

발 간 등 록 번 호

11-1613000-001994-01

Land Infrastructure and Transport R&D Report

보안 과제(), 일반 과제() / 공개(), 비공개()
국토교통기술촉진연구사업 최종보고서

R&D / 16CTAP-C098206-02

C-ITS 서비스 성능 평가 및 인증을 위한 시뮬레이션 플랫폼 기술 개발

-시뮬레이터 프로토타입 개발 및 검증

최종보고서

2017. 08. 03.

주관연구기관 / 한국교통대학교 산학협력단

국토교통부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

‘C-ITS 서비스 성능 평가 및 인증을 위한 시뮬레이션 플랫폼 기술 개발-시뮬레이터 프로토타입 개발 및 검증’(연구개발 기간 : 2015. 06. 24. ~ 2017. 06. 23.) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2017. 08. 04.

주관연구기관명 : 한국교통대학교 산학협력단 (단장) 백 종 배 (인)

주관연구기관책임자: 문 철

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서
열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	16CTAP-C098206-02	해당 단계 연구 기간	2015.6.24.~ 2017.6. 23.	단계구분	1/1
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	기초 원천			
연구과제명	대과제명	C-ITS 서비스 성능 평가 및 인증을 위한 시뮬레이션 플랫폼 기술 개발-시뮬레이터 프로토타입 개발 및 검증			
	세부과제명	-			
연구책임자	문철	총 연구기간 참여 연구원 수	총: 50 명 내부: 0 명 외부: 50 명	총 연구개발비	정부:400,000 천원 기업: 천원 정부 외: 천원 계:400,000 천원
연구기관명 및 소속 부서명	한국교통대학교 산학협력단			참여기업명:	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

<요 약>

본 연구에서는 V2X 기반의 C-ITS 교통안전서비스의 정확한 성능 평가 및 인증을 위해 V2X 무선 채널 특성과 IEEE 802.11p/WAVE의 물리계층, MAC 계층, 네트워크 및 어플리케이션 계층, 그리고 트래픽 시뮬레이터가 통합된 V2X 전 계층 통합시뮬레이션 플랫폼 프로토타입을 구현하고, 이를 이용하여 C-ITS 안전서비스의 성능을 분석하고 개발한 시뮬레이션 플랫폼의 유효성과 우수성을 검증하였음.

이를 위해 도심 환경에서의 무선 채널을 모델링하고 다수의 차량들간 무선 채널을 모사하는 채널 시뮬레이터를 구현하였음. 또한, IEEE802.11p 물리계층 링크레벨 시뮬레이터를 구현하고, 채널 시뮬레이터와 연동하여 환경에 따른 패킷 송수신 성공 여부를 결정하는 물리계층 시뮬레이터를 구현하였음. IEEE802.11p /WAVE MAC 계층 시뮬레이터를 구현하고, 차량의 이동 속도, 차량의 밀도 등에 따른 간섭 및 패킷 충돌을 고려한 패킷 전송 성공확률을 무선채널 및 물리계층 시뮬레이터와 통합하여 분석하였음. 교차로에서 차량 간 기본 안전메시지(BSM) 교환을 통해 차량 충돌을 방지하는 안전서비스를 교통 시뮬레이터 Prescan을 이용하여 구현하고, 이를 위의 IEEE802.11p/WAVE의 전 계층 통합 시뮬레이터와 결합하여, V2X 통신 성능을 고려한 교통안전서비스의 성능을 분석할 수 있는 통합 시뮬레이션 플랫폼을 개발하였음.

개발된 통합 시뮬레이션 플랫폼을 이용하여, 교차로에서의 차량 밀도 및 이동속도에 따른 패킷 송수신 성능을 고려한 차량충돌경고 안전서비스의 성능을 분석하였음.

본 연구에서 개발된 통합 시뮬레이터는, IEEE802.11p 물리계층, MAC계층, 네트워크 계층에 대한 통합 최적화 기술 개발에 필수적인 도구로서, 관련 원천 연구를 촉진할 수 있음. 또한, 개발된 시뮬레이터는 기초원천연구의 연구결과물로서, 프로토타입 수준의 시뮬레이터이므로, 분석하고자 하는 시나리오와 도로환경(도심, 준도심, 고속도로, 국도 등)에 적합한 무선채널모델과 교통류(차량의 이동속도와 밀도)에 따른 물리계층 PER 성능과 MAC 계층의 패킷 충돌에 대한 모델을 추가하여 국내 C-ITS의 15개 교통안전서비스의 성능을 검증하는데 활용이 가능함. 이를 통해 다양한 형태의 V2X 기반 교통안전서비스 개발에 필수적인 성능 평가를 저비용으로 정확하고 빠르게 수행할 수 있게 함으로서, 성능이 우수한 교통안전서비스 개발에 활용할 수 있음.

보고서면수:
91 페이지

〈 국문요약문 〉

연구개발 목표	본 연구는 V2X 기반의 C-ITS 교통안전서비스의 정확한 성능 평가 및 인증을 위해 V2X 무선 채널 특성, 물리계층, MAC 계층, 네트워크 및 어플리케이션 계층, 그리고 트래픽 시뮬레이터가 통합된 시뮬레이션 플랫폼 프로토타입을 구현하고, 이를 이용한 C-ITS 안전서비스의 성능 검증을 통해 통합 시뮬레이션 플랫폼의 유효성 및 우수성을 검증하는 것을 목표로 함.				
연구개발 내용	- 교통 시뮬레이션을 위한 V2X 무선 채널 시뮬레이터 개발 - 도심환경과 고속도로 환경에서의 무선 채널 모델링 - 다수의 차량들간 무선 채널을 모사하는 채널 시뮬레이터를 구현 - IEEE802.11p 물리계층 링크레벨 시뮬레이터 구현 - 수신되는 패킷의 수신 여부를 시뮬레이션하는 링크레벨 시뮬레이터 구현 - Road Network 간섭 패킷의 수신 전력을 고려한 간섭 신호 모델링 및 분석 - 시간 및 주파수 동기 알고리즘, 채널추정 알고리즘 및 Preamble 및 Frame body capture 기능 구현 - 채널 시뮬레이터와 연동하여 환경에 따른 Signal Field 및 Data Field 패킷 송수신 성공 여부 결정 - IEEE802.11p MAC 계층 시뮬레이터 구현 - 차량의 이동 속도, vehicle 수 등에 따른 간섭 및 collision 확률 분석 - BSM message의 QoS 요구 조건에 따라 packet delay 및 packet loss를 최소화할 수 있는 multi-channel 운용 방안 제안 및 개선된 EDCA MAC protocol 설계 - packet delay 및 throughput 향상을 위한 물리계층과 cross-layer optimization - Transmission module 및 reception module 구현 - Channel state manager 및 backoff manager 구현 - Transmission coordination 및 reception coordination module 구현 - V2X 네트워크에서 멀티 홉 데이터 dissemination 및 응용을 시뮬레이션 할 수 있도록 기존 시뮬레이터 확장 - 기존 시뮬레이터를 확장하여 물리 계층 및 MAC 계층이 고려된 멀티 홉 데이터 dissemination 시뮬레이터 개발 - 기존 시뮬레이터를 기반으로 응용 계층에서의 시뮬레이션 프레임워크 및 API 개발 - 각 계층간 연동 및 교통 시뮬레이터와의 연동을 위한 API 개발 - 무선채널, 물리계층, MAC 계층, 네트워크 계층간 연동을 위한 API 개발 - 각 계층별 시뮬레이터와 교통 시뮬레이터간 연동을 위한 API 개발 - 통합 시뮬레이터 검증 - C-ITS 단위서비스 차내정보 형태별 운전자 인지반응시간 설계기준 도출 - C-ITS 단위서비스 시나리오 별 안전개선 효과 검증				
연구개발 성과	- V2X 무선 채널 시뮬레이터 - IEEE802.11p 물리 계층 시뮬레이터 - IEEE802.11p MAC 계층 시뮬레이터 - IEEE802.11p 네트워크 및 어플리케이션 계층 시뮬레이터 - 교통 시뮬레이터와 개발된 계층별 시뮬레이터 연동 API - 교통 통신 통합 시뮬레이터 구현 및 성능 검증				
활용계획 및 기대효과	- 본 연구에서 개발할 시뮬레이터 개발은, IEEE802.11p 물리계층, MAC계층, 네트워크 계층에 대한 통합 최적화 기술 개발에 필수적인 도구로서, 관련 원천 연구를 촉진할 수 있음. - 또한, 개발된 시뮬레이터는 기초원천연구의 연구결과물로서, 프로토타입 수준의 시뮬레이터이므로, 분석하고자 하는 시나리오와 도로환경(도심, 준도심, 고속도로, 국도 등)에 적합한 무선채널모델과 교통류(차량의 이동속도와 밀도)에 따른 물리계층 PER 성능과 MAC 계층의 패킷 충돌에 대한 모델을 추가하여 국내 C-ITS의 15개 교통안전서비스의 성능을 검증하는데 활용이 가능함 - 최종 성과물이 상용화 될 경우, 고부가가치의 시뮬레이션 소프트웨어에 대한 수입을 대체하고 수출을 통한 고부가가치 산업을 육성할 수 있음.				
핵심어(5개 이내)	교통시뮬레이터	크로스레이어 시뮬레이션	교통안전서비스	V2X통신	성능분석 시뮬레이션

< Summary >

Purpose	The goal of the research is to implement an integrated simulation platform including V2X wireless channels, PHY, MAC, and Network layers as well as the traffic simulator for accurate performance evaluation and certification of the C-ITS traffic safety service.
Contents	• Development of the V2X wireless channel simulators for the traffic simulations - We model wireless channels in urban and highway environments - We realize the simulator reflecting wireless channels among the vehicles. • IEEE802.11p physical layer link-level simulator realization. - We develop a link-level simulator checking whether a packet is arrived or not. - We model and analyze the interference signals considering the receive power of the interference packets in road networks. - We realize the time-frequency synchronization and channel estimation algorithms, and functions capturing the preamble or the frame-body. - We determine the success or failure of the packet reception in terms of the signal and data fields according to the system environment coupled with the channel simulator. • Implementation of the IEEE802.11p MAC layer simulator - We analyze the interference and collision probability according to the number of vehicles, velocity, and etc. - We design multi-channel operations and improved EDCA MAC protocols to minimize both the packet delay and packet loss according to QoS requirements of the BSM messages. - We optimize the PHY and cross layer to improve the packet delay and throughput. - We realize the transmission and reception modules. - We realize the channel state and backoff managers. - We realize the transmission and reception coordination modules • Extension of the existing simulator such that it can simulate multi-hop data dissemination and its applications in V2X networks. - We develop multi-hop data dissemination simulators considering both the PHY and MAC layers - We develop a simulation framework and API in the application layer based on the existing simulators. • API development for interlocking with the simulators in each layer and traffic simulators. - We develop the API for interlocking the wireless channels, PHY, MAC and network layers - We develop the API for interlocking the simulators in each layer and traffic simulators • Performance verification of a combined simulator - We derive some design principles for the driver's recognition response time by the C-ITS unit service intra-vehicle information types. - We verify the effect of safety improvement by the C-ITS unit service scenarios. - We verify the effect of communication improvement by the C-ITS unit service scenarios.
Development results	• V2X wireless channel simulator • IEEE802.11p PHY layer simulator • IEEE802.11p MAC layer simulator • IEEE802.11p network and application layer simulator • API interlocked with the traffic simulator and the simulators in each layer

