

ETCS용 RF 링크 설계와 안테나 빔 패턴에 의한 통신 영역 연구

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

임 춘 식*

(Choon-Sik, Yim)

하 재 권**

(Jae-Kwon, Ha)

안 동 현*

(Dong-Hyun, Ahn)

요 약

본 논문에서는 자동요금 징수 시스템(ETCS : Electronic Toll Collection System)의 RSE와 OBU 간의 RF link 설계와 도로의 폭과 진행 방향 길이에서 적절한 통신 영역을 얻기 위해 요구되는 안테나의 빔 패턴 특성을 분석하였다. 이 과정은 능동형 DSRC를 기반으로 하는 ITS 서비스의 시스템 요구 규격을 결정하기 앞서 수행되어져야 하며, ETCS 기지국 설계 및 구축에서 가장 기본적이고 중요한 기술적 분석을 위하여 고찰하였다.

Abstract

This paper describes the design of RF link between RSE and OBU of ETCS and the analysis of the antenna beam pattern to get a proper communication area in the cross direction and traveling direction of lanes. This stage should be performed prior to determination of system requirements of ITS service based on active DSRC. This study is important and fundamental technical analysis to design and implement base station of ETCS.

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

I. 서 론

지능형 첨단교통시스템(ITS : Intelligent Transport System)의 기본개념은 통신과 차량, 도로 매체간 진보된 이동통신기술을 이용하여 접목된 새로운 개념을 도입한 지능화된 도로교통 체계이다. 그것은 정보기술, 통신기술, 센서기술 및 제어기술 등을 복합적으로 이용하여 운전자에게 교통 및 도로환경정보, 차량탑재정보, 최적경로유도 등의 차량항법, 안전운전지원

시스템, BIS, ETC 등의 관련 서비스를 실시간 또는 보조적인 정보유통을 가능하게 하는 것으로 시작되어, 최근에는 진화된 ITS 정보통신기술을 이용하여 모바일 인터넷, 게임 등의 차내에 탑승자까지도 제공 가능한 텔레매티스 정보제공 매체로 이끌어 냈다. 따라서 지능형 교통시스템을 구축하기 위해서는 양질의 ITS 정보를 수집하고 효율적으로 분배하는 시스템의 도입이 필수적이며, 현재의 발전된 정보통신기술을 이용한 ITS 전용 단거리 무선통신(DSRC)기술이 그 대안으

* 회 원 : 한국전자통신연구원 책임연구원

** 회 원 : 블루웨이브텔(주) 대표이사

† 논문접수일 : 2004년 1월 19일

로 떠오르고 있다^{[1]-[3]}. DSRC 통신방식은 차량 단말기와 노면 기지국간 무선 데이터 통신을 함에 있어 통신셀크기는 수 미터에서 수백미터이고 주파수 대역은 5.8GHz 대역을 사용하며 데이터 전송속도는 양방향 링크가 1Mbps 이상인 무선패킷통신방식이다^{[4]-[6]}. 특히, 고속도로 상의 교통 체증이 심각한 문제로 대두되면서, 요금징수 과정에서 발생하는 교통 정체문제를 해결할 수 있는 ETCS (Electronic Toll Collection System) 서비스에 많은 관심이 집중되고 있다. 이미 교통 혼잡도가 심각한 유럽, 미국, 일본 등의 일부 국가에서는 이와 같은 ETCS 서비스를 도입하여 운영 중에 있다. 따라서, 본 논문에서는 ETC 서비스 기반 무선패킷전송 방식인 능동형 DSRC 기술에 의한 RF 링크 및 안테나 설계와 이에 따른 ETC 서비스 통신 영역 설정에 대한 기술적 분석에 대하여 기술하였다. 이와 같은 링크 설계 및 분석 기술은 DSRC 적용 시스템의 모든 ITS 서비스용 RF 링크에 적용될 수 있으며, RF 설계 요구 규격에 의한 전체 시스템 설계에 활용이 가능하다.

