

ETCS용 RF 링크 설계와 안테나 빔 패턴에 의한 통신 영역 연구

Design of the RF Link Design for ETCS and Study on the Communication Zone by the Antenna Beam Pattern

하재권
(블루웨이브텔(주), 대표이사)

안동현
(ETRI, 책임연구원)

임춘식
(ETRI, 책임연구원)

Key Words : RF Link, ETCS, RSE, OBE, DSRC, Communication Zone, Beam Pattern, Base Station Antenna

목 차

- I. 서 론
- II. ETCS 기지국의 전기적 및 기계적 요구 규격
- III. ETCS 기지국 RF 링크 계산을 위한 변수
- IV. RSE 안테나 빔 패턴에 의한 통신 영역 분석
- V. 결 론

I. 서 론

고속 도로 상의 교통 체증이 심각한 문제로 대두되면서, 요금징수 과정에서 발생하는 교통 정체 문제를 해결할 수 있는 ETCS (Electronic Toll Collection System)^[1] 서비스에 많은 관심이 집중되고 있다. 이미 교통 혼잡도가 심각한 유럽, 미국, 일본 등의 일부 국가에서는 이와 같은 ETCS 서비스를 도입하여 운영 중에 있다. 국내에서도 한국도로공사가 능동형 적외선(IR) 방식 ETCS 사업자를 선정하였으며, 능동형 무선 주파수(RF) 방식 단거리전용통신(DSRC) 기술에 기반한 ETCS 구축 사업자 선정 작업을 추진하고 있다.

따라서, 본 논문에서는 능동형 무선 주파수 방식의 DSRC 기술에 의한 RF 링크 설계와 이에 따른 통신 영역 설정에 대한 기술적 분석이 연구되었다. 이와 같은 링크 설계 및 분석 기술은 DSRC 기반의 모든 ITS 서비스용 RF 링크에 적용될 수 있으며, RF 설계 요구 규격에 의한 전체 시스템 설계에 활용이 가능하다.

현재 채택되고 있는 ETCS 시스템은 이동체 대쉬 보드에 장착되는 OBU 단말과 RSE에 설치되는 통신용 주 장비, gantry, 안테나 시스템, 그리고 전원장치 등으로 구성된다. 따라서, 시스템 엔지니어는 효율적인 시스템 구축을 위해 각각의 장치 구성과 이에 따른 기술 규격과 준비 기간 등을 고려하여 표 1과 같은 비중으로 적절한 소요 예산을 분배할 필요가 있다^[2].

새로운 통신 방식에 의한 ETCS 기지국 구축 사업은 초기 계획 단계에서부터 설치된 시스템의 성공적인 동작 운용에 이르기까지 다음과 같은 주요 단계들로 구성된다.

1) 사업 팀 구성

- 2) 시스템 요구 규격 결정
- 3) 비용 계산
- 4) 예산 확보
- 5) 비용과 통신 성능 고려한 기지국과 위치 선정
- 6) 최근 기술 및 Solution 조사
- 6) 입찰 요구 제안서 준비
- 7) 입찰 제안 요청과 제안서 평가
- 8) 계약 서명 문서
- 9) 사업 수행
- 10) 최종 승인

본 논문은 상기 2) 항에서 정의되어야 하는 사항으로, 기술적인 시스템 요구 규격 결정을 위해 가장 먼저 수행되어야 하는 일련의 과정이다. 이 과정을 통해 시스템 전체 비용과 성능의 trade-off이 가능하게 되므로 가장 기본적이고 중요한 기술 분석 과정이기도 하다.

<표 1> ETCS 기지국 구축 사업 항목과 중요도

Contents	Category(%)
Main Equipment	22
Ancillary Equipment	15
Antenna System	8
Spare Parts	3
Test Equipment	3
Installation&Testing	10
Training	1
Power Plant	15
Gantry	23

II. ETCS 기지국의 전기적 및 기계적 요구 규격

국내 ETCS용에 적용되는 시스템의 전기적 규격은 표 2와 같으며, 기계적인 규격은 표 3과 같다.

