

# 지능형 도로 교통망을 위한 WAVE 시스템 구현

## Implementation of WAVE system for ITS

이세연\*, 정한균\*, 신대교\*, 임기택\*, 이주신\*\*

Se-Yeun Lee\*, Han-Gyun Jeong\*, Dae-Kyo Shin\*, Ki-Taeg Lim\* and Joo-Shin Lee\*\*

### 요약

본 논문에서는 IEEE 802.11a PHY를 기반으로 IEEE 802.11p MAC(Medium Access Control)과 IEEE P1609.3을 이용하여 IT 기반 지능형 도로 교통 체계를 위한 WAVE(Wireless Access in Vehicular Environment) 기술을 구현하였다. 구현된 WAVE 시스템은 최대 120km/h의 속도에서 노변 기지국과 차량 간에 최대 0.5km 범위 내에서 하향 기준 최대 12Mbps의 전송 속도로 통신이 가능하게 하였다. ITS를 위한 WAVE 시스템의 적합성 검증을 위해 도로에서의 저속 및 고속 주행 시 통신 반경 크기, 링크 접속 시간, 데이터 전송 속도, 오류율, 지연시간 등의 파라미터를 측정하여 WAVE가 IT 기반 ITS에 적합하다는 것을 입증하였다.

### Abstract

In this paper, the WAVE technology for IT based on Intelligent Transport System(ITS) which using by IEEE 802.11a PHY, IEEE 802.11p MAC(Medium Access Control) and IEEE P1609.3 was implemented. The WAVE system was designed that has maximum 0.5km communication range for RSU(Road Side Equipment) between vehicle, 12Mbps transfer speed when downlink at maximum 120km/h vehicle speed. To verify suitability of the WAVE system for ITS, we measured several parameters on the real road: communication range when low and high speed, link establishment time, data transfer speed, PER (Percent Error Rate), and latency. From the experiment results, we demonstrated that WAVE is a suitable technology for IT based on ITS.

Key words : WAVE, ITS, Smart-Highway, IEEE 802.11p

### I. 서론

지능형 교통 시스템(ITS, Intelligent Transport System)은 기존의 교통 정보 시스템에 첨단 통신 기술을 접목하여 교통 혼잡도를 줄이고 안전 운행과 대기 오염 감소 등을 실현하는 최적 교통 관리 체계로 정의된다.

현재 전 세계적으로 대두되고 있는 교통문제의 심각성을 해결하기 위하여 교통운영의 최적화, 교통사

고 감소, 물류비용절감 및 환경보호 등의 효과를 제공하기 위해서는 도로에서 주행 중인 차량을 대상으로 하여 도로변에 RSE(Road Side Equipment) 기지국을 설치하고, 차량에는 단말기를 탑재하여 고속으로 무선 패킷 통신을 수행하여 도로 및 차량의 위험정보, 교통정보 등을 주고받는 기술 개발이 필요하다.

국가 ITS 기본계획21에서는 ETCS(Electronic Toll Collection System), BIS(Bus Information System),

\* 전자부품 연구원(Korea Electronics Technology Institute) SoC 플랫폼 연구센터

\*\* 청구대학교 전자정보공학부(Dept. Electron & Information Eng., Cheong-ju University)

· 제1저자 (First Author) : 이세연

· 투고일자 : 2009년 11월 10일

· 심사(수정)일자 : 2009년 11월 13일 (수정일자 : 2009년 12월 22일)

· 게재일자 : 2009년 12월 30일

CVO(Commercial Vehicle Operation), ATIS(Advanced Traveller Information System) 등 다양한 서비스 제공을 목표로 하고 있으며, 이의 기반 인프라로서 차량과 노변간의 통신을 위한 고속 OFDM (Orthogonal Frequency division Multiplex) 기반 통신망 구축이 필수적이다. 고속 OFDM 기술은 도로를 따라 연속적인 데이터 중계가 가능한 노변 무선통신망을 구축하고, 구축된 노변 통신망을 이용하여 차내에서 실시간 사용자 요구 서비스를 수행하기 위한 핵심기술이다.

미국, 유럽 그리고 일본은 이미 오래전에 ITS 서비스를 시작하여 우리나라보다 기술적 우위에 있으며 관련 SoC (System On Chip), 시스템 등 핵심기술을 선점당하고 종속될 우려가 있으므로 12Mbps급 이상의 고속 OFDM DSRC (Dedicated Short Range Communication)규격화 작업을 서둘러 진행하고 관련 SoC, 시스템 등을 개발한다면 IT 강국의 입지를 충분히 살려 ITS 분야에서도 세계적인 기술 선진국이 될 수 있을 것이다. [2][3]

고속 OFDM 기술을 활용한 교통정보 제공 기술은 정보, 이동통신 및 자동차 등 첨단기술이 융합된 고부가가치 산업 및 이동통신, 자동차 및 정보기술이 융합된 신산업으로 육성 가능한 가장 중요한 기술이며, 이러한 기술개발을 통해 기술 선도국인 미국, 일본 등에 대한 기술 격차를 줄일 수 있다.

