

## 국내 고속도로 환경에 적합한 Large scale 전파 분석에 관한 연구

이준희<sup>1</sup> · 임기택<sup>2</sup> · 김종찬<sup>3</sup> · 서동환<sup>4</sup> · 조형래<sup>†</sup>

(Received October 26, 2017 ; Revised November 5, 2017 ; Accepted November 17, 2017)

### Large scale propagation analysis suitable for domestic highway environment

Jun-Hee Lee<sup>1</sup> · Ki-Taek Lim<sup>2</sup> · Jong-Chan Kim<sup>3</sup> · Dong-Hoan Seo<sup>4</sup> · Hyung-Rae Cho<sup>†</sup>

**요약:** 최근 자율주행에 대한 관심이 높아짐에 따라 WAVE (Wireless Access in Vehicle Environment) 통신 기반의 V2V (Vehicle to Vehicle)와 V2I (Vehicle to Infrastructure)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 차량과 주변 기지국간의 통신 방식인 V2I 통신 방식은 차량 간 통신 방식인 V2V 통신 방식에 비해 송수신기간 거리가 길기 때문에 그 사이에 존재하는 철재 구조물, 지형 등과 같은 다양한 요소에 의한 페이딩이 크게 발생한다. 이는 수신율에 많은 영향을 미치며 심할 경우 운전자 및 보행자의 안전까지도 위협할 수 있는 중요한 요인이다. 무선 통신의 인프라가 잘 갖추어져 있으며 산지 및 도심지가 비교적 빈번한 국내 고속도로에서는 국외 연구를 통해 도출된 V2I 채널 모델링을 그대로 적용하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 국내 고속도로 환경에 적합한 WAVE 통신 채널의 Large scale 전파 특성을 분석하기 위해 V2I 인프라가 구축되어 있는 여주 시험도로에서 실제 차량을 통해 RSSI (Received Signal Strength Indicator)를 측정하고, 이를 국내외에서 현재 사용되는 Large-scale 전파 모델들을 적용하여 비교 분석함으로써 국내 고속도로 환경에 적합한 WAVE 통신 채널 모델을 제안한다.

**주제어:** WAVE 통신, 페이딩, V2I, 채널 모델링, Large scale 전파 모델

**Abstract:** With the increasing interest in autonomous navigation, studies on vehicle to vehicle (V2V) and vehicle to infrastructure (V2I) communications based on wireless access for vehicular environments (WAVE) are actively being conducted. The V2I communication method, which is a communication method between a vehicle and peripheral base station, has a longer transmission reception distance than the V2V communication method; hence, fading due to various factors such as steel structures and existing terrain generally occurs. This greatly affects the reception rate and is a critical issue as it may threaten the safety of drivers and pedestrians in severe cases. It is difficult to apply the V2I channel modeling derived from overseas studies to domestic highways where radio communication infrastructure is well equipped and mountainous as well as urban areas are comparatively frequent. Therefore, in this study, to analyze the large-scale propagation characteristics of the WAVE communication channel that are suitable for domestic highway environments, the received signal strength indicator (RSSI) is measured through an actual vehicle on the Yeosu Test Road where the V2I communication infrastructure is built. We propose a WAVE communication channel model suitable for domestic highway environments by comparing and analyzing large-scale propagation models.

**Keywords:** WAVE communication, Fading, V2I, Channel modeling, Large-scale propagation model

## 1. 서론

최근 자율주행과 같은 무인자동차 연구가 활발히 진행됨에 따라 다양한 인프라 및 차량, 사람 등 도로 시스템을 구성하는 여러 요소들 간의 정보공유를 위한 C-ITS (Cooperative Intelligent Transport Systems)는 차량용 무선 통

신 기술인 WAVE (Wireless Access in Vehicle Environment)를 사용하여 운전자에게 보다 안전하고 편리한 도로 안전 서비스 및 비상정지와 같은 교통정보들의 제공과 보행자에게는 주변 차량에 대한 정보 서비스를 함께 제공한다. 이러한 서비스는 특별한 경우에는 운전자의 안전과 보행자의

<sup>†</sup> Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8674-9519>): Division of Raio Communication Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 49112, Korea, E-mail: hrcho@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4421

1 Department of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: ljh9961@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4822

2 SoC Platform Research Center, Korea Electronics Technology Institute, E-mail: limkt@keti.re.kr, Tel: 031-739-7410

3 Department of Electronics, Kyungbuk College, E-mail: kjc@kbc.ac.kr, Tel: 054-630-5067

4 Division of Electronics and Electrical Information Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: dhseo@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4412

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

안전에 많은 영향을 미치기 때문에 정확한 정보의 송수신이 필수적이며 이를 위해서는 무선 통신이 원활히 진행되어야 한다. 무선 통신에서 통신 채널 환경은 통신의 송수신율에 많은 영향을 미치게 되고 이는 통신의 신뢰성과 직결되기 때문에 차량 간 통신인 V2V와 차량과 기지국간의 통신인 V2I의 무선 채널 환경에 대한 연구가 전 세계적으로 많이 진행되고 있다[1]-[5].