	• Performance verification and realization of the traffic-communication combined simulator.				
Expected Contribution	• The simulators developed in this research can be exploited for verifying the performance of the traffic safety service and V2X safety messages which will be realized during the C-ITS demonstration project (2015–2016). • The simulators developed in this research can be exploited for developing the traffic safety service by allowing them to evaluate the performance accurately and quickly which is essential techniques for V2X based traffic safety service development. • The simulators developed in this research can facilitate the source technology research as an essential techniques for the combined optimization including IEEE802.11p, PHY, MAC, and network layers. • Final project outputs can be used for practical systems. Then, in the industrial area, the proposed methods can increase the export of our country.				
Keywords	Traffic Simulator	Cross-layer Simulation	Traffic Safety Service	V2X communication	Performance Analysis Simulation

< Content >

1. Introduction	1
2. Current Trends in Research & Development	8
3. Research and Development Content and Outcomes	15
4. Accomplishments and Contributions	74
5. Applicable Planning of R&D Outcomes	83
6. Collected Information on Science and Technology Abroad	84
7. Security Level	86
8. Registered Research Facilities and Equipments	87
9. Implementation of Safety Measures	88
10. Representative Accomplishments	89
11. Others	90
12. Reference	91

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 국내외 기술 개발 현황	8
3. 연구 수행 내용 및 성과	15
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	74
5. 연구개발성과의 활용 계획	83
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	85
7. 연구개발성과의 보안등급	86
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	87
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	88
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	89
11. 기타 사항	90
12. 참고 문헌	91

제 1 장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

- 본 연구는 V2X 기반의 C-ITS 교통안전서비스의 정확한 성능 평가 및 인증을 위해 V2X 무선 채널 특성, 물리계층, MAC 계층, 네트워크 및 어플리케이션 계층, 그리고 트래픽 시뮬레이터가 통합된 시뮬레이션 플랫폼 프로토타입을 구현하고, 이를 이용하여 C-ITS 안전서비스에 적용하고 성능을 분석하여, 개발한 시뮬레이션 플랫폼의 유효성과 우수성을 검증함.

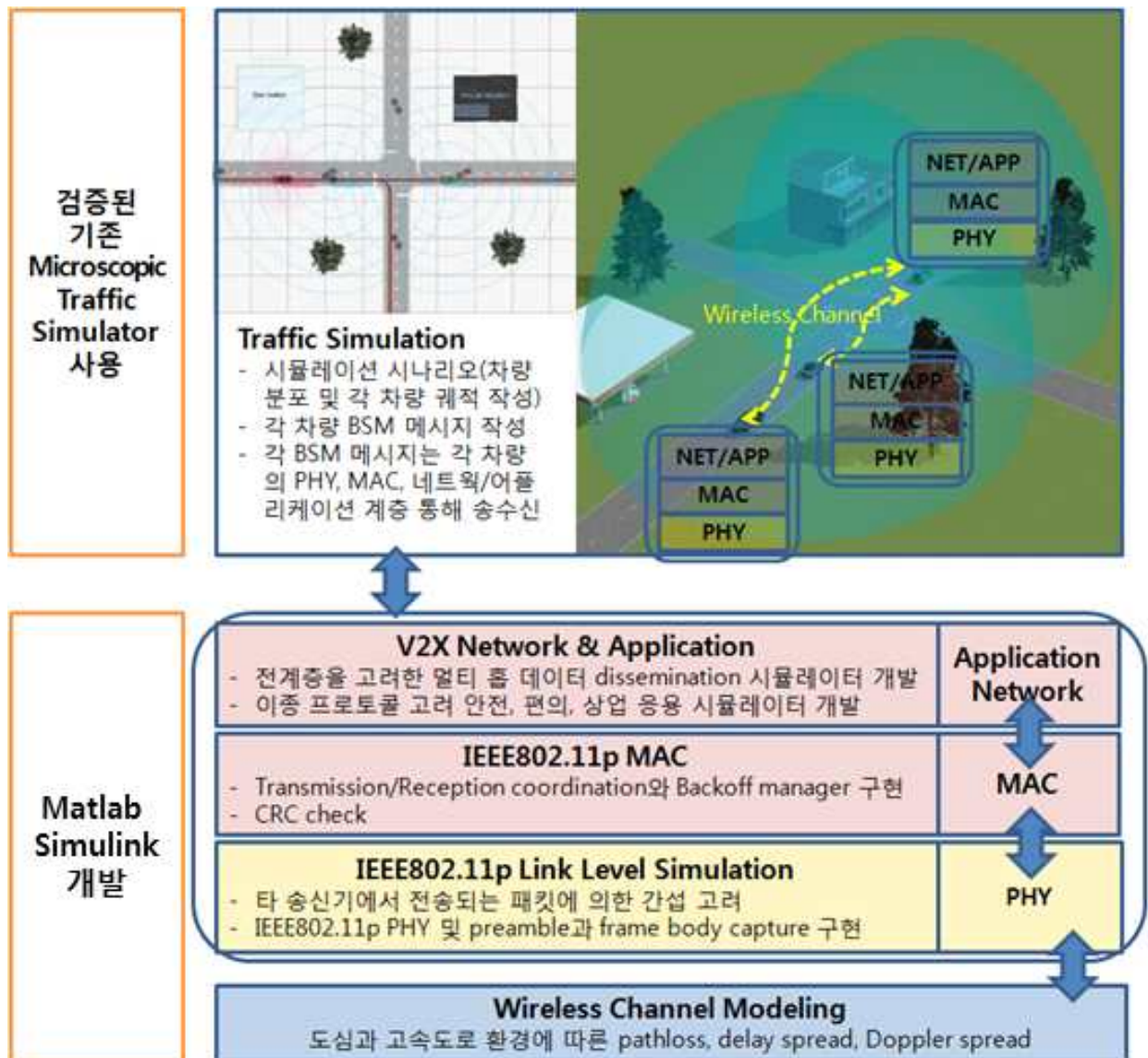


그림 1. 통합 시뮬레이션 플랫폼의 개요

○ 시뮬레이션 플랫폼의 구조

- ① Prescan microscopic traffic simulator 이용한 시뮬레이션 시나리오(차량 분포 및 궤적) 작성

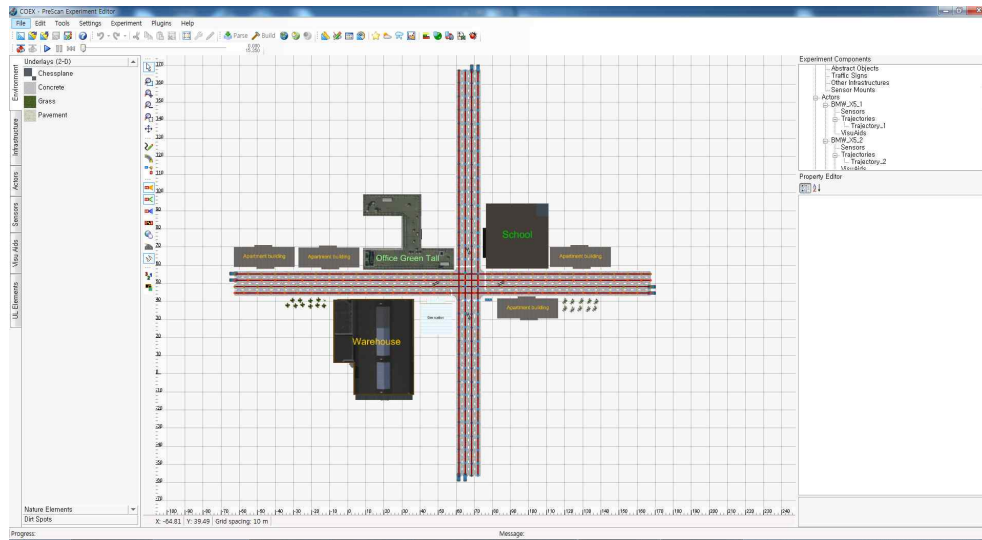


그림 2. 시뮬레이션 시나리오 작성 화면

- ② Prescan에 기반하여 MATLAB Simulink를 이용하여 IEEE 802/11p의 무선채널, 물리계층, MAC 계층, 네트워크 계층, 응용 계층을 이용한 시뮬레이터 통합 구현. 아래 그림은 1차년도에 개발된 Prescan에 기반한 IEEE 802/11p의 무선채널, 물리계층, MAC 계층 구현의 예임.

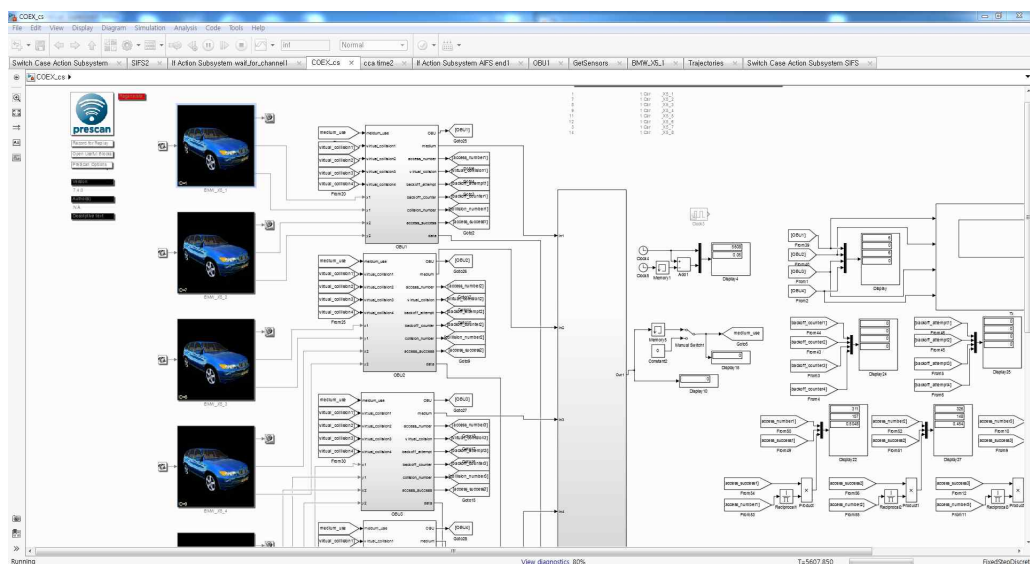


그림 3. IEEE802.11p/WAVE 다계층 통합 시뮬레이터 구현 화면

- ③ 시뮬레이션 시나리오에 따라 각 차량에서 BSM 메시지를 전송하고 이의 수신 여부를 분석. 이를 통해 차량의 밀도 및 교통 환경에 따른 평균 메시지 에러율 및 전송 지연을 분석할 수 있음. 아래 그림은 1차년도에 개발된 시뮬레이션 플랫폼 수행 모습을 보여줌. CSMA/CA와 EDCA MAC 프로토콜에 의해 패킷이 경쟁하여 송신되고, 송신된 패킷은

무선채널의 페이딩 특성과 물리계층 성능에 의해 각 수신기에서 패킷 수신 성공 여부가 결정되는 과정을 보여줌.