<표 2> ETCS용 물리 계층 규격[2]

Items	Specifications
Carrier Freq.	5.80GHz
Bandwidth	10MHz
Coverage	3-200 m
BER	10^{-5}
RF Power in RSE	10mW
RF Power in OBU	10mW
RF Signal Dynamic Range	-40dBm ~ -75dBm
Polarization	RHCP
Modulation	ASK /Manchester Line Coding
Data Rate	1.024Mbps

무선 방식에 의한 능동형 DSRC 기술은 강우와 안개, 먼지 등의 장애에도 불구하고 신호의 전달 특성이 우수하다. 특히 다른 이동체 및 지형으로부터 반사되는 신호에 의한 통신 및 간섭을 최소화하기 위해 원형 편파를 채택하고 있다.

<표 3> Mechanical requirements for ETCS base station

Items	Specifications
Operational wind speed	110Km/h~180Km/h
Survival wind speed	180Km/h~250Km/h
Ice load	Max. height of 3Cm ice or 900Kg/m ³
Operation temp.	-30°C~+60°C
RF Feeder	Shielded Coaxial Cable
Radome Type	<1 dB Loss Hermetically closed
Height of antenna	4.5m ~ 5.5m

III. ETCS 기지국 RF 링크 계산을 위한 변수

같은 채널 혹은 다른 채널 성능 보장을 위한 전송 거리 계산은 상향 및 하향 통신 링크의 최소 요구 수신 신호 레벨과 송신 전력의 계산에서 출발한다. 다음으로는, 간섭 신호 레벨

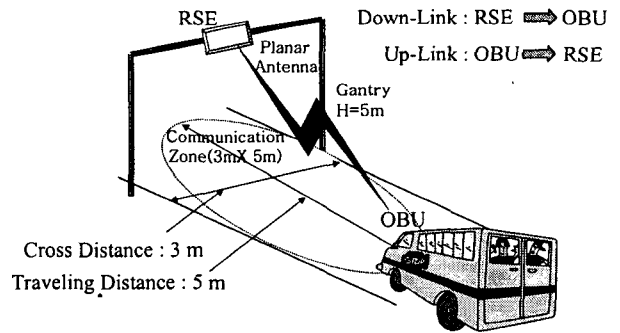
이 결정되며, 이는 사용된 변조 및 코딩 방식, 전송 데이터 속도, 잡음 지수, 통신용 링크의 요구 BER의 함수이며, 이를 통해 최소 성능 확보를 위한 신호 레벨의 마진이 결정된다. 따라서, 본 논문에서는 RF 신호 레벨에 의한 링크 분석만을 다루기로 한다

그림 1과 같은 통신 영역에서 하향 링크의 OBU가 수신하는 신호 레벨은 다음과 같이 계산된다.

$$P_R = P_0 G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 L_1 L_2 L_3 L_4 L_5$$

여기서,

- P_R = Received power at the OBU
- P_0 = Output power at the RSE
- G_T = TX(RSE) antenna gain
- G_R = RX(OBU) antenna gain
- λ = Free space wavelength at the carrier frequency(of 5.8 GHz = 5.17 cm)
- R = Distance between the RSE and OBU
- L_1 = Loss due to the radome and connection in the RSE(-1 dB)
- L_2 = Loss due to the radome and connection in the OBU(-1 dB)
- L_3 = Loss due to the windscreen of the vehicle(-3 dB)
- L_4 = Loss due to the RSE acceptance angle(-3 dB)
- L_5 = Loss due to the OBU acceptance angle(-3 dB)



<그림 1> Communication Zone for ETCS

ETCS 기지국의 5 m 높이 gantry에 안테나가 설치되고, 주 빔의 센터가 진행 방향 5m 지점을 지향할 때, $R = 5.6m$ 가 된다. 이 때, 5.8GHz 반송파를 사용하는 신호의 자유 공간 손실은 62.7dB가 되며, 다음과 같은 수식을 이용하여 계산된다.

$$\begin{aligned} \text{Loss of Free Space} &= 10 \log (4 R\pi/\lambda)^2 \text{ [dB]} \\ L_s \text{ [dB]} &= 20 \log(4\pi) + 20 \log R + 20 \log f \\ &\quad - 20 \log(3 \times 10^8) \end{aligned}$$

즉, 자유공간 손실은 거리와 주파수에 비례하는 함수이므로, 더 낮은 주파수를 사용한다면, 자유 공간 손실은 줄일 수 있다. 그러나, 안개나 강우에 의한 손실 등은 증가할 수 있다. 표 4는

5.8GHz에서 거리에 따른 자유 공간 손실 정도를 나타낸다.

