

ETCS의 RSE용 저부엽 마이크로스트립 배열 안테나 설계 및 제작

Design and Fabrication of Microstrip Array Antenna with Low Sidelobe for RSE of ETCS Amplifier

고진현 (블루웨이브텔(주), 연구원) 김남기 (블루웨이브텔(주), 연구원) 하재권 (블루웨이브텔(주), 대표이사)

Key Words : ETCS, RSE, OBU, Low Sidelobe antenna, Taylor distribution, Communication Zone, Base station

목 차

- I. 서 론
- II. ETCS 시스템 및 기지국 안테나 설계 요구 규격
- III. 안테나 설계
 - 1. 기본 안테나 설계
 - 2. 배열 안테나 설계
- IV. 제작 및 측정결과 분석
- V. 결 론

I. 서 론

교통 체증 완화와 교통 안정성, 그리고 운전자의 편의성 등을 고려한 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 이미 1980년대부터 활발한 투자와 연구 개발을 진행해 왔다. 국내에서도 1994년 건설교통부 주관으로 ITS 기본 계획이 연구되면서, 2001년 3월 'ITS 기본 계획 21'을 확정하였다. 최근 한국도로공사의 ETCS 도입과 지방자치단체 등의 ITS 서비스 도입 활성화 등으로, 관련 산업은 점차 사업성 및 시장성에 기반하여 민간 기업들의 참여를 통한 인프라뿐만 아니라 ITS를 구성하는 하부시스템, 단말, 서비스, 콘텐츠와 같은 응용 시스템 개발 분야로 급속하게 확산되어 발전되고 있는 실정이다.

본 논문에서는 이와 같은 ITS 서비스 구성 요소 중의 하나인 ETCS(Electronic Toll Collection System)[2]에서 RSE(Road Side Equipment) 기지국 gantry에 장착되어 이동체와 무선 통신 링크를 연결해 주는 RSE용 안테나를 설계 및 제작하고 그 특성을 측정하였다. 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 빔 패턴 특성이 아주 중요하다. 따라서, 본 논문에서는 5.8GHz 대역의 평판 배열 안테나 구조에서 -20dB 이

상의 저 부엽 특성과 3.5 m 도로 폭에 적절한 빔 폭을 얻을 수 있는 안테나를 설계 제작하였다. 이 안테나는 다른 이동체의 표면 반사에 의한 multipath 신호 영향을 최소화하기 위해 원형편파를 채택하고, Taylor distribution[3][4]을 이용하여 방사 소자에 전력 급전을 통해 저 부엽 특성을 구현하였다.

II. ETCS 시스템 및 기지국 안테나 설계 요구 규격

DSRC 기반의 ETCS 시스템의 사양은 <표 1>과 같다.

<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

ETCS 기지국 안테나는 도로의 폭에 적용되는 빔 폭과 길이 방향으로도 수 m 이상의 빔 폭을 가져야 하며, 다른 이동체의 표면 반사에 의한 multipath 신호 영향을 최소화하기 위해 우원형 편파 특성이 요구된다.

<표 2> DSRC 기반의 ETCS 기지국 안테나 요구 규격[5]

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

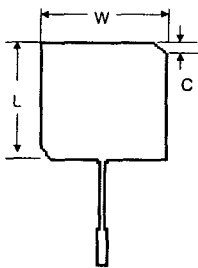
ETCS에서 도로변에 설치된 노변통신장치(RSE: Road Side Equipment)의 안테나는 차량에 설치된 차량통신장치(OBU: On Board Equipment)와 특정 영역 범위 안에서만 통신이 가능하도록 빔 영역이 제한되지만, OBU에 장착되는 안테나는 설치 위치와 장소에 따라라도 기지국간의 통신이 원활하게 이루어지도록 가능한 넓은 빔폭의 단일 패치 안테나가 요구된다. ETCS의 RSE 기지국용 안테나 요구 규격은 <표 2>와 같다.