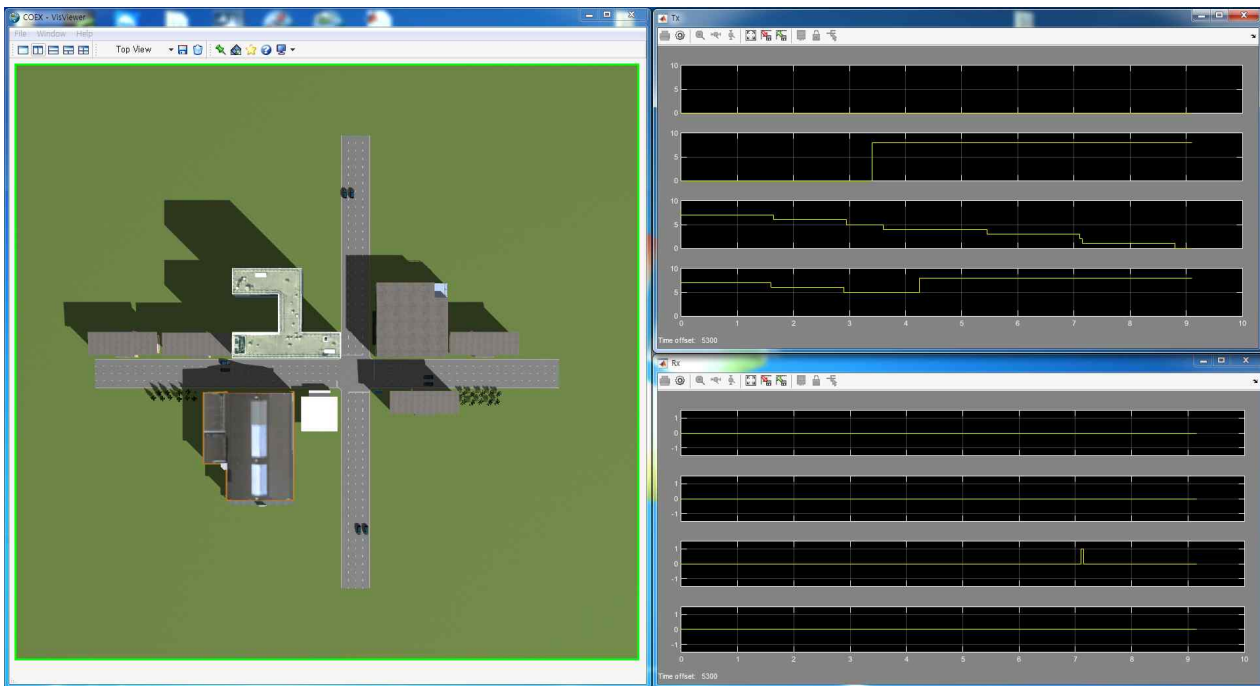


그림 4. 통합 시뮬레이터 수행 및 결과 화면

2. 연구개발의 필요성

가. 연구개발과제의 설명

- 국내외 C-ITS 기술 개발 및 관련 시범 사업이 매우 활발히 진행되고 있음.
- 개발하는 C-ITS 교통안전서비스에 대한 성능 평가 및 인증을 위한 평가는 매우 중요하나 이를 위한 기술 개발은 미흡함.
- 특히, C-ITS 교통안전서비스 성능은, V2X 무선 채널 특성, V2X 물리계층, MAC 계층, 네트워크 및 어플리케이션 계층, 교통 트래픽의 모델링 및 교통 안전서비스 알고리즘에 의해 영향을 받지만 이를 고려하는 연구나 시뮬레이터 개발은 매우 미흡함.
- 정부가 계획하고 있는 C-ITS 사업이 성공하기 위해서는 V2X 기반 교통안전서비스에 대한 전 계층을 아우르는 통합 시뮬레이션 플랫폼 개발이 시급함.
- **본 연구에서는 V2X 무선 채널 특성, V2X 물리계층, MAC 계층, 네트워크 및 어플리케이션 계층, 그리고 교통 트래픽의 모델링 및 교통 안전서비스 알고리즘을 통합하여, C-ITS 교통안전서비스에 대한 성능을 평가할 수 있는 시뮬레이션 플랫폼을 개발 함.**
 - 제안하는 시뮬레이션 플랫폼에 기반한 물리, MAC, 그리고 네트워크 계층을 통합한 WAVE 통신망의 성능 분석을 통해, WAVE 통신망의 성능을 최적화하기 위한 각 물리, MAC, 네트워크 계층의 최적화를 수행할 수 있음.
 - 또한, 세계 최초의 V2X 기반 교통안전서비스에 대한 통합 시뮬레이션 플랫폼 개발을 통해, 관련 연구의 주도권을 획득하고, 개발된 시뮬레이터의 상용화를 통해 고가의 시뮬레이터에 대한 수입 대체 및 수출을 통해 국가 신성장동력을 창출할 수 있음.

나. 연구개발의 필요성

- 1) 국내외 C-ITS 기술 개발 및 사업이 활발히 진행되고 있음.
 - 미국 : 교통의 안전성과 이동성 및 친환경성 개선을 위한 무선통신기술 개발과 서비스 실현을 목적으로 Safety Pilot과 같은 C-ITS 사업을 수행
 - 유럽 : 차량간 통신 및 차량-기지국 통신을 기반으로 다양한 ITS 애플리케이션을 검증하는 Drive C2X (2011~2014) 시범사업이 있고, 능동형 안전기술과 관련한 Compass4D(2013~2015) 시범서비스가 진행되고 있음.
 - 국내
 - 정부는 C-ITS 시범사업을 통해 세종시 주변에 WAVE 통신망을 구축하고, 2015년에서 2016년에 V2X 기반 15개의 시범서비스를 실현하고 표준화 진행 예정
 - 정부는 2017년 이후 C-ITS 본 사업을 통해 2020년까지 고속국도의 68%에 WAVE 통신망을 구축하고 2025년까지 구축율을 100%까지 높이는 계획 수립.
- 2) C-ITS 교통안전서비스에 대한 성능 평가 및 인증을 위한 평가 기술 개발이 전 세계적으로 미흡함.

- C-ITS 교통안전서비스의 안전성에 대한 성능 평가는 C-ITS 사업의 성패를 가르는 매우 중요한 분야임.
- C-ITS 교통안전서비스의 성능은 다음과 같은 각기 서로 다른 계층의 성능에 영향을 받으므로, 모든 계층의 성능을 통합하여 분석해야 함.
 - V2X(Vehicular to Everything) 통신이 이행되는 무선 채널 특성
 - V2X 통신을 위한 IEEE802.11p 물리계층의 Packet error rate(PER) 성능
 - IEEE 802.11p MAC 계층의 특성과 이에 의한 VANET(Vehicle Ad-hoc Network)의 packet 전송율 및 지연
 - 네트워크 계층 및 어플리케이션 계층에서의 성능
 - 교통 트래픽의 특성 및 모델링과 교통 안전서비스 알고리즘
- 현재까지 대부분의 연구 및 시뮬레이터는 각 계층의 개별적인 성능 평가에 머무름.
 - 기존 관련 시뮬레이터 현황

구분	시뮬레이터	문제점 분석
교통 시뮬레이 터	VISSIM, CORSIM, AIMSUN, PARAMICS	- IEEE 802.11p 기반의 V2X 평가 모듈 없음
	Prescan	- IEEE 802.11p 기반 메시지 모듈과 V2X 모듈 제공 - 물리계층과 네트워크 성능에 의한 패킷 전송율, 지연 고려 못함
네트워크 시뮬레이 터	NS-2	- 일부에서 IEEE 802.11p 기반 네트워크 레벨 성능 평가

- 종합적으로, IEEE802.11p 물리계층에서의 PER 성능에 영향을 미치는 채널 추정 기술, 무선 채널 특성 등이 완전히 고려된 상용 시뮬레이터가 개발되고 있지 않으며, 연구 집단별로 개발되어 표준화나 검증이 되지 않고 있음.

3) 관련 기술 개발 현황 및 국내 기술개발의 필요성

- 본 연구에서 개발하고자 하는 V2X 기반 교통안전서비스에 대한 통합 시뮬레이션 플랫폼이 개발되지 않을 경우, 개발된 C-ITS 서비스 평가 위해서는 실제 도로환경에서의 실험 이외의 대안이 없음. 이는 많은 위험과 비용이 들며, 평가할 수 있는 시나리오가 제한되고 개발 기간이 상당히 길어질 수밖에 없음.
- 따라서, 국내 C-ITS 15개의 시범서비스 실현 및 관련 표준화를 위해서는, V2X 기반 교통안전서비스에 대한 통합 시뮬레이션 플랫폼이 시급히 요구되고 있음.
- 또한, 세계 최초의 V2X 기반 교통안전서비스에 대한 통합 시뮬레이션 플랫폼 개발을 통해, 관련 연구의 주도권을 획득하고, 개발된 시뮬레이터의 상용화를 통해 고가 시뮬레이터에 대한 수입 대체 및 수출을 통해 국가 신성장동력을 창출할 수 있음.

3. 연구개발 범위

연차	연구목표	주요연구내용
1차 년 도	V2X 무선 채널 시뮬레이터 개발	3차원 레이트레이싱을 이용한 도심환경과 고속도로 환경에서의 Rician factor, pathloss, delay와 Doppler spread 모델링 - 이동하는 다수 차량들 간 채널 모델링 - 이동하는 일대일 차량간 무선 채널 시뮬레이터 구현
	IEEE802.11p 물리 계층 시뮬레이터 개발	- IEEE802.11p 물리계층 Preamble 및 Frame body capture 기능 구현 - 시간 및 주파수 동기 알고리즘, 채널추정 알고리즘 구현 검증 - 무선 채널 시뮬레이터와 연동하여 환경에 따른 Signal Field 및 Data Field 패킷 송수신 성공 여부 결정 - MAC 계층 연계/통합 모델링
	IEEE802.11p MAC 계층 시뮬레이터 개발	- 도심 환경 및 고속도로 환경에서 RSU의 밀도와 배치, OBU의 속도와 밀도 등에 따른 간섭 및 collision 확률 분석 802.11p/1609.4 MAC 프로토콜 기반 BSM message의 packet delay 및 packet loss 분석과 이를 기반으로 기존 시스템의 문제점 도출 - transmission/reception module 및 channel state/backoff manager 구현 후 기존 시스템의 문제점 검증
	V2X 네트워크 및 응용 계층 시뮬레이터	- 기존의 네트워크, 트래픽 시뮬레이터와 모빌리티 발생기들을 조사 하고 비교 분석을 통해 적합한 시뮬레이터 선정 - 기존 시뮬레이터를 확장하여 물리 계층 및 MAC 계층이 고려된 멀티 홉 데이터 dissemination 시뮬레이터 개발 및 검증
	교통 시뮬레이터와 개발된 각 계층 시뮬레이터와 연동 API 개발	- 채널 시뮬레이터와 PHY 계층시뮬레이터간 인터페이스 디자인 - PHY 계층과 MAC 계층 시뮬레이터간 인터페이스 디자인 - MAC 계층과 네트워크 계층 시뮬레이터간 인터페이스 디자인 - 계층별 시뮬레이터와 상용 트래픽 시뮬레이터간 인터페이스 설계 - 다양한 교통 안전 및 편의 서비스를 분석하고 이들의 공통 컴포넌트 정의
	통합 시뮬레이터 검증	- C-ITS 단위서비스 정보형태별 운전자 인지반응시간 기준 마련 - C-ITS 단위서비스 시나리오 모의실험 구현체계 구축
2차 년 도	V2X 무선 채널 시뮬레이터 개발	- 다수의 이동하는 차량들간 무선 채널 시뮬레이터 구현 - 물리계층과 연동한 성능 및 교통 시뮬레이터에 탑재하여 통합 검증
	IEEE802.11p 물리 계층 시뮬레이터 개발	- 다수의 차량들에서 전송되어 수신되는 Road Network 간섭 패킷의 수신 전력을 고려한 간섭 신호 모델링 및 분석 - 다양한 전송률과 간섭 환경을 고려하여 Preamble 및 Frame body capture 기능 구현 - 채널 시뮬레이터와 연동하여 환경에 따른 Signal Field 및 Data Field 패킷 송수신 성공 여부 결정 - MAC 계층 Parameter 반영한 통합 검증