현재 하이패스 서비스에 사용되고 있는 능동형 DSRC 시스템은 전송속도가 최대 1Mbps이며, 대표적인 ITS서비스인 자동요금징수(ETC) 등, 짧은 메시지의 데이터 서비스에는 아주 효과적이지만 멀티미디어 정보를 수용하기에는 전송 속도면에서 불충분하며, 또한 능동형 DSRC 시스템은 비교적 단순한 변조 방식(ASK)을 사용하고 있기 때문에 이 방식에서 고속화 할 경우 상당한 대역폭과 DSRC 무선 채널환경에 아주 취약한 특성을 가지게 되므로 고속 데이터 통신을 위한 차세대 OFDM DSRC 통신 프로토콜에 대한 연구 및 제품 개발이 이루어져야 한다.

WAVE(Wireless Access for Vehicular Environment)는 미국 ASTM(American Society for Testing and Materials) DSRC 표준을 기반으로 IEEE 802.11p 및 IEEE P1609는 지난 2003년부터 국제 표준화가 진행되고 있는 무선 통신 규격이다. 물리 계층과 MAC 계층은 IEEE

802.11p를 통하여 표준화가 진행되어 2009년 4월 현재 무선랜과의 호환성 유지와 관련된 투표를 진행 중에 있으며, 곧 초안 규격이 발표될 예정이다. 최대 200km/h의 속도에서도 통신이 가능하게 하는 것을 목표로 하고 있으며, 도로-차량 간 통신의 경우 1km 범위 내에서 1Mbps의 속도로 통신이 가능하도록 하고 있다. WAVE의 주요 응용1km 영역은 1Mbps 능동형 DSRC에서 목표로 하는 응용1km 영역과 동일하며 WAVE를 통하여 DSRC 규격의 국제 표준이 완료된 후 차량 간 통신의 상용화가 가능할 것으로 전망된다. [4][5]

본 논문에서는 지능형 도로교통 시스템을 위한 WAVE 시스템 구현을 하고자 한다. WAVE시스템 구현은 IEEE 802.11a PHY를 기반으로 IEEE 802.11p MAC(Medium Access Control)과 IEEE PP1609.3을 이용하여 IT 기반 지능형 도로 교통 체계에 적합하게 한다. 구현된 시스템의 성능 평가는 여주 시험도로에서 고속으로 주행하는 자동차와 노상에 설치한 기지국과 통신 반경 크기, 링크 접속 시간, 데이터 전송 속도, 오류율(PER, Percent Error Rate), 지연시간, 핸드오버 가능의 여부 등, 비교적 객관적인 파라미터 지표를 통해 WAVE가 IT 기반 SMART 도로 교통 운영에 적합하다는 것을 입증하고자 한다.

## II. WAVE 표준

WAVE는 차량의 안전을 증대하고 교통정보 전송을 위해 기존의 IEEE802.11a 표준 규격을 차량 환경으로 변경하기위해 필요한 규격을 별도로 규정한 고속 무선 접속 서비스용 통신 프로토콜로서 5.850GHz~5.925GHz 사이에서 75MHz의 대역폭을 지원한다. 그림 1에서와 같이 제어를 위한 제어채널이 별도로 존재하고, 제어채널을 제외한 나머지를 채널을 할당하여 데이터를 전송한다. 채널 대역폭은 데이터의 용량에 따라 20MHz로 조정하여 전송할 수 있도록 규정하고 있다. [6][7]

WAVE는 IEEE 802.11p와 IEEE P1609를 포함하며, 그림 2과 같은 WAVE구조로 구성되는데, IEEE 802.11p에서는 차량 및 외부에서의 원활한 동작을 위해 기존 802.11 PHY의 몇 가지 부분을 새롭게 정의하였다.

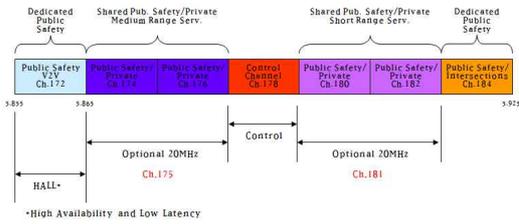


그림 1. IEEE 802.11p 채널 할당  
Fig 1. IEEE 802.11p Channel Allocation

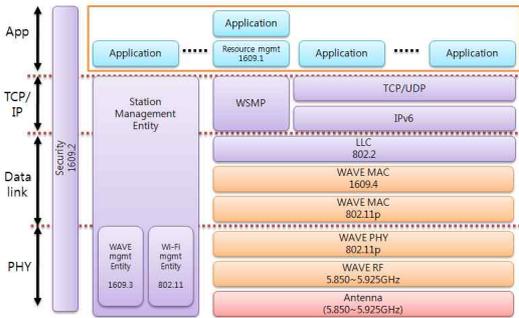


그림 2. WAVE 구조  
Fig 2. WAVE Architecture

첫 번째로 동작 온도를 온도형태 타입-4 (-40°C~85°C)로 정의하였다. 이는 차량용 전자부품의 동작온도에 기인한 것으로 사료된다.