II. ETCS 시스템 구조

ETCS 시스템은 일반적으로 이동체 대쉬 보드에 장착되는 OBU 단말과 RSE에 설치되는 통신용 주장비, gantry, 안테나 시스템, 차종분류기, 번호인식카메라 및 제어장치 그리고 전원장치 등으로 구성된다. 국내 ETCS용에 적용되는 DSRC 장치의 일반적인 물리계층 규격은 <표 1>과 같으며, 기계적인 요구규격은 <표 2>와 같다.

III. 채널 모델링

무선패킷전송방식에 의한 능동형 DSRC 기술은 강우와 안개, 먼지 등의 장애에도 불구하고 신호의 전달 특성이 우수하지만, 다른 이동체 및 지형으로부터 반사되는 신호에 의한 통신 및 간섭을 받는다. 본 논문에서 적용되는 채널 모델은 라이시안 환경하에서 적용되는 두개의 파 채널 모델을 적용하였

<Table 1> DSRC physical layer specification^[6]

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

Table 2. 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

다. 적용된 채널 모델은 매우 단순하고 ETC 서비스 환경에 적용되는 셀내에 예측되는 전력 레벨을 이기 때문에 기하학적인 구조와 외부 환경에 따라 의존되어진 셀의 설계에 매우 민감하다. 그것은 물질적인 반사계수와 전송 손실이 다중파 채널 모델이기 때문이다. 이러한 모델을 이용하여 평균 전력레벨 뿐만 아니라 수신신호의 기폭이 예상된다^[7].

<그림 1>에서 송신기로 부터 수기기까지 다중파 전파에 따라 가능한 3차원 패스를 보여 주고 있다. 다중파 모델의 전달함수 $H(f)$ 는 각 파의 전달함수 $H_i(f)$ 로 겹쳐진 것으로 식 (1)과 같이 표현 된다.

$$H(f) = H_1(f) + \sum_{i=2}^M H_i(f) \quad (1)$$

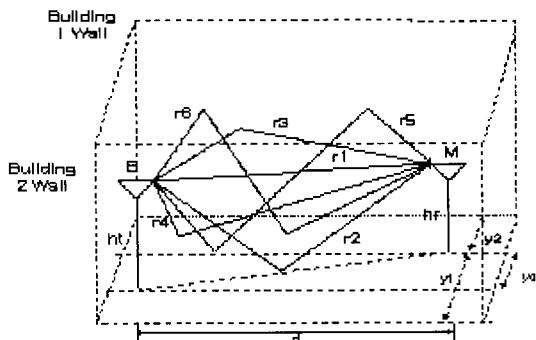


Figure 1. three-dimensional model of Multi-rays

여기서 $H_1(f)$ 는 LOS 상에서 채널 전달함수이며, $H_i, i \geq 2$ 는 반사된 파의 전달함수이다. 이러한 채널 전달함수는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$H_1(f) = \frac{\lambda \exp(-jkr_1)}{4\pi r_1} \quad (2)$$

$$H_i(f) = \frac{R_v(\xi_i) \lambda \exp(-jkr_i)}{4\pi r_i} \quad (3)$$

여기서 λ, k 는 파장과 파의 수이며, r_i 는 전파경로 길이이다. 그리고, $R_v(\xi_i)$ 는 도래각 ξ_i 의 직교화된 파의 반사계수이다. 또한 각 파의 전파길이의 절대치는 다음과 같이 표현된다.

$$r_{1,2} = \sqrt{d^2 + (h_t \mp h_r)^2 + y_o^2} \quad (4)$$

$$r_{3,4} = \sqrt{d^2 + (2y_{2,1} + y_o)^2 + \Delta h^2} \quad (5)$$

$$r_{5,6} = \sqrt{d^2 + (2(y_1 + y_2) \mp y_o)^2 + \Delta h^2} \quad (6)$$

여기서 h 는 안테나 높이와 관계된 파라메터이며, d, y 는 <그림 1>에서와 같이 셀 면적을 나타내는 파라메터이다. 수직파의 반사계수는 다음과 식과 같이 주어진다.

$$R_v(\xi_i) = \frac{\sin \xi_i - a_v \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \xi_i}}{\sin \xi_i + a_v \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \xi_i}} \quad (7)$$

여기서 ε 는 재질의 허용계수이며, $a_v = 1/\varepsilon$ 이다.

