

# IEEE802.11p 통신 시스템을 위한 WAVE 채널 분석과 시뮬레이션 연구

## A Study on the Analysis and Simulation of WAVE Channel for IEEE802.11p Communication Systems

곽재민\*

Jae-Min Kwak\*

### 요 약

본 논문에서는 WAVE/DSRC 표준에 근거하여 IEEE802.11p에 적합한 고속 무선 이동채널에 대한 채널 모델을 분석하고 이를 시뮬레이션 하였다. IEEE802.11p 표준화 그룹에서는 차량간 채널 및 차량과 노변간 채널을 측정하여, WAVE/DSRC 시스템에 적합한 6가지 측정기반 채널 모델을 제시하였다. 이는 실제 무선 환경을 측정하여 수치적인 모델을 제시했다는 데에 의미가 있으나, 측정결과에 따른 수치 모델만을 제안하였을 뿐, 컴퓨터 기반의 모의실험에 필요한 채널 시뮬레이터는 제공하지 않고 있어, 관련 연구에서 WAVE 규격의 성능 평가 및 검증에 활용할 수 없다. 본 논문에서는 WAVE 채널 시뮬레이션 기법을 제시하고, 소프트웨어 기반 WAVE 채널 모델을 구현하였다. 또한 이에 대한 PSD, LCR, AFD 시뮬레이션을 통해 IEEE802.11p 기반의 차량용 통신 시스템의 성능을 평가하는데 활용할 수 있는 채널 모델에 대한 분석 결과를 제시하였다.

### Abstract

In this paper, we analysed and simulated the high speed mobile wireless channel for IEEE802.11p WAVE/DSRC standard draft. IEEE802.11p working group measured and suggested 6 channel model for WAVE/DSRC systems which is used for vehicle to vehicle or vehicle to infra communication. However, the models only provides numerical model, it did not provide Computer based software simulation model. So it can not be used directly for performance estimation of WAVE system. In this paper we suggested simulation technique of WAVE channel simulation which is developed S/W based WAVE channel simulator. The simulation results for PSD, LCR, and AFD are also obtained, which can be used for performance estimation of IEEE802.11p based vehicular communication system.

Key words : IEEE802.11p, WAVE, Vehicular communication,

### I. 서 론

최근 들어 ITS(Intelligent Transport Systems)/텔레매

틱스 서비스에 있어서의 주요 기술로서 차량의 안전성을 증대시킬 수 있는 V2V(Vehicle to Vehicle) 통신 기술에 대한 관심이 증대되고 있다. 이를 위해 국외

\* 목포해양대학교 해양전자통신공학부(Division of Marine Electronics and Communication Eng., Mokpo National Maritime University)

· 제1저자 (First Author) : 곽재민

· 투고일자 : 2009년 2월 25일

· 심사(수정)일자 : 2009년 2월 26일 (수정일자 : 2009년 4월 3일)

· 게재일자 : 2009년 4월 30일

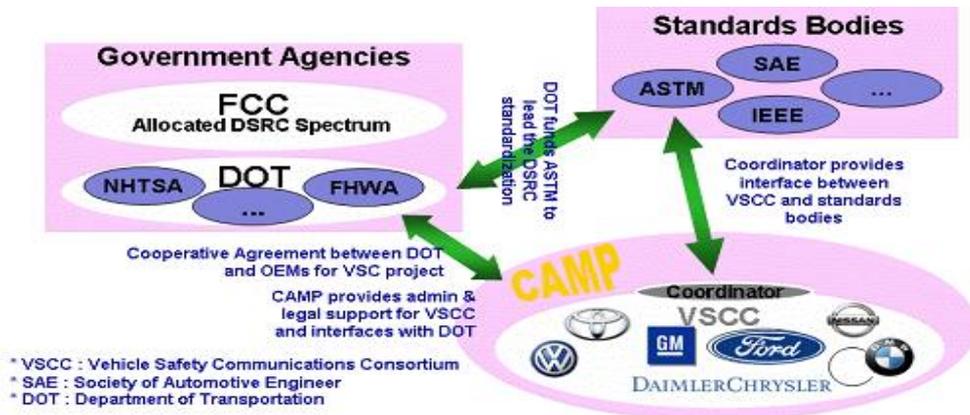


그림 1. 미국의 5.9GHz 대역 DSRC 연구  
 Fig. 1. Research of 5.9GHz band DSRC in USA.

의 여러 나라들은 핵심기술의 확보와 표준화를 위해 총력을 기울이고 있다[1],[2].

미국은 다양한 ITS 사용자 서비스를 구현하는데 있어서 중요한 통신 기술로 DSRC(Dedicated Short Range Communications)를 규정하였으며, 국가 ITS 아키텍처 개발과정에서 고속으로 주행하는 차량과 노변장치 사이에 신뢰성 있는 단거리 통신을 수행하기 위해서 DSRC 전용주파수가 필요하다고 인식하여 초기에는 902MHz~928MHz대역을 할당하였으나 이 대역이 매우 밀집되어 있고 자원이 부족하여 1999년 FCC(Federal Communications Commission)는 5.850~5.925GHz의 DSRC 전용 주파수 75MHz를 사설육상 이동전파서비스 용도로 분배하였다[3]. 2000년에 ITS America는 현황보고서를 발표하면서 DSRC 허가 및 서비스 규칙과 전개전략, 의견수렴활동, 문제점들 그리고 DSRC기반의 ITS 서비스가 정의되었다. 2002년에는 ITS America에서 허가 및 서비스 규칙에 관한 권고안을 제안하여 5.9GHz 대역을 사용하는 DSRC를 포함하는 모든 무선기기에 대한 MAC(Media Access Control) 계층과 물리계층 표준 ASTM(American Society of Testing Materials) E2213을 기술하고 있으며 V2V와 V2I(Vehicle to Infrastructure) 통신을 위한 기반기술로 채택하고 있다. 특히, 미국은 북미지역 5.9GHz DSRC 프로그램 하에서 DSRC 포럼을 구성하고, V2V 및 V2I 통신을 지원하는 VMC(Vehicle Multi-hop Communication) 기술을 위해 ASTM, ISO, IEEE 등과 같은 표준기구를 통해 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 물리계층 기반의 통신표준을 개발하며, VSCC(Vehicle