두 번째의 변경점은 OFDM 성능 지표가 강화되었다는 것이다. 기존 IEEE 802.11 OFDM PHY는 데이터 신호를 최소감도인 3dB 기준 만큼 세계 신호 크기를 설정하고, 인접하거나 또는 이격된 간섭 신호의 신호크기를 올리면서 테스트를 진행하고, 1,000바이트 길이의 PSDU (Presentation Service Data Unit)를 전송했을 때, PER이 10%가 될 때까지 측정한다. 이 때, 데이터 신호와 간섭 신호의 신호 크기 차이가 인접 채널제거 값으로 정의된다. 간섭 신호는 데이터 신호와 동기화되지 않은 OFDM 신호여야 한다. IEEE 802.11p에서는 선택사항으로 ACR Type이라는 PHY MIB 속성 변수를 새롭게 정의하여, 이 값이 1인 경우에는 기존 802.11 OFDM PHY의 성능 지표를 적용하고, 2인 경우에는 간섭 신호는 데이터 신호와 동기화되지 않은, 전송마스크 M을 사용하는 OFDM신호여야 한다.

세 번째는 채널간격 기준이 선택 사항과 필수사항으로 기존 표준에 추가되었다. IEEE 802.11 OFDM PHY에서 20MHz 채널간격은 필수 사항이며, 10MHz 및 5MHz는 필수 사항인데 비해, IEEE 802.11p에서는 10MHz는 선택 사항이거나, 특정한 경우(특정 조건

하에서는) 필수 사항이다.

네 번째는 주파수 채널 대역이 변화되었다. 주파수 대역이 미국의 경우 5.850~5.925GHz 대역의 주파수 채널을 사용하도록 정의한다. 이 때, 20MHz, 10MHz, 5MHz 대역폭 지원은 선택사항이다.

다섯 번째 변화는 5.850~5.925GHz 대역을 사용할 경우 해당 대역에서의 제한 파워 세기를 표 1과 같이 정의한다. (Class A는 필수 사항이며, 나머지는 선택사항임)

표 1. IEEE 802.11p 최대 전송 파워 제한  
Table 1. Maximum Transmission Power Limit under IEEE 802.11p

STA transmit power classification	Max.STA transmit power (mW)	Max. permitted EIRP (dBm)
A	1	23
B	10	23
C	100	33
D	760	33 / 44.8

여섯 번째는 새롭게 재 정의된 스펙트럴 마스크이다.

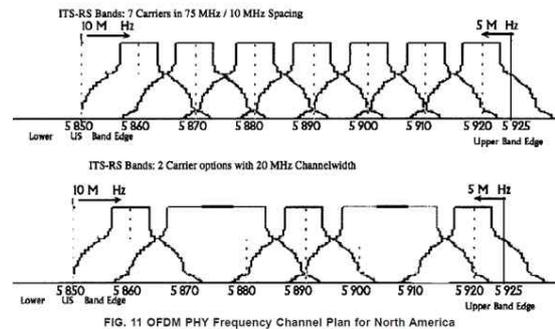


그림 3. 802.11p에서의 스펙트럴 마스크 정의  
Fig 3. Spectral Mask Definition in 802.11p

IEEE 802.11p는 각 클래스에 대한 (해당 클래스가 구현되었을 시) 전송 스펙트럴 마스크를 기존 IEEE 802.11 OFDM PHY에 정의된 20MHz 대역폭에 대한 정의 외에, 5MHz, 10MHz 대역폭에 대해 그림 4와 같이 재 정의한다.

위 6가지 큰 차이점을 포함하여 나머지 차이점은 표 2와 같다. 표 2는 IEEE 802.11과 IEEE 802.11p와 비교를 한 것이다. [8]

표 2. IEEE 802.11a vs IEEE 802.11p  
Table 2. IEEE 802.11a vs IEEE 802.11p

Item	802.11a	802.11p(D7.0)
<b>Physical layer(PHY)</b>		
Modulation	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM	
Transmit mechanism	5GHz OFDM PHY	
Frequency band	U-NII (5.15-5.35 / 5.725-5.825GHz)	5.850-5.925GHz
Temperature range	Type1, Type2, Type3	Adds Temperature range Type4 (-40~85° C: for automotive & outdoor environment)
Channel rejection	Specifies "Adjacent/Non-adjacent channel rejection" receiver performance requirements.	Specifies <b>enhanced</b> "Adjacent/Non-adjacent channel rejection" receiver performance requirements.
Channel spacing	Mandatory: 20MHz Optional: 5, 10MHz	Mandatory: 10, 20MHz Optional: 5MHz
Transmit power level	Specifies Transmit power limit requirements for each sub-band in U-NII band(5.15-5.25, 5.25-5.35, 5.725-5.825GHz)	Adds Transmit power limit requirements for DSRIC band(5.850-5.925GHz)
<b>Medium Access Control layer(MAC)</b>		
OCB communication		Defines OCB communication mechanism
Timing advertisement		Defines Timing advertisement frame for time synchronization between nodes

타낸다.