IEEE802.11p MAC 계층 시뮬레이터 개발	▪ Packet delay와 throughput 향상을 위한 물리계층과의 cross-layer joint optimization ▪ BSM message의 outage 성능 향상 및 교통안전 서비스의 효율적 운용을 위한 새로운 MAC protocol 설계 ▪ Labview 이용한 Transmission/reception coordination module 구현 ▪ 802.11p/1609.4 기반의 개선된 MAC 프로토콜 구현 및 성능 검증
V2X 네트워크 및 응용 계층 시뮬레이터	▪ 기존 시뮬레이터를 기반으로 안전, 편의, 상업 응용들에 대한 시뮬레이션 프레임워크 및 API 개발 ▪ 다양한 응용들을 시뮬레이션 하기 위해 이 연구에서 개발하는 WAVE 시뮬레이터와 BLE, LTE 시뮬레이터를 연동하는 모듈 개발 ▪ 개발한 프레임워크 및 연동 모듈 검증 수행
교통 시뮬레이터와 개발된 각 계층 시뮬레이터와 연동 API 개발	▪ 무선채널 시뮬레이터와 PHY 계층시뮬레이터간 인터페이스 구현 ▪ PHY 계층과 MAC 계층 시뮬레이터간 인터페이스 구현 ▪ MAC 계층과 네트워크 계층 시뮬레이터간 인터페이스 구현 ▪ 계층별 시뮬레이터와 상용 트래픽 시뮬레이터간 인터페이스 구현 ▪ 교통 안전 및 편의 서비스 공통 컴포넌트 및 API 구현 ▪ 통합 검증
통합 시뮬레이터 검증	• C-ITS 단위서비스 시나리오 소통개선 효과 검증 • C-ITS 단위서비스 시나리오 안전개선 효과 검증

제 2 장. 국내외 기술 개발 현황

1. 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 성과

가. 국가 연구개발사업 유사연구 실적

1) 연구개발과제의 중복방지를 위한 조사 및 검토결과

○ www.kaia.re.kr 과 www.ntis.go.kr 에서 검색된 본 과제와 유사한 과제는 다음과 같음.

(단위 : 억원)

부처명	사업명	과제명	예산	비 고
국토교통부	국토교통 연구기획	차량-ICT 융복합 교통류 분석/평가/설계를 위한 교통시뮬레이션 기술개발 기획	0.8	기획 과제
미래창조 과학부	신진연구자 지원사업	IEEE 1609.4/802.11p WAVE 시스템에서 MAC 프로토콜의 성능 분석	0.61	종료
교육과학 기술부	중견연구자 지원사업	IEEE WAVE 기반 차세대 무선 교통 정보 시스템을 위한 통신 프로토콜 최적화 연구	0.7	종료

○ “차량-ICT 융복합 교통류 분석/평가/설계를 위한 교통시뮬레이션 기술개발 기획” 과제

- 해당 과제는 V2X 통신 기반의 교통류 분석과 해석이 가능한 교통류 시뮬레이션 기술 개발을 목적으로 하고 있음.
- 해당 기획 연구는 C-ITS 환경에서 “교통관리”를 목적으로 하는 시뮬레이션 기술개발로 그 범위가 제한되어 V2X 통신에 대한 무선 채널 특성, IEEE802.11p 물리계층에서의 Packet error rate(PER), IEEE 802.11p MAC 계층의 특성과 이에 의한 VANET(Vehicle Ad-hoc Network)의 packet 전송율 및 지연 등은 고려하고 있지 않음.
- 실제 환경에서의 무선 통신 특성 및 성능을 고려하여 도출된 본 과제 성과인 통합 시뮬레이션 기술을 해당 기획 과제에도 적용함으로써 V2X 환경하의 교통류 분석에 정확성 및 현실성을 더할 수 있을 것으로 판단됨.

○ “IEEE 1609.4/802.11p WAVE 시스템에서 MAC 프로토콜의 성능 분석” 과제

- 해당 과제에서는 IEEE 1609.4/802.11p WAVE 시스템에서 DCF/EDCA MAC 프로토콜의 throughput과 packet delay 성능 분석을 진행한 학술 연구임.
- 해당 과제에서는 실제 차량 통신 환경을 반영한 simulation 모델을 개발함.
- safety와 non-safety message의 QoS 요구조건을 만족하는 새로운 MAC 설계함.
- 해당 과제는 WAVE 시스템에서 MAC protocol의 성능 분석 및 제안으로 연구 범위를 제한함.

○ “IEEE WAVE 기반 차세대 무선 교통 정보 시스템을 위한 통신 프로토콜 최적화 연구” 과제

- 해당 과제에서는 IEEE WAVE 표준 기반 통신 프로토콜에 대한 최적화 설계 및 구현을 연구함.
- 해당 과제에서는 802.11p 기반 MAC 프로토콜 설계를 중점적으로 연구되었으며 차량 안전을 위한 응용계층 프로토콜 설계의 경우 4가지 서비스 (추돌방지 서비스, 긴급차량 지원, 사고위험 정보, 신호교차로 의사결정 지원)에 국한되어 있어 다양한 시나리오를 반영 못함.
- NS-2 시뮬레이션을 수행하는 과정에서 물리계층의 채널 추정 및 무선 채널 특성을 고려하지 않아 불완전하고, 교통 시뮬레이터와의 통합에 대한 연구가 제한적임.

▶ 위의 검색된 세 개의 유사 과제들은 각 계층의 개별적인 성능 평가 및 최적화에 머무르고 있음. 따라서, 본 연구에서 제안하는 V2X 무선 채널 환경을 고려한 물리 계층부터 네트워크 및 어플리케이션 계층까지 통합하여 고려하는 연구는 수행된 적 없음.

2) 연구개발과제의 차별화 방안

- 과거 C-ITS 기술구현을 거시적으로 가정(통신 성공 실패율을 constant로 고려)하는 교통 분석용 시뮬레이션 기술 개발이 준비된 바 있으나 이는 관리(traffic management)용으로 그 범위가 제한됨.
- 해당 과거 연구에서는 V2X 무선 채널 특성상 V2X 물리계층, MAC 계층, 네트워크 및 어플리케이션 계층 등에서 현실적으로 발생할 수 있는 통신상의 지연, 오차 등을 고려하지 않음. 따라서, C-ITS 장비 및 서비스 기술의 현실적인 완성도 평가 및 평가결과 피드백을 근거한 기술개발(설계)이 어려움.
- 본 연구에서는 군집 차량의 내부 차량들 간 동시 다발적으로 중복 발생하는 통신을 (1) V2X 무선 채널 특성, (2) V2X 물리계층, (3) MAC 계층, (4) 네트워크 및 어플리케이션 계층 등에서 발생할 수 있는 통신 지연, 오차, (4) 메시지 표출방식 별 운전자 인지반응 시간 등을 반영하여 정확하고 현실적인 C-ITS 서비스 평가 결과를 획득하고자 함. 획득된 정확하고 실제적인 평가 결과에 기반하여 WAVE 무선망 최적화 및 장비 기술 개발이 가능함. 본 연구는 이를 위한 시뮬레이션 핵심 기술을 연구 개발하는 과제로서 기존 과거 연구와 차별화 됨.
- 본 연구 과제 통해 물리계층부터 네트워크 및 어플리케이션 계층까지 Labview 기반의 통합 시뮬레이션 플랫폼 프로토타입을 구현함으로써 V2X 기반 교통안전 서비스의 정확한 성능 평가 및 인증이 가능함.
- 또한 이를 이용해 현재 교통 안전 서비스의 문제점 및 한계점을 파악하고 이를 극복할 수 있는 교통 안전 알고리즘 및 프로토콜 개발을 통해 차량 간 통신 네트워크 및 응용서비스 기술 확보 및 교통 안전 서비스 향상을 기대할 수 있음.

나. 관련분야의 국내외 연구동향 및 학술적 흐름 분석

- WAVE 기반 차량 간 통신, 차량과 인프라 간의 통신을 통해 사고 상황을 미리 통보해 주는 교통안전서비스 뿐 아니라 차량을 제어까지 자동화하는 기술로 점차 ‘능동형 첨단 스마트 카 기술’까지 범위가 확대되고 있음.
- 해당 기술의 현장구현에 앞서 차량-인프라, 차량-차량 간 통신이 가능한 교통 네트워크상에서 교통안전서비스에 대한 해석, 평가를 수행하기 위한 교통 시뮬레이션 개발에 대한 필요성 높아지고 있음.
- 특히, 교통안전서비스에 절대적 영향을 끼치는 WAVE 통신의 안정적인 성능을 보장하기 위한 기술 설계, 개발, 검증과 관련된 다양한 프로젝트를 국내 및 유럽, 미국 등 여러 국가에서 수행하고 있음.
- 국내에서는 “차량-ICT 융복합 교통류 분석/평가/설계를 위한 교통시뮬레이션 기술개발”을 기획하고 있으나, C-ITS 환경에서 “교통관리”를 목적으로 하는 시뮬레이션 기술개발로 그 범위가 제한되어 있음.
- 교통 분석에 사용되는 대표적인 미시적 시뮬레이션 모형은 독일의 VISSIM, 미국의 CORSIM, 영국의 PARAMICS 등으로, 이들 모형은 객체 단위 차량과 주변 환경 정보(인접 차량, 도로시설, 교통시설)를 바탕으로 개별 운전자 의사 결정 및 차량의 주행행태를 모사함으로써 현실적이고 자연스러운 교통흐름을 구현하는 기능을 제공함. 그러나 이들 모형은 C-ITS 서비스 및 V2X 기술에 대한 모의실험 모사 기능을 제공하고 있지 않기 때문에 해당 연구개발 필요함.
- 특히, 독일 PTV Group은 VISSIM 모의실험 모형을 통한 C-ITS 서비스 및 V2X 기술 분석을 위하여 별도의 VISVAP 스크립트 언어를 사용한 API 모듈을 개발하여 연구기관들에게 유상으로 배포하는 시도를 과거에 수행한 바 있음. 그러나 단일 API만을 제공하기 때문에, 계속 진화하는 C-ITS 서비스 및 V2X 기술 연구자들의 다각적인 연구 내용 및 시각을 반영하기에는 부족하기 때문에 개별 연구자들이 스스로 별도의 API를 작성하는 과정을 반복하고 있음을 인식하고 V2X 모듈 배포를 중단함.
- 현재까지 V2X 기반 교통안전서비스의 성능 평가를 위한 시뮬레이션 플랫폼의 최고 수준은 미국의 CPS-T가 보유하고 있으나, 시작품 형태로 공개되고 있지 않음. CPS-T는 V2X 무선 채널 특성 및 채널 추정 기법에 기반한 PER 성능 분석 및 모델링이 고려되지 않고 있음.