Safety Communication Consortium)를 구성하여 실행 및 구축계획을 수립하고 있다. VSCC는 DSRC의 산업화를 위한 적용 및 개발 계획을 수립하고 있으며, 이를 위해 DOT와 FCC 등의 정부기관과 ASTM, SAE, IEEE 등의 표준제정단체 및 GM Ford, Chrysler 등의 민간 자동차 회사의 Consortium인 CAMP 간의 유기적인 협조 및 지원이 이루어지고 있다.

V2V 및 V2I 링크 무선 채널 모델 관련하여서는 IEEE802.11p 표준화 워킹그룹 회의에서, 고속 차량간 통신 및 차량과 노변간 통신을 위한 채널 모델로서 Georgia Institute of Technology 측에서 "WAVE channel Model"기고문을 발표하였다[4]. 2006년 11월에 발표된 11-06-1724-01-000p(Wave channel model) 문서에서 차량간 채널 및 차량과 Roadside간 채널을 측정하여, IEEE 802.11p(WAVE /DSRC)에 적합한 6가지 채널 모델을 제시하였으며 본 논문의 채널 분석 및 모델링은 상기 모델에 기반하여 V2V 무선링크 시뮬레이션을 수행하였다. 아래는 제시된 6개의 모델에 대한 요약이다.

- VTV Expressway Oncoming Without Wall, 300m-400m
- RTV Urban Canyon, 100m
- RTV Expressway, 300m-400m
- VTV Urban Canyon Oncoming, 100m
- RTV Suburban Street, 100m
- VTV Expressway Same Direction with Wall, 300m-400m

조지아텍에서 IEEE802.11p에 제시한 WAVE 채널 모델은 실제 무선 환경을 측정하여 수치적인 모델을 제시했다는 데에 큰 의미가 있으며, 향후 WAVE 규격 및 제안된 알고리즘의 성능 평가 시 기준이 된다. 하지만, 수치 모델만을 제안하였을 뿐, PC기반의 모의실험에 필요한 채널 시뮬레이터는 제공하지 않고 있어, 관련 연구에서 WAVE 규격의 성능 평가 및 검증에 활용할 수 없다. 조지아텍이 제시한 수치 모델에 부합하는 소프트웨어 기반 시뮬레이터 제작이 필수적으로 요구된다. 따라서, 본 논문에서는 소프트웨어 기반 WAVE 채널 모델을 구현기법을 제시하고 이에 대한 PSD(Power Spectral Density), LCR(Level Crossing Rate), AFD(Average Fade Duration) 시뮬레이션을 통해 차량간 통신 시스템의 성능을 평가하는데 활용할 수 있는 채널 모델에 대한 분석 결과를 제시한다.

## II. WAVE 채널 모델 분석

IEEE802.11p 차량간 통신을 위한 PHY/MAC 물리계층 표준화 작업그룹에서는 5.9GHz 대역 10MHz 대역폭에 실측된 데이터를 기반으로 IEEE 802.11p WAVE/DSRC 규격을 위한 6가지의 소규모 페이딩 (small-scale fading) 모델을 제안하였다. 각 모델은 WAVE/DSRC가 동작하는 전형적인 환경을 나타내

며, 그 중 3가지 모델은 차량 간 링크, 나머지 3가지는 노변과 차량 간 링크를 모델링하고 있다. 또한, 3가지 모델은 고속도로 환경, 2가지는 고층 빌딩으로 둘러싸인 도심 환경, 나머지 하나는 교외 거리 환경을 나타낸다. 도심과 교외 환경은 12경로로 구성된 'Short' 모델과 15 혹은 16경로로 구성된 'Long' 모델로 두 가지로 구성되는데, RF 채널 에뮬레이터가 12 경로 이상을 지원하거나 보다 정확한 환경을 모델링하려면 선택적으로 'Long' 모델을 사용할 수 있다. 'Long' 모델을 포함하면 표1에서 확인 할 수 있듯이 총 10가지 채널이 WAVE 채널 모델로 제안되었다.

표 1. WAVE 채널 모델

Table 1. Wave channel model.

모델	시나리오	PSDU 크기
1	VTV - Expressway Oncoming without Wall, 300m - 400m Model	200 bytes
2	RTV - Urban Canyon, 100 m Short Model	1000 bytes
3	RTV - Urban Canyon, 100 m Long Model	1000 bytes
4	RTV - Expressway, 300m - 400m 140 km/hr Model	200 bytes
5	RTV - Expressway, 300m - 400m 200 km/hr Model	200 bytes
6	VTV - Urban Canyon Oncoming, 100m Short Model	1000 bytes
7	VTV - Urban Canyon Oncoming, 100m Long Model	1000 bytes
8	RTV - Suburban Street, 100m Short Model	1000 bytes
9	RTV - Suburban Street, 100m Long Model	1000 bytes
10	VTV - Expressway same direction	200 bytes

표 2. WAVE 채널모델에 대한 RMS 지연확산, 동기 대역폭, 동기시간 분석

Table 2. RMS delay spread, coherence bandwidth, coherence time analysis for WAVE channel.