<그림 2>는 2개 파와 6개의 파에 대한 채널 모델에서 수신신호의 세기를 보여주고 있다. 사각점은 링크 버짓 계산상에서 이론적으로 계산된 전송전력 값이다. 그림에서와 같이 다중파 채널 모델은 수신된 평균 전송전력 뿐만 아니라 신호레벨의 변동을 보여 주고 있다. 이 모델을 이용하여 주위 환경과 독립적으로 평균 수신 전력이 쉽게 최대 변이로 예측된다. 본 논문에서는 예측된 도플러 주파수를 포함한 채널 모델을 적용하지 않았다.

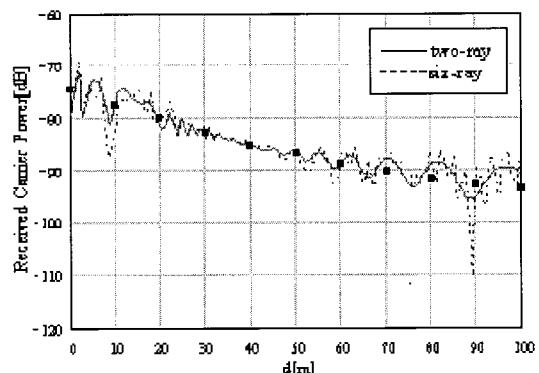


figure 2. Received Carrier Power of the two-ray and the six-ray model

IV. Antenna 기본 설계

1. Antenna 요구규격

본 논문에서 제시하는 안테나 요구규격은 <표 2>와 같은 근거로 설계하였다. 일반적으로 Friis [10] 공식에 의하면 통신 서비스 영역은 매우 넓기 때문에 가변 저항기를 이용하여 ETC 서비스 환경에 적절하게 셀 내에 전송되는 송신전력을 조정되어야 한다. 하나의 기지국을 통해 포함된 ETC 서비스 영역은 인접차선의 방해를 피하기 위하여 좁은 차선내 영역으로 나누어야 하며, 서비스 영역은 트래픽 혼잡도에 따라 선택되어야 한다. 일반적인 안테나 패턴의 윤곽은 <그림 3>와 같이 나타난다. ETC 서비스를 위한 안테나의 부엽 레벨은 인접 차선내 OBU가 가진 최대 빔 전력보다 20dB 이상 낮아야 할 것이다.

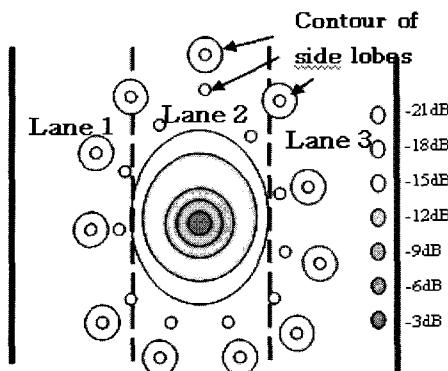


Figure 3. Contour by the beam pattern

통신 링크의 성능은 설치된 안테나의 높이, 입입 각도, 위치 및 빔 패턴에 의해 좌우된다. 그러므로 안테나의 빔 패턴의 윤곽은 통신 영역 설정하는데 중요한 요소이다. ETC용 안테나 시스템은 하나의 센트리 시설에 설치된다. 안테나의 설치, 운영 및 유지보수는 쉽고 간단해야한다. 이런 모든 조건들은 트래픽 흐름에 방해되서는 안된다.