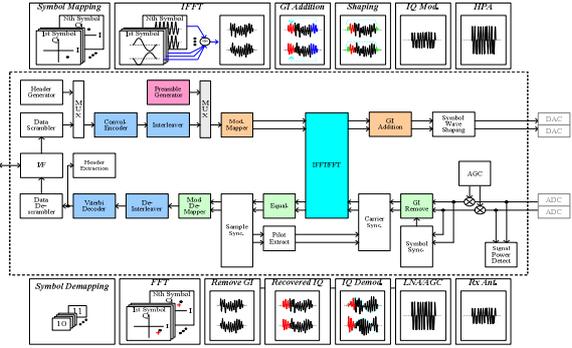


그림 6. IEEE 802.11p 모뎀 블록도  
Fig 6. IEEE 802.11p MODEM Block Diagram

### III. WAVE 시스템 구현

#### 3-1 Hardware

IEEE 802.11p 표준에서는 5.85~5.925 GHz 대역의 WAVE 물리계층 (PHY)을 규정하고 있다. WAVE를 구현하기 위하여 H/W 적으로 요구되는 부분은 크게 다음과 같이 3부분으로 나뉜다.

인코더, 디코더를 포함한 MAC부, BPSK, QPSK, QAM 등 메시지 신호를 변조/복조하는 모뎀부, 생성된 I/Q 차동 신호를 반송 주파수에 실어 보내거나 전송된 반송 주파수를 수신 받아 원래의 I/Q 신호로 만드는 역할을 담당하는 RF부이다.

설계된 WAVE MAC 구조는 그림 5에 나타내었다.

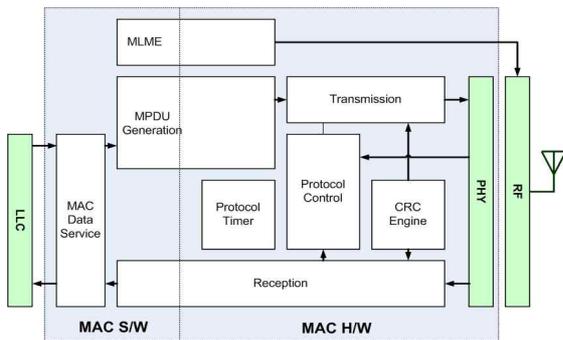


그림 5. WAVE MAC 구조  
Fig 5. WAVE MAC Architecture

설계된 WAVE MAC은 IEEE 802.11p Draft 7.0을 기준으로 설계되었으며, FPGA 및 SoC에 구현되었다. 그림 6은 메시지 신호를 변/복조하는 모뎀 부를 나

송신단에서 입력 데이터는 스크램블링되고 길썬 부호기와 인터리버를 거쳐서 부반송파로 변조되는데, 이때 전송률에 따라서 각기 다른 부호율, 인터리빙 크기 및 변조방식을 갖게 된다. 그 후, 4개의 파일럿 톤이 데이터 부반송파에 더해져서 총 52개의 부반송파가 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)를 통과하여 하나의 OFDM 심볼을 형성하며, 여기에 보호구간(GI: Guard Interval)을 삽입한 뒤 윈도우를 취하여 전송하게 된다. 수신단에서는 송신단의 역과정이 일어나며 동기화 과정이 첨가된다. 먼저 정해진 훈련 심볼을 사용하여 주파수 오프셋 및 심볼 오프셋을 추정하는 과정이 선행되어야 하고 그 뒤에 데이터가 FFT를 통과하여 52개의 부반송파로 복원된다. 등화기를 통과하여 채널응답이 보상된 데이터는 비트열로 변환되어 비터비 복호기와 디스크램블러를 거쳐서 최종 데이터로 출력된다. [9][10][11]

그림 7은 설계된 WAVE 기저대역 모뎀 블록도를 나타내며, 그림 8은 그림 7을 토대로 구성한 하드웨어 블록도를 나타낸다.

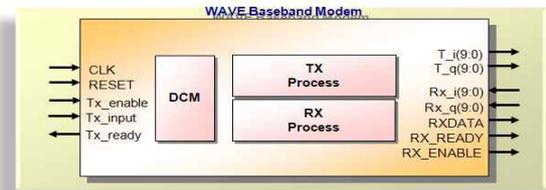


그림 7. WAVE 기저대역 모뎀 블록도  
Fig 7. WAVE Baseband MODEM Block Diagram

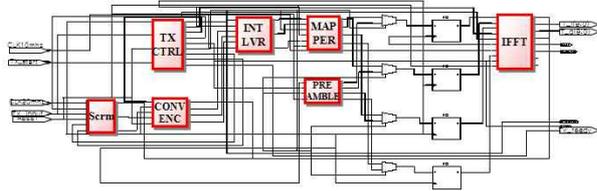


그림 8. WAVE 모뎀 송/수신 블록도  
Fig 8. WAVE MODEM Transceiver Blockdiagram

그림 9은 WAVE 모뎀 수신부 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

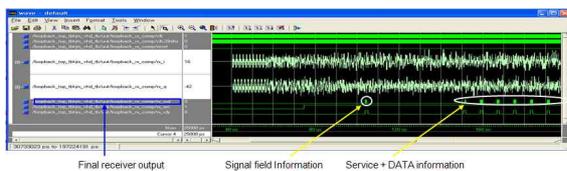


그림 9. WAVE 모뎀 수신부 시뮬레이션 결과  
Fig 9. Simulation Result of WAVE MODEM Receiver

RF 트랜시버를 포함한 전체 802.11p WAVE 모뎀의 송수신 블록도는 그림 10에 나타내었다.