Model	RMS delay spread [ns]	Coherence Bandwidth [kHz]		Coherence Time [us]		
		90% Correlation	50% correlation	Max. $f_m$ [Hz]	90% correlation	50% correlation
1	43.58	458.93	4589.3	858	118.72	281.95
2	64.00	312.50	3125.0	994	102.47	243.38
3	38.46	520.02	5200.2	757	134.56	319.57
4	34.93	572.57	5725.7	813	125.28	297.56
5	34.93	572.57	5725.7	1164	87.51	207.83
6	37.35	535.48	5354.8	936	108.82	258.46
7	37.45	534.06	5340.6	936	108.82	258.56
8	74.42	268.76	2687.6	851	119.69	284.27
9	67.92	294.46	2944.6	851	119.69	284.27
10	64.16	311.72	3117.2	1572	64.80	153.89

2-1 RMS 지연확산, 동기대역폭, 동기시간분석

각 채널 모델의 RMS(Root Mean Square) 지연확산(delay spread), 동기 대역폭(coherence bandwidth) 및 동기 시간(coherence time) 값들을 구하여 표 2에 제시하였다. 표 2에서 근사적인 동기 대역폭은 다음과 같이 계산되었다[5].

$$B_c \approx \frac{A_f}{\sigma_r} \tag{1}$$

여기서  $\sigma_r$ 는 RMS 지연확산을 나타내며,  $A_f$ 는 90% 주파수 상관일 경우에 0.02이고 50% 일 경우에는 0.2이다. 이때, 동기 시간은 다음과 같이 유도된다.

$$T_c \approx \frac{A_t}{2\pi f_m} \tag{2}$$

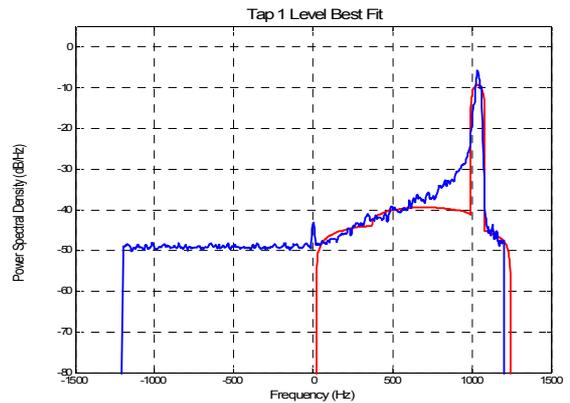
여기서  $A_t$ 는 각각 90% 시간 상관에서는 0.64이며 50% 상관에서 1.52이다. WAVE 모델은 최대 도플러 천이 주파수 및 도플러 PSD가 각 경로마다 다르기 때문에, 일괄적으로 식 (1)을 적용할 수 없다. 이러한 이유로 표 2의 동기 시간은 도플러 PSD가 classical 6dB라는 가정하에 경로 중 가장 큰 도플러 주파수를 기준으로 계산한 결과이다.

표 2에서 모델 4와 5, 6과 7, 8과 9는 지연확산이 각각 같아야 하지만 조금씩 다르게 계산결과가 나타나고 있다. 특히, 8과 9 모델은 RMS 지연확산이 약 7.5로 크게 차이가 난다.

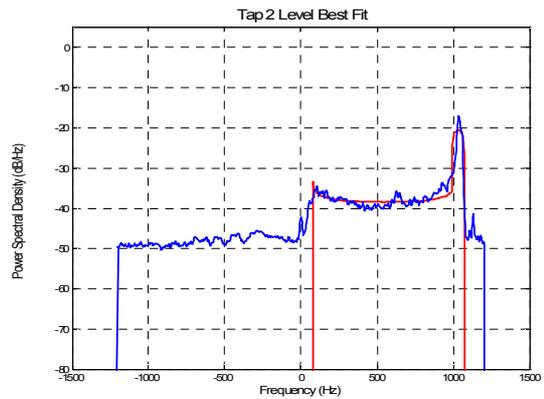
2-2 도플러 PSD 분석

그림 2는 채널 모델 1의 첫 번째와 두 번째 탭에 대해 측정된 도플러 PSD를 도시한 것이다. 측정된 각 도플러 PSD는 기존의 U-모양의 도플러 PSD와 달리, 비대칭이며 하나의 도플러 PSD로 피팅되지 않는다. 대부분의 채널 에뮬레이터는 대칭적인 도플러 PSD만을 지원하며 도플러 PSD의 타입도 제한적이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 WAVE 채널 모델은 대칭적인 도플러 PSD를 지닌 다수의 경로를 서로

다른 주파수로 이동시킨 후 중첩시켜서 요구되는 도플러 PSD를 생성한다. 그림 2에서 탭 1의 도플러 PSD는 최대 도플러 천이 주파수가 서로 다른 3개의 round 도플러 PSD의 페이딩 신호를 중첩시켜 생성되는 반면, 탭 2의 도플러 PSD는 classical 3dB와 round 도플러 PSD를 중첩시켜 생성된다. 이와 같은 페이딩 생성 방식은 제한된 도플러 PSD를 효과적으로 이용할 수 있는 장점이 있다.