III. 안테나 설계

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($\epsilon_r=2.6$, $H=20\text{mil}$)을 이용하였으며, MOM(Method of Moment)방식의 상용화 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.[6]

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

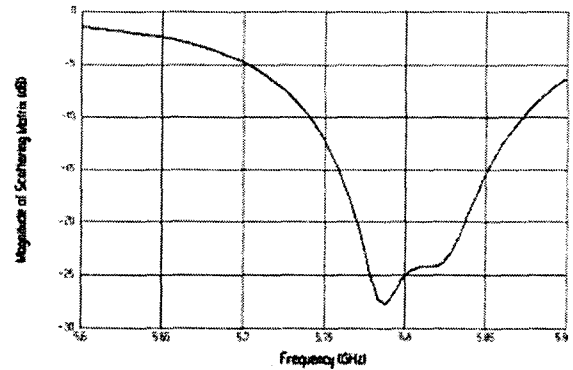


<그림 1> 단일 패치 안테나 설계

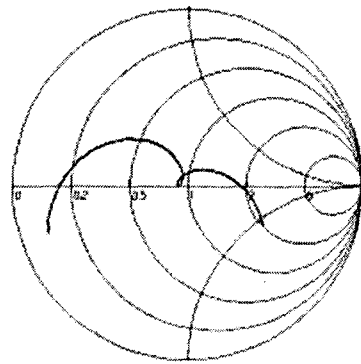
<표 3> 단일 패치 안테나 설계 사양

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

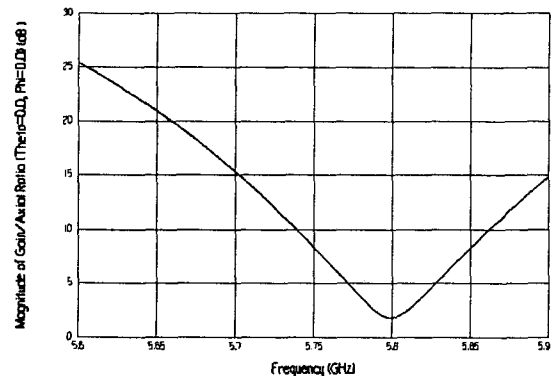
그림2는 기본 단일 안테나의 반사계수 시뮬레이션 특성으로 5.80GHz 중심으로 100MHz 이상의 광대역 임피던스 매칭이 이루어 졌음을 알 수 있다. 축비 또한 대역이 협대역이라는 단점이 있지만 중심주파수 5.8 GHz에서 1.5 dB ~ 2 dB 이내로 축비특성은 양호하다.



1) 단일 안테나의 반사계수



2) 단일 안테나의 입력 임피던스 특성



3) 단일 안테나의 축비 특성

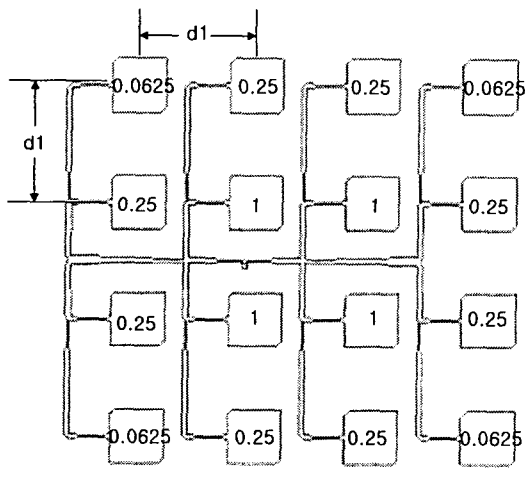
<그림 2> 단일 안테나 시뮬레이션 결과

2. 배열 안테나 설계

단일 안테나의 설계를 기본으로 배열 안테나가 설계되며, 주 빔의 폭과 전체 이득 규격에 따라서 안테나 방사 소자 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 소자 간의 상호 결합과 급전 라인 자체의 방사 효과 등으로 원하지 않는 부엽 레벨이 증가할 뿐만 아니라, 좌우 빔 패턴의 비대칭 특성이 나타나게 된다. ETCS 기지국용 안테나의 가장 중요한 요구 규격은 낮은 부엽 레벨을 얻는 것이므로, 방사 소자 각각의 공급 전류의 weighting factor 제어를 통해 낮은 부엽을 얻도록 하였다.