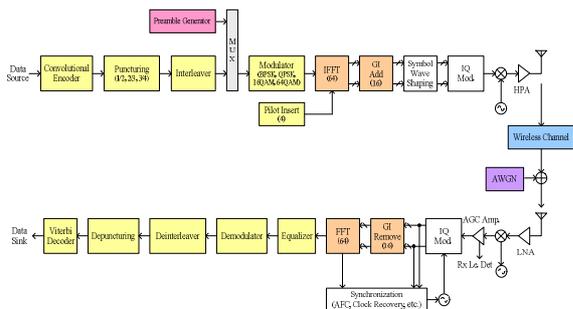


그림 10. IEEE 802.11p WAVE 모뎀의 송수신 블록도  
Fig 10. Transceiver Blockdiagram of the IEEE 802.11p WAVE MODEM

### 3-2 Software

IEEE 802.11p / D7.0 표준은 다음 규격을 기반으로 한다.

- IEEE Std 802.11-2007
- IEEE Std 802.11k-2008
- IEEE Std 802.11r-2008
- IEEE Std 802.11y-2008
- IEEE P802.11w-D6.0

- IEEE P802.11n-D7.0
- IEEE P802.11z-D2.0

IEEE 802.11p/D6.0 규격에서는 기존의 기본 802.11 통신 외에 OCB(Outside Context of BSS) 통신 방식을 규정하고 있다. OCB 통신은 wildcard BSS ID를 사용하여 BSS의 생성 및 가입 절차 없이 디바이스간 통신이 가능하도록 하는 통신이다.

OCB 통신은 기존 WLAN에 정의된 스캔, 인증, 결합 절차 없이 디바이스 간 통신이 가능하도록 한다. WAVE 스택(IEEE 1609)에서 정의된 바와 같이 공급자 디바이스가 자신의 서비스 정보를 광고하면 이를 수신한 사용자 디바이스가 바로 데이터 프레임을 공급자 디바이스로 전달하는 절차들은 이러한 OCB 통신을 통해 이루어질 수 있다. 즉, WAVE에 정의된 V2I 및 V2V 통신 모두가 OCB 통신을 수행하는 것이다.

OCB 통신이 가능한 디바이스가 Timing Advertisement 메시지를 전송하고 있을 때 OCB 통신이 가능한 디바이스가 이를 수신하면 스캔/인증/결합 절차없이 바로 동기화되어 데이터 프레임을 공급자 디바이스로 전달할 수 있고, OCB 통신이 불가능한 디바이스인 경우에는 기존 WLAN 절차를 수행해야 한다. [12]

이러한 IEEE 802.11p만의 특징을 구현하기 위하여 WAVE 프로토콜 스택 소프트웨어를 개발하였으며, 이는 자체 개발한 WAVE SoC 기반 플랫폼에 uclinux 2.4.31을 포팅하였고, 포팅된 uclinux 상에서 동작하는 WAVE 프로토콜 스택 소프트웨어 및 디바이스 드라이버를 개발하였다. 개발된 WAVE uclinux 프로토콜 스택은 다음과 같으며, 그림 11에 개념도를 나타내었다.

- IEEE 1609.3/4 Implementation, IEEE 802.11p/D7.0 Implementation, IEEE 1609.1/2 Optional.
- WSMP Kernel Embedding
- WME/WSM MAC primitives 인터페이스 정의 UserSpace<->Kernel, Kernel<->Kernel간 인터페이스