(a) Tap 1의 도플러 PSD



(b) Tap 2의 도플러 PSD

그림 2. 차량간 마주오는 방향의 중간벽이 없는 고속도로, 300m - 400m 모델의 도플러 PSD 예 Fig. 2. VTV - Expressway Oncoming without Wall, 300m - 400m Model, doppler PSD Example.

WAVE 채널 모델은 그림 3에 보이는 바와 같은 classical 6dB, classical 3dB, round, flat 등 총 4가지 도플러 PSD로 각 경로의 페이딩 특성을 결정하며, 하나 이상의 경로가 중첩되어 하나의 탭을 형성한다.

모든 방향에서 동일한 전력을 지닌 산란성분이 이득이 1인 무지향성 안테나에 입사되는 경우에 수신

신호의 PSD는 고전적인 U-모양 도플러 PSD 형태로 표현된다. WAVE 모델에서는 이를 classic 6dB 모델로 칭하고 있으며, 다음과 같이 수식을 일부 변형하였다.

$$S_6(f) = \begin{cases} \frac{a}{\sqrt{1 - \left(\frac{f - f_d}{f_m}\right)^2}}, & |f - f_d| < 0.999f_m \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

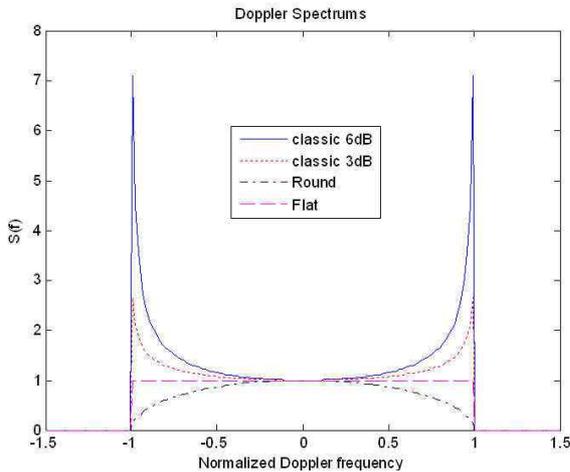


그림 3. 도플러 PSD  
Fig. 3. Doppler PSD.

여기서  $f_m$ 과  $f_d$ 는 각각 최대 도플러 천이 주파수와 도플러 오프셋(대칭적인 도플러 PSD의 중심 주파수)을 나타낸다. 또한,  $a$ 는 페이딩 신호의 평균 전력을 결정하는 전력요소이다. 식 (3)에서 도플러 주파수가  $|f - f_d| = f_m$ 인 경우에 도플러 PSD는 무한대의 값을 가지나,  $0.999f_m$ 으로 도플러 최대 도플러 주파수를 제한함으로써, PSD의 최대값이 최소값에 비하여 약 6dB정도가 되도록 구현할 수 있다. 반면, classical 3dB 도플러 PSD는 식(4)와 같이 classical 6dB의 PSD를 제곱근 취한 것으로 PSD의 최대값이 최소값에 비하여 약 3dB정도가 되도록 설계된다.

$$S_3(f) = \sqrt{S_6(f)} \quad (4)$$

다음 식 (5)의 Round 도플러 PSD는 식 (3)의 classical 6dB를 반전시킨 것이다.

$$S_r(f) = \begin{cases} a\sqrt{1 - \left(\frac{f - f_d}{f_m}\right)^2}, & |f - f_d| < 0.999f_m \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

Flat 도플러 PSD는 최대 도플러 천이 주파수 내에 평탄한 스펙트럼을 보인다.

$$S_f(f) = \begin{cases} a, & |f - f_d| \leq f_m \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

### III. WAVE 채널 시뮬레이터 모델링

WAVE 채널 시뮬레이터는 그림 4와 같이 TDL(Tapped Delay Line) 모델로 구현된다.  $L$ 개의 탭을 가정하면, 채널 시뮬레이터의 출력,  $y(n)$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$y(n) = \sum_{l=0}^{L-1} h_l(n)x(n-l) \quad (7)$$

여기서  $x(n)$ 과  $h_l(n)$ 는 각각 채널 시뮬레이터의 입력 신호와  $l$  번째 채널 탭의 계수를 나타낸다.

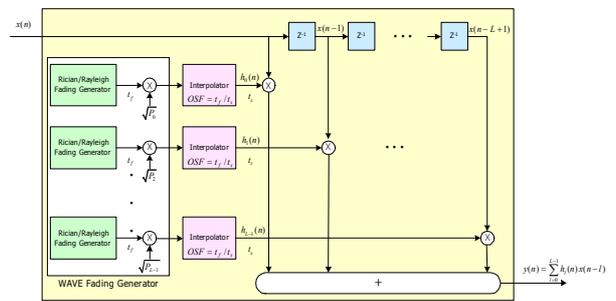


그림 4. WAVE 채널 시뮬레이터 블록도  
Fig. 4. Simulation block diagram of WAVE channel.

WAVE 채널 시뮬레이터는 Rayleigh/Rician 페이딩 생성기, 보간기(interpolator), TDL 등으로 구성하였다.

