

# 능동방식 ETC 시스템을 위한 마이크로파 전파 모델 연구

배창호\*, 정희창\*, 김영주\*\*, 장호성\*\*

\*한국전자통신연구원, \*\*홍익대학교

## The Study of Microwave Propagation Model for the Active ETC System

Bae Changho\*, Chung Heechang\* Kim Youngju\*\*, Chang Hosung\*\*

\*ETRI, \*\*Hong-ik University

### 요 약

ETC(Electronic Toll Collection)는 고속도로 등의 자동요금징수시스템으로 노변장치(Beacon)와 차량 탑재장치(On Board Unit) 사이에 통신이 가능하다. 본 연구에서는 상호 통신의 마이크로파 전파 경로를 모델화하여 전파 다중 경로에 의한 수신전압의 페이딩 효과를 분석하였다. 전파 모델에서는 환경 변화, 편파, 및 안테나 방사패턴 등의 영향들을 고려하였다. 또한 페이딩 효과를 줄이기 위하여 공간 다이버시티 기술도 제안하였다. 분석결과, 강우 시 반사면의 반사계수가 변화하여 수직 편파의 경우 페이딩 효과가 크게 감소하였다. 또한 원형 편파의 경우 일반적으로 페이딩 효과가 적었으며 높은 방향성을 가진 안테나를 사용하면 페이딩 효과가 감소하였다. 노변장치에서 공간 다이버시티 기술로 두 개의 안테나들로 신호를 보내면 차량과의 거리가 증가할수록 페이딩 효과를 감소시킬 수 있었다. 이러한 결과들을 차량 탑재 장치에서 수신된 전압의 크기(dB)와 노변장치와 차량 사이 거리로 도시하였다.

### ABSTRACT

Electronic Toll Collection(ETC) System makes the telecommunication possible between the Beacon and the On Board Unit(OBU) in vehicle at the highway. In this paper, the propagation path of microwave is modelled and the induced voltage of receiving antenna is analyzed numerically according to multi-path fading effect. In this modelling, we consider the weather condition, polarization and antenna radiation pattern. Also, we suggest the diversity technique in order to reduce the fading effect. In the result, the fading effect is reduced significantly in case of the vertical polarization at the rain condition. The circular polarization is the most desirable in this application. The antenna which has the high directivity, is also desirable. Using the space diversity technique at the Beacon, the fading effect is reduced as the distance increases between the Beacon and OBU. These results are presented at the graphs whose axes are related to the magnitude of received voltage(dB) and the distance of the beacon and a vehicle.

### 1. 서론

최근에 도로 교통량이 급격히 증가함에 따라 교통체증, 교통사고 및 공해 문제들이 심각한 수준으로 증가하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 도로교통정보를 실시간으로 제공함으로써 불필요한 교통수요의 억제와 혼잡지역을 회피하게 함으로서, 운행시간의 단축, 연료 절약, 소음 및 배기 가스 공해 감소 등의 사회적 이익을 보강할 수 있는 새로운 기술인 지능형교통시스템(ITS ; Intelligent Transport System)이 도입될 것이다. 이러한 지능형교통시스템에서는 차량과 노변장치간에 통신의 필요성이 증가하고 있다[1,2]. 위의 문제들을 해결하기 위하여 유럽, 미국 등지에서는 유럽차량안전전용도로기반구축(DRIVE ; Dedicated Road Infrastructure for Vehicle Safety in Europe), 지능형차량고속도로시스템(IVHS ;