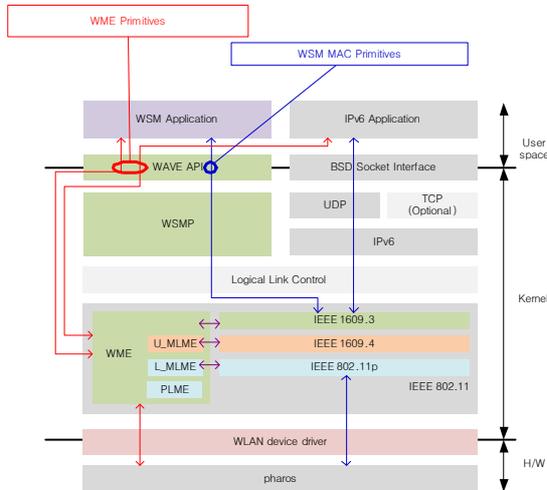


그림 11. WAVE uclinux 프로토콜 스택  
Fig 11. WAVE uclinux Protocol Stack

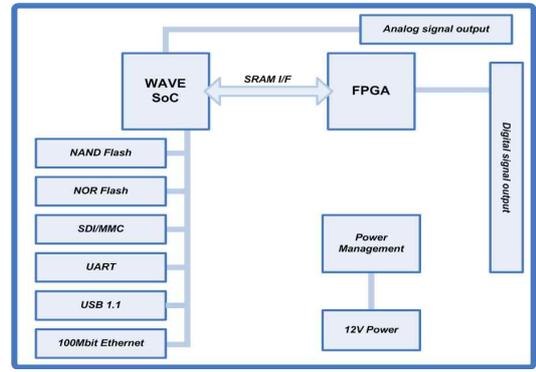


그림 12. 개발된 WAVE 레퍼런스 플랫폼 기본 구성도  
Fig 12. Basic Diagram of WAVE Reference Platform

위의 결과를 토대로 자체 개발된 WAVE 시스템의 성능을 평가할 수 있도록 구성된 레퍼런스 플랫폼의 H/W 및 S/W의 주요 사양은 아래와 같으며, 그림 12는 실제 구현한 WAVE 레퍼런스 플랫폼 기본 구성도를 나타내었다.

H/W solution

- WAVE MAC/PHY chip solution - Pharos 2009.8: 802.11p OFDM PHY & MAC
- Channel Bandwidth: 10MHz
- Data rate: 3,6,12Mbps (Mandatory)
- Channel Coding: Convolutional Code
- Subcarrier Frequency Spacing: 156.25kHz
- IFFT/FFT Period: 6.4us
- OFDM Symbol Interval: 8us
- Preamble Duration: 32us
- 4-class QoS support
- Supports some features of IEEE 1609.4: Channel coordination

S/W solution

- Based on IEEE 802.11p/D7.0: Timing Advertisement & OCB communication
- IEEE 1609.3 & 1609.4
- On-Demand Beacon
- Supports WAVE Basic Service Set (WBSS)

V. 실험 및 결과

본 연구에서 구현된 WAVE 시스템의 성능을 평가하기 위하여 2009년 7월 중부 내륙 고속도로에 위치한 한국도로공사 시험도로 (여주 시험도로)에서 RSE를 1km 간격으로 3대를 설치하고, 저속 및 고속으로 이동하는 OBU (On-Board Unit)와 RSU 간에 무선 링크 접속 (V2I)을 시도하여, 실제 통신 반경과 데이터 길이 별 지연시간 측정, 링크 접속 시간, 오류율 등을 산출하여 WAVE 시스템의 성능을 객관적으로 평가하였다. 현재까지 공개된 RF 트랜시버 칩 중 미국 WAVE 주파수 대역인 5.850~5.895GHz을 지원하는 칩이 없는 관계로, IEEE 802.11a 주파수 대역인 5.725GHz 주파수를 사용하여 실험하였다.

실험은 30km/h의 속도에서 기본적인 파라미터를 수집한 후, 고속도로에서 차량이 달릴 수 있는 최대 속도인 180km/h의 속도로 차량의 주행속도를 높여 본격적인 성능 측정을 실시하였다.

표 3은 측정된 RF Tx의 전파 강도를 나타내며, OBU의 경우 다이버시티(Diversity) 포트를 통하여 측정하여 메인 포트 대비 25dB의 신호 감쇠가 있었다.

표 3. 측정된 RF Tx 전파 강도  
Table 3. Measured RF Tx Signal Strength

규격	표준: 20dBm
구분	5.725GHz
OBU	-12.80 dBm
RSE #1	12.89 dBm
RSE #2	14.00 dBm

통신 반경 테스트는 각각의 RSE와 주행 중인 OBU 간에 실제 통신이 가능한 유효반경 거리를 측정한다. OBU는 통신 반경 밖에서 대기하고 있다가 기준 RSE를 향해 30km/h부터 180km/h 까지의 속도 범위 중 한 가지 지정속도로 주행하며 실제 통신이 되는 시점에서의 거리를 측정하였다. 표 4는 측정된 통신 반경 결과를 보여준다.

표 4. 통신 반경 측정 결과  
Table 4. Measured Communication Range

테스트 속도 [km/h]	통신반경[km]
30	0.9
60	0.7
90	0.8
120	0.8
160	0.6
180	0.5

지연시간(latency) 측정은 데이터 길이를 512 byte 부터 1518byte로 변화시켜가며 이동 중인 OBU와 RSE 간의 데이터가 경유하는 데 걸리는 시간을 측정하였다. OBU는 기준 RSE를 향해 지정 속도로 주행하며, 통신 반경 내에 진입한 후 게이터 통신을 시도 하여 OBU와 RSE 간의 데이터 왕복 소요시간을 1회 측정하여 도출하였다.

표 5는 측정된 지연시간 결과를 나타낸다.