2. 국내외 관련 기술 특허 동향

가) 국내 특허 동향

- 검색대상은 등록 완료 및 공고대상인 특허에 대하여, “교통 시뮬레이션”와 “Traffic Simulation” 등의 검색어를 사용하여 검색된 총 1,224 건을 대상으로 분석하였음.
- 국내의 교통 시뮬레이션 관련 특허 동향 분석 결과, 본 연구와 가장 관련성 있는 특허는 “차량통신 시스템 기반의 교통 통신 통합 시뮬레이션 시스템”이며, 상기 특허는 차량통신 시스템 기반의 교통 통신 통합 시뮬레이션 구현을 위한 사용자 인터페이스에 관한 것임. 따라서, 구체적인 통신 시뮬레이터 구현 대상 및 기술을 명시하고 있지 않으므로, 본 연구 내용과는 다름.

특허명	차량통신 시스템 기반의 교통 통신 통합 시뮬레이션 시스템
출원 정보	한국(KO) 등록 출원인 : 한국교통연구원; 출원번호 : 10-2012-0145482 (2012.12.13.) 공개번호 : 10-2014-0076918 (2014.06.23.) 등록번호 : 10-1455-0840000 (2014.10.21.)
요약	본 발명은 차량통신 시스템 기반의 교통 통신 통합 시뮬레이션 구현을 위한 사용자 인터페이스에 관한 것으로서, 일 실시 예에 따른 교통 통신 통합 시뮬레이션 시스템은 교통 시뮬레이션을 수행하여 차량의 링크 통행시간을 산출하는 교통 시뮬레이터, 통신 시뮬레이션을 수행하여, 차량들 간의 통신 또는 차량 대 인프라 간의 통신을 시뮬레이션 하는 통신 시뮬레이터, 및 사용자 인터페이스를 포함하고, 상기 사용자 인터페이스는, 상기 교통 시뮬레이터와 상기 통신 시뮬레이터에 대해 동기방식으로 실시간 인터페이스 하는 시뮬레이션 플랫폼을 제공하는 인터페이스 서버, 및 시뮬레이션 결과를 출력하는 그래픽 유저 인터페이스 부를 포함할 수 있다.

특허명	지능형 교통 네트워크를 이용한 교통흐름 시뮬레이션 장치 및 이를 포함하는 교통흐름 시뮬레이션 시스템
출원 정보	한국(KO) 등록 출원인 : (주)포스코아이씨티;한국교통연구원;성균관대 산학협력단; 한국도로공사;사단법인 아이티에스코리아 출원번호 : 10-2009-0048058 (2009.06.01.) 공개번호 : 10-2010-0129477 (2010.12.09.) 등록번호 : 10-1083-1590000 (2011.11.07.)
요약	지능형 교통수단과 지능형 시설물이 통합되어 있는 지능형 교통 네트워크를 이용한 본 발명의 일 측면에 따른 교통흐름 시뮬레이션 장치는 교통 환경에 따라 상태가 적응적으로 조절되는 지능형 시설물 및 지능형 교통수단(Vehicle)을 포함하는 지능형 교통 네트워크를 생성하는 지능형 교통 네트워크 생성부; 미리 결정된 시나리오에 기초하여 상기 지능형 시설물의 상태 제어 정보 및 상기 지능형 교통수단의 제어 정보를 포함하는 네트워크 분석정보를 생성하는 지능형 교통 네트워크 분석부; 및 상기 분석정보를 이용하여 알고리즘을 선택하고, 상기 선택된 알고리즘을 수행함으로써 시뮬레이션 결과를 생성하는 알고리즘 수행부를 포함한다.

특허명	교통량 시뮬레이션 시스템 및 방법
출원 정보	한국(KO) 등록 출원인 : (주)제이투엠소프트; 출원번호 : 10-2007-0016977 (2007.02.20) 등록번호 : 10-0757-7580000 (2007.09.05)
요약	현실과 유사한 도로 환경 및 교통량을 구현하는 시뮬레이션 시스템에서, 교통 정체, 차량 간 충돌과 같은 교통문제가 함께 시뮬레이션 되지 않도록 하여 사용자의 활동이 제한되는 것을 막음으로써, 시뮬레이션 시스템에 대한 흥미를 더 많이 유발할 수 있는 교통량 시뮬레이션 시스템 및 방법을 개시한다. 본 발명에 따르는 교통량 시뮬레이션 시스템은, 소정의 데이터베이스로부터 추출된 차선 수 및 규정 속도를 이용하여, 도로 구간 각각에 대한 교통 허용량을 계산하는 교통 허용량 연산 수단과, 상기 계산된 교통 허용량에 기초하여, 상기 도로 구간 각각에 대한 적정 교통 소통량을 계산하는 적정 소통량 연산 수단과, 그리고 상기 계산된 적정 교통 소통량을 유지하면서 상기 도로 구간들을 주행하도록 차량의 이동 루트를 결정함으로써, 상기 결정된 이동 루트로 상기 차량을 시뮬레이션 되도록 하는 루트 구성 수단을 포함한다.

나) 해외 특허 동향

- 검색대상은 등록 완료 및 공고 대상인 특허에 대하여, “Traffic Simulation”과 “V2*” 검색어를 사용하여 검색된 총 20,615 건을 대상으로 분석하였음.
- 해외 특허 동향 분석 결과 실시간 도로교통시스템의 현장 검지시스템의 교통정보를 실시간으로 활용하는 V2X 통신에 기반한 교통 시뮬레이션 특허들이 대다수임. 따라서, 본 연구 내용과는 다름.

특허명	A road traffic simulation apparatus
출원 정보	유럽(EP) 등록 출원인 : HONDA MOTOR CO., Ltd. 출원번호 : 03028692.6 (2003.12.16) 공개번호 : 01434188 (2004.06.30) IPC : G09B 19/16 , CPC : G09B19/167
요약	In a road traffic simulation apparatus that expresses a plurality of mobile units and road traffic environments on a computer to simulate traffic situations in association with a plurality of mobile units, each of the mobile units is expressed by a combination of a driver model, a model of driving operations of a virtual driver, and a vehicle dynamics model, a model of physical behaviors of a mobile unit. The mobile units are programmed to travel independently to each other in a road traffic environment that is expressed on the computer.

특허명	ROAD TRAFFIC SIMULATION DEVICE AND PROGRAM
출원 정보	일본(JP) 등록 출원인 : 株式會社京三製作所 출원번호 : 18025866 (2006.02.02) 공개번호 : 19207018 (2007.08.16) IPC : G08G 1/00 (2006.01.01)
요약	교통 시뮬레이션 대상 교통 신호등의 제어 장치 또는 교통 시뮬레이션 대상 지역에 따른 교통 신호등의 제어 장치에 연결 교통 신호등의 제어 장치의 기능 검증 및 제어 효과의 평가를 위한 도로 교통 시뮬레이터 장치로서, 교통 시뮬레이션 대상 교통 신호등에 따른 교통 상황이나 교통 시뮬레이션 대상 지역에 따른 교통 상황을 나타내는 정보로서 도로 네트워크 정보, 교차로 정보, 교통 정보, 신호등 정보 및 센서 정보를 포함한 교통 상황 정보를 설정하는 설정 수단, 상기 교통 시뮬레이션 수단에 의한 상기 교통 시뮬레이션에 따라 상기 설정 수단에서 설정된 상기 센서 정보에 따른 대상 교통 신호등의 제어 장치 또는 상기 대상 지역에 따른 교통 신호등 제어 장치에 감지하는 정보 인 차량 감지 정보를 생성하는 차량 감지 정보 생성 수단, 상기 교통 시뮬레이션 수단에 의한 상기 교통 시뮬레이션에 따라, 상기 대상 교통 신호등의 제어 장치 또는 상기 대상 지역에 따른 교통 신호등 제어 장치의 기능 검증 및 제어 효과를 평가하는 평가 수단을 구비하고, 상기 연결 수단은 상기 차량 감지 정보 생성 수단에 의해 생성된 차량 감지 정보를 상기 대상 교통 신호등의 제어 장치 또는 상기 대상 지역에 관한 교통 신호등의 제어 장치에 출력하고, 상기 교통 시뮬레이션 수단은 상기 차량 감지 정보에 따라 등화 제어된 상기 대상 교통 신호등의 제어 장치 또는 상기 대상 지역에 따른 교통 신호등의 제어 장치로부터의 등불 정보에 따라 상기 교통 시뮬레이션을 실시하는 것을 특징으로 하는 도로 교통 시뮬레이션 장치.

3. 국내외 시장분석 및 산업동향

- 전 세계적으로 V2X 기반 C-ITS 교통안전서비스 개발이 활성화 되고 있으며, 따라서 교통안전 서비스 개발에 필수적인 평가 시뮬레이션 소프트웨어에 대한 수요는 급증하고 있음.
- 국내외 교통 시뮬레이션 모델의 경우 교통 흐름을 표현하는 정도에 따라 거시적(Macroscopic), 중시적(Mesosopic), 미시적(Microscopic)으로 구분되며 활용 분야에 따라 많은 상용 교통 시뮬레이션이 개발되어 이용되고 있음.
- 이러한 상용 소프트웨어의 경우 국내 사례에 적용함에 있어 국내 운전자 행태 반영의 어려움과 시뮬레이션 모델 정산의 어려움 등이 존재하는 한계가 발생하였음.
- 또한, 교통 관련 traffic 시뮬레이터는 고가의 필수 연구 도구로서 전부 외국에 의존하고 있음.
- 본 연구의 최종 성과물이 상용화 될 경우, 고부가가치의 시뮬레이션 소프트웨어에 대한 수입을 대체하고 수출을 통한 고부가가치 산업을 육성할 수 있음.

4. 종합결론

- V2X 기반 C-ITS 교통안전서비스 개발이 활성화됨에 따라, 다계층 통합 시뮬레이터 개발에 대한 수요가 급증하고 있음. 그러나, 기존 연구나 상용 소프트웨어는 WAVE 통신의 물리, MAC, 네트워크 계층을 고려하지 못하는 한계를 가지고 있음.
- 본 연구팀은 WAVE 통신의 무선채널 모델링, 물리계층, MAC 계층, 네트워크 계층에 대한 기반 핵심 기술을 보유하고 있음
- 국내의 경우 교통 시뮬레이션 기술 확보가 미흡함.
- 따라서, 기존 상용 교통 시뮬레이터에서 동작하는, WAVE 통신의 무선채널, 물리, MAC, 그리고 네트워크 계층에 대한 시뮬레이션 모듈을 개발하고자 함. 이는 많은 연구기간과 비용이 소요되는 교통 시뮬레이터를 개발을 하지 않고, 기존 교통 시뮬레이터의 기능 및 신뢰도를 그대로 사용할 수 있는 효과적인 개발 방법임.

