

ETC 시스템에서의 마이크로파 전파 특성

정희원 배창호*, 정희창*, 김영주**, 장호성**

Characteristics of Microwave Propagation for the ETC System

Chang-ho Bae*, Hee-chang Chung*, Young-ju Kim**, Ho-sung Chang** *Regular Members*

요 약

마이크로파로 통신하는 여러 응용 장치들에서는 송, 수신 장치들 사이의 전파경로에 따라 수신안테나에 수신되는 전압이 달라진다. 교통제어를 목적으로 하는 ETC(Electronic Toll Collection)시스템은 고속도로의 자동요금징수시스템으로 노변장치(Beacon)와 차량 탑재장치(On Board Unit) 등으로 구성되며 이 장치들 사이의 전파경로는 다중 경로이다. 따라서 수신안테나의 전압은 거리에 따라서 그 크기가 크게 감소되는 페이딩 현상이 발생된다. 본 연구에서는 모델화된 ETC 시스템의 전파 다중경로를 사용하여 주파수변화에 따른 효과, 편정 변화, 편파, 및 안테나 방사패턴 등의 영향들을 고려하여 페이딩 현상이 최소로 되는 조건을 구하였다. 분석결과, 강우 시 수직 편파의 경우 페이딩 효과가 크게 감소되며 일반적으로 원형 편파일 경우 페이딩 효과가 비교적 적었다. 큰 방향성의 안테나를 사용하면 근거리에서 페이딩 효과가 감소하였다. 공간과 주파수 다이버시티 기술을 적용하면 페이딩에 의한 영향을 감소시킬 수 있었다. 이러한 결과들을 차량 탑재장치에서 수신된 전압의 크기(dB)와 노변장치와 차량 사이 거리로 도시하였으며 실험에 의한 결과와 비교 검토하였다.

ABSTRACT

Electronic Toll Collection (ETC) System makes the telecommunication possible between the Beacon and the On Board Unit(OBU) for automatic toll collection. 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 our modelling, we consider frequency, weather condition, polarization and antenna radiation pattern. Also, we suggest the diversity technique in order to reduce the fading effect. In the results, the fading effect is reduced significantly in case of the vertical polarization at the rain condition. In general the circular polarization is the most desirable in this application. The antenna which has the high directivity, is also desirable. Using the space and frequency diversity technique at the Beacon, the fading effect is reduced effectively. These results are compared with our experimental data.

I. 서 론

최근에 도로 교통량의 급격한 증가에 따라 교통 체증, 교통사고 및 공해 문제들이 심각한 수준으로 증가하고 있다. 또한, 지능형 교통시스템(ITS;

Intelligent Transport System) 등에서 차량과 노변 장치간에 통신 필요성도 증가하고 있다^{1,2}. 이런 문제들을 해결하기 위하여 유럽, 미국 등에서는 유럽 차량안전전용도로기반구축(DRIVE; Dedicated Road Infrastructure for Vehicle Safety in Europe), 지능형차량고속도로시스템(IVHS; Intelligence Vehicle

*한국전자통신연구원 표준연구센터 기술기준연구팀(chbae@pec.etri.re.kr),

*한국전자통신연구원 표준연구센터 기술기준연구팀(hecchang@pec.etri.re.kr), **홍익대학교 전전컴공학부(yjkm1@wow.hongik.ac.kr),

**홍익대학교 전전컴공학부(hosung@wow.hongik.ac.kr)

논문번호 : 99430-1026, 접수일자 : 1999년 10월 26일

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. 요금징수에서의 교통 정체를 해결하는 것이 자동요금징수시스템이다. 자동요금징수시스템은 기본적으로 차량과 노변장치간의 상호통신이 가능하여야 한다. 따라서 차량에 차량탐재장치(OBU)를 부착하고 관리소에 마이크로파 송수신 장치인 노변장치(Beacon)를 설치한다. 차량 탐재 장치와 노변장치 사이의 통신은 5.8 GHz 주파수인 마이크로파를 사용하는데 노변장치에서는 진폭편이변조(ASK; Amplitude Shift Keying) 디지털방식을 사용하여 신호를 보내고 차량 탐재 장치에서는 이 신호를 증폭, 변조하여 2-위상편이변조(2-PSK; 2-Phase Shift Keying)방식으로 노변장치에 신호를 보낸다^{3,4)}. 본 연구는 노변장치에서 보낸 마이크로파의 전파경로에 따라 차량탐재장치에서 수신되는 전압을 구하는 모델연구이다. 이의 전파 경로는 노면, 차량에서의 반사를 포함하는 다중 경로이며 전파 경로의 차에 의한 페이딩 효과가 나타나므로 수치해석을 통하여 이를 분석하고 원형편파, 선형편파에 의한 전파효과도 분석하며 또한 강우 등 환경 변화를 고려하여 페이딩 효과를 수치 분석한다⁵⁾. 마이크로스트립 안테나 어레이를 사용한 효과도 분석한다⁶⁾. 한편 페이딩 효과를 감소시키기 위하여 노변장치에 수직으로 두 개의 안테나를 설치하여 차량 탐재 장치에 신호를 보내는 공간 다이버시티 기술을 적용하여 분석한다^{6,7)}.