2. 안테나 설계 및 시뮬레이션

E/H 평면에서 편파상에 찌그러진 파를 제거하기 위하여 방사 소자의 중심 사이에 간격은 5.8GHz에서 자유 공간 파장의 0.72로 선정한다. 억압된 부엽 레벨을 최소화하기 위하여, 수많은 기술들이 제안되어 있다. 채비쉐프 분배 어레이 기술이 그 중 하나이다^[11]. 기본적인 4x4개 서브 어레이 안테나 배열을 <그림 4>과 같이 제안하였다. 16개의 어레이 안테나의 계수 배

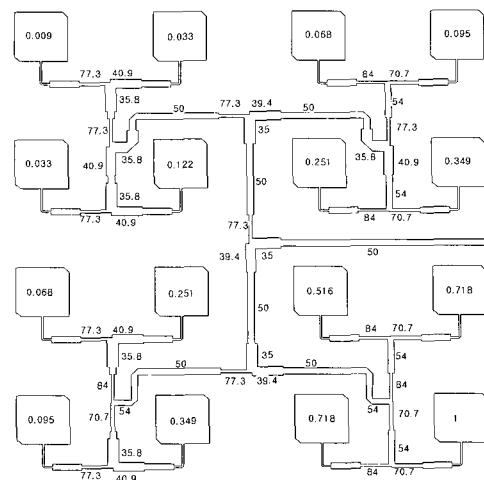


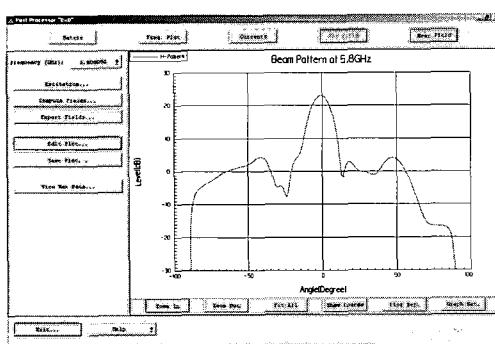
Figure 4. Structure of a 4x4 sub-array

Table 3. Dimensions of cooperative feed network

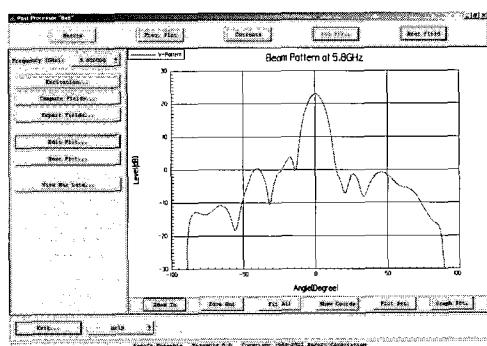
Impedance()	Width(mm)
35.0	3.10
35.8	3.00
39.4	2.60
40.9	2.50
50.0	1.80
54.0	1.60
70.7	1.00
77.3	0.85
84	0.72

분과 인입 네트워크는 2x2개 어레이 안테나로 16개 소자의 클러스터로서 64개 소자 어레이처럼 쓰여진다.

8x8개 패킷형 방사 소자와 마이크로선 인비 네트워



(a) Beam pattern in E-plane at 5.8 GHz



(b) Beam pattern in H-plane at 5.8 GHz

Figure 5. Simulated beam patterns

크는 비유전체($t=0.762\text{mm}$, $r=3.2\text{mm}$) 기판의 한 쪽면에 프린터 되어있다. <표 3>는 1/4 파장 변환기를 가진 인입 네트워크와 T-junction 전력 분배기를 나타내고 있다. 각 소자의 입력 임피단스는 1/4 파장((12.9mm) 변환기의 98.3%인 50 ohm 으로 정합되었다. <그림 5>는 시뮬레이션된 안테나의 빔 패턴이다. 비대칭성인 특성은 인입 네트워크와 손실로 인한 얻어진 결과이다. H 평면의 부엽 레벨이 E 평면보다 낮다.