표 5. 지연 시간 측정 결과  
Table 5. Measured Latency

테스트 결과 (단위: msec)				
데이터길이 (bytes)	512	1024	1518	
기본테스트 (30km/h)	1	1.465	1.794	
성능 테스트 (km/h)	60	1.117	1.545	1.863
	90	1.173	1.488	1.892
	120	1.12	1.561	1.889
	160	1.1642	1.6204	1.942
	180	1.9108	2.3538	1.2692

링크 접속 시간은 RSE와 OBU가 상호 통신 반경 내에 들어왔을 때 최초 연결을 위해 소요되는 시간을

측정하였다. OBU는 기준 RSE 통신 반경 외에서 대기하고 RSE의 통신 스위치는 개방한다. OBU는 지정 속도로 기준 RSE를 향해 주행하고 통신 반경 내에 진입 후 링크가 연결되었을 때 링크 연결 소요시간을 측정한다. 표 6에 측정 결과를 나타내었다.

표 6. 링크 접속 시간 측정 결과  
Table 6. Test Result of the Link Establishment Time

링크 접속 시간 (단위: msec)			비 고
기본테스트 (30km/h)		1	* 1msec 단위로 측정됨
성능 테스트 (km/h)	60	2	
	90	1	
	120	2	
	160	2	
	180	2	

데이터 전송 속도는 OBU와 RSE 간에 데이터 통신 시 데이터 전송 속도를 측정하는 것이며, 측정 방법은 기준 RSE의 통신 반경 밖에서 OBU를 대기시킨 후, RSE는 프레임을 연속적으로 보내는 상황에서 시험 OBU가 지정 속도로 기준 RSE를 향해 주행할 때, 통신 반경을 지나는 시점에 프레임 수신을 시작하고, 반대편 통신 반경을 지나는 시점에 통신을 종료한다. 이때, 사용하는 데이터는 상향, 하향 모두 같은 데이터를 사용하며 길이는 512byte, 1024byte, 1518byte 세 가지 길이의 데이터를 사용하여 측정하였다. 전송 속도 측정 결과는 표 7에 나타내었다.

패킷 오류율(PER)은 네트워크 측정 장비인 스마트 비트를 사용하여 RSE 및 OBE측에서 동시에 데이터를 전송하였다. 전송되는 데이터 패킷의 인터벌은 2msec로 지정한 후, 전송된 패킷 수에 대해 오류가 발생한 패킷의 수를 산정하여 정보 전송의 정확도를 측정하였다. 데이터 전송 속도 테스트를 통해 기준 RSE와 OBU 간에 주고 받은 패킷 수를 비교하여 오류가 발생한 패킷 수의 비율을 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$PER(\%) = \frac{\text{수신된 패킷 수}}{\text{송신한 패킷 수}} \times 100 \quad (1)$$

표 7. 전송 속도 측정 결과  
Table 7. Measured Data rate

구분		데이터 전송속도 (Mbps)		
		512 byte	1024 byte	1518 byte
상향 (OBU> RSE)	30km/h	0.05	0.05	0.08
	60km/h	0.22	0.21	0.18
	100 km/h	0.85	2.25	1.32
	120 km/h	1.29	1.36	4.33
하향 (RSE > OBU)	기본	4.32	4.63	4.53
	60km/h	3.27	1.34	4.14
	100 km/h	2.28	2.26	1.94
	120 km/h	2.4	1.92	2.25

표 8과 9는 각각 상향과 하향 패킷 오류율 산출 결과를 보여준다.

표 8. 패킷 오류율 산출 결과 (상향)  
Table 8. Calculation Result of PER (uplink)

상향				
테스트 결과 (단위: %)				
데이터길이(bytes)		512	1024	1518
기본테스트 (30km/h)		0	36.4	43.7
성능 테스트 (km/h)	60	0	44.55	69.5
	90	0	43.7	71.1
	120	0	27.8	68.85
	160	0	44.7	64.2
	200	0	41.9	55.25

표 9. 패킷 오류율 산출 결과 (하향)  
Table 9. Calculation Result of PER (downlink)

하향				
테스트 결과 (단위: %)				
데이터길이(bytes)		512	1024	1518
기본테스트 (30km/h)		2.55	2.45	1.2
성능 테스트 (km/h)	60	3.3	1.85	1.2
	90	1.7	2.45	1.8
	120	2.45	2.15	2.1
	160	2	2.55	1.5
	200	2.4	2.95	2.4

### V. 결 론

본 논문에서는 지능형 교통망에 적합한 WAVE 시스템 구현을 위하여 고속 무선 통신에 적합한 IEEE 802.11p를 이용하여 물리 계층과 MAC 계층을 설계하였다. 구현된 WAVE 시스템은 최대 120km/h의 속도에서 노변 기지국과 차량 간에 최대 0.5km 범위 내에서 하향 기준 최대 12Mbps의 전송 속도로 통신이 가능하게 하였다. 구현된 시스템의 실험 및 평가는 여주 시험도로에서 실시하였다. 그 결과 차량이 120km/h로 주행 시 통신 반경 크기는 0.5km에서 전계강도가 OBU 기준 -12.8dBm이었으며, 링크 접속 시간은 2ms, 데이터 전송 속도는 하향 기준 2.25Mbps, 오류율(PER) 2.1% (하향 시, 1518 byte 길이 패킷 기준), 지연시간 1.889ms (1518byte 길이 패킷 기준)였다.