II. ETC 시스템의 마이크로파 전파 모델

자동요금징수시스템의 마이크로파 전파를 모델화하기 위하여 아래 그림 1과 같이 노변장치와 차량 탐재 장치의 사이에 전파경로를 선정한다⁸⁾. 전파경로는 노변장치의 안테나에서 차량 탐재 장치의 안테나로 직접 전파되는 경로와 노변장치의 안테나에서 지면 및 차량의 보닛에서 반사되어 전파되는 경로 등이 있다. 이런 경로를 통하여 차량 탐재 장치에 유기되는 수신전압은 직접 경로에 의한 전압, 지면 반사에 의한 전압과 차량의 보닛 반사에 의한 전압 등의 합으로 구성된다.

다중경로를 통하여 수신안테나에 수신되는 전압 V 의 일반식은 식 (1)과 같다.

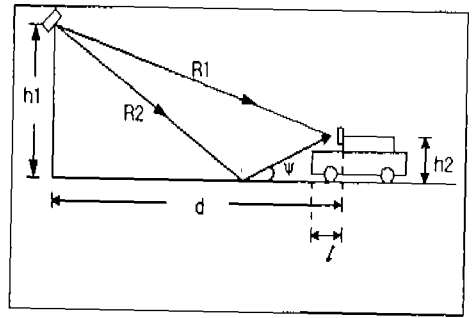


그림 1. ETC 시스템의 전파경로 개략도

$$V = A V_T \left[\sum_i F_i^T(\theta_{Ti}, \theta_{Ti}) F_i^R(\theta_{Ri}, \theta_{Ri}) \rho_i e^{i\phi_i} \frac{e^{-jk_0 r_i}}{4\pi r_i} \right] \quad (1)$$

여기에서 V_T 는 송신 안테나의 송신전압이고 A 는 안테나이득, 임피던스와 전파 파장에 의해 결정되는 상수로 $\sqrt{G_T G_R Z_R / Z_T A}$ 로 주어진다.

함수 F_i^T 는 노변장치 안테나의 방사패턴, F_i^R 는 차량탐재장치 안테나의 방사패턴이고 $\rho_i e^{i\phi_i}$ 는 노면과 보닛의 반사계수이며 r_i 는 송, 수신안테나 사이의 경로 길이이다. 도로 위에서 일직선 방향으로 마이크로파가 전파된다고 가정하면 방향각 성분을 제외하고 고도각 성분만을 고려한다. 또한 산란 현상 및 차량간의 반사현상 등을 고려하지 않으면 아래의 식들로 간략화 된다.

즉 직접 경로에 의한 마이크로파 전파로 수신되는 전압은

$$V_D = A V_T F_D^T(\theta_{TD}) F_D^R(\theta_{RD}) \frac{e^{-jk_0 r_D}}{4\pi r_D} \quad (2)$$

이고 $r_D = [d^2 + (h_1 - h_2)^2]^{1/2}$ 은 직접 경로 길이이다. 지면 반사 경로에 의한 전파로 수신되는 전압은

$$V_R = A V_T F_R^T(\theta_{TR}) F_R^R(\theta_{RR}) \rho_B e^{i\phi_B} \frac{e^{-jk_0 r_R}}{4\pi r_R} \quad (3)$$

이고 $r_R = [d^2 + (h_1 + h_2)^2]^{1/2}$ 은 지면반사 경로 길이이다. 차량 보닛에 의한 반사 경로에 의한 전파로 수신되는 전압은

$$V_B = A V_T F_B^T(\theta_{TB}) F_B^R(\theta_{RB}) \rho_B e^{i\phi_B} \frac{e^{-jk_0 r_B}}{4\pi r_B} \quad (4)$$

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

따라서 차량탑재 장치의 수신안테나에 수신되는 총 전압의 크기는 식 (2), (3), (4)에서의 전압들의 합이 된다.