Intelligence Vehicle Highway System) 등의 연구들이 활발히 진행되고 있다. 특히 고속도로, 유료도로 및 터널 등의 요금징수에 따른 교통 정체는 심각하며 이런 교통체증은 경제적 낭비를 초래하므로 효율적으로 교통량을 제어할 필요성이 증대되고 있다. 현재 교통량의 효율적 제어를 위한 연구들이 이루어지고 있으며 그 중에서 요금징수에서의 교통 정체를 해결하는 것이 자동요금징수시스템(ETC : Electronic Toll Collection)이다. 자동요금징수시스템은 기본적으로 차량과 노변장치간의 상호통신이 가능하여야 한다. 따라서 차량에 차량 탑재 장치(OBU)를 부착하고 관리소에 마이크로파 송수신 장치인 노변장치(Beacon)를 설치한다. 차량 탑재 장치와 노변장치 사이의 통신은 5.8 GHz 주파수인 마이크로파를 사용하는데 노변장치에서는 진폭편이변조(ASK ; Amplitude Shift Keying) 디지털방식을 사용하여 신호를 보내고 차량 탑재 장치에서는 이 신호를 증폭, 변조하여

2-위상변이변조(2-PSK ; 2-Phase Shift Keying) 방식으로 노변장치에 신호를 보낸다[3,4]. 본 연구는 노변장치에서 보낸 마이크로파의 전파로 차량 탑재 장치에서 수신되는 전압을 구하는 모델연구이다. 이의 전파 경로는 다중 경로이며 전파 경로의 차에 의한 페이딩 효과가 나타나므로 수치분석을 통하여 이를 분석하고 원형편파, 선형편파에 의한 전파효과도 분석하며 강우 등 환경 변화를 고려하여 페이딩 효과를 수치 분석한다[3]. 마이크로 스트립 안테나 어레이를 사용한 효과도 분석한다[5]. 또한 페이딩 효과를 감소시키기 위하여 노변장치에 수직으로 두 개의 안테나를 설치하여 차량 탑재 장치에 신호를 보내는 공간 다이버시티 기술을 적용하여 분석한다[6,7].

## II. ETC 시스템에서 마이크로파 전파 모델

자동요금징수시스템의 마이크로파 전파를 모델화 하기 위하여 아래 그림 1과 같이 노변장치와 차량 탑재 장치의 사이에 전파경로를 선정한다[8]. 전파경로로는 노변장치의 안테나에서 차량 탑재 장치의 안테나로 직접 전파되는 경로와 노변장치의 안테나에서 지면 및 차량의 보닛에서 반사되어 전파되는 경로 등이 있다. 이런 경로를 통하여 전파하여 차량 탑재 장치에 수신되는 유기전압은 직접 경로에 의한 전압, 지면 반사에 의한 전압과 차량의 보닛 반사에 의한 전압 등으로 구성된다.

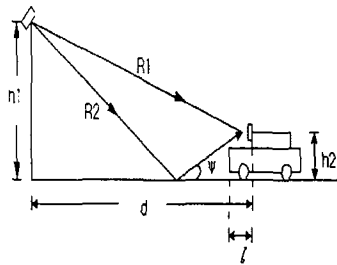


그림 1. ETC 시스템의 전파경로 개략도

다중경로에 의해 수신안테나에 전파 유기되는 전압의 일반식은 식 (1)과 같다.

$$V = V_0 \left| \sum F^T(\theta_{TD}, \theta_{TR}) F^R(\theta_{RD}, \theta_{RR}) \rho_i e^{j\phi_i} \frac{e^{-jk_i r_i}}{4\pi r_i} \right| \quad (1)$$

여기에서  $V_0$ 는 송신 안테나의 송신전압에 비례하며 상수이다. 함수  $F^T$ 는 노변장치 안테나의 방사패턴,  $F^R$ 는 차량 탑재 장치 안테나의 방사패턴이고  $\rho_i e^{j\phi_i}$ 는 반사계수이며  $r_i$ 는 송, 수신 안테나 사이의 경로 길이이다. 도로 위에서 일직선 방향으로 마이크로파가 전파된다고 가정하

면 방향각 성분이 제거되고 고도각 성분만을 고려하게 된다. 또한 산란현상 및 차량간의 반사현상 등을 고려하지 않으면 아래의 식들로 간략화된다.

즉 직접 경로에 의한 마이크로파 전파로 유기되는 전압은

$$V_D = V_0 F^T_D(\theta_{TD}) F^R_D(\theta_{RD}) \frac{e^{-jk_D r_D}}{4\pi r_D} \quad (2)$$

이고  $r_D = [d^2 + (h_1 - h_2)^2]^{1/2}$  은 직접 경로 길이이다.