배열 구조에 방사 소자 증가로 안테나의 이득은 증가하여 좁은 빔 폭을 얻을 수 있지만, 다수의 부엽이 발생하게 된다. 따라서, 본 논문에서는 적정한 빔 폭과 낮은 부엽 레벨을 얻기 위해, 방사 소자의 간격과 Taylor distribution 배열 방법을 병행하여 전체 배열 구조를 설정하였다. 이때 위상이 일정하도록 패치간 거리는 $\lambda g = 35 \text{ mm}$ 로 유지하였다. 제작된 안테나의 급전 망은 그림 3과 같이 병렬-직렬 구조로 설계되었다. 이러한 설계 방법은 일반적인 병렬 급전보다 임피던스 대역폭이 좁아질 수 있다. 이와 같은 특성은 주파수 변화에 따른 λg 값 변화가 병렬 급전 구조보다 크기 때문에, 각각의 방사 소자의 급전 전류 위상 변화가 크게 영향 받는다. 이에 따라 빔 패턴의 광대역 특성을 얻기가 어려운 단점이 있다. 그러나, ETCS의 RSE용 안테나와 같이 E-Plane과 H-Plane의 빔 패턴이 서로 다른 특성을 얻기 위한 배열 구조에서는 배열 수를 서로 달리하거나 상기와 같은 방법을 적용하여 원하는 비대칭 빔 패턴 특성을 얻을 수 있다.



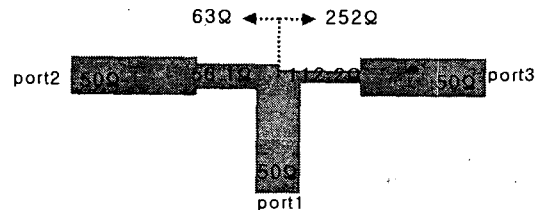
<그림 3> 제안된 안테나 구조와 테일러 분포

<표 4> 부엽 준위의 설계값이 -25 dB인 경우

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

각 안테나 소자에 계산된 값의 전류크기를 급전하기 위해 전력분배기의 폭을 좌우 비대칭으로 하여 임피던스를 각각 다르게 설계하고 전체 급전선로를 구성한다[7]. Taylor distribution을 적용하여 전력 분배된 배열 소자들은 표 4와 같은 weighting factor를 적용하여 -25dB의 부엽 준위를 얻을 수 있다. 전력 크기는 최소크기에 대한 상대적인 값이다. 최종 급전은 배열의 중앙에 50 Ω Probe 급전으로 SMA 커넥터를 적용하였다.

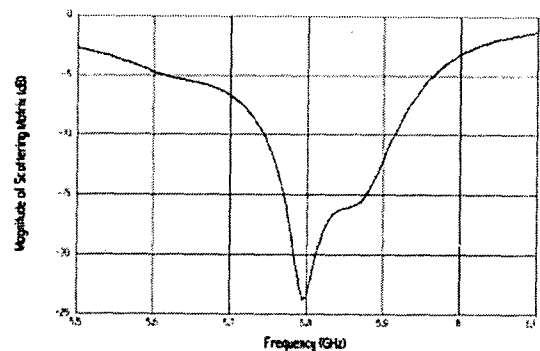
배열 급전의 기본적인 전력 분배기는 그림 4와 같다. 3-Port 모두 50Ω으로 정합시키고 전력은 1:4로 분배하기 위해 $\lambda/4$ 임피던스 변환 공식 $Z_1 = \sqrt{Z_L Z_0}$ 을 이용하였으며, 포트 2와 포트3 측에는 56.1Ω과 112.2Ω의 $\lambda/4$ 임피던스 변환 선로가 접속된다. 여기서, Z_1 은 Z_L 과 Z_0 의 기하학적 평균이다.



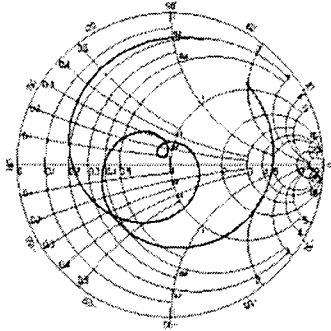
<그림 4> 1:4 전력 분배기 설계

배열소자가 증가할수록 이득이 증가하지만, 이에 따라 급전 라인도 증가하게 된다. 급전라인 증가와 그에 따른 손실 증가는 배열이 많아질수록 이득이 면적에 비례하여 증가하지 않지만, 방사 효율 감소에 의한 임피던스 대역폭이 증가하는 현상이 나타나게 된다. 따라서, 단일 방사 소자 및 배열 급전 라인의 임피던스 매칭 방법과 배열 구조를 적절하게 조합하여 원하는 빔 패턴과 이득을 구현하는 것이 중요하다.