WAVE 통신의 표준은 IEEE 802.11p를 따르고 있으며, 차량 통신이라는 특수한 환경에 적합하도록 넓은 통신 반경과 빠른 접속을 보장하는 성능을 가진다. 또한 기존의 이동성을 충족시키지 못하여 실내에서 준정적인 통신 대역폭을 사용하는 IEEE 802.11a와는 달리 WAVE 통신은 차량과 같이 이동하는 물체의 통신 간에 발생하게 되는 도플러 천이 등의 간섭이 빈번한 실외 환경에 적합하도록 높은 이동성을 제공하는 방식으로 제정되었다. 실제 고속도로와 같은 여러 공용도로 상의 WAVE 통신 상용화를 위해서는 해당 도로의 환경에 대한 무선 채널의 특성을 정확히 분석하고 모델링함으로써 송신 안테나 및 수신 안테나 등과 같은 통신 시스템 전반의 구성 및 통신 성능에 대한 최적화를 통한 신뢰성 확보가 필요하다.

M. Boban *et al.* [6]은 도심에서 발생하는 차량들의 높은 이동성으로 발생하는 역동적인 채널 환경에서의 V2V 통신 채널 분석을 위해 기존의 결정론적 모델과 확률적 모델의 장점을 결합한 하이브리드 접근법을 제안하였다. 하지만 통신 채널 분석을 위해 매우 오랜 시간이 걸리며, 연구의 결과가 V2V에 대해 초점이 맞춰져 있고 도심 환경에 대한 채널 분석을 진행하여 공용도로에 대한 V2I 통신 채널 환경을 파악하기 어렵다.

T. W Tedesso *et al.* [7]은 V2V 및 V2I 통신 환경을 철도에 적용하여 철도 횡단 안전을 향상시키기 위한 철도 환경에서의 5.8 GHz 대역 신호 전파에 대한 측정을 통해 철도 환경에 대한 V2I 전파 모델 연구를 진행하였지만 열차의 속도는 차량의 속도와 많은 차이가 나고, 철도 환경과 고속도로의 환경은 여러 차이가 발생하기 때문에 고속도로 환경에 대한 채널 특성을 파악하기는 힘들다.

이와 같이 국내외적으로 5 GHz 대역에 관한 채널 분석은 많은 연구가 진행되고 있지만, 고속도로와 같은 실제 공용도로에 적합한 채널 모델링에 관한 연구는 많이 미흡하다. 또한 실제 국내의 공용도로 환경은 외국에 비해 산지가 많기 때문에 이로 인한 전파의 특성 변화가 심하고 이러한 환경에서 WAVE 통신의 상용화를 위해서는 국내 도로 환경에 적합한 Large-scale 채널 분석이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 안정적인 WAVE 통신 환경을 위해 실제 공용도로에 V2I 인프라가 구축된 여주 시험도로에서 5.9 GHz 대역의 RSSI를 측정하여 공용도로에 대해 국내외에서 적용하고 있는 다양한 Large-scale 전파 모델을 적용하여 비교 분석함으로써 이를 통해 국내 고속도로 환경에 사용될 적합한 WAVE 통신 채널 모델을 제시한다.

## 2. 관련 이론

### 2.1 WAVE 통신 표준

WAVE 통신은 높은 이동성을 가지는 차량 통신이라는 특수한 환경에 적합하다

특히 기존의 준정적인 환경에 사용되는 WLAN(Wireless LAN)의 표준인 IEEE 802.11a를 도플러 천이와 같은 간섭이 발생하는 동적인 환경에 적합하도록 Physical Layer 및 MAC Layer를 변경한 IEEE 802.11p 표준을 따른다.

Table 1: Comparison of standard IEEE 802.11a and 802.11p

	IEEE 802.11a	IEEE 802.11p
Frequency band	5.15 ~ 5.825 GHz	5.85 ~ 5.925 GHz
Occupied bandwidth	20 MHz	10 MHz
Subcarrier separation	0.3125 MHz	0.15625 MHz
Symbol duration	4 $\mu$ s	8 $\mu$ s
Guard period	0.8 $\mu$ s	1.6 $\mu$ s
Data rates	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps	3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24, 27 Mbps
RF power	< 23 dBm	< 44.8 dBm

Table 1은 기존 WLAN의 표준인 IEEE 802.11a와 WAVE 통신의 표준인 IEEE 802.11p의 주요 특성을 나타낸다. IEEE 802.11a가 5.15 ~ 5.825 GHz의 넓은 주파수 밴드를 사용하는 것과는 달리 IEEE 802.11p는 5.85 ~ 5.925 GHz의 상대적으로 좁고 독립된 주파수 대역을 사용하여 인근 주파수간의 대역 간섭을 피하도록 하였다. 또한 기존의 20 MHz를 가지던 점유 주파수 대역폭을 10 MHz로 줄여 넓은 주파수 대역에서 많은 기기간의 통신이 가능하였던 장점을 좁은 주파수 대역에도 적용하여 차량과 기지국간의 원활한 통신이 가능하게 하였다.

