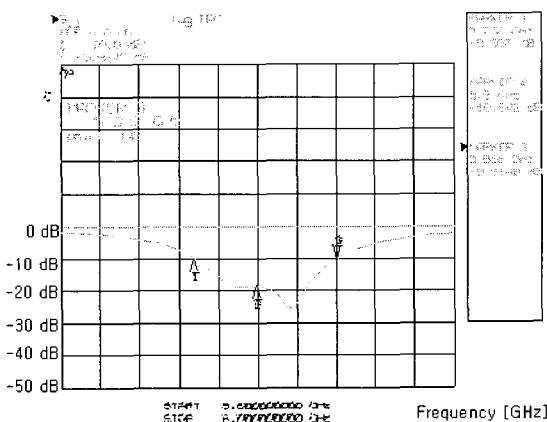
5.8GHz 대역에서 측정된 제작 안테나의 복사 패턴은 그림 8과 같다.



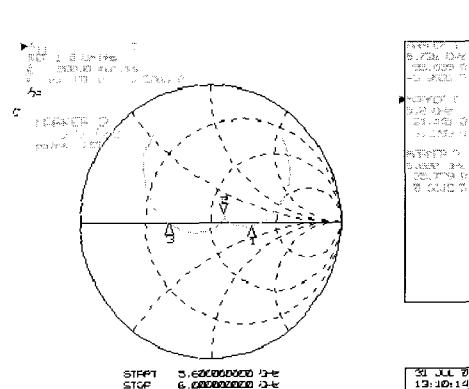
1) 단일안테나

2) 4×4 안테나 (150mm × 150mm)