지면 반사 경로에 의한 전파로 유기되는 전압은

$$V_R = V_0 F^T_R(\theta_{TR}) F^R_R(\theta_{RR}) \rho_R e^{j\phi_R} \frac{e^{-jk_R r_R}}{4\pi r_R} \quad (3)$$

이고  $r_R = [d^2 + (h_1 + h_2)^2]^{1/2}$  은 지면반사 경로 길이이다.

차량 보닛에 의한 반사 경로에 의한 전파로 유기되는 전압은

$$V_B = V_0 F^T_B(\theta_{TB}) F^R_B(\theta_{RB}) \rho_B e^{j\phi_B} \frac{e^{-jk_B r_B}}{4\pi r_B} \quad (4)$$

이고  $r_B = [d^2 + (h_1 + h_2 - 2h_3)^2]^{1/2}$  은 보닛반사 경로 길이이다.

따라서 차량탑재 장치의 수신안테나에 유기되는 총 전압은 식 (2), (3), (4)에서의 전압들의 합이 된다.

$$V = |V_D + V_R + V_B| \quad (5)$$

위 식들에서  $\rho_R e^{j\phi_R}$ 과  $\rho_B e^{j\phi_B}$ 는 각각 지면 및 보닛의 반사계수들이고 수직 및 수평편파에 따라 식 (6)과 식 (7)로 주어진다.

$$\rho e^{j\phi} = \frac{\text{수직 편파}}{\text{수평 편파}} = \frac{(K-j\chi)\sin\phi + \sqrt{(K-j\chi)^2 - \cos^2\phi}}{(K-j\chi)\sin\phi + \sqrt{(K-j\chi)^2 - \cos^2\phi}} \quad (6)$$

$$\rho e^{j\phi} = \frac{\text{수평 편파}}{\text{수직 편파}} = \frac{-\sin\phi + \sqrt{(K-j\chi)^2 - \cos^2\phi}}{\sin\phi + \sqrt{(K-j\chi)^2 - \cos^2\phi}} \quad (7)$$

여기에서  $K$ 는 상대 유전율이고  $\chi = \frac{\sigma}{\omega \epsilon_0}$ 이며 환경의 변화 및 재질에 따라 구하여진다.  $\phi$ 는 반사면과 전파경로 사이의 각도이다.

## III. 수치분석 및 결과

노변장치에서 차량 탑재 장치로 마이크로파가 전파되는 모델을 사용하여 아래와 같이 수치분석을 하였다. 이때 사용되는 변수들을 다음과 같다. 차량이 이동하는 거리를 0.5-100m로 정하였고 노변장치 안테나의 높이( $h_1$ )는 5.5m, 차량 탑

재 장치의 안테나 높이( $h_2$ )는 1.13m로 정하였다. 또한 차량의 보넷 길이( $l$ )를 1.2m, 보넷 높이( $h_3$ )를 0.8m로 정하였다.

지면에서 반사되는 마이크로파가 보넷에 의하여 차단되는 구간은 0-24.11m이며, 보넷에 의한 반사파가 수신되지 못하는 구간은 18.3-100m이다. 그러므로 0-18.3m 구간에서는 직접 경로와 보넷의 반사 경로에 의한 전압들이 수신 안테나에 유기되고 18.3-24.11m 구간에서는 직접 경로에 의한 전압만이 유기된다. 또한 24.11-100m 구간에서는 직접 경로와 지면 반사 경로에 의한 전압들이 유기된다. 송신 및 수신 안테나들은 마이크로스트립 패치 안테나이며 단일 패치 안테나와 2×2 어레이 패치 안테나의 방사패턴을 각각 사용하였는데 이런 방사패턴을 그림 2에서 보여진다. 두 경우 총 출력들이 같도록 하면 어레이 패턴이 약 9.6배의 방향성을 가진다. 노변장치의 안테나는 지면의 수직 방향에서 14.68°각도로 비스듬히 설치되어 거리 21m에서 방사패턴의 최대값을 갖도록 하였고 차량 탑재 장치 안테나도 지면과 104.68°로 설치된다고 가정하였다.