3-1 Rayleigh/Rician 페이딩 생성기

Rayleigh 페이딩 채널 계수는 그림 5와 같이 백색 Gaussian 잡음을 도플러 필터로 필터링하여 생성하고, 대칭적인 도플러 PSD의 중심 주파수가 0이 아닌 경우에, 이를 천이시켜 최종 채널 계수를 생성한다. 도플러 필터는 FIR(Finite Impulse Response) 혹은 IIR(Infinite Impulse Response)로 설계될 수 있다.

$$h_l(n) = \bar{h}_l(n)e^{j2\pi f_d \cdot t_f \cdot n} \quad (8)$$

여기서  $\bar{h}_l(n) = h_l(n) + jh_Q(n)$  은 주파수축에서 이동되지 않은, 즉, 도플러 PSD의 중심 주파수가 0인 페이딩 채널 계수를 나타내며, 채널 계수의 실수부와 허수부는  $E[h_l(n)h_Q^*(n)] = 0$  으로 서로 상관성이 없다. 도플러 필터가 FIR로 구현된 경우에 필터 계수를  $v_l(m)$  라 정의하면,  $\bar{h}_l(n)$  은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \bar{h}_l(n) &= h_l(n) + jh_Q(n) \\ &= \sum_{m=0}^{M-1} v_l(n)w_l(n-m) + j \sum_{m=0}^{M-1} v_l(n)w_Q(n-m) \end{aligned} \quad (9)$$

여기서  $w_l(n)$  와  $w_Q(n)$  는 각각 영평균이고 분산이 1인 확률변수다.

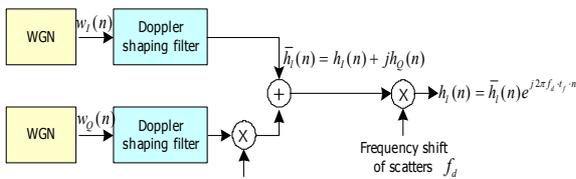


그림 5. Rayleigh 페이딩 생성기  
Fig. 5. Rayleigh fading generator.

Rician 페이딩 생성기는 그림 5의 주파수 비선택적 Rayleigh 페이딩 생성기의 출력에 LOS(Line of Sight)의 성분을 추가해 줌으로써 쉽게 생성할 수 있다. 이러한 경우에 Rician 페이딩 채널 계수는 다음과 같이 표현된다[6],[7].

$$\begin{aligned} \hat{h}_l(n) &= \sqrt{P_{l,s}} h_l(n) + \sqrt{P_{l,LOS}} h_l^{LOS}(n) \\ &= \sqrt{P_{l,s}} \bar{h}_l(n) e^{j2\pi f_d \cdot t_f \cdot n} + \sqrt{P_{l,LOS}} e^{j2\pi f_{LOS} \cdot t_f \cdot n} \end{aligned} \quad (10)$$

여기서  $P_{l,s}$  와  $P_{l,LOS}$  는 각각  $l$  번째 경로의 산란 성분의 전력과 LOS 성분의 전력을 나타낸다.

3-2 도플러 필터 설계

본 논문에서는 다양한 도플러 필터를 FIR 타입으로 설계할 수 있는 FFT 기반의 방식으로 설계한다. FFT 기반의 필터 설계의 경우에, 이산시간영역 필터 계수는 다음과 같이 유도된다.

$$\begin{aligned} \bar{v}_l(m) &= \sum_{k=-M/2}^{M/2-1} \sqrt{S(k)} e^{j2\pi mk}, \\ m &= 0, 1, 2, \dots, M-1 \end{aligned} \quad (11)$$

여기서  $S(k)$  는  $f = k(f_{DBW} / M)$  에서 이산화된 도플러 PSD를 나타내며,  $M$  은 도플러 필터의 길이를 나타낸다. 최대 도플러 천이 주파수  $f_m$  은 경로에 따라, 채널 모델에 따라 다르기 때문에 모의실험의 편의를 도모하고, 또한, 표본화 주파수의 정수배가 되도록  $\max\_f_m$  을 2kHz로 고정시킨다. 따라서, 총 도플러 필터 대역폭은 다음과 같이 간단하게 계산된다.

$$\begin{aligned} f_{DBW} &= 2 \cdot FOSF \cdot \max\_f_m \\ &= 4 \cdot FOSF \quad [kHz] \end{aligned} \quad (12)$$

이때,  $FOSF$  는 페이딩 오버-샘플링 요소를 의미한다. 한편, 그림 5에서 보는 바와 같이 필터 계수의 표본화 시간은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} t_f &= \frac{1}{f_{DBW}} = \frac{1}{2 \cdot FOSF \cdot \max\_f_m} \\ &= \frac{1}{4 \cdot FOSF} \quad [ms] \end{aligned} \quad (13)$$

위의 식에서  $FOSF = 2$  이면  $f_{DBW} = 8kHz$  이며, 전송신호의 표본화 주파수가  $f_s = 10MHz$  인 경우에 그림 6의 보간기에서 1250배 보간이 필요하게 된다. 이는  $f_s / f_{DBW}$  이 1%로 이하로 최대 도플러 주파수가 신호의 대역폭에 비하여 매우 작기 때문이다.