5.8GHz에서 E 평면의 3dB 빔 대역폭은 $6.5^\circ \sim 6.0^\circ$ 이며, H 평면의 3dB 빔 대역폭은 $4.8^\circ \sim 5.5^\circ$ 이다. 5.8GHz에서 E 평면의 부엽 레벨은 -19.3dB에서 -41°이고, -19.0dB에서는 47° 를 얻었다. 5.8GHz에서 H 평면의 부엽 레벨은 -18°에서 -18.6dB이고, -25dB에서는 27° 를 얻었다. 임피단스 대역폭은 <그림 6>와 같이 5.76GHz ~ 5.90GHz이다.

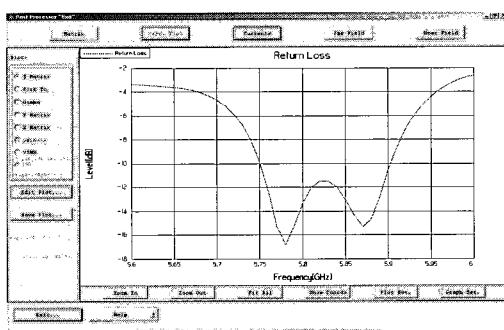


Figure 6. Simulated return loss

3. Fabrication and Experimental Results

패턴 분석기와 T-junction 전력 분배기를 이용하여 8x8개 소자 마이크로 스트립 안테나는 <그림 7>과 같이 구현하였다.

여기에서 측정된 임피단스 대역폭은 <그림 8>과 같이 5.51GHz ~ 5.93GHz이다. 측정된 빔 패턴은 <그림 9>과 같다. 측정된 빔 대역폭은 시뮬레이터에서 얻어진 결과보다 좁은 결과를 얻었다. 5.80GHz인 E 평면에서 측정된 부엽 레벨은 16.0dB이다. 시뮬레이션에서 얻어진 결과와 측정된 결과를 <표 4>에 나타냈다.

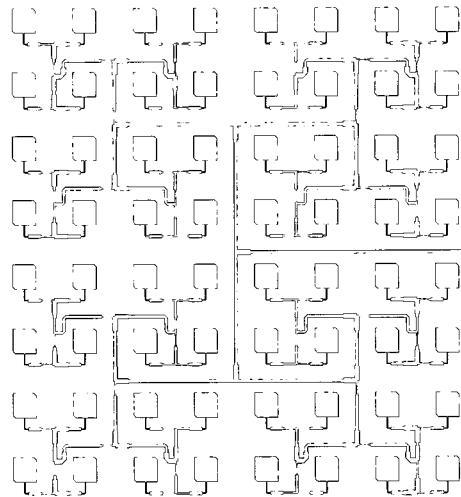


Figure 7. Fabricated 8x8 array antenna

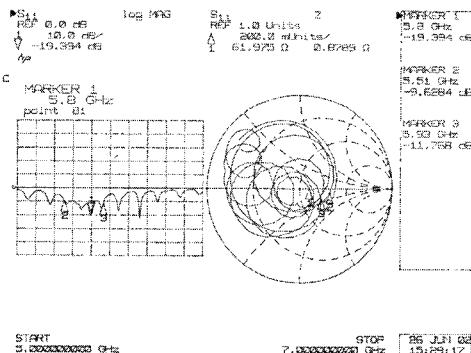


Figure 8. Measured return loss

Table 4. Comparisons of the Beamwidth

Beamwidth		Simulation [°]	Measurement [°]
3dB Beam Width	H-Plane	-4.8~5.5	-4.32~5.76
	E-Plane	-6.5~6.0	-5.5~5.0
6dB Beam Width	H-Plane	-9~7	-5.8~7.4
	E-Plane	-7.5~8	-7~7.2
9dB Beam Width	H-Plane	-10.5~8.6	-7.2~8.7
	E-Plane	-9~9.3	-8~8.6
12dB Beam Width	H-Plane	-12~10	-8.4~10
	E-Plane	-10~10.8	-10~9
15dB Beam Width	H-Plane	-13~10.6	-10~11
	E-Plane	-11~12	-11~10