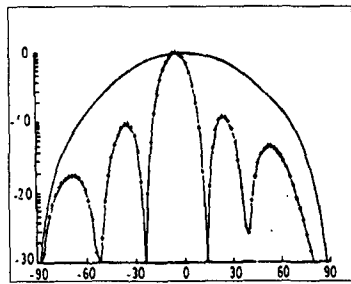


그림 2. 단일과 어레이 안테나 방사패턴

마이크로파의 편파에서 선형편파의 경우 수직 편파와 수평적 편파로 구분하였고 원형편파일 경우도 고려하였다. 수직과 수평편파의 반사계수들을 구하기 위하여 청명한 날씨의 도로에서는 상대 유전율( $\epsilon$ )을 3,  $\chi$ 의 값을 0.465로 하였고 보넷에서는 상대유전율을 1,  $\chi$ 의 값을  $10^3$ 으로 하였다. 강우 시에는 노면이 물로 덮여 있는 상태로 가정하여 상대 유전율을 40,  $\chi$ 의 값을 33으로 정하였다.

다중 경로에 의한 페이딩 현상을 감소시키기 위하여 노변장치의 안테나를 5.5m와 6.4m에 각각 설치하여 신호를 보내는 공간 다이버시티 기술을 도입하여 수치분석을 한다. 안테나의 설치 높이에 따라 전파현상이 달라지나 페이딩 효과의 위상이 서로 다른 최대의 경우를 고려하여 6.4m를 정하였다. 청명한 날씨이고 단일 패치 안테나일 경우, 유기되는 수신 전압비의 결과는 그림 3이고 수직 편파일 경우보다 수평편파일 경우에 페이딩 효과에 의한 전압비의 감소가 심하며 50m이상의 거

리에서는 위상이 거의 일치하였다.

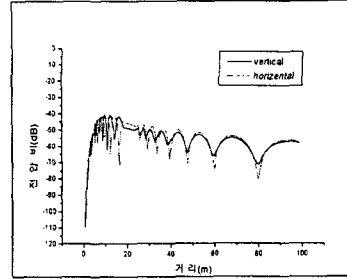


그림 3. 청명한 날씨의 다중경로에 의한 수신 전압비

강우시 단일 패치 안테나일 경우는 그림 4이고 수직 편파일 경우, 페이딩 효과가 크게 감소되었으며 수평 편파일 경우, 청명한 날씨의 경우보다 페이딩 효과가 다소 증가되었다. 이는 지면의 반사계수에 의한 영향으로 수직 편파의 경우에는 가장 적합한 결과를 보여준다.

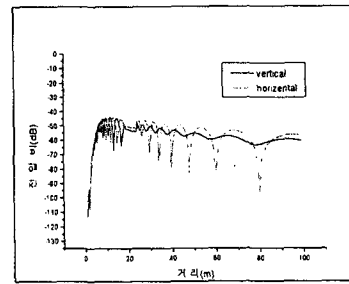


그림 4. 강우 시 다중경로에 의한 수신 전압비

그림 5에서는 원형편파일 때 환경변화에 의한 페이딩 효과가 위의 결과들 즉 수직, 수평편파에 비하여 감소되었음을 알 수 있다. 따라서 자동요금징수시스템에서 원형편파의 전파를 사용해야 환경변화에 의한 페이딩 효과를 감소시킬 수 있다. 그림 6에서 공간 다이버시티를 이용하여 수직, 수평편파의 페이딩 효과를 감소시킬 수 있음을 보였는데 50m이상의 거리에서 두 신호의 페이딩 효과가 서로 위상이 달라 상쇄가 가능하였다. 즉 두 신호를 수신한 안테나의 유기전압은 그중의 최대값을 선택하므로 페이딩 효과가 줄어든다.