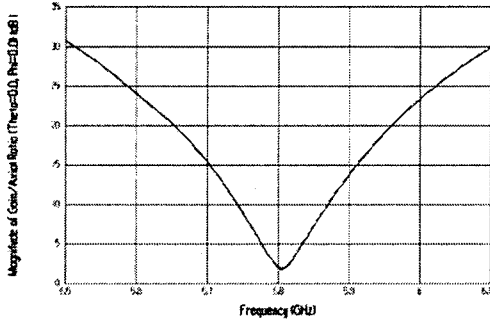
그림 4에서는 설계된 전력분배기를 이용해 4X4 배열 구조로 확장시킨 안테나를 시뮬레이션한 결과이다. 배열안테나 역시 단일 안테나의 특성을 따라가기 때문에 임피던스 매칭이 단일 소자와 거의 유사함을 알 수 있다. 측비 특성은 1.5 dB ~ 2 dB 이내로 양호하다. 방사패턴은 메인로브와 첫 번째 부엽의 레벨차이가 약 25 dB로, 설계하고자 했던 방사패턴을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.



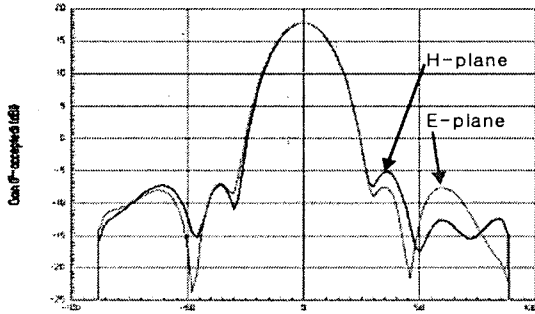
1) 4x4 안테나의 반사손실 특성



2) 4x4 안테나의 입력임피던스 특성

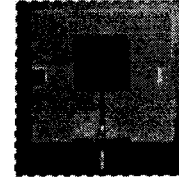


3) 4x4 안테나의 축비 특성

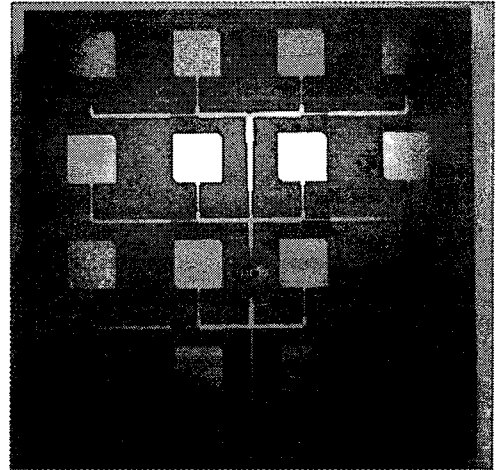


4) 4x4 안테나의 방사패턴 특성

<그림 5> 제안된 배열 안테나의 시뮬레이션 결과

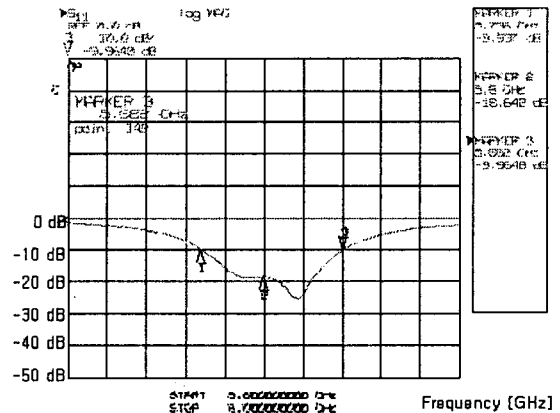


1) 단일안테나

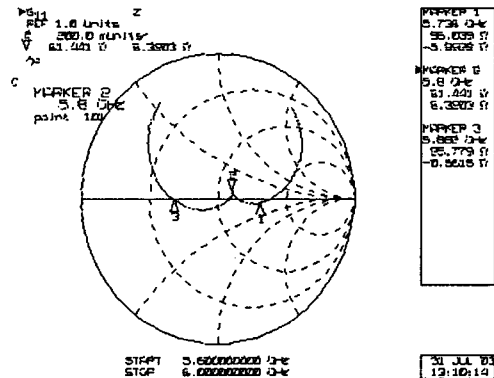