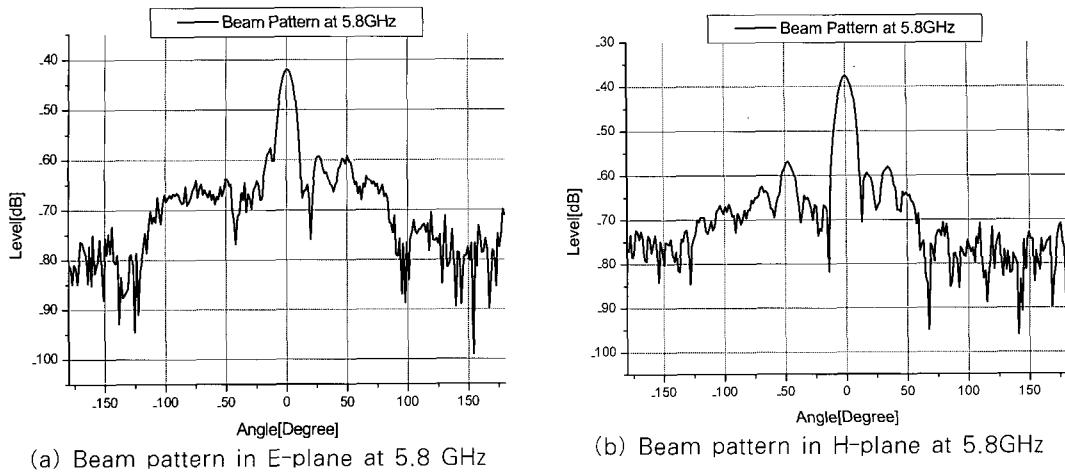


Figure 9. Measured beam pattern

V. ETCS용 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 레벨이 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 10>과 같은 통신 영역에서 하향 링크의 OBU가 수신하는 신호 레벨은 다음과 같이 계산된다.

$$P_R = P_0 G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 L_1 L_2 L_3 L_4 L_5 \quad (7)$$

여기서,

- P_R = 단말기측 수신전력
- P_0 = 기지국 송신 출력
- G_T = 송신측 기지국 안테나 이득
- G_R = 수신측 단말기 안테나 이득
- λ = 반송파 파장 (of 5.8 GHz = 5.17 cm)
- R = RSE 와 OBU간 거리
- L_1 = 기지국 레이돔 손실 (-1 dB)

- L_2 = 다말기 레이돔 손실 (-1 dB)
- L_3 = 차량내 유리창 반사 손실 (-3 dB)
- L_4 = 기지국 도래각 손실 (-3 dB)
- L_5 = 단말기 도래각 손실 (-3 dB)

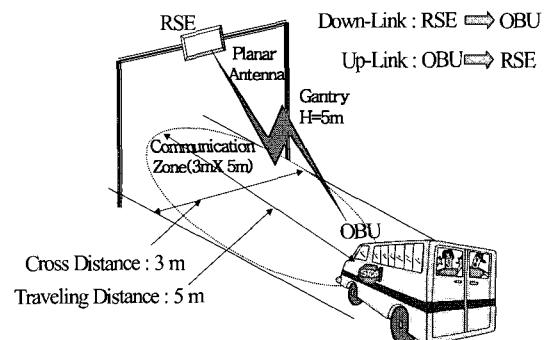


Figure 10. Communication Zone for ETCS

일반적인 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.

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

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 5>는 5.8GHz에서 거리에 따른 자유 공간 손실 정도를 나타낸다.

Table 5. 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 6>는 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 31.3 dB의 감쇄가 필요하다. 이와 같은 감쇄는 안테나 부엽 레벨에 의한 이웃 인접 차선에서의 통신을 방지할 수 있는 마진을 확보하기 위해 적절하게 조정한다^[8]. 상향 링크의 RSE가 수신하는 신호 레벨 계산은 <표 1>와 같은 시스템 규격에서는 하향 링크와 동일한 수신 특성을 얻게 된다. 이는 RSE 와 OBU가 동일한 송신 출력과 수신 성능의 RF-front end 모듈이 사용되고 있는 경우이다. 유럽 표준 규격에서는 상향 링크의 RSE의 감도가 OBU 보다 50dB 이상 민감하도록 설계된다^[6].