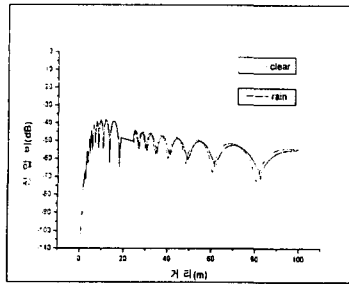


그림 5. 원형 편파 시 다중경로에 의한 수신 전압비

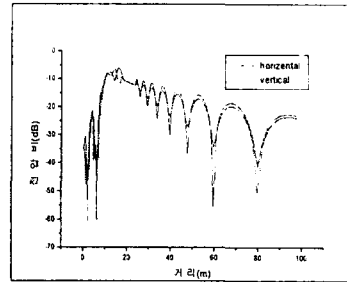


그림 7. 청명한 날씨의 다중경로에 의한 수신 전압비

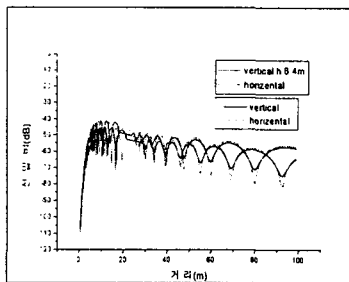


그림 6. 수직, 수평 편파시 다이버시티에 의한 전압비

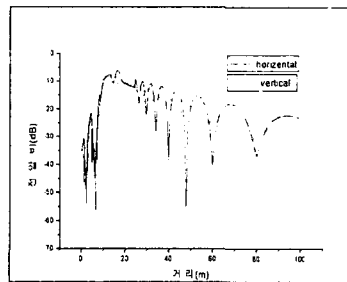


그림 8. 강우 시 다중 경로에 의한 수신 전압비

어레이 안테나의 경우에는 단일 패치 안테나의 경우보다 신호의 크기가 40dB 정도 증가되었는데 이는 방향성을 9.6배로 증가시킨 결과이며 일반적으로 거리에 따라 페이딩 효과가 달라졌다. 즉 10-24m 범위에서는 페이딩 효과가 거의 나타나지 않았고 40m 이상에서는 페이딩 효과가 20-30dB로 증가되었는데 이는 방사패턴의 각도에 의한 주 빔의 크기변화와 사이드로브들의 영향이라고 생각된다. 그림 7에서는 청명한 날씨에 수직, 수평편파에 의한 수신 전압비를 나타내며 그림 8에서는 강우 시 수신 전압비를 보여준다. 이 경우에도 수직편파일 경우 약 10dB 정도 페이딩 효과가 감소되어 단일 안테나의 결과와 성향이 일치하였다.

원형편파일 경우 단일 패치 안테나의 경우와 같이 페이딩 효과가 비교적 적게 나타나며 이는 그림 9에서 보여진다.

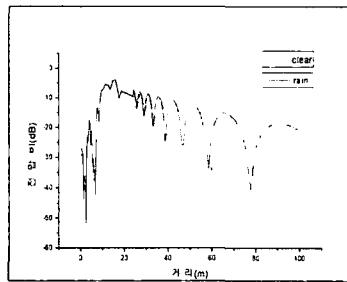


그림 9. 원형편파에 의한 수신 전압비

그림 10은 공간 다이버시티를 적용한 결과이며 50m이상의 거리에서 페이딩 효과의 위상차가 발생하므로 이 효과를 줄일 수 있다.

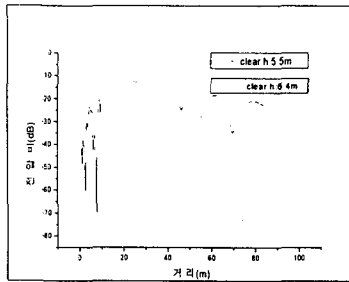


그림 10. 수직 편파시 다이버시티에 의한 수신 전압비

차량 탑재 장치의 안테나 설치 위치에 따라 전파 경로가 달라지는 것을 모델화에서 입증하였는데 앞쪽 창 윈드브러쉬 뒷 부분( $h_3$ )에 수신 안테나가 위치할 경우 지면 및 보닛 반사가 나타나지 않으므로 그림 11에서와 같이 직접 경로에 의한 전파만이 이루어진다. 이는 페이딩 효과를 고려할 필요성이 없으므로 설계에 직접적으로 이용될 수 있다.