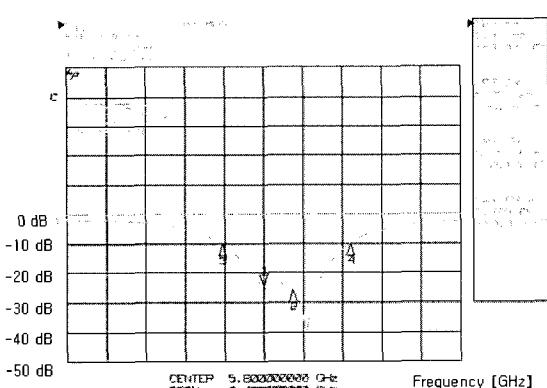
〈그림 6〉 제작된 안테나 사진



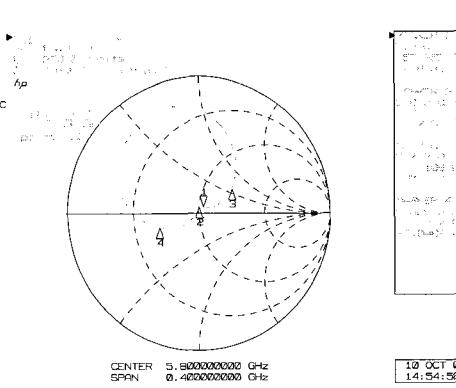
1) 제작된 단일안테나의 반사계수



2) 제작된 단일 안테나의 입력임피던스 특성

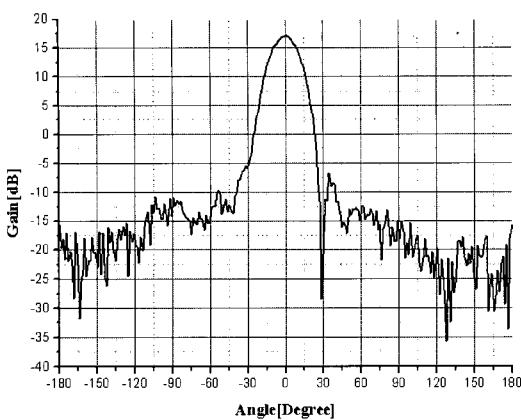


3) 제작된 4×4 안테나의 반사계수 특성

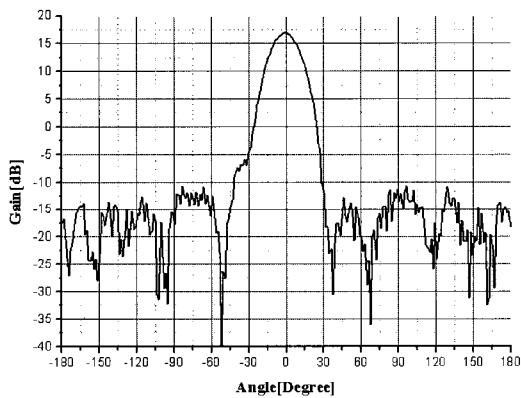


4) 제작된 4×4 안테나의 입력 임피던스 특성

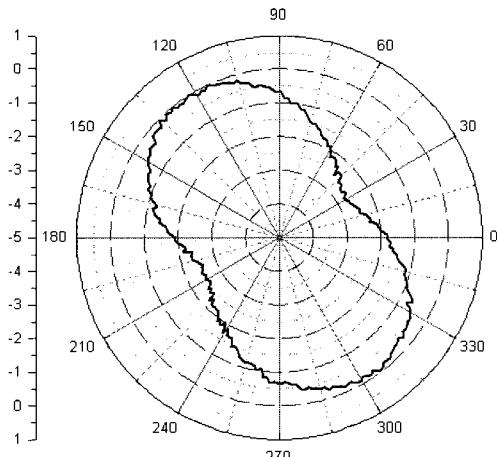
〈그림 7〉 제작된 안테나 성능 측정 결과



1) 4×4 안테나의 E-plane 복사패턴



2) 4×4 안테나의 H-plane 복사패턴



3) 4×4 안테나의 축비특성

〈그림 8〉 방사 패턴 측정 결과 (5.8 GHz)

시뮬레이션 결과와 비교해 볼 때, 패턴의 모양은 거의 비슷하나, 주 빔과 첫 번째 사이드 로브 사이의 레벨 차이가 시뮬레이션 시에는 부엽레벨이 -25 dB 까지 억제된 반면 제작된 안테나를 측정한 결과가 시뮬레이션한 값에 비해 -1.2 dB ~ -2 dB 정도 낮아진 수치를 보임을 알 수 있다. 모의 실험의 결과치와 측정치가 차이가 나는 이유는 안테나 실험시 주위 환경 및 안테나 제작상의 오차로 인하여 방사패턴의 계산치와 실험치가 다소 차이가 있음을 알 수 있다.

E-면(y-z 평면)과 H-면(x-z 평면)의 3 dB 빔폭은 21.6°~23.2° 였고, 이는 측정치와 모의실험의 결과가 잘 일치하였다. E-면과 H-면의 경우 부엽 레벨이 약 23 dB가 얻어졌으며, 대칭적인 E-면과 H-면이 빔 패턴이 얻어졌음을 알 수 있다.

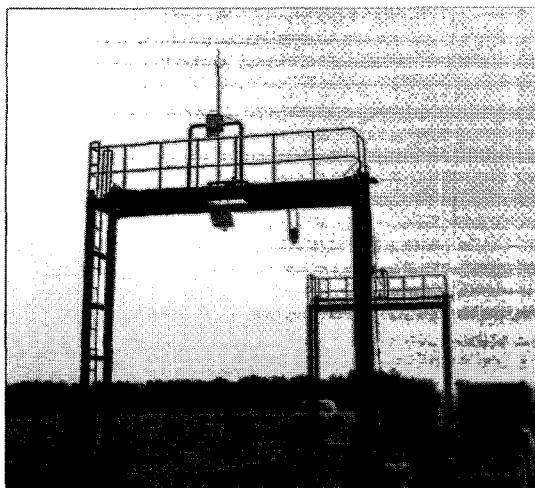
그림 8의 3)은 축비특성을 보여주고 있다. 측정 결과 2.6 dB로 원형 편파 안테나로 동작을 하고 있음을 보여주고 있다.

안테나의 패턴 측정은 전파 무반사실에서 수행하였으며, 제작된 안테나 이득은 표준 혼(Horn) model 3115인 double ridged guide 안테나와 측정 안테나의 수신 세기를 비교하여 17dBi를 얻었다. 표 5는 방사패턴을 통한 통신 영역을 계산하기 위해 레벨에 따른 빔 폭 특성을 보여주고 있다.

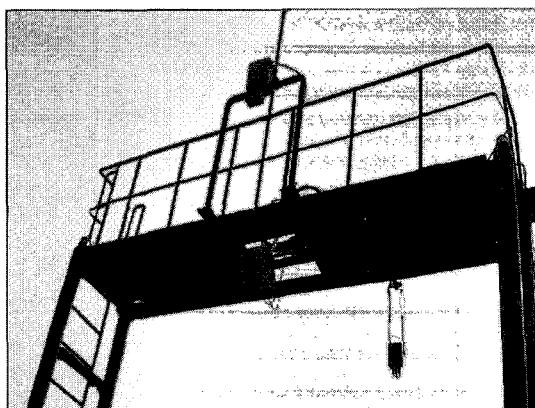
〈표 5〉 5.8 GHz에서 측정된 방사패턴

Item	E-plane	H-plane
-3dB	21.6°	23.2°
-10dB	38.0°	41.0°
-15dB	46.0°	46.2°
-20dB	49.0°	55.0°

그림 9의 1)은 여주의 고속도로 시험장에서 ETCS gantry 모습을 보여주고 있으며, 그림 9의 2)는 RSE용 기지국 안테나가 설치된 모습을 보여주고 있다[9]. 안테나의 설치는 3.5m 도로 폭 내에서 최대 8m 거리내에서 통신 영역이 확보될 수 있도록 30° 정도 지면으로 기울여 장착되었다.