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

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

수직편파일 경우

$$\rho e^{i\phi} = \frac{(K - j\chi) \sin \psi - \sqrt{(K - j\chi)^2 - \cos^2 \psi}}{(K - j\chi) \sin \psi + \sqrt{(K - j\chi)^2 - \cos^2 \psi}} \quad (6)$$

수평편파일 경우

$$\rho e^{i\phi} = \frac{\sin \psi - \sqrt{(K - j\chi)^2 - \cos^2 \psi}}{\sin \psi + \sqrt{(K - j\chi)^2 - \cos^2 \psi}} \quad (7)$$

여기에서 K 는 상대 유전율이고 $\chi = \frac{\sigma}{\omega \epsilon_0}$, σ 는 전도율이며 환경의 변화 및 노면 재질에 따라 구하여진다. ψ 는 반사면과 전파경로 사이의 각도이다.

III. 분석 결과

노면장치에서 차량탑재장치로 마이크로파가 전파되는 다운링크를 위의 모델을 사용하여 다음과 같이 분석하였다. 이때 사용되는 변수들은 아래와 같다.

차량이 이동하는 거리는 0.5-100m이고 노면장치 안테나의 높이(h_1)는 5.5m, 차량탑재장치의 안테나 높이(h_2)는 1.13m로 정하였다. 또한 차량의 보넷 길이(l)를 1.2m, 보넷 높이(h_3)를 0.8m로 정하였다. 이는 소형 차량의 재원이다. 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 수신되고 18.3-24.11m 구간에서는 직접 경로에 의한 전압만이 수신된다. 또한 24.11-100m 구간에서는 직접 경로와 지면 반사 경로에 의한 전압들이 수신된다. 송신 및 수신 안테나들은 마이크로 스트립 패치 안테나이며 단일 패치 안테나와 2x2 어레이 패치 안테나의 방사패턴을 각각

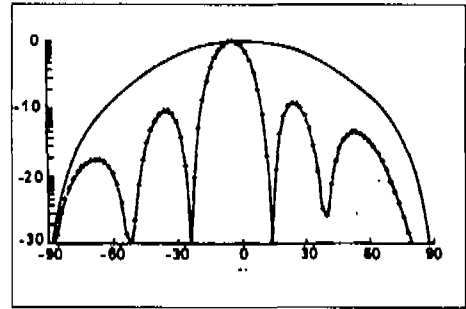


그림 2. 단일패치 어레이 안테나 방사패턴(dB)

사용하였는데 이런 방사패턴들은 그림 2에서 보여진다. 어레이 패턴이 단일 패턴에 비하여 약 9.6배의 방향성을 가진다. 노면장치의 안테나는 지면의 수직 방향에서 14.68°각도로 비스듬히 설치되어 거리 21m에서 방사패턴의 최대값을 갖도록 하였고 차량탑재장치 안테나도 지면과 104.68°로 설치된다고 정하였다.

마이크로파 편파에서 선형편파의 경우 수직편파와 수평편파로 구분하고 원형편파일 경우도 고려하였다. 수직과 수평편파의 반사 계수들을 구하기 위하여 청명한 날씨의 도로에서는 상대 유전율(κ)을 5, χ 의 값을 10^{-5} 로 하였고 보넷에서는 상대 유전율을 1, χ 의 값을 10^5 으로 하였다. 강우에는 노면이 물에 젖어 있는 상태로 가정하여 상대 유전율을 20, χ 의 값을 17.8로 하였다. 다중 경로에 의한 페이딩 현상을 감소시키기 위하여 공간과 주파수 다이버시티 기술을 도입하여 분석을 하는데 신호의 동기화가 필요하다.

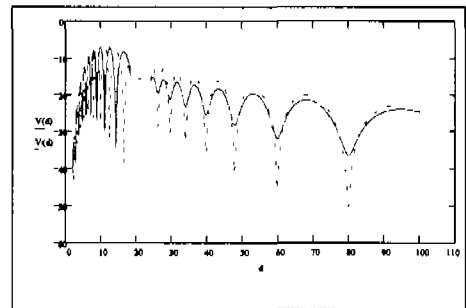


그림 3. 맑은 날씨의 선형편파에 의한 전압비

청명한 날씨에 단일 패치 안테나일 경우, 송신전압에 의한 수신전압의 전압비의 크기는 노면장치와 차량탑재장치 사이의 거리로 그림 3에 보여지며 실선은 수직편파를 나타내며 점선은 수평편파를 나타

낸다. 선형편파일 경우 수직편파보다 수평편파에서 전압비가 페이딩 효과에 의하여 10dB 이상으로 감소하였는데 이는 노면에 의한 반사계수의 차에 의한 영향이다. 근거리에서는 편파의 종류에 상관없이 최대 30dB 이상으로 전압비가 감소하였다. 따라서 선형편파는 근거리의 전파에 적합하지 않다.