<국내외 환경분석을 통한 SWOT 분석>

Strengths	Weaknesses
무선 채널 모델링, 물리계층, MAC 계층, 네트워크 계층, 응용 계층에 대한 기반 기술을 확보 중임.	- 국내의 경우 교통 시뮬레이션 기술 미흡 - 상용 교통시뮬레이터는 모두 외산임.
Opportunities	Threats
- 전 세계적으로 V2X 기반 C-ITS 교통안전서비스 개발 활성화로 인한 평가 시뮬레이션 소프트웨어에 대한 수요 급증 - 기존 상용 소프트웨어는 WAVE 통신의 물리, MAC, 네트워크 계층을 고려하지 못함.	C-ITS 서비스 성능 평가위한 다 계층 통합 시뮬레이션 플랫폼 기술에 대한 공감 확산으로, 선진 그룹의 관련 연구가 활성화될 가능성이 높음

제 3 장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 연도별 연구수행 내용 및 결과

구분 (연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
1차 연도 (2015)	C-ITS 서비스 성능 평가 및 인증을 위한 시물레이 션 플랫폼 기술 개발	V2X 무선 채널 시물레이터 개발	3차원 레이트레이싱을 이용한 도심환경과 고속도로 환경에서의 Rician factor, pathloss, delay와 Doppler spread 모델링 - 이동하는 다수 차량들 간 채널 모델링 - 이동하는 일대일 차량간 무선 채널 시물레이터 구현	3차원 레이트레이싱을 이용한 도심환경과 고속도로 환경에서의 delay와 Doppler spread 채널을 추정하고, 이를 모델링 - WINER-II 경로손실 모델의 5.9GHz 대역 V2V 채널 환경에서의 적합성 검증 - Prescan 시물레이터에 이동하는 일대일 차량 간 무선 채널 시물레이터를 MATLAB simulink로 구현 완료
		IEEE802.11p 물리 계층 시물레이터 개발	- IEEE802.11p 물리계층 Preamble 및 Frame body capture 기능 구현 - 시간 및 주파수 동기 알고리즘, 채널추정 알고리즘 구현 검증 - 무선 채널 시물레이터와 연동하여 환경에 따른 Signal Field 및 Data Field 패킷 송수신 성공 여부 결정 - MAC 계층 연계/통합 모델링	- IEEE802.11p 물리계층 시물레이터를 MATLAB으로 개발 완료 - 구현된 시물레이터에 Preamble 및 Frame body capture 기능 구현. 또한, 시간 및 주파수 동기 알고리즘, 채널추정 알고리즘 구현 완료 - 가상 기준신호를 사용하는 MMSE 채널 추정 기법 제안 및 성능 분석 - Prescan 시물레이터에 무선 채널 시물레이터와 연동하여 환경에 따른 패킷 송수신 성공 여부 결정 기능 구현 완료 - MAC 계층과 물리계층 통합을 모델링하고 MATLAB으로 통합 시물레이터 구현하고 성능분석

		IEEE802.11p MAC 계층 시뮬레이터 개발	▪ 도심 환경 및 고속도로 환경에서 RSU의 밀도와 배치, OBU의 속도와 밀도 등에 따른 간섭 및 collision 확률 분석 ▪ 802.11p/1609.4 MAC 프로토콜 기반 BSM message의 packet delay 및 packet loss 분석과 이를 기반으로 기존 시스템의 문제점 도출 ▪ transmission/reception module 및 channel state/backoff manager 구현 후 기존 시스템의 문제점 검증	▪ Matlab simulation을 통한 IEEE 802.11p/IEEE 1609.4 기반 MAC 계층의 송수신단 구현 및 Markov chain model 기반의 EDCA 구현. priority 기반 AC에 따른 backoff 구현 후 기존 시스템 검증. ▪ 차량 밀도, packet size, 차량 속도에 따른 충돌확률, 액세스 확률, throughput, delay 성능 확인. 일반적으로 차량 밀도 및 속도, packet size가 증가할수록 MAC 계층의 성능이 열화되며 우선순위가 높은 트래픽일수록 성능 열화 정도가 커지는 결과 확인. ▪ Matlab simulink를 이용하여 MAC 계층 성능 평가를 위한 시뮬레이터 구현. 교차로 환경에서 EDCA 기반 MAC 계층의 성능을 확인하였고 이를 PreScan 상에서 동작 가능하도록 연동.
		V2X 네트워크 및 응용 계층 시뮬레이터	▪ 기존의 네트워크, 트래픽 시뮬레이터와 모빌리티 발생기들을 조사 하고 비교 분석을 통해 적합한 시뮬레이터 선정 ▪ 기존 시뮬레이터를 확장하여 물리 계층 및 MAC 계층이 고려된 멀티 홉 데이터 dissemination 시뮬레이터 개발 및 검증	• VISSIM 및 NS-2 시뮬레이터 조사 및 비교 분석 • BonnMotion: A MOBILITY SCENARIO GENERATION AND ANALYSIS TOOL 분석 • NS-2 모빌리티 generator tool 조사 분석 • V2X 기반의 VANET에서 객체 (차량, 보행자, 이륜차, 인프라) 간의 관계를 Graph 로 모델링 하는 방법 설계 • Graph로 모델링하고 각 객체 노드의 속성을 정의하고 노드의 속성을 그래프의 특정 영역의 객체들간에 공유하는 방안

			설계. 공유시 가장 효과적인 라우팅 경로를 그래프로부터 예측 및 추출 • 또한, 각 노드의 위치, 속도, 방향, 종류 등에 따라 영향력 지수를 추출 하는 기능 정의 • 이를 기반으로 객체간의 위험 지수를 계산하는 기술 설계 • Spark 의 GraphX 와 NS-2를 연동하는 모듈 설계 및 개발 • NS-2에서 생성하는 각 객체의 데이터를 GraphX로 적재하여 그래프 데이터 모델링 하는 기술 설계 및 개발 진행 중 • 구현후 가상의 데이터를 이용한 그래프 생성 가능 여부 검증
	교통 시뮬레이터와 개발된 각 계층 시뮬레이터와 연동 API 개발	▪ 채널 시뮬레이터와 PHY 계층시뮬레이터간 인터페이스 디자인 ▪ PHY 계층과 MAC 계층 시뮬레이터간 인터페이스 디자인 ▪ MAC 계층과 네트워크 계층 시뮬레이터간 인터페이스 디자인 ▪ 계층별 시뮬레이터와 상용 트래픽 시뮬레이터간 인터페이스 설계 ▪ 다양한 교통 안전 및 편의 서비스를 분석하고 이들의 공통 컴포넌트 정의	▪ 무선 채널 시뮬레이터와 PHY 계층 시뮬레이터간 인터페이스 정의 및 구현 완료 ▪ PHY 계층과 MAC 계층 시뮬레이터간 인터페이스 디자인 및 구현 완료 ▪ MAC 계층과 네트워크 계층 시뮬레이터간 인터페이스 디자인 연구 ▪ 무선 채널, 물리계층, PHY 계층 시뮬레이터와 Prescan 트래픽 시뮬레이터간 인터페이스 설계 및 구현 완료 ▪ 다양한 교통안전 및 편의 서비스를 분석하고 메시지 정의 및 통합 인터페이스 설계 완료

		통합 시뮬레이터 검증	기 존 • C-ITS 단위서비스 정보형태별 운전자 인지반응시간 기준 마련 • C-ITS 단위서비스 시나리오 모의실험 구현체계 구축	• MATLAB 기반의 “추돌 방지 지원 시스템”프로그래밍 및 마이크로 시뮬레이션 VISSIM COM Interface를 이용한 시뮬레이션 내부 적용 • 연속류 합류부 돌발상황 발생시 통신실패율에 따른 상충발생 가능성 및 통행시간 등 도로네트워크 영향 분석 수행
			변 경 • C-ITS 단위서비스 “추돌 방지 지원 시스템”에 의한 도로네트워크 영향분석 모의실험 구현체계 구축 • 통신실패율에 따른 도로네트워크 안전성 분석	
2차 연도 (2016)	C-ITS 서비스 성능 평가 및 인증을 위한 시뮬레이 션 플랫폼 기술 개발	V2X 무선 채널 시뮬레이터 개발	▪ 다수의 이동하는 차량들 간 무선 채널 시뮬레이터 구현 ▪ 물리계층과 연동한 성능 및 교통 시뮬레이터에 탑재하여 통합 검증	▪ Prescan 시뮬레이터에 다수 차량들의 각 송수신 pair의 수신 SNR을 구하는 WINNER-II large - scale 무선 채널 시뮬레이터를 MATLAB simulink로 구현 ▪ 1차년도에 구현한 small-scale 페이딩 채널 시뮬레이터와 물리계층 링크 레벨 시뮬레이터를 통합하여 PER을 모델링하고 이를 교통 시뮬레이터에 통합 구현

		IEEE802.11p 물리 계층 시뮬레이터 개발	▪ 다수의 차량들에서 전송되어 수신되는 Road Network 간섭 패킷의 수신 전력을 고려한 간섭 신호 모델링 및 분석 ▪ 다양한 전송률과 간섭 환경을 고려하여 Preamble 및 Frame body capture 기능 구현 ▪ 채널 시뮬레이터와 연동하여 환경에 따른 Signal Field 및 Data Field 패킷 송수신 성공 여부 결정 ▪ MAC 계층 Parameter 반영한 통합 검증	▪ 1차년도에 개발된 IEEE802.11p 물리계층 시뮬레이터에 간섭 신호 모델링을 반영하여 Preamble 및 Frame body capture 기능을 구현 ▪ 디코딩 정보를 이용하는 MMSE 채널 추정 기법 제안 및 성능 분석 ▪ Prescan 시뮬레이터에 Updated 된 IEEE802.11p 물리계층 Parameter 반영 및 검증 ▪ MAC 계층과 물리계층 Parameter 통합을 위한 모델링 기법 제안 및 MATLAB으로 통합 시뮬레이터 구현하고 성능분석 ▪ V2X 통신 환경에서 성능향상을 위한 협력 통신 기법의 적용가능성 검증을 위한 성능분석 기법 및 시뮬레이터 구현
		IEEE802.11p MAC 계층 시뮬레이터 개발	▪ Packet delay와 throughput 향상을 위한 물리계층과의 cross-layer joint optimization ▪ BSM message의 outage 성능 향상 및 교통안전 서비스의 효율적 운용을 위한 새로운 MAC protocol 설계 ▪ Labview 이용한 Transmission/reception coordination module 구현 ▪ 802.11p/1609.4 기반의 개선된 MAC 프로토콜 구현 및 성능 검증	▪ 1차년도에 Matlab simulation을 통해 구현된 MAC 계층의 송수신단을 기반으로 물리계층과의 cross-layer joint optimization 수행 및 물리계층에서 채널 추정의 성능을 향상시킬 수 있는 알고리즘을 개발. ▪ BSM message의 outage 성능 향상 및 교통안전 서비스의 효율적 운용을 위해 전송 메시지의 priority에 따른 향상된 backoff 알고리즘 구현. ▪ Matlab simulink를 이용하여 구현된 MAC 계층 시뮬레이터를 Labview 기반으로 PreScan 상에서 동작 가능하도록 연동 및 MAC 프로토콜의 성능 검증.