1) ETCS Gantry 모습



2) RSE Antenna 모습

〈그림 9〉 Gantry 및 RSE용 기지국 안테나

V. 결 론

본 논문에서는 ETCS 시스템에서 적합한 RSE용 기지국 안테나를 설계하고 그 특성을 측정하였다. 도로 폭과 정보 교환 시간에 적정한 진행 방향의 길이를 갖는 범 패턴을 가지도록, 방사 패치 각각의 요소는 Taylor distribution을 적용하였다. 금 전망은 병렬과 직렬 급전 구조를 병행 사용하였다. 메인로브와 사이드로브 차이가 -23 dB인 Taylor 분포된 안테나 특성을 얻었으며, 측정 이득은 약 17

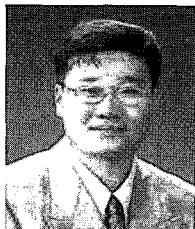
dBi를 얻을 수 있었다. 이를 결과는 시뮬레이션 값들과 잘 일치하였다.

제작된 ETCS용 기지국 안테나는 길이 방향 통신 영역 확보를 위해 그림9의 2)와 같이 적정 각도로 틸팅 설치하여 통신 거리를 확보할 수 있다. 따라서, 설치의 편의성을 위해 범 틸팅과 범 성형 및 조형이 가능한 안테나 기술 개발이 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] *ITS Architecture, Performance and Benefits Study.* US DOT, FHA, June 1996.
- [2] Lee Armstrong. *DSRC Requirements and Constraints.* October 1997.
- [3] 고진현, 김남기, 하재권, “ETCS의 RSE용 저부엽 마이크로스트립 배열 안테나 설계 및 제작”, (사)한국ITS학회, 제2회 한국 ITS학회 추계학술대회, 아주대학교, 2003.11.8
- [4] Taylor, T.T., "Design of line-source antennas for narrow beam width low side lobes." *IRE Trans. Antenna Propagat.*, Vol. AP-3, pp.16-28, 1955.
- [5] Rhodes, D. R., "On the Taylor distribution." *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-20, No. 2, pp.143-145, 1972.
- [6] 하재권, “Development of Antennas for ETC,” (제4차) ITS정보통신기술 워크샵, pp.123-137, 2003.
- [7] C. A. Balanis, *Antenna Theory*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997.
- [8] J. R. James and P. S. Hall. *Handbook for Microstrip Antennas.* IEE Electromagnetic Waves, Series 28. 1989.
- [9] 하재권, “ETCS용 RF 링크 설계와 안테나 범 패턴에 의한 통신 영역 연구,” (사)한국ITS학회, 제2회 한국 ITS학회 추계학술대회, 아주대학교, 2003.11.8

〈저자소개〉



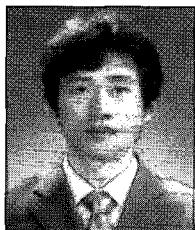
고 진 혼(Jin-Hyun, Ko)

1998년 2월 : 목원대학교 정보통신공학과(정보통신공학사)

2000년 2월 : 목원대학교 대학원 정보통신공학과(정보통신공학석사)

2000년 6월 ~ 현재 : 블루웨이브텔(주) 선임연구원

<관심분야> Antenna and RF circuits for ITS system, Multi-band antenna, Satellite DBS antenna, Beam tilting antenna

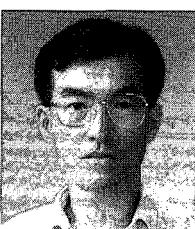


김 남 기(Nam-Ki, Kim)

2002년 8월 : 목원대학교 전자공학과(공학사)

2002년 7월 ~ 현재 : 블루웨이브텔(주) 전임연구원

<관심분야> 안테나 설계, RF 수동소자



하 재 권(Jae-Kwon, Ha)

1980년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)

1982년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

2003년 2월 : 충남대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1994년 ~ 1998년 : 한국전자통신연구원 무선방송연구소 선임연구원

1989년 ~ 1990년 : Rockwell International(Texas, USA) Visiting Engineer

1998년 ~ 2000년 : 목원대학교 정보통신공학과 Brainpool 교수(정보통신부)

1999년 10월 : 제1회 정보통신 벤처 창업 경진대회 입상(정보통신부)

2000년 6월 ~ 현재 : 블루웨이브텔(주) 대표이사

2001년 8월 ~ 현재 : IT 국제 표준화 Antenna and RF 전문가 (ITU-R, 정보통신부)

<관심분야> Antenna and RF circuits for ITS system, Multi-band antenna, Satellite link and earth station, DBS antenna, Ultra-wideband antenna, Tilted beam antenna