Table 6. 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 7>과 같으며^[10], 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.

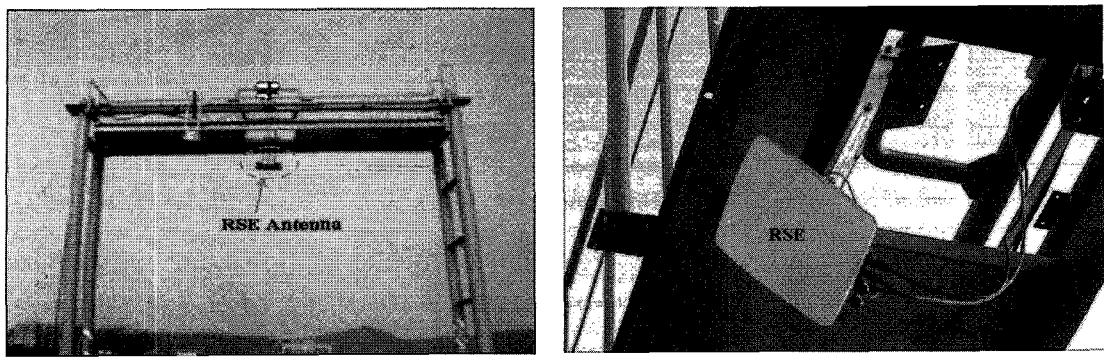
Table 7. Loss of free space vs distance on 5.8GHz

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

VI. RSE 안테나 빔 패턴에 의한 통신 영역 분석

ETCS 기지국용 RSE 안테나는 <그림 11>와 같이 5m 높이의 gantry에 수평면에 대해 30° 기울어진 상태로 설치된다. <표 8>은 안테나가 5 m 높이 설치되었을 경우에, 이동체 진행 방향에 있어서 측정된 빔 패턴을 이용하여 빔 각도에 따른 OBU 수신 레벨 변화를 분석한 것이다.

제작된 안테나의 텁팅 설치 각도를 이동체가 진행해오는 방향으로 기울이는 경우를 +방향으로 잡으면, 측정 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 6>의 규격에 의한 10mW RSE 신호세기와 안테나 이득(16dBi), OBU 안테나 이득(4dBi), 그리고 misalignment와 레이돔 및 이동체 전면 창 등에서 발생되는 총 손실(11dB)를



(a) Gantry for RSE

(b) Installation of RSE antenna

Figure 11. Gantry and antenna

Table 8. Received Level by Beam pattern

빔 각도	60o	30o	0o	-30o	-60o	비고
패턴 레벨	-17	-10	0	-10	-18	[dB]
지면상 빔 센터 거리	무한 대	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=-8 5.7dBm

고려하여 OBU가 수신하는 레벨은 -58.7dBm이 된다.

이 레벨은 OBU의 기준 dynamic 레벨을 -85.7 dBm으로 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.

VII. 결 론

DSRC통신기술은 ITS 서비스가 단순한 도로교통정보수집 및 운전자에게만 보조적인 수단으로만 제시해 주는 것이 아니라, 고도의 정보통신기술과 도로를 “움

직이는 사무실(Mobile Office)”로 변신시키므로서, 일반 탑승자들에게 일상생활의 상당부분을 차지하는 제한된 차량 공간내에서 보다 쾌적하고 향상된 운전환경을 제공함으로서 외부와의 정보 송수신이 차단되는 일없이 다양한 정보를 액세스하여 차내공간을 비즈니스나 여가선용이 가능하게 하여 여유 있고 질 높은 국민생활의 가져 올 것으로 예측하고 있다. 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, ETCS 시스템 전체 비용과 성능의 trade-off을 위해 RF 링크 성능을 분석하는 것은 기지국 설계 및 구축에서 가장 기본적이고 중요한 기술적 분석 과정임을 알 수가 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Andreas Polydoros, “Vehicle to Roadside Communications”, California PATH Research Report, Southern California Uni., June 1993
- [2] W. Detlefsen, W. Grabow, U. Kersken, R. Schmedding, “Reliability of 5.8GHz Short Range Links in Vehicle-Roadside Communication”, IEEE Vehicle Navigation &Information Systems