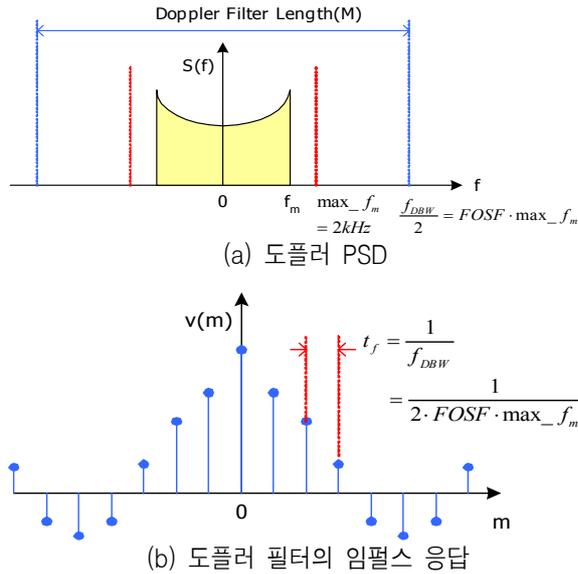


Fig. 6. Impulse response of doppler filter.

FFT 기반으로 설계된 도플러 필터의 주파수 응답의 side-lobe는 약 -25dB 정도로 비교적 크다. 윈도우 함수를 적용하면 이를 줄일 수 있는데, 이러한 경우에 도플러 필터 계수는 다음과 같이 수정된다.

$$v_1(m) = \bar{v}_1(m)w(m), \quad m = 0, 1, \dots, M - 1 \quad (14)$$

#### IV. WAVE 채널 모델 시뮬레이션

구현한 WAVE 채널의 페이딩을 검증하기 위하여 표 3과 같은 파라미터로 모의실험 하였다. 페이딩 채널의 특성을 계산하기 위하여 본 논문에서는 총 6.25ms 동안 관측된 페이딩 샘플을 이용하였으나, LOS의 경로의 전력이 크거나 도플러 최대 천이주파수가 작은 저속 페이딩 채널의 경우에 페이딩 샘플 길이를 늘려 관측 시간을 증가시키면, 보다 정확한

페이딩 특성을 얻을 수 있다. 또한, LCR 및 AFD 추정의 정확도를 개선하기 위해서 10배 오버-샘플링된 페이딩 샘플을 사용하였다. 모든 채널 타입에 대한 시뮬레이션이 수행되었으나 모의실험의 결과가 많은 관계로 본 논문에서는 마주오는 차량간 고속도로 상황에 대해 묘사한 채널 모델 1에 대한 결과만을 기술한다.

표 3. WAVE 채널 모의실험 파라미터  
Table 3. Simulation parameters for WAVE channel.

파라미터	값
전송 신호의 표본화 주파수, $f_s$	10MHz
도플러 필터 길이, $M$	1024
페이딩 오버-샘플링 요소, $FOSF$	2
도플러 필터 대역폭, $f_{DBW} = 4 \cdot FOSF$	8kHz
페이딩 샘플 길이, $N$	50000
관측 시간, $T_f = t_f \cdot N = N / f_{DBW}$	6.25ms

표 4. WAVE 채널 모델 1[4]  
Table 4. WAVE channel model 1[4].

경로	탭 전력 (dB)	상대경로 손실 (dB)	지연값 (ns)	라이시안 K (dB)	주파수 천이 (Hz)	페이딩 도플러 (Hz)	LOS 도플러 (Hz)	페이딩	스펙트럼 형태
1	0.0	0.0	0	-1.6	1451	60	1452	라이시안	Round
2		-24.9	1	n/a	884	858	n/a	레일리	Round
3		-25.5	2	n/a	1005	486	n/a	레일리	Round
4	-6.3	-13.1	100	n/a	761	655	n/a	레일리	Classic 3dB
5		-7.5	101	n/a	1445	56	n/a	레일리	Round
6	-25.1	-28.9	200	n/a	819	823	n/a	레일리	Classic 3dB
7		-29.3	201	n/a	1466	75	n/a	레일리	Flat
8		-35.6	202	n/a	124	99	n/a	레일리	Round
9	-22.7	-25.7	300	n/a	1437	110	n/a	레일리	Flat
10		-34.4	301	n/a	552	639	n/a	레일리	Classic 3dB
11		-27.4	302	n/a	868	858	n/a	레일리	Classic 6dB

표 4는 모델 1에 대한 채널 시나리오를 정리한 것이다. 총 4개의 탭으로 구성되며, 각 탭은 둘 이상의 경로로 구성된다. 또한, 첫 번째 경로에 Rician K-factor가 -1.6dB인 LOS 성분이 존재한다.

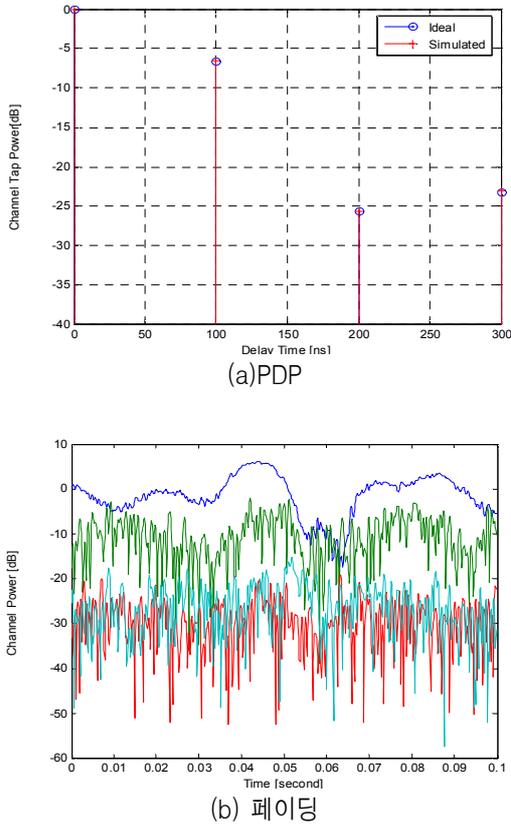


그림 7. 각각의 탭에 대한 PDP(Power Delay Profile) 및 페이딩  
 Fig. 7. PDP and Fading for each Tap