### 2.2 Large-scale 전파 분석 모델

무선통신에서 통신 채널은 통신의 송수신에 대한 신뢰성과 밀접한 연관이 있기 때문에 송수신의 정확도 향상을 위해서는 채널에 대한 분석이 선행되어야 한다. WAVE 통신에 있어 송수신의 정확도는 차량내의 운전자는 물론 차량 외부의 보행자 안전에도 영향을 줄 수 있기 때문에 WAVE 통신에서의 정확한 채널 모델링이 필요하다. 전파의 채널 모델링이란 송신단에서 방사되는 전파가 수신단에 도착하기까지의 과정에서 여러 환경에 의한 전파의 감쇄 형태를 도식적으로 표현하는 것이다. 이러한 전파 모델은 크게 Large-scale 전파 모델과 Small-scale 전파 모델로 해석이 가능하다. Large-scale 전파 모델은 송수신단 사이의 장애물에 의해 발생하는 음영 현상과 거리가 증가에 따라 수신 신호가 감쇄되는 경로 손실을 고려한다. Small-scale 전파 모델

은 기존의 Large-scale 전파 모델을 기반으로 하여 주로 다중 경로에 의해 발생하는 이동통신 페이딩 현상을 고려한 해석을 의미한다. 실질적으로 채널 모델의 정확한 분석은 다중경로를 고려한 Small-scale 전파 모델 해석을 통해 진행되며 이러한 분석을 통하여 채널 모델을 도출한다. 하지만 Small-scale에 대한 측정 및 분석을 위해서는 환경에 대한 정확한 분석이 진행되기 때문에 고가의 장비를 사용하여야 하며 측정 및 모델 분석에 소요되는 시간이 매우 오래 걸리기 때문에 상용화를 위한 채널 모델링에는 많은 단점으로 작용된다. 따라서 많은 기업들이 상용화 단계에서는 보편적으로 측정 및 해석에 걸리는 시간이 적으며 신뢰도는 우수한 Large-scale 기반 접근 방식을 채택하고 있다. 본 논문에서는 기초적인 고속도로 환경에서의 WAVE 통신 채널 분석을 위해 시간 대비 신뢰도가 높은 다양한 Large-scale 전파 모델을 통해 채널에 대한 분석을 진행하여 국내환경에 적합한 WAVE 통신 채널 모델을 제안한다.

Large-scale 전파 모델은 기본적으로 신호전력의 거리에 따른 경로손실에 기초한 전파 모델로써 식 (1)과 같다[8].

$$PL(d) = 10 \log \frac{P_t}{P_r(d)} \quad (1)$$

여기에서  $PL(d)$ 는 거리에 따른 경로 손실,  $P_t$ 는 송신단에서 송신하는 전파의 송신전력,  $P_r(d)$ 는 거리에 따른 수신단에서 측정된 수신 전력을 뜻하며  $d$ 는 송신기와 수신기 사이의 거리를 의미한다. 식 (1)에서 산출되는 경로 손실을 통해 거리  $d$ 가 변함에 따라 발생하는 신호의 감쇄 정도를 알 수 있다.

자유 공간이라는 이상적인 환경에서 전파 감쇄 크기를 도출해 내는 Frii's 자유 공간 전파 모델은 식 (2)와 같다.

$$P_r(d) = P_t \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2 L_t} \quad (2)$$

여기에서  $G_t$ 는 송신기의 안테나 이득,  $G_r$ 은 수신기의 안테나 이득을 의미하며  $\lambda$ 는 WAVE 통신에서 사용하는 신호 대역의 파장,  $L_t$ 는 송신 시스템에서 발생하는 손실을 의미한다. Frii's 자유 공간 전파 모델은 Cross-over distance를 통해 모델의 적용 가능성을 알 수 있다. 본 논문에서는 기존 WAVE 통신 관련 V2I 채널 모델링 논문[9]에서 1,109 m로 도출된 Cross-over distance보다 실제 측정된 구간이 더 짧기 때문에 Frii's 자유 공간 전파 모델을 실제 측정 환경에 적용이 가능하다. 하지만 이 모델은 특성상 자유 공간이라는 이상적인 환경에 주로 많이 적용이 되며, 실제 고속도로 환경에 적용이 가능한 정밀한 모델을 위해서는 송신단과 수신단 사이의 거리가 멀어짐에 따라 더 크게 발생하는 지면에 의한 전파의 반사를 고려해야 한다.