강우시 전압비는 그림 4에서 보여지는데 실선은 수직편파를 나타내며 점선은 수평편파를 나타낸다. 수직편파 경우, 페이딩 효과에 의한 감소가 거리에 비례하여 줄어들었다. 청명한 날씨의 경우보다 최대 10dB로 전압비가 개선되었다. 수평편파 경우, 페이딩 효과에 의해 전압비가 크게 감소하였다. 이는 지면의 반사계수가 강우의 영향으로 변하여 수직편파에서 페이딩 효과가 크게 줄어드는 결과를 보여 준다.

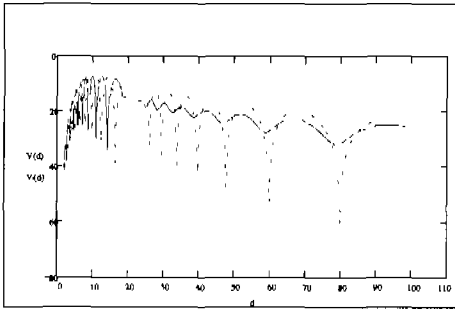


그림 4. 강우시 선형편파에 의한 전압비

환경변화시 전압비는 그림 5에서 보여지는데 실선은 강우시를 나타내며 점선은 맑은 날씨를 나타낸다. 그림 5에서 원형편파일 때 환경변화에 의한 페이딩 효과가 감소되었다. 즉 강우시에 5dB 정도 더 감소하였다. 자동요금징수시스템에서의 근거리 전파일 경우이므로 0~24m 범위에서는 페이딩 효과가 사라졌으므로 원형편파를 사용하는 것이 환경

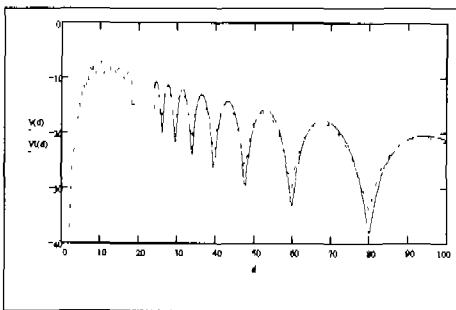


그림 5. 환경변화시 원형편파에 의한 전압비

변화와 근거리의 페이딩 효과를 감소시킬 수 있다. 그러나 24m 보다 먼 거리에서는 페이딩 효과가 커지는 것을 알 수 있다.

어레이 안테나의 경우에는 단일 안테나보다 방향성이 증가하므로 일반적으로 거리에 따라 페이딩 효과가 달라진다. 원형편파일 경우, 10-24m 범위에서는 페이딩 효과가 거의 나타나지 않았고 40m 이상에서는 페이딩 효과에 의하여 전압비가 20-30dB로 감소되었는데 이는 방사패턴에 의한 주 빔폭이 좁아지기 때문이다. 따라서 10m 이내와 40m 이상의 거리에서는 수신전압이 감소하게 된다. 그림 6에서 원형편파일 경우 환경 변화에 의한 전압비가 보여진다.

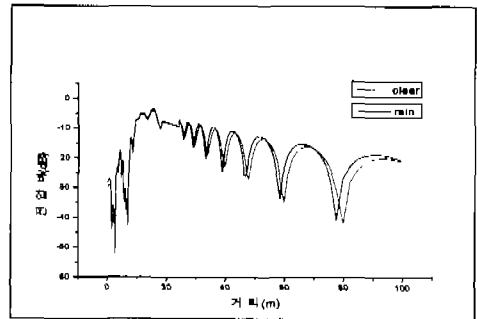


그림 6. 환경변화시 어레이 경우의 원형편파에 의한 전압비

공간 다이버시티 기술을 적용하여 원형편파일 때와 비교하면 24m 이내에서는 거의 전압비의 차이가 없고 24m~50m에서는 페이딩 효과에 의한 전압비의 감소가 줄어들었고 50m 이상의 구간에서는 다이버시티에 의한 보상이 감소되었다. 이의 결과는 그림 7에서 보여진다.