이 결과는 하향 기준으로 기존 WAVE용 DSRC의 최대 전송속도 1Mbps의 두 배 이상으로, SD급 동영상 실시간으로 전송이 가능한 전송속도이다. 비교적 높은 오류율과 전송 속도 설계치인 12Mbps에 미치지 못하는 점은 야외 무선 환경이나 고속이동 환경 등의 열악한 환경에서 측정하였기 때문으로, 이 부분에 대한 개선의 여지가 있는 것으로 사료된다.

향후 연구 과제는 상향 시 오류율 감소, 전송 속도 향상, 고속 도로 환경에 맞는 안테나 도입 등을 통해 스마트 하이웨이에 적용가능토록 하고자 한다.

감사의 글

본 논문은 국토해양부 SMART 도로-IT 기반 교통 운영기술 개발 사업(과제번호: 07기술혁신A01) 세부 과제인 사용자 중심의 SMART 통신시스템 구축 과제의 지원에 의함.

참 고 문 헌

[1] 전자부품연구원, "고속데이터 통신용 시스템 IC 개발 (최종보고서)", 2009.9

[2] 대한 토목 학회, "Super Highway & SMART Road", 2005 토목의 날 미래정책토론회 논문집, 대한 토목 학회, 2005

[3] 건설교통부, "국가 ITS 표준 적용방안 연구", 2007.2

[4] 전자부품연구원, "사용자 중심의 SMART 통신 시스템 구축", 2009. 6

[5] 방준성, "지능형교통체계(ITS) 기술동향", 전자부품연구원, 2007.1

[6] ANSI IEEE 802.11 std, IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements <Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications>, 12 June 2007

[7] ANSI IEEE 802.11a std , Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: high-speed physical layer in the 5GHz band, December 1999. pp.2223-2227, Sept. 1999

[8] ANSI IEEE 802.11p /D9.0 Draft Standard for Information Technology —Telecommunications and information exchange between systems — Local and metropolitan area networks — Specific requirements <Part 11: Wireless LAN Medium

Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications> <Amendment 7: Wireless Access in Vehicular Environments>, Sept. 2009

[9] W. Y. Zou, and Y. Y. Wu, "COFDM : an overview," *IEEE Trans. on Broadcasting*, vol. 41 no. 1, pp. 1-8, Mar. 1995.

[10] John Terry and Juha Heiskala, "OFDM Wireless LANs : A Theoretical and Practical Guide", SAMS, 2002.

[11] G. D. Bergland and D. E. Wilson. A fast Fourier transform algorithm for a global, highly parallel processor. *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics*, AU-17 pp.125~127, 1969.

[12] IEEE P1609.3 /D1.4 Draft Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Networking Services, Sept. 2009

이 세 연 (李世燕)



2004년 8월 : 청주대학교 전자공학과 (공학사)  
 2007년 2월 : 청주대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2007년 6월~2008년 11월 : (주) 파워프라자 연구원  
 2009년 6월~현재 : 전자부품연구원

SoC 플랫폼 연구센터 연구원  
 관심분야 : SoC 플랫폼 설계, 차량용 통신 시스템

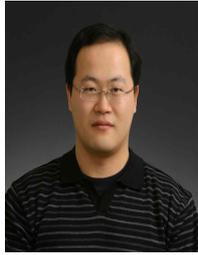
정 한 균 (鄭翰均)



2005년 : 한국항공대학교 정보통신공학(공학사)  
 2007년 : 한국항공대학교 정보공학 (공학석사)  
 2008년~현재 : 전자부품연구원 전임 연구원

관심분야: 네트워크 시스템 개발, 네트워크 프로토콜 설계

신 대 교 (辛大校)



1998년 : 아주대학교 전자공학과 (공학사)  
2000년 : 아주대학교 전자공학과 (공학석사)  
2000년~2003년 : (주)이엠디티  
2003년~현재 : 전자부품연구원 선임연구원

관심분야: SoC설계, 디지털 모뎀 설계

임 기 택



1994년 : 한양대학교 전자공학과 (공학사)  
1996년 : 한양대학교 전자공학과 (공학석사)  
1996년~현재 : 전자부품연구원 책임연구원

관심분야: 지능형자동차, ITS, 엔터테인먼트용 SoC 및 시스템

이 주 신(李周信)



1975년 : 명지대학교 전자공학과 (공학사)  
1977년 : 홍익대학교 전자공학과 (공학석사)  
1986년 : 명지대학교 전자공학과 (공학박사)  
1980년~현재 : 청주대학교 전자정

보공학부 교수

관심분야: 영상처리, 디지털 신호처리, 컴퓨터 비전