<표 4> Loss of free space vs distance on 5.8GHz

Distance(m)	Loss of Free Space(dB)
1	47.7
5	61.7
10	67.7
100	87.7
1000	107.7

표 5는 하향 링크의 OBU가 수신하는 신호 레벨을 계산한 결과이다. 만약, OBU의 동작 범위가 -45dBm - -75dBm이라면, 적정 통신 영역 확보를 위해 RSE 기지국의 RF 신호를 1.3dB에서 31.3dB의 감쇄가 필요하다. 이와 같은 감쇄는 안테나 부엽 레벨에 의한 이웃 lane에서의 통신을 방지할 수 있는 마진을 확보하기 위해 적절하게 조정한다^[3].

상향 링크의 RSE가 수신하는 신호 레벨 계산은 표 2와 같은 시스템 규격에서는 하향 링크와 동일한 수신 특성을 얻게 된다. 이는 RSE와 OBU가 동일한 송신 출력과 수신 성능의 RF-front end 모듈이 사용되고 있는 경우이다. 유럽 표준 규격에서는 상향 링크의 RSE의 sensitivity가 OBU보다 50dB 이상 민감하도록 설계된다^[1].

<표 5> Receive power at OBU

No.	Contents	Spec.	Remark
1	RSE 출력	10dBm	
2	OBU 안테나 이득	4dBi	
3	RSE 안테나 이득	16dBi	
4	자유공간 손실	62.7dB	
5	기타 총 손실	11dB	지향/유리창 /레이돔 손실
6	OBU 수신 레벨	-43.7 dBm	1+2+3-4-5

또한 전파는 지표와 이동체 표면 물질에 따라서 감쇄된 반사파에 의한 multipath fading이 발생되며, 이동체에 탑재된 화물의 종류에 의해서도 반사파가 발생된다. 매질에 따른 신호의 감쇄는 1.8GHz를 사용하는 경우에는 표 6과 같으며^[4], 5.8GHz인 경우에는 $f^{1/2}$ 에 비례하여 많은 감쇄가 발생하게 된다. 그러나, ETCS 서비스에서는 RHCP 편파를 사용하기 때문에 반사파에 의한 전파의 편파는 LHCP가 되어, 교차 편파 특성이 우수한 OBU 안테나를 장착할 경우에는 25dB 이상 감쇄된 신호가 입력되어 다중경로 fading 현상은 무시할 수 있다.

<표 6> Loss of free space vs distance on 5.8GHz

Material	Attenuation(dB)
Wood(depth=5 mm)	2.5~3.5
Plastic board	0.2~3.5
Concrete block	8.0~15.0
Glass wool heat insulation	38.0

IV. RSE 안테나 빔 패턴에 의한 통신 영역 분석

ETCS 기지국용 RSE 안테나는 그림 2와 같이 5m 높이의 gantry에 수평면에 대해 30° 기울어진 상태로 설치된다. 표 7은 안테나가 5 m 높이 설치되었을 경우에, 이동체 진행 방향에 있어서 측정된 빔 패턴을 이용하여 빔 각도에 따른 OBU 수신 레벨 변화를 분석한 것이다.