Two-ray ground reflect 모델[10]은 Frii's 자유 공간 전파 모델을 이상적인 환경이 아닌 실제 환경에 접목하기 위해

송수신단 사이의 지면에 의한 반사파를 고려하는 모델이다. 이 모델은 송신기와 수신기의 높이를 포함하여 송수신기의 직선과 뿐만 아니라 지면에 의해 반사되어 들어오는 반사파를 포함하여 계산한다. 식 (3)은 Two-ray ground reflection 모델을 의미한다.

$$P_r(d) = P_t \frac{G_t G_r (h_{tr})^2}{d^4 L_t} \quad (3)$$

여기에서  $h_{tr}$ 은 각각 송수신기의 높이를 의미한다. 또한 거리에 따라 전파의 환경 변화가 민감함으로 거리  $d$ 를 원거리장 기준 거리를 적용할 수 있으며 이를 구하는 방식은 식 (4)와 같다.

$$d_0 = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (4)$$

여기에서  $d_0$ 는 원거리장 기준 거리를 나타내며  $D$ 는 안테나의 직경,  $\lambda$ 는 전파의 파장을 의미한다. 일반적으로 WAVE 통신의 원거리장 기준 거리는 WLAN 표준인 10 m 혹은 1 m로 많이 사용되지만[9] 본 논문에서는 식 (4)를 신안테나의 길이인 0.356 m를 적용하여 산출된 원거리장 기준 거리인 5 m를 사용하였다. Two-ray ground reflect 모델에 원거리장 기준 거리를 포함시켜 Two-ray Log distance 모델을 식 (5)와 같이 나타낸다.

$$P_r(d) = P_r(d_0) - 10k \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + C \quad (5)$$

여기에서  $k$ 는 거리에 따른 경로 손실 계수로써 일반적으로 자유 공간에서는 2를 사용하며 도시 환경에서는 4 이상으로 적용된다[11]. 통신 채널은 송신 안테나의 출력 신호가 수신 안테나에 입력되기까지의 과정에 영향을 미치기 때문에 기존의 식 (2)와 달리 식 (5)에 보정계수  $C$ 를 추가하였고 이는 실험에 사용하는 스펙트럼 분석기의 증폭 및 시스템 손실과 수신안테나의 이득을 보정하기 위해 사용하였으며 식 (6)과 같다.

$$C = G_r + L_r + Amp \quad (6)$$

여기에서  $G_r$ 은 수신 안테나의 이득,  $L_r$ 은 수신 시스템에서 발생하는 손실을 나타내며,  $Amp$ 는 스펙트럼 분석기의 증폭을 나타낸다. 본 논문에서는 식 (6)에 안테나의 이득인 -7 dBm과 시스템 손실인 -4 dBm, 스펙트럼 분석기의 증폭에 사용된 -5 dBm을 적용하여 산출한 보정계수  $C$ 인 -16 dBm을 적용하였으며, 이를 통해 송수신단 사이의 신호 세기를 알 수 있어 정확한 채널 모델링이 가능하다.

Cost-231 모델[12]은 기존의 HATA 모델의 확장형 모델로써 이 모델의 파라미터는 1,500~2,000 MHz 대역의 주파수, 송신 안테나의 높이는 30~200 m, 수신 안테나의 높이는 1

~ 10 m 정도에서 적용하며 전송거리는 1~20 km이다. 또한 이 모델은 도심지에서 측정하여 도출된 모델로써 도시 지역에 적용이 용이하며 교외 또는 농촌 환경의 경우에는 경로 손실을 대체하여 적용할 필요가 있다. 식 (7)은 Cost-231 모델을 의미한다.

$$L_{\text{cost}} = 46.3 + 33.9\log(f) - 13.82\log(h_t) - \alpha + A\log(d) + C_{\text{cost-231}} + C \quad (7)$$

$$\alpha = [1.1\log(f) - 0.7]h_r - [1.56\log(f) - 0.8]$$

$$A = 44.9 - 6.55\log(h_t)$$

$$C_{\text{cost-231}} = \begin{cases} 0\text{dB} & \text{for medium cities and suburban areas} \\ 3\text{dB} & \text{for metropolitan arease} \end{cases}$$

여기에서  $\alpha$ 는 교외 또는 농촌 환경의 경우에 적용하는 계수로써 본 논문에서는 도심지에서 떨어진 교외의 고속도로 환경에서의 Large-scale 전파 모델 분석을 진행하기 때문에 계수를 적용시켜 사용하였다. 또한,  $C_{\text{cost-231}}$ 의 경우 도심지의 규모에 따른 보정계수로서 도심의 규모에 따라 0 또는 3 dB를 적용한다. 본 논문에서는 고속도로의 특성에 적합한 0 dB를 적용하였으며, 추가적으로 수신측의 보정계수는 식 (6)에서 산출한 보정계수  $C$ 를 dB값으로 변환한 -8 dB를 적용하였다.