		V2X 네트워크 및 응용 계층 시뮬레이터	■ 기존 시뮬레이터를 기반으로 안전, 편의, 상업 응용들에 대한 시뮬레이션 프레임워크 및 API 개발 ■ 다양한 응용들을 시뮬레이션 하기 위해 이 연구에서 개발하는 WAVE 시뮬레이터와 BLE, LTE 시뮬레이터를 연동하는 모듈 개발 ■ 개발한 프레임워크 및 연동 모듈 검증 수행	• 1차년도에 설계한 이중의 통신망 (LTE, WAVE 등) 에서 V2X 상의 차량들을 그래프로 모델링하고 2-hop 이상의 차량들간에 충돌 가능성을 예측하는 시뮬레이터를 구현함. • 구현에서는 Mobility Generator 로 1차년도에 분석한 BonnMotion 을 사용했음. • 생성된 Mobility Scenario 데이터를 이용해 그래프를 생성하고 유지하기 위해서 Neo4J를 이용함. 1차년도에 설계할때 고려했던 spark Streaming 과 GraphX는 Over Spec.으로 판단되어 제외함. • 차량간 충돌 가능성을 추출하는 API를 Graph Query Language를 이용하여 작성함. • 구현한 시뮬레이터를 Manhattan Grid 기반의 Scenario 데이터를 이용하여 검증함.
		교통 시뮬레이터 와 개발된 각 계층 시뮬레이터 와 연동 API 개발	■ 무선채널 시뮬레이터와 PHY 계층시뮬레이터간 인터페이스 구현 ■ PHY 계층과 MAC 계층 시뮬레이터간 인터페이스 구현 ■ MAC 계층과 네트워크 계층 시뮬레이터간 인터페이스 구현 ■ 계층별 시뮬레이터와 상용 트래픽 시뮬레이터간 인터페이스 구현 ■ 교통 안전 및 편의 서비스 공통 컴포넌트 및 API 구현 ■ 통합 검증	■ 무선채널 시뮬레이터와 PHY 계층시뮬레이터간 통합 인터페이스 구현 및 검증 ■ PHY 계층과 MAC 계층 시뮬레이터간 인터페이스 구현 및 검증 ■ MAC 계층과 네트워크 계층 시뮬레이터간 인터페이스 구현 및 검증 ■ 계층별 시뮬레이터와 상용 트래픽 시뮬레이터간 인터페이스 구현 및 검증 ■ 교통 안전 및 편의 서비스 공통 컴포넌트 및 API 구현 ■ 통합 검증

		통합 시뮬레이터 검증	• C-ITS 단위서비스 성능 실험 검증 체계 구축 • C-ITS 단위서비스 시나리오별 안전개선 효과 실험 및 검증	• 도심 교차로에서 BSM 교환을 통해 차량 충돌예측 및 경고를 제공하는 안전서비스의 성능을 검증하는 시나리오를 설계하고 Prescan상에서 시나리오 작성 • 교차로에서 차량의 밀집도와 이동속도에 따른 BSM 패킷의 송수신 성공률, 이에 따른 차량충돌 예측 및 경고 안전서비스의 성공 여부를 실험하는 시뮬레이션을 수행하고, 이에 대한 분석을 통해 통합 시뮬레이터의 성능과 유효성을 검증함
--	--	-------------------	---	---

2. 연구 범위 및 연구 수행 방법

구분 (연도)	연구 범위	연구 수행 방법	구체적인 내용
1차 연도 (2015)	V2X 무선 채널 시뮬레이터 개발	• 선행연구 사례조사	• WAVE 무선 채널의 경로손실 모델링 기술 조사 (WINNER-II) • 이동 차량에 대한 및 small-scale WAVE 무선 채널 모델링 기술 조사
		• 목표성능 설정	• WAVE 무선 채널 시뮬레이터 목표 성능 설정
		• 성능시험	• 검증된 상용 3차원 레이트레이싱 시뮬레이션을 통한 특성 분석 및 WINNER-II 경로 손실 모델 성능 검증 • 다수 차량들 간 채널 모델링 및 검증된 상용 3차원 레이트레이싱 시뮬레이션과의 비교 검증 • 차량 이동에 따른 채널 변화 모델링 및 상용 3차원 레이트레이싱 시뮬레이션과의 비교 검증
		• 시제품 제작	• 이동하는 일대일 차량간 무선 채널 시뮬레이터를 MATLAB simulink로 구현하고 이를 Prescan에 탑재
	IEEE802.11p 물리 계층 시뮬레이터 개발	• 선행연구 사례조사	• 간섭 패킷 수신전력을 고려한 링크레벨 시뮬레이션 기술조사 • Preamble capture 및 frame body capture 기술 조사
		• 목표성능 설정	• IEEE802.11p 물리계층 링크레벨 시뮬레이터 목표 성능 설정
		• 성능시험	• 개발된 무선채널 시뮬레이터 성능 검증 • 개발된 IEEE802.11p 물리계층 링크레벨 시뮬레이터의 성능을 타 연구 논문과의 비교를 통한 성능 검증
		• 시제품 제작	• 무선채널 시뮬레이터와 통합된 IEEE 802.11p 물리계층 링크레벨 시뮬레이터를 MATLAB으로 제작
	IEEE802.11p MAC 계층	• 선행연구 사례조사	• IEEE802.11p의 EDCA 운용 절차와 이에 관한 표준 및 기술동향 연구. 차량 밀도 증가에 따른 MAC 계층 성능 열화 감소를 위한 다양한 기법들 분석.

시뮬레이터 개발		• IEEE1606.4의 multi-channel operation 표준 및 use case에 대한 사례 조사. • 두 개 이상의 SCH를 집성하여 동시 access(혹은 CCH와 SCH에 동시 access)할 수 있는 multi-channel 운용 방식 분석 • Matlab simulation, NS-2, PreScan을 이용하여 IEEE802.11p MAC 표준을 구현한 선행 연구 조사
	• 목표성능 설정	• 현재 표준안인 IEEE 802.11p와 IEEE1609.4를 기반으로 MAC 성능을 평가할 수 있는 시뮬레이터 구축. 도심 환경과 고속도로 환경에서 차량 밀도 증가, data packet size 증가 및 arrival rate 증가에 따른 throughput과 delay 성능 평가를 목표로 설정.
	• 성능시험	• Matlab simulation 상에서 송수신기 구현 및 차량 밀도 증가에 따른 delay와 throughput 성능 평가. 차량 밀도가 증가할수록 delay 성능과 throughput 성능이 열화되는 것을 확인하였으며 우선순위가 높은 메시지일수록 성능 열화가 심각해지는 특성을 보임. • 기존 시스템 (EDCA, multi-channel operation)의 경우 차량 밀도가 증가할수록 차량 간 전송할 데이터의 arrival rate가 증가할수록 성능 열화가 심각해지는 것을 확인함. 이를 극복하기 위한 새로운 multi-channel operation 기법 연구의 필요성 확인
	• 시제품 제작	• Matlab simulation 기반으로 simulink를 이용한 MAC 계층 시뮬레이터 구축. 이를 이용하여 교차로 환경에서 다수의 차량이 EDCA 및 multi-channel operation 기법으로 채널에 접근 시도 및 throughput 평가.
V2X 네트워크 및 응용 계층 시뮬레이터	• 선행연구 사례조사	• 대표적인 트래픽 시뮬레이터 및 네트워크 시뮬레이터를 대상으로 조사 분석 수행(VISSIM, NS-2) • 시뮬레이터를 위한 데이터 발생기 분석
	• 목표성능 설정	• 시뮬레이터 발생 데이터를 Graph로 모델링하는 기능 • Graph의 각 노드의 속성에 따른 위험지수 계산 기능 • 노드의 데이터 공유를 위한 라우팅 기능
	• 개발	• 오픈 소스를 최대한 이용한 개발 진행 • Spark GraphX와 NS-2 기반의 개발 진행
	• 성능 검증	• 1차년도에는 Spark GraphX와 NS-2를 연동한 그래프 생성 기능 검증

	교통 시뮬레이터 와 개발된 각 계층 시뮬레이터 와 연동 API 개발	• 선행연구 사례조사	• 기존 교통 시뮬레이터 Prescan 연동 기술 및 구현 도구 결정. MATLAB simulink보다 Simulink가 범용적이고 정확한 것으로 결정
		• 목표성능 설정	• 계층간(무선 채널과 PHY, PHY와 MAC) 인터페이스 정의 • 계층별 시뮬레이터와 Preacan 교통 시뮬레이터 간 인터페이스 정의
		• 성능시험	• 무선채널, PHY, MAC이 Prescan에 통합된 인터페이스의 개념적인 통합 성능 시험
		• 시제품 제작	• 계층간(무선 채널과 PHY, PHY와 MAC, MAC과 상위 계층) 인터페이스 디자인 • 계층별 시뮬레이터와 교통 시뮬레이터 간 인터페이스 디자인 • 다양한 교통 안전 및 편의 서비스를 분석하고 이들의 공통 컴포넌트를 메시지로 정의 • 무선 채널, PHY, MAC이 Prescan 플랫폼에서 통합된 시뮬레이터 구현 및 성능 검증
	통합 시뮬레이터 검증	• 선행연구 사례조사	• C-ITS 차량 충돌 방지 지원 시스템 관련 통신 분야 및 차량 추종형태 분야 선행 연구 조사 • 차량 간 통신 기반 정보제공 시스템 미시적 교통류 모의실험 구현 방안 선행연구 조사
		• 성능 시험 및 검증 체계 구축	• 통합 시뮬레이터 검증 대상 C-ITS 단위서비스 선정 (차량 충돌 방지 지원 시스템) • C-ITS 충돌 방지 지원 정보 제공에 따른 위험도별 차량 가감속도 적용 모형 구축 • MATLAB을 이용한 차량 충돌 방지 지원 시스템 구현 프로그래밍 • 구현 시스템의 미시적 모의실험 수행을 위한 VISSIM COM interface 활용 • 모의실험 수행을 위한 가상 네트워크 설계 및 시나리오 구성 • 통신실패율에 따른 도로 네트워크 영향 분석 수행
2차 연도 (2016)	V2X 무선 채널 시뮬레이터 개발	• 선행연구 사례조사	• 교차로 환경에서 다수의 차량들 간의 시스템 레벨 무선 채널의 경로손실 모델링 기술 조사 (WINNER-II) • 도심환경에서의 이동 차량에 대한 및 small-scale WAVE 무선 채널 모델링 기술 조사
		• 목표성능 설정	• 도심 교차로에서 시스템 레벨 WAVE 무선 채널 시뮬

			레이터 목표 성능 설정
		• 성능시험	• 도심 환경에서 시스템 레벨 WINNER-II 경로 손실 모델을 Matlab simulink로 구현하고, 이의 성능을 검증 • 도심환경에서 시스템 레벨 small-scale WAVE 무선 채널 시뮬레이터를 구현하고 이의 성능을 검증
		• 시제품 제작	• 도심 교차로 환경에서 다수의 차량간 무선 채널 시뮬레이터를 MATLAB simulink로 구현하고 이를 Prescan에 탑재
	IEEE802.11p 물리 계층 시뮬레이터 개발	• 선행연구 사례조사	• 다수의 차량들에서 송신되는 Road Network 간섭 신호 모델링 기법 조사 • 다양한 환경에서의 Preamble capture 및 frame body capture 기술 조사
		• 목표성능 설정	• 다수 차량 기반의 Road Network 간섭 환경에서의 IEEE802.11p 물리계층 링크레벨 시뮬레이터 성능목표 설정
		• 성능시험	• 개발된 고속 무선채널 환경에서의 성능 검증 • 개발된 채널추정 기법을 IEEE802.11p 물리계층 링크레벨 시뮬레이터로 구현하고 기존 기법들과 비교를 통한 성능 검증
		• 시제품 제작	• 무선채널 시뮬레이터와 통합된 IEEE 802.11p 물리계층 링크레벨 시뮬레이터에 디코딩 정보를 이용하는 MMSE 채널 추정 알고리즘을 MATLAB으로 구현 • V2X 통신 환경에서 성능향상을 위한 협력 통신 기법의 적용가능성 검증을 위한 성능분석 기법 및 시뮬레이터 구현
	IEEE802.11p MAC 계층 시뮬레이터 개발	• 선행연구 사례조사	• IEEE 802.11p와 IEEE1609.4 기반의 MAC 계층과 물리계층 간 성능 향상을 위해 cross-layer joint optimization을 수행한 선행 연구 조사 • 두 개 이상의 SCH 혹은 하나의 SCH와 CCH를 동시에 access하여 사용하는 채널 이중화 기법 (Dual channel operation) 선행 연구 조사
		• 목표성능 설정	• MAC 계층과 물리계층 간 joint optimization 연구는 초기 단계로서 특히 두 계층의 파라미터를 공유하여 성능을 향상시키는 연구는 아직 미흡함. • IEEE 802.11p 기반으로 차량 밀도 증가에 따른 delay 와 throughput 성능을 향상시키면서 물리계층에서 채널 추정의 성능을 동시에 향상시킬 수 있는 반복적 채널