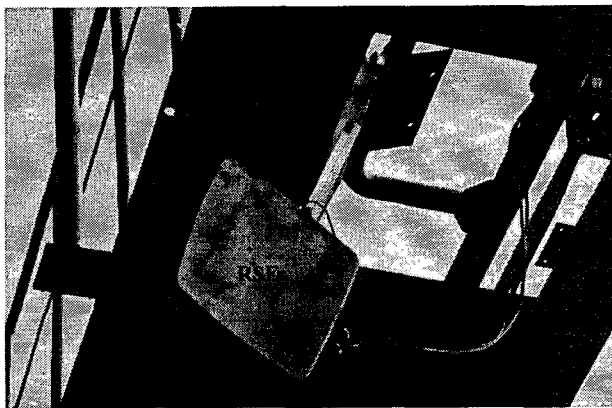
<표 7> 빔 패턴에 의한 OBU 수신 레벨

빔 각도	60°	30°	0°	-30°	-60°	비고
패턴 레벨	-17	-10	0	-10	-18	[dB]
지면상 빔 센터 거리	무한대	8.7	2.5	0	-2.5	[m]
전파 도달 거리[m]	100	10	5.6	5	5.6	
자유공간손실[dB]	87.7	67.7	62.7	61.7	62.7	
OBU수신 레벨 dBm	-85.7	-58.7	-43.7	-52.7	-61.7	
Margin [dB]	0	27	42	33	24	OBU 레벨 = -85.7dBm

제작된 안테나의 틸팅 설치 각도를 이동체가 진행해오는 방향으로 기울이는 경우를 +방향으로 잡으면, 측정된 빔 패턴이 +60° 이면(-17 dB) 이 빔 레벨은 지면과 평행한 방향이 된다. 또한, +30° 방향의 빔은 주빔보다 -10 dB 작은 세기로 10m 거리의 지면에 도달하게 되고, 이때의 자유 공간 손실은 67.7dB가 된다. 따라서, 표 5의 규격에 의한 10mW RSE 신호세기와 안테나 이득(16dBi), OBU 안테나 이득(4dBi), 그리고 misalignment와 레이돔 및 이동체 전면 창 등에서 발생하는 총 손실(11dB)를 고려하여 OBU가 수신하는 레벨은 -58.7dBm이 된다. 이 레벨은 OBU의 기준 dynamic 레벨을 -85.7dBm으로 잡을 경우에는 27dB 정도의 마진이 발생하게 된다. 따라서, ETCS용 기지국 안테나는 도로 폭과 정보 교환에 요구되는 최대 시간과 이동체 최대 속도에 의한 빔 패턴 규격이 정의되고, 이를 만족할 수 있는 배열 구조의 안테나가 설계 제작되어야 한다^[5].



(a) Gantry for RSE



(2) Installation of RSE antenna

<그림 2> Gantry and antenna

V. 결 론

본 논문에서는 ETCS용 기지국의 RF 링크를 분석하고, 이 결과와 안테나 빔 패턴 정보를 이용하여 통신 영역을 결정하는 방법에 대해 기술하였다. 이와 같은 RF 링크 설계 방법과 분석은 능동형 DSRC를 기반으로 하는 ITS 서비스의 다른 시스템에서도 RF 및 시스템의 요구 규격을 정의하기 위해 활용될 수 있다. 특히, 시스템 전체 비용과 성능의 trade-off을 위해 RF 링크 성능을 분석하는 것은 기지국 설계 및 구축에서 가장 기본적이고 중요한 기술적 분석 과정이다.

참고문헌

1. Draft European Prestandard, European Committee for Standardization(CEN), Version 4.0, Road Traffic and Transport Telematics(RTTT) Dedicated Short Range Communication DSRC-DSRC Physical Layer using Microwave at 5.8GHz, October 1995.
2. Anton A. Huurdeman, Radio Relay System, Artech House, Boston, 1994.
3. 하 재권, "Development of Antennas for ETC", (제4차) ITS정보통신기술 워크샵, (사)통신위성 우주산업연구회, 대전롯데호텔, pp.123-137, 2003.
4. Jakes, W.C., editor, Microwave Mobile Communications, IEEE Press, Piscataway, Newjersey, 1974
5. 고진현, 김남기, 하재권, "ETCS의 RSE용 저부엽 마이크로 스트립 배열 안테나 설계 및 제작", (사)한국ITS학회, 제2회 한국 ITS학회 추계학술대회, 아주대학교, 2003.11.8