또한 Cost-231 모델의 확장형으로 평평한 도시 지형에만 제한적으로 사용이 가능한 Cost-231 Walfisch-Ikegami 모델은 기존의 Cost-231 모델에서 사용하는 보정 매개 변수에 Walfisch-Bertoni 모델[13]과 Ikegami 모델[13]의 매개 변수 및 최종 건물 경로 손실과 같은 변수를 결합시켜 사용하는 Large-scale 전파 모델로써, 국내의 도로환경은 아스팔트로 포장된 도로의 비율이 비포장 도로에 비해 많고, 고속도로의 경우 비교적 평평한 지형으로 많이 이루어져 있기 때문에 적용이 가능하다. 식 (8)은 LOS환경에서의 Cost-231 Walfisch-Ikegami 모델을 나타낸다.

$$L_{\text{cost-w}} = 42.6 + 26\log(d) + 20\log(f) + C \quad (8)$$

여기에서 거리  $d$ 는 송수신기 사이의 거리로써 km를 기본 단위로 사용하며, 주파수  $f$ 는 MHz를 기본 단위로 사용한다. 또한 보정계수인  $C$ 는 Cost-231과 동일한 -8 dB를 적용하였다.

### 3. WAVE 통신 채널 측정 방법

#### 3.1 여주 시험도로 측정 환경 및 방법

국내 고속도로 환경에 최적화된 채널 모델을 설계하기 위해 V2I 인프라가 구축된 여주 시험도로에서 5.9 GHz 대역 WAVE 신호를 측정하였다. Figure 1은 여주 시험도로에서 사용한 기지국의 위치와 주변 환경을 나타낸다. Figure 1의 삼각형은 각 기지국을 나타내며 적색 삼각형은 측정에 사용

하지 않은 기지국, 녹색은 측정에 사용한 기지국의 위치를 나타낸다. Figure 1의 녹색 기지국을 시작으로 하여 송신기로부터 10 m 간격으로 송신 안테나의 커버리지 구간인 500 m 구간을 측정하였다. 또한 기지국간의 간섭을 최소화하기 위하여 1개의 기지국만을 대상으로 실험을 진행하였다.

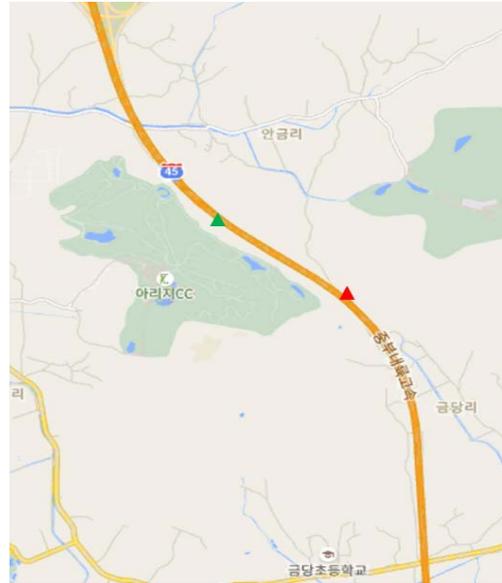


Figure 1: The map of Yeosu Smart Highway test road and the location of road side station

여주 시험도로는 여주 분기점으로부터 하행방향 고속도로 옆에 조성되어 있으며 상용 도로로 운행되지 않아 장애물이 거의 존재하지 않는 구간이다. 시험도로 자체는 차량의 통행이 제한되어 있는 구간이지만 시험도로의 옆에는 실제 차량들이 운행하는 고속도로 환경으로 구성되어 있다. 또한 시험도로의 1차선과 2차선에 대한 실험을 진행하여 주변 고속도로 환경이 미치는 영향에 대한 전파 감쇄 특성 및 장애물 등에 의한 왜곡 신호와 같은 여러 정보를 획득할 수 있다.

여주 시험도로에 설치된 V2I 기지국으로부터 송신되는 WAVE 신호를 수집하기 위하여 우리는 5.9 GHz 대역을 수신하는 안테나와 스펙트럼 분석기를 사용하여 측정을 진행하였으며 송신기는 기존에 구축되어있는 WAVE 통신 기지국의 무지향성 옴니 안테나를 사용하였고 송신기의 통신 반경은 약 500 m 정도이다. 여주 시험도로에서 다양한 Large-scale 전파 모델을 도출하기 위해 기지국을 기준으로 1차선과 2차선에서 각각 신호를 수집하였으며 1차선에서는 총 620 m를 10 m 간격으로, 2차선에서는 총 440 m를 10 m 간격으로 신호를 측정하였고 한 위치에서 10회 이상 수집하였다. Figure 2는 여주 시험도로에 설치되어있는 V2I 기지국 모습을 나타낸다. 적색 원안의 송신 안테나는 무지향성의 옴니 안테나로 구성되어 있으며 지상에서 6 m 정도 높이에 설치되어 있다. 또한 고속도로와 인접한 도로를 1차선으로 숲과 인접한 도로를 2차선으로 지정하여 측정을 진행하였다.