2) 4x4 안테나 (150mm x 150mm)

<그림 6> 제작된 안테나 사진



1) 제작된 단일안테나의 반사계수

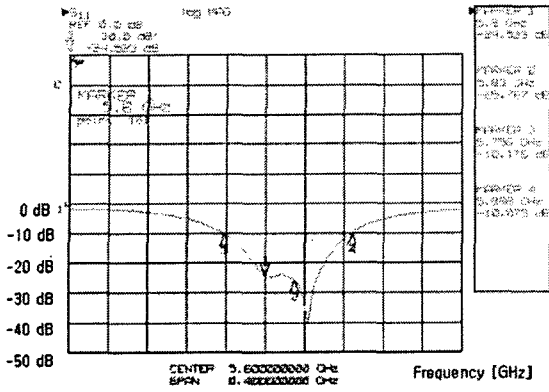


2) 제작된 단일 안테나의 입력임피던스 특성

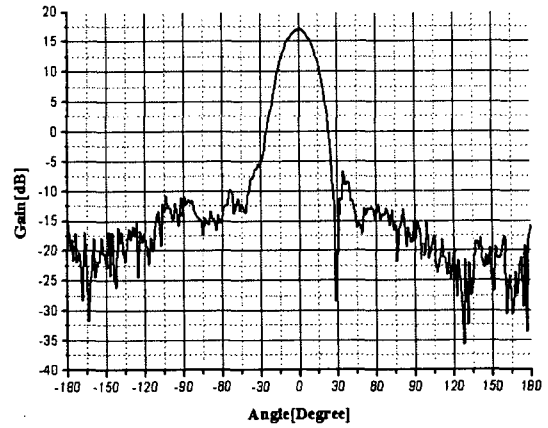
IV. 제작 및 측정결과 분석

설계된 단일 안테나 및 4x4 배열 안테나는 그림 6과 같다. 당사의 필름 제작 시설과 에칭 장비, 그리고 그동안 축적된 설계 기술과 제작 기술과의 오차를 극복할 수 있는 경험으로 0.02mm 이내 오차의 선폭과 패치 설계 제작이 가능하였다. 그림6은 제안된 안테나의 실제 제작된 모습이다. 측정은 HP 8510C Network Analyzer를 이용하였다. 제작된 단일 안테나와 마이크로스트립 어레이 안테나의 반사손실 및 입력임피던스는 그림 7과 같다.

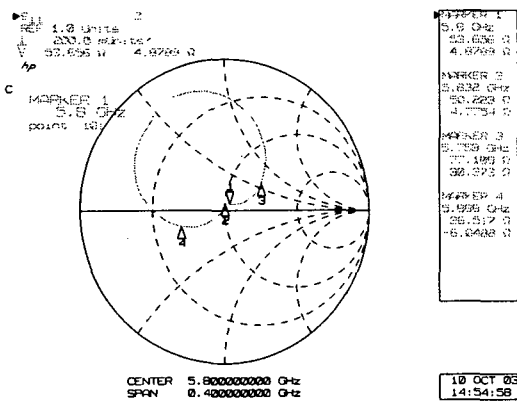
측정결과는 시뮬레이션에서 얻은 특성들과 거의 동일함을 알 수 있었다. 반사 계수의 그래프와 입력 임피던스의 추이를 살펴보면 시뮬레이션과 비교했을 때 13 MHz~32 MHz 정도의 주파수 편이는 있으나 제작된 안테나의 대역폭이 시뮬레이션 결과값 보다 조금 넓어졌음을 알 수 있다.