그림 7은 각 탭에 평균 전력 (a) 및 시간에 따른 채널 전력의 변화 (b)를 보여준다. 첫 번째 탭은 LOS를 성분을 포함하고 있고, 지배적인 경로의 최대 도플러 천이 주파수도 낮기 때문에 시간에 따라 천천히 변화함을 확인할 수 있다. 두 번째 탭은 두 경로가 중첩되어 있는데 지배적인 경로의 최대 도플러 천이 주파수가 낮아서 3 번째나 4 번째 탭에 비하여 큰 포락선을 가지고 움직임을 확인할 수 있다.

그림 8은 각 경로의 도플러 PSD를 보여준다. 대부분은 스펙트럼이 이론적인 스펙트럼과 유사했지만, 최대 도플러 천이 주파수가 100Hz 이하인 경우에 스펙트럼의 정확도가 떨어진다. 이는 두 가지 측면에서 설명이 가능하다. 첫 번째, 필터 설계 시 도플러 PSD를 양자화 하는 과정에서 도플러 주파수가 낮아 PSD가 왜곡되었을 가능성이 있으며, 다른 하나는 6.25ms의 관측시간이 이 페이딩의 전체 특성을 관측하기에 충분하지 못한 경우이다. PSD 양자화시 최소 8 샘플

이상이 할당하여, 관측시간을 증가시키면 보다 정확한 도플러 PSD를 얻을 수 있다.

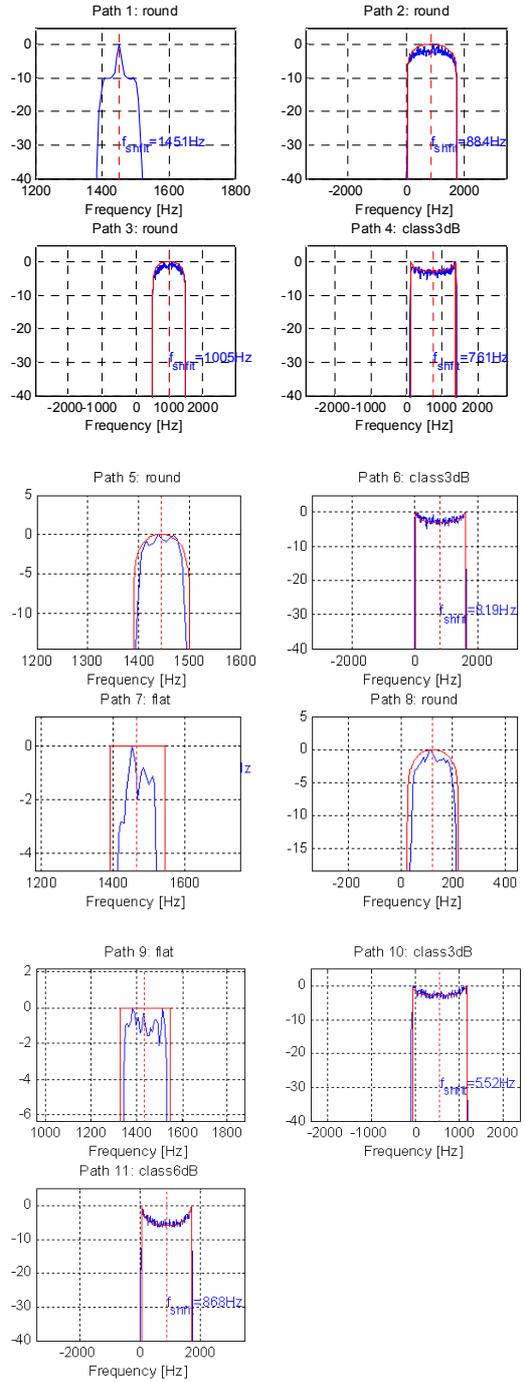


그림 8. WAVE 채널 1의 경로1~11에 대한 도플러 PSD  
 Fig. 8. Doppler PSD for path 1~11 of WAVE channel 1.

그림 9와 10은 각 경로의 정규화된 LCR과 AFD 특성을 보여준다.

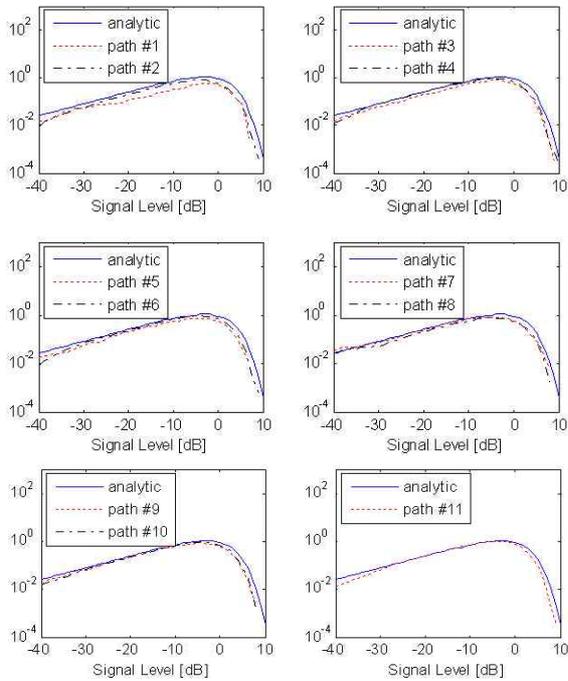


그림 9. WAVE 채널 1의 경로 1~11까지의 LCR  
Fig. 9. LCR for path 1~11 of WAVE channel 1.