Figure 2: The road side station for WAVE communication

Figure 3은 실제 측정에 사용된 차량과 수신안테나를 나타내며 적색 원의 안테나가 측정을 위해서 사용된 무지향성 안테나이다. 이러한 측정 장비를 바탕으로 WAVE 통신 신호를 측정하였다.



Figure 3: The measuring vehicle for WAVE communication

#### 4. WAVE 통신 측정 및 모델 분석

##### 4.1 WAVE 통신 측정

WAVE 통신 주파수 대역은 중심 주파수 5.9 GHz로 하나의 채널 대역인 10 MHz만을 사용하여 측정하였다. 또한 기지국에서 송신 안테나의 출력은 20 dBm이며 이득은 9 dBi, 시스템 손실은 1.34 dB정도이다. Figure 4는 3번 인덱스에서 측정된 신호의 주파수별 최대값을 나타낸다. x축은 WAVE 신호의 주파수를 나타내며 y축은 주파수별 수신 신호의 세기를 나타낸다. Figure 5는 1차선을 사용하여 V2I 기지국으로부터 10 m 간격으로 구분된 인덱스에 따른 WAVE 통신 신호를 측정한 결과이다. x축은 첫 측정지점으로부터 10 m 씩 인덱스로 표현하였다. 즉, 인덱스 1은 송신 안테나로부터 10 m 떨어진 위치를 나타내며 인덱스 62는 송신 안테나로부터 620 m 위치를 의미한다. y축은 각 지점에서의 수신 신호의 세기를 나타낸다. 빨간 실선은 각 측정 지점에서의 수신 신호의 최대값을 의미하며, 파란 실선은 각 측정 지점

에서의 수신 신호들의 평균값을 나타내었다. Figure 6은 2차선에서 V2I 기지국의 신호를 수집한 그래프로써 Figure 5와 마찬가지로 x축은 총 44개의 인덱스인 440 m를 y축은 각 지점에서의 신호의 세기를 의미하며 빨간 실선은 각 지점에서의 수신 신호의 최대값을 뜻하고 파란 실선은 수신 신호의 평균값을 의미한다.

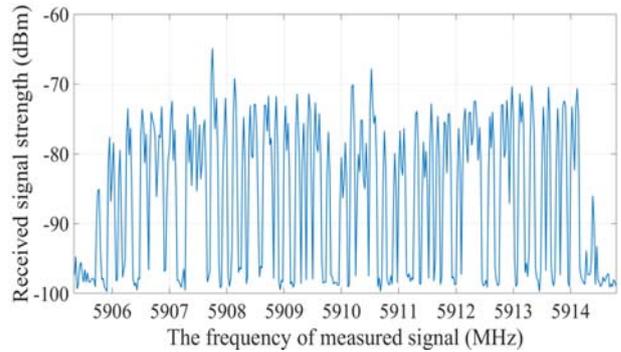


Figure 4: The signal strength of WAVE band of index 3 (2<sup>nd</sup> lane)

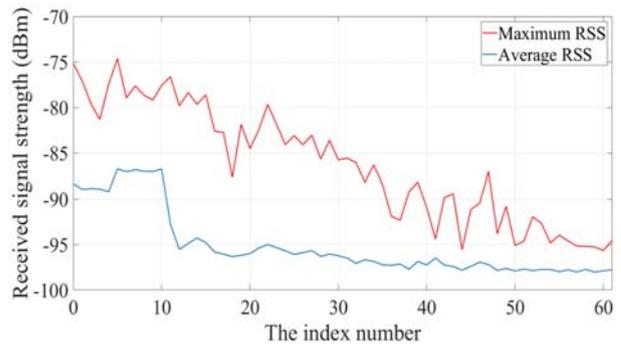


Figure 5: The signal strength according to position (1<sup>st</sup> lane)

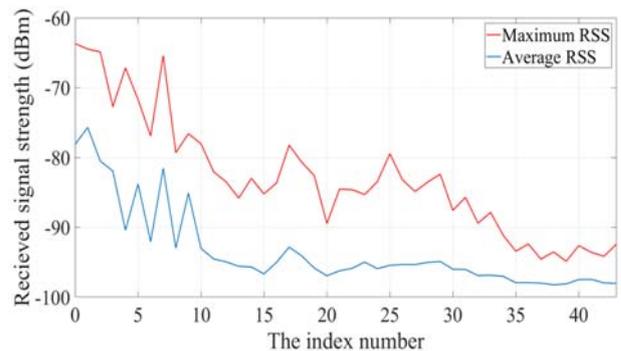


Figure 6: The signal strength according to position (2<sup>nd</sup> lane)

##### 4.2 Large scale 모델 분석

측정한 WAVE 통신 신호의 최대값 결과를 바탕으로 각 Large-scale 모델을 적용한 분석을 진행하였다. Frii's 자유 공간 모델은 실제 실험 환경이 LOS환경이기 때문에 기본적인 Frii's 자유 공간 모델을 식 (2)를 통해 산출이 가능하며 보정 계수 C인 -16 dBm을 적용하였다. 1차선에서 측정된 신호와 비교하여 평균 3.16 dBm 오차를 갖는 것이 확인되었다.