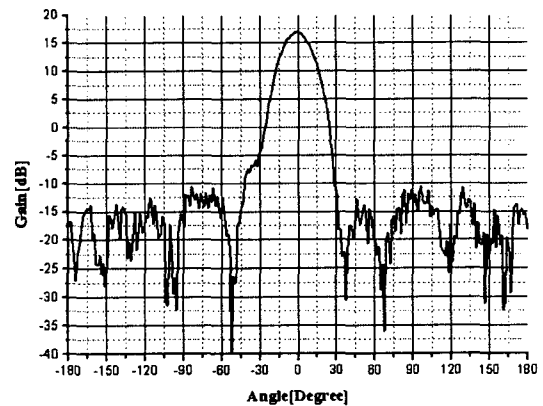
3) 제작된 4x4 안테나의 반사계수 특성



1) 4x4 안테나의 E-plane 복사패턴



4) 제작된 4x4 안테나의 입력 임피던스 특성



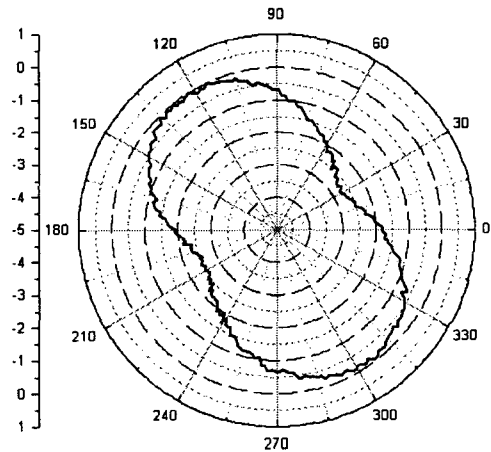
2) 4x4 안테나의 H-plane 복사패턴

<그림 7> 제작된 안테나 성능 측정 결과

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

시뮬레이션 결과와 비교해 볼때, 패턴의 모양은 거의 비슷하나, 주 빔과 첫 번째 사이드 로브사이의 레벨차이가 시뮬레이션 시에는 부엽레벨이 -25 dB까지 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.



3) 4x4 안테나의 축비특성

<그림 8> 방사 패턴 측정 결과 (5.8 GHz)

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.

V. 결론

본 논문에서는 ETCS 시스템에서 적합한 RSE용 기지국 안테나를 설계 제작하고 그 특성을 측정하였다. 도로 폭과 정보 교환 시간에 적절한 진행 방향의 길이를 갖는 빔 패턴을 가지도록, 방사 패치 각각의 요소는 Taylor distribution을 적용하였다. 급전망은 병렬과 직렬 급전 구조를 병행 사용하였다. 메인 로브와 사이드로브 차이가 -23 dB인 Taylor 분포된 안테나 빔 패턴 특성을 얻었으며, 측정 이득은 약 17 dBi를 얻을 수 있었다. 이들 결과는 시뮬레이션 값들과 잘 일치하였다.

제작된 ETCS용 기지국 안테나는 길이 방향 통신 영역 확보를 위해 적정 각도로 틸팅 설치하고 도로 폭 방향의 통신 영역 확보를 위해 감쇄기와 고유 빔 폭을 활용하게 된다[8].

따라서, 설치의 편의성을 위해 빔 틸팅과 빔 성형 및 조형이 가능한 안테나 기술 개발이 요구된다.

참고문헌

1. ITS Architecture. Performance and Benefits Study. US DOT, FHA, June 1996.
2. Lee Armstrong. DSRC Requirements and Constraints. October 1997.
3. 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.
4. Rhodes, D. R., "On the Taylor distribution." IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. AP-20, No. 2, pp.143-145, 1972.
5. 하재권, "Development of Antennas for ETC," (제4차) ITS정보통신기술 워크샵, pp.123-137, 2003.
6. C. A. Balanis, Antenna Theory, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997.
7. J. R. James and P. S. Hall. Handbook for Microstrip Antennas. IEE Electromagnetic Waves, Series 28. 1989.
8. 하 재권, "ETCS용 RF 링크 설계와 안테나 빔 패턴에 의한 통신 영역 연구," (사)한국ITS학회, 제2회 한국 ITS학회 추계학술대회, 아주대학교, 2003.11.8