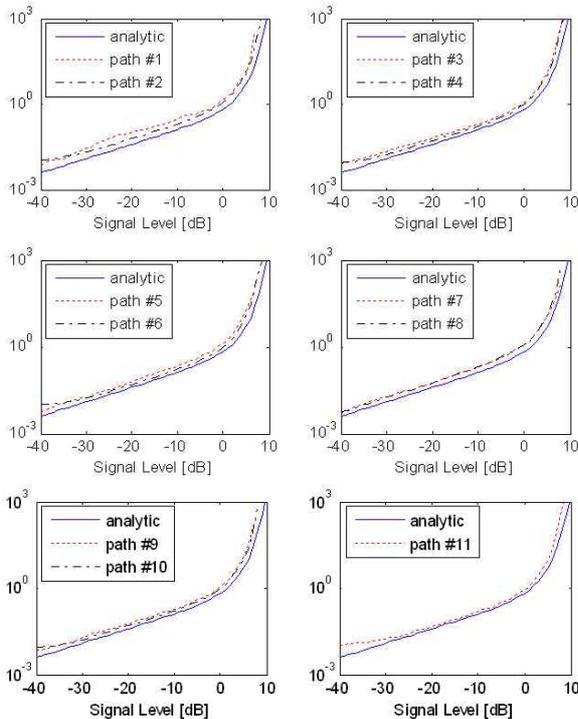


그림 10. WAVE 채널 1의 경로 1~11까지의 AFD시뮬레이션

Fig. 10. AFD for path 1~11 of WAVE channel 1.

첫 번째 경로를 제외하고 대부분은 이론적인 곡선과 유사함을 알 수 있다. 특히, 첫 번째 경로는 Rician

페이딩이지만 Rician K-factor가 작아서 Rayleigh 페이딩과 유사한 특성을 보인다. 최대 도플러 천이 주파수가 증가할수록 같은 시간에 신호의 크기가 시간에 따라 빠르게 변화하지만, 고정된 표본화 주파수로 표본화하면 표본화 시간 사이의 신호는 사라진다. 그러므로 이산시간 샘플에 대한 LCR과 AFD의 계산 시, 신호가 작은 경우에 교차점을 찾지 못하는 경우가 종종 발생하여 최대 도플러 천이 주파수가 증가할 수록 문턱 값이 작을 수록 정확도가 낮아진다. 이를 보완하기 위하여 LCR 및 AFD의 계산 시, 10배 오버-샘플링을 수행하였다.

### V. 결 론

본 논문에서는 최근 관심을 받고 있는 ITS의 핵심 기술인 차량간 통신 또는 차량과 노변간의 통신에 적용되는 표준인 IEEE802.11p의 WAVE 채널모델을 구현하기 위한 신호처리 기법을 제시하고 이를 적용하여 구현하였다. 또한 표준화단체에서 제안된 실측기반의 수치적인 조건을 이용하여 10가지 채널 모델로 구분하고 각각의 채널에 대해 전력 프로파일 페이딩 포락선, 도플러 스펙트럼, LCR, AFD 등의 시뮬레이션을 통해 결과를 검증하였다.

본 논문에서 제시한 시뮬레이션 기법을 통해 ITS의 핵심기술인 차세대 DSRC 통신시스템의 차량과 노변통신 및 차량간 통신 시스템의 성능을 평가하는데 기준 자료로 활용할 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] <http://www.itsa.org/standard.html>
- [2] 오종택, “미국의 5.9GHz 차세대 DSRC(IEEE802.11p TGp) 기술연구,” *OSIA Standard & Technology Review*, 제21권, 제2호, pp. 10-26, 2004. 12.
- [3] ASTM E2213-03 : Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange Between Roadside and Vehicle Systems-5GHz Band Dedicated Short Range Communications Medium

Access Control and Physical Layer Specifications, 2003.

- [4] Mary Ahn Ingram, Guillermo Acosta, and Lu Dong, "WAVE channel model," *IEEE802.11p Document*, Nov. 2006.
- [5] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles & Practice*, Prentice Hall PTR, 1996.
- [6] K. Pahlavan and A. H. Vesque, *Wireless Information Networks*, 2nd edition, *Wiley-Interscience*, 2006.
- [7] C. Y. Lee, *Mobile Communications Engineering*, 2nd edition, Mc-Graw Hill, 1998.

곽 재 민 (郭宰旻)



1998년 2월 : 한국항공대학교 통신정보공학과(공학사)

1999년 8월 : 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과(공학석사)

2002년 8월 : 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과(공학박사)

2002년 7월~2003년 7월 : 한국전자통신연구원 네트워크 연구소 (Post-doc.)

2003년 7월~2008년 2월 : 전자부품연구원 SoC연구센터 책임연구원

2008년 3월~현재 : 목포해양대학교 해양전자통신공학부 전임강사

관심분야 : OFDM, UWB, 유무선 통신신호처리, 임베디드 시스템