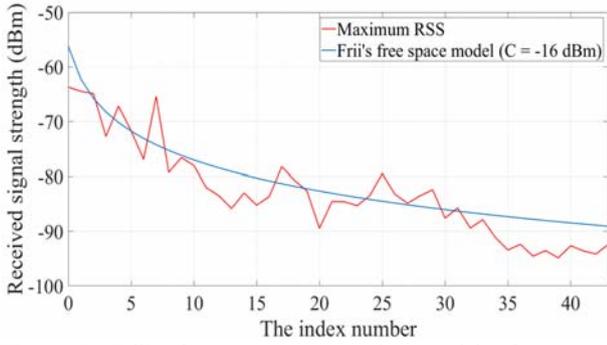


Figure 7: Frii's free space propagation model of measurement WAVE signal (2<sup>nd</sup> lane)

Figure 7은 2차선에서 측정된 신호를 통해 산출한 Frii's 자유 공간 모델을 나타낸다. 빨간색 실선은 실제 측정된 2차선에서 측정된 수신 신호의 최대값을 나타내며 파란색 실선은 식 (2)를 통해 산출한 Frii's 자유 공간 모델을 나타낸 것이다. 2차선에서는 측정된 신호와 비교하여 평균 3.39 dBm 오차를 가지는 것을 확인하였다.

Two-ray log distance 모델은 식 (5)를 토대로 모델을 적용하였다. 식 (5)의 경로 손실 계수  $k$ 는 자유공간과 실제 도심의 손실 계수 값인 2~3 사이를 적용하였으며 보정계수  $C$ 는 -16 dBm을 적용하였다. Table 2는 각 차선에서 손실 계수  $k$ 의 변화에 따른 오차를 나타내었다.

Table 2: Average error in received signal for each lane according to  $k$

$k$	1 <sup>st</sup> lane	2 <sup>nd</sup> lane
2.3	3.40 dBm	3.85 dBm
2.4	<b>3.15 dBm</b>	3.19 dBm
2.5	3.78 dBm	<b>3.01 dBm</b>
2.6	4.95 dBm	3.45 dBm
2.7	6.29 dBm	4.39 dBm

1차선에선  $k$ 가 2.4일 때 수신 신호와의 오차가 3.15 dBm을 가지는 것이 확인 되었고, 2차선에서는  $k$ 가 2.5일 때 평균 오차가 3.01 dBm 차이를 보였다.

Cost-231 모델을 도출하기 위하여 1차선과 2차선에서 측정된 신호를 식 (6)에 적용하였다. 이때 사용되는 보정계수  $C$ 는 -16 dBm을 dB로 환산한 -8 dB를 적용하였다. 그 결과 1차선에서는 수신 신호 대비 2.95 dBm 차이를 보였으며 2차선에서는 평균적인 신호의 오차가 2.91 dBm 차이를 보이는 것으로 나타났다. 또한 Cost-231 Walfisch-Ikegami 모델을 각각 1차선과 2차선에 적용하였다. Cost-231 Walfisch-Ikegami 모델인 식 (8)에서도 Cost-231 모델과 마찬가지로 보정계수  $C$ 에 -8 dB를 적용하였다. 그 결과 1차선에서는 수신 신호와 평균 3.13 dBm 정도 차이를 가지며 2

차선에 적용한 결과는 평균 4.18 dBm의 차이가 발생하는 것을 확인하였다.

Table 3은 1차선과 2차선에서 적용된 각각의 모델들에 적용된 파라미터들과 각 차선에서의 수신 신호 대비 모델별 평균 신호 오차를 나타내었다.

Table 3: Average error in received signal for each lane according to large scale model

Large scale model	1 <sup>st</sup> lane	2 <sup>nd</sup> lane
Frii's free space model	3.16 dBm	3.39 dBm
Two-ray log distance model	3.15 dBm	3.01 dBm
cost-231 model	<b>2.95 dBm</b>	<b>2.91 dBm</b>
cost-231 walfisch-Ikegami model	3.13 dBm	4.18 dBm

Large-scale 전파 모델은 Small-scale 전파 모델과는 달리 전파의 다중 경로로 인한 손실을 고려하지 않는다. 따라서 각 차선별로 측정된 수신 신호에 가장 근접한 모델이 최적의 모델이라 볼 수 있다. 특성 분석에 사용된 총 4개의 모델 중에서 Cost-231 모델이 1차선에서 측정 신호와의 평균 2.95 dBm 차이를 2차선에서는 평균 2.91 dBm 차이를 가지는 것을 확인 할 수 있으며, 4개의 모델 중에서 각 차선에서 수신 신호와의 오차가 제일 적은 것을 확인 할 수 있다.