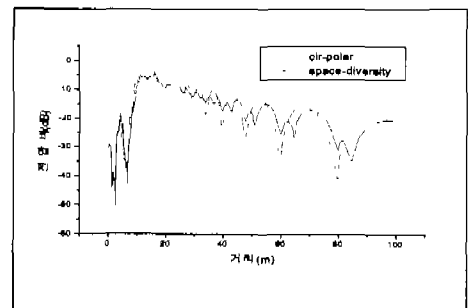


그림 7. 공간다이버시티를 적용한 전압비

원형편파시 주파수 다이버시티 기술을 적용하면

50m 이내의 구간에서는 페이딩 효과가 현저히 감소하였다. 그림 8에서 주파수 차가 450MHz 일 때 가 최소의 페이딩 현상이 나타났는데 이는 위상차가 서로 달라 보상이 된 것이다.

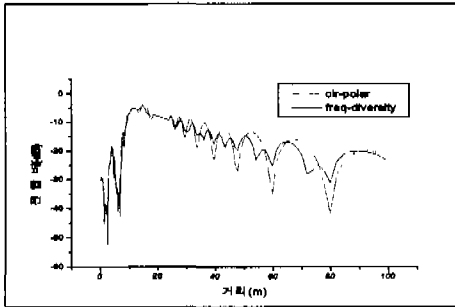


그림 8. 주파수다이버시티를 적용한 전압비

공간과 주파수 다이버시티 기술을 적용하면 다중 경로에 따른 페이딩효과를 최적의 조건으로 줄일 수 있지만 공간 다이버시티의 경우 신호의 동기화가 요구되므로 주파수 다이버시티 기술이 비교적 실현하기 가능하다. ETC에서 기준 주파수를 5.8 GHz로 하여 주파수 차이와 페이딩효과에 의한 전압비차의 관계는 그림 9에서 보여주며 450MHz일 때 가장 전압비의 차이가 작았다. 이는 페이딩 효과가 줄어들었다 것을 의미한다.

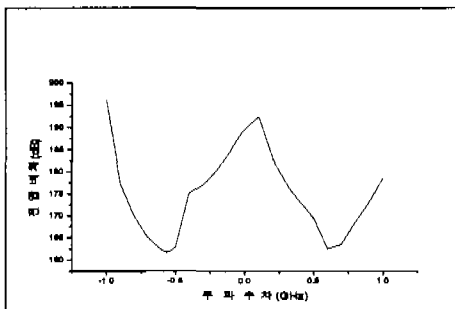


그림 9. 주파수 다이버시티에 의한 전압비의 차

IV. 결 론

자동요금징수시스템에서 전파 경로에 의한 차량 탑재장치의 안테나에 수신되는 전압비의 크기에 관한 모델화와 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 이를 분석하였다. 전자파의 편파에 의한 효과, 강우 등 환경변화에 의한 효과, 안테나 방사 패턴에 의한

효과와 공간 및 주파수 다이버시티에 의한 효과등을 고려하였다. 분석 결과 다중 경로에 의한 페이딩 효과가 거리에 따라 수신 전압비의 크기로 나타났다으며 선형편파보다는 원형편파를 이용하는 것이 근거리 전파시 페이딩에 의한 감소가 적었고 환경변화동에 따른 영향을 감소시킬 수 있음을 확인하였다. 단일 방사패턴을 사용한 결과보다 어레이패턴을 사용한 결과에서 페이딩 효과는 거리가 증가할수록 증대되었으나 10-24m 구간에서는 페이딩 효과가 최고 수신 전압비의 크기가 커서 근거리 전파에서는 펜슬빔 형태의 어레이패턴을 갖는 안테나 사용이 요구된다. 또한 공간 다이버시티를 적용한 결과는 노변장치의 안테나 설치 위치에 따라서 페이딩 효과를 최소로 감소시킬 수 있음을 입증하였고 주파수 다이버시티를 적용하여보면 450MHz 정도 차이가 있을 경우 페이딩 효과를 최적으로 줄일 수 있었다. 본 연구에서는 전파 실험, 다른 차량에서의 반사파 등의 효과를 무시한 간단한 모델 연구였다. 향후 이런 현상들을 고려한 연구가 자동요금징수시스템의 신뢰도를 향상 시키는데 기여하리라고 생각한다.

본 연구에서의 결과는 향후 도로망에서의 무선 통신, 무인 주차장과 무인 출입 통제 장치 등에 응용될 수 있으리라 예측된다.

참 고 문 헌

- [1] B. Hane, P. Weissglas, "Short Range Microwave Links for Traffic and Transport Applications," *IEEE MTT-S Digest*, pp. 1169-1172. 1990
- [2] G. Blume, W. Grabow, W. Zechmann, "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 Systems," ERC Report 3, Lisbon, February 1991.
- [4] European Committee for Standardization pr278/9/#62: DSRC Physical Layer using Microwave at 5.8 GHz, 1997