- Conference, Ottawa, pp300-303, 1993
- [3] 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.
- [4] B.S. Lee, C.S. Yim, D.H. Ahn, D.G. Oh “Performance Evaluation of the Physical Layer of the DSRC Operating in 5.8GHz Frequency Band”, ETR Journal, vol. 23, no. 3, 2001
- [5] H.S Oh, C.S. Yim “Development of the high speed DSRC for ITS in 5.8 Ghz”, Telecommunication Review, vol.9, no 4, 1999
- [6] TTA, “Standard of DSRC Radio Communication between Road-side Equipment and On-board Equipment in 5.8 GHz band”, Oct. 2000
- [7] C. Wiefeld, “Performance Evaluation of Vehicle Roadside Communication Systems in Shadowing & Multipath Fading Environments”, IEEE Trans. Veh. Tech., Vol. VT-45,pp. 947-952, 1995
- [8] 하재권, “Development of Antennas for ETC”, (제4차) ITS정보통신기술 워크샵, (사)통신위성 우주산업연구회, 대전롯데호텔, pp.123-137, 2003.
- [9] J.Proakis, Digital Communication, 3nd Ed., McGraw-Hill, 1989.
- [10] Jakes, W.C., editor, *Microwave Mobile Communications*, IEEE Press, Piscataway, Newjersey, 1974
- [11] C. A. Balanis, *Antenna Theory : Analysis and Design*, John Wiley & Sons, Inc., 1982.
- [12] 고진현, 김남기, 하재권, “ETCS의 RSE용 저부엽 마이크로스트립 배열 안테나 설계 및 제작”, (사)한국ITS학회, 제2회 한국 ITS학회 추계학술대회, 아주대학교, 2003.11.8
- [13] Wilhelm Grabow, Thomas Wixforth, Holger Ziegler, “5.8GHz Phased Array Antenna for Electronic Toll Collection in Road Traffic Applications,” *IEEE MTT-S*, pp. 325~328, 1996.
- [14] M. Guttenberger, W. Sturm, K. H. Mierwiak, “Microstrip Array Antenna for an Automatic Road Pricing System,” *23rd European Microwave Conference*, Madrid, 1993.
- [15] K. F. Tong and et al., “Design of Linearly Fed Shaped-Beam-Pattern Microstrip Antenna Array,” *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 27, No. 5, pp. 296~297, Dec. 2000.

〈저자소개〉



임 춘 식(Choon-Sik, Yim)

1975년 : 한국항공대학 대학 통신공학과(공학사)

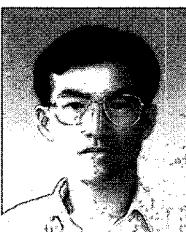
1978년~1980년 : ADD 연구원

1986년 : 한국항공대학 대학원 전자공학과(석사)

1992년 : 요코하마국립대학(일본) 전자정보공학과(박사)

1980년~현재 : 한국전자통신연구원(책임연구원)

<관심분야> 디지털 이동통신, 위성통신, ITS, 텔레매틱스, 이메일: csyim@etri.re.kr



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



안 동 현(Dong-Hyun, Ahn)

1986년 : 울산대학교 산업공학과(공학사)

1992년 : 한국과학기술원 산업공학과(석사)

1986년~현재 : <<UNI0000046c000b.gif>> 한국전자통신연구원(책임연구원)

<관심분야> 단거리 무선통신, 차간통신, 위성통신, 텔레매틱스

이메일 : dhahn@etri.re.kr