다양한 Large-scale 전파 모델을 실제 여주 시험도로 환경에 적용하여 국내 고속도로 환경에 적합한 모델을 도출한 결과 Cost-231모델이 가장 적합한 것을 알 수 있으며, 최종적인 국내 고속도로 환경에 적용이 가능한 Large-scale 전파 모델인 Cost-231모델은 식 (9)에 나타난 파라미터를 통해 도출되었다.

$$L_{\text{cost}} = 46.3 + 33.9 \log(f) - 13.82 \log(h_t) - \alpha + A \log(d) + C \quad (9)$$

$$\alpha = [1.11 \log(f) - 0.7] h_r - [1.56 \log(f) - 0.8]$$

$$A = 44.9 - 6.55 \log(h_t)$$

$$f = 5.9 \text{ GHz}, h_t = 6 \text{ m}, h_r = 1.5 \text{ m}, C = -8 \text{ dB}$$

## 5. 결 론

본 논문에서는 국내 고속도로 환경에 적합한 WAVE 통신 채널 분석을 위해 여주 시험도로에 구축된 V2I 환경을 1차선과 2차선으로 환경을 구분하여 주변 고속도로 환경에 의한 영향을 고려하여 송신 안테나의 신호를 측정하고 국내의적으로 사용되는 다양한 Large-scale 전파 모델을 통해 분석함으로써 최종적으로 국내 환경에 적합한 Cost-231 모델의 파라미터를 도출하였다. 수신 신호에 대한 분석을 통해 1차선이 실제 고속도로와 가깝기 때문에 급속으로 이루어진 차량의 포화상태에 따라 가상의 급속 벽의 유무가 발

생하여 상대적으로 고속도로와 거리가 먼 2차선과는 약간 다른 수신 신호를 가지는 것을 확인하였으며 향후 다중경로로 인한 손실을 포함하는 Small-scale 모델 분석 시 차량의 포화 유무에 따라 발생하는 가상의 금속벽을 고려한 채널 모델링을 진행할 계획이다.

## 후 기

본 연구는 국토교통부 교통물류연구개발사업의 연구비 지원(15TLRP-B101406-01)에 의해 수행되었습니다.

## References

- [1] R. Atallah, M. Khabbaz, and C. Assi, "Multihop V2I Communications: A Feasibility Study, Modeling, and Performance Analysis," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 66, no. 3, pp. 2801-2810, 2017.
- [2] B. Xu, X. J. Ban, Y. Bian, J. Wang, and K. Li, "V2I based cooperation between traffic signal and approaching automated vehicles," *IEEE Intelligent Vehicles Symposium(IV)*, pp. 1658-1664, 2017.
- [3] O. S. Eyobu, J. Joo, B. Senouci, and D. S. Han, "A distance based event driven broadcast (DEB) mechanism for V2V safety communications," *IEEE Ninth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*, pp. 200-202, 2017.
- [4] C. H. DIEM and T. Fujii, "Relay selection method using radio environment database for multi-hop V2V communications," *IEEE International Conference on Information Networking (ICOIN)*, pp. 543-548, 2017.
- [5] M. Abdulla and H. Wymeersch, "Fine-grained reliability for V2V communications around suburban and urban intersections," *arXiv preprint arXiv:1706.10011*, 2017.
- [6] M. Boban, X. Gong, K. Manolakis, and W. Xu, "Towards Spatially and Temporally Consistent Channel Modeling for Reliable V2X Communication," *Proceedings of 21<sup>th</sup> International ITG Workshop on Smart Antennas*, pp. 1-5, 2017.
- [7] T. W. Tedesso, C. Rowe, C. R. Anderson, and C. B. Dietrich, "Propagation Measurements at 5.8 GHz for Railroad Intelligent Transportation Systems," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pp. 1-6, 2017.
- [8] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, 3<sup>rd</sup> ed., John Wiley & Sons, 2012.
- [9] S. H. Lee, J. C. Kim, K. T. Lim, H. R. Cho, and D. H. Seo, "WAVE Communication based V2I Channel Modeling," *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 40, no. 10, pp. 899-905, 2016.
- [10] S. Kurt and B. Tavli, "Path-Loss Modeling for Wireless Sensor Networks: A review of models and comparative evaluations," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 59, no. 1, pp. 18-37, 2017.
- [11] T. G. Gwun, *Radio map Algorithm of Fingerprint based on Log-Distance Path Loss Model using WiFi and BLE*, M.S. Dissertation, Department of Electrical & Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Korea, 2016 (in Korean).
- [12] Y. Singh, "Comparison of Okumura, Hata and COST-231 Models on the Basis of Path Loss and Signal Strength," *International Journal of Computer Applications*, vol. 59, no. 11, 2012.
- [13] Y. Oda, R. Tsuchihashi, K. Tsunekawa, and M. Hata, "Measured path loss and multipath propagation characteristics in UHF and microwave frequency bands for urban mobile communications," *IEEE VTS 53<sup>rd</sup> Vehicular Technology Conference*, vol. 1, pp. 337-341, 2001.