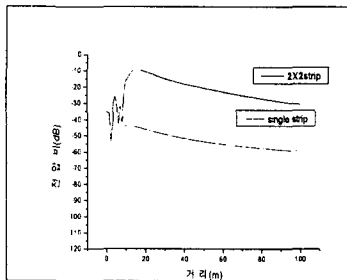


그림 11. 무반사일 경우 수신 전압비

#### IV. 결론

본 논문에서는 자동요금징수시스템에서 마이크로파 전파 경로에 의한 차량 탑재 장치의 안테나에 유기되는 수신 전압의 상대적 크기의 모델화와 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 분석을 하였다. 전자파의 편파에 의한 효과, 강우 등 환경변화에 의한 효과, 안테나 방사 패턴에 의한 효과와 공간 다이버시티에 의한 효과들을 고려하였다.

분석 결과 다중 경로에 의한 페이딩 효과가 거리에 따라 수신 전압의 상대적 크기로 나타났으며 선형편파보다는 원형편파를 이용하는 것이 환경 변화 등에 따른 페이딩 효과를 감소시킬 수 있음을 확인하였다. 강우 시에는 수직편파의 결과가 다이버시티를 이용한 결과와 비교될 만큼 향상되었다. 단일 방사패턴을 사용한 결과보다 어레이패턴을 사

용한 결과에서 페이딩 효과는 거리가 증가할수록 증대되었으나 10-24m 구간에서는 페이딩 효과가 적고 수신 전압의 크기가 커서 펜슬빔 형태의 어레이 패턴을 갖는 안테나 사용이 요구된다. 또한 공간 다이버시티에 사용에 의한 결과는 노변장치의 안테나 설치 위치에 따라서 페이딩 효과를 최소로 감소시킬 수 있음을 입증하였다. 차량 탑재 장치의 안테나 위치에 따라 경로에 의한 페이딩 현상이 없음을 보였는데 이는 전파산란 등의 효과를 무시하였으므로 향후 이런 현상들을 고려한 연구가 필요하다고 생각한다.

본 연구에서의 결과는 향후 도로망에서의 통신, 무인 주차장, 무인 출입 통제 장치 등의 응용에 사용될 수 있으리라 예측된다.

#### 참고 문헌

- [1] B. Hane, P. Weissglas, "Short Range Microwave Links for Traffic and Transport Applications", IEEE MTT-S Digest 1190, p. 1169-1172.
- [2] G. Blume, W. Grabow, W. Zechall, "5.8 GHz Short Range Microwave Links for Applications to Road Transport Informatics(RTI)", IEEE-MITT International Microwave Symposium, Workshop on Mobil Communications Systems, Atlanta, June 1993.
- [3] CEPT-ERC, "Report from the European Radiocommunications Committee within CEPT on the Harmonization of Frequency Bands for Road Transport Information System", ERC Report 3, Lisbon, February 1991.
- [4] European Committee for Standardization pr278/9/#62: DSRC Physical Layer using Microwave at 5.8 GHz.
- [5] R. C. Hansen, Handbook of Antenna Design, Vol.2, A.W. Rudge, et al. Eds. IEE/Peregrinus, 1983.
- [6] W. Grabow, A. Schrei, "A study on diversity techniques in a 5.8 GHz microwave link for traffic management systems", IEEE MTT, p556-562, 1992.
- [7] K. Abe and A. Ishiwata, "A Study on a Millimeter-Wave Radio Communication Systems for Railway Using Subcarrier Multiplexed Lightwave Systems", Trans. IEEJ, Vol.117-c, No.9, pp1308-1316, Sept. 1997.
- [8] Robert E. Collin, Antenna and Radiowave Propagation, McGraw-Hill, 1985.