		널 추정 기법 제안 및 이에 대한 성능 평가를 목표로 설정.
	• 성능시험	- Matlab 시뮬레이션 상에서 차량 밀도가 증가할수록 delay와 throughput 성능이 열화되는 특성을 보이며 이는 채널 추정 관점에서 채널의 시변특성과 주파수 선택적 특성이 심해질수록 동일 차량 밀도에서 delay와 throughput 성능을 더욱 열화시키는 요인이 됨. - 채널의 시변특성과 주파수 선택적 특성이 심한 환경에서 PER 성능을 향상시키기 위해서 viterbi decoder 기반의 반복적 채널 추정 기법이 적용되어야 하는데 이 경우 delay를 증가시키는 요인이 되어 차량 밀도가 증가할수록 MAC 성능이 감소하는 trade-off 발생. - 저복잡도 채널 추정 기법 연구를 통해 MAC 계층의 delay constraint를 만족시키면서 채널 추정의 성능을 충족.
	• 시제품 제작	Matlab simulation 기반으로 simulink를 활용한 MAC 계층과 물리 계층의 성능을 평가할 수 있는 시뮬레이터 구축.
V2X 네트워크 및 응용 계층 시뮬레이터	• 개발	1차년도에 설계한 이중망을 고려한 응용계층 차량 충돌 예측 시뮬레이터를 실제 구현함.
	• 성능 검증	Mobility Generator를 통해 생성된 데이터를 이용하여 구현한 시뮬레이터를 검증함.
교통 시뮬레이터 와 개발된 각 계층 시뮬레이터 와 연동 API 개발	• 선행연구 사례조사	두 대의 PC에 응용계층 시뮬레이터와 무선채널, MAC, 물리 계층을 통합한 시뮬레이터를 각각 Prescan과 Matlab simulink로 구현하고, 서로 다른 timing으로 동작하며 UDP로 데이터를 주고 받는 인터페이스 관련 선행 연구 조사
	• 목표성능 설정	- 통합 시뮬레이터의 시뮬레이션 속도에 관한 목표 설정 - 교차로에서 30개의 차량이 분포한 상황에서 차량충돌 예측 및 경고 안전서비스의 성능분석에 필요한 시간을 12시간으로 설정
	• 성능시험	교차로에 30개의 차량이 분포한 상황에서 안전서비스의 성능분석 수행하고 12시간 이내로 수행됨을 확인함.
	• 시제품 제작	두 대의 PC에 응용계층 시뮬레이터와 무선채널, MAC, 물리 계층을 통합한 시뮬레이터를 각각 Prescan과 Matlab simulink로 구현하고, 서로 다른 timing으로 동작하며 UDP로 데이터를 주고 받는 인터페이스 구현

	통합 시뮬레이터 검증	• 선행연구 사례조사	• 교차로에서 다수의 차량이 분포한 상황에서, 교차로를 접근하는 두 대의 차량간에 BSM을 교환하고, 수신된 BSM에 의해 상대방 차량의 궤적을 예측하여, 자차와의 충돌을 예측하고 이를 경고하는 안전서비스에 대한 선행 연구 사례조사 수행 • 경로 궤적 예측을 위한 모델인 CTRA(Constant Turn Rate and Acceleration) 모델에 대한 선행 연구 조사
		• 성능 시험 및 검증 체계 구축	• 교차로에서 다수의 차량이 분포한 상황에서, 교차로를 접근하는 두 대의 차량 간에 BSM을 교환하고, 수신된 BSM 메시지에 의해 상대방 차량의 궤적을 예측하여, 자차와의 충돌을 예측하고 이를 경고하는 안전서비스를 시뮬레이션 할 수 있는 전 계층 통합 시뮬레이터 구축 • BSM 수신율이 100%인 이상적인 상황과 개발된 통합 시뮬레이터를 비교 분석하여, 개발된 본 시뮬레이터의 성능을 검증함.

3. 연구개발성과

가. 국내외 논문 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록번호
1	Approximation of Multi-hop Relay to Dual-hop Relay and Its Error Performance Analysis	IEEE Communications Letters	임성묵	21-02	미국	IEEE Communications Society	SCI	2017.02	1-1
2	Generalized Precoder Design Based on Weighted MMSE Criterion for Energy Harvesting Constrained MIMO Channels	IEEE Transactions on Wireless Communications	송창익	15-12	미국	IEEE Communications Society	SCI	2016.12	1-2
3	Performance comparison of dual-hop HDMA relay schemes for M-QAM burst transmission over Rayleigh fading channels	International Journal of Communication Systems	우중재	68-13	미국	International Journal of Computer Applications	SCI	2017.01	1-3
4	Two Average Symbol Error Rate Expressions for AFwRRD and AFwRTD Systems over Rayleigh Fading channels	International Journal of Future Generation Communication and Networking	김민찬	09-09	미국	SERSC	비SCI	2016.09	1-4
5	IEEE 802.11p/WAVE 시스템을 위한 가상 기준신호를 이용한 MMSE 채널 추정 기법	한국정보기술학회논문지	최주영	14-6	한국	한국정보기술학회	비SCI	2016.06	2-1
6	IEEE 802.11p 차량 간 통신의 매체 접근 제어와 물리 계층을 고려한 통합 성능 분석	한국정보기술학회논문지	최주영	15-1	한국	한국정보기술학회	비SCI	2017.01	2-2
7	PreScan을 이용한 교차로에서 안전한 좌회전 및 우회전을 위한 충돌 방지 알고리즘	한국정보기술학회논문지	백민	14-3	한국	한국정보기술학회	비SCI	2016.03	2-3
8	PreScan을 통한 긴급차량 통행 우선권 확보 알고리즘 개발 및 분석	한국정보기술학회논문지	최효진	15-5	한국	한국정보기술학회	비SCI	2017.05	2-4
9	C-ITS 차량 충돌 방지 지원 시스템의 통신 부하를 고려한 도로네트워크 영향 분석	한국 ITS 학회 논문지	김준용	5	한국	한국 ITS 학회	비SCI	2016.10	2-5
10	IEEE 802.11p 기반 차량 간 통신 시스템에서 차량 밀도에 따른 MAC 계층의 성능 평가	한국정보기술학회논문지	임성묵	14-8	한국	한국정보기술학회	비SCI	2016.08	2-6
11	IEEE 802.11p 기반 차량 간 통신 시스템에서 패킷 에러율 향상을 위한 반복적 채널 추정 기법	한국정보기술학회논문지	임성묵	14-12	한국	한국정보기술학회	비SCI	2016.12	2-7
12	Distributed In-Memory Processing Method for Data Stream of Moving Objects	International Journal of Contents	송석일	-	한국	한국콘텐츠학회	비SCI	2017.09	2-8

나. 국내 및 국제학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
3-1	2015 IEEE Vehicular Networking Conference	송석일	2015.12.17	Hyatt Regency Kyoto	일본
3-2	2015 IEEE Vehicular Networking Conference	류지수	2015.12.17	Hyatt Regency Kyoto	일본
3-3	2015 IEEE Vehicular Networking Conference	신유호	2015.12.17	Hyatt Regency Kyoto	일본
3-4	2015 IEEE Vehicular Networking Conference	백민	2015.12.17	Hyatt Regency Kyoto	일본
3-5	IEEE 85th Vehicular Technology Conference	이상현	2017.06.04	Darling Harbor	호주
3-6	IEEE 85th Vehicular Technology Conference	최주영	2017.06.06	Darling Harbor	호주
4-1	한국 ITS학회 2015년도 추계학술대회	김연아	2014.10.22	교통안전공단	한국
4-2	대한전자공학회 2015년도 추계학술대회	최주영	2015.11.27	오크밸리 골프빌리지센터	한국
4-3	대한전자공학회 2015년도 추계학술대회	백민	2015.11.27	오크밸리 골프빌리지센터	한국
4-4	한국 ITS학회 2016년도 춘계학술대회	류지수	2016.04.28	제주한라대학교 한라컨벤션센터	한국
4-5	한국 ITS학회 2016년도 춘계학술대회	박정훈	2016.04.28	제주한라대학교 한라컨벤션센터	한국
4-6	한국 ITS학회 2016년도 춘계학술대회	우상우	2016.04.28	제주한라대학교 한라컨벤션센터	한국
4-7	한국 ITS학회 2016년도 춘계학술대회	최효진	2016.04.28	제주한라대학교 한라컨벤션센터	한국
4-8	한국 ITS학회 2016년도 춘계학술대회	이환	2016.04.28	제주한라대학교 한라컨벤션센터	한국
4-9	정보 및 제어 학술대회 (CICS 2016)	김준섭	2016.10.20	대명리조트	한국
4-10	2017 한국통신학회 동계학술대회	한승호	2017.01.18	하이원리조트	한국
4-11	2017 한국통신학회 동계학술대회	백승환	2017.01.18	하이원리조트	한국
4-12	한국 ITS학회 2017년도 춘계학술대회	박정훈	2017.04.20	제주한라대학교 한라컨벤션센터	한국
4-13	한국 ITS학회 2017년도 춘계학술대회	서예원	2017.04.20	제주한라대학교 한라컨벤션센터	한국
4-14	한국전자파학회 2017년도 하계종합학술대회	박정훈	2017.08.25	제주 라마다 호텔	한국

다. 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

라. 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기 여 율
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
1	단말기의 센서 데이터를 이용한 교통 이벤트 추출방법 및 시스템	한국	한국교통대 산학협력단	2016.03	10-2016- 0036329				50
2	주파수 영역 가상 기준신호를 이용한 최소평균제곱오차 채널 추정방법 및 이를 이용하는 추정 시스템	한국	한국교통대 산학협력단	2016.06	10-2016- 0070721				50
3	채널 환경에 가장 적합한 채널추정 방법을 적응적으로 선택하는 방법 및 이를 이용하는 추정 시스템	한국	한국교통대 산학협력단	2017.06	10-2017- 0075767				100
4	차량 충돌 예측 방법 및 이를 이용하는 장치	한국	한국교통대 산학협력단	2017.06	10-2017-0 078917				100
5	매크로셀과 소형셀 간의 개인셀 합성방법 및 장치	한국	한국교통대 산학협력단	2016.04	10-2016 - 0045106				50
6	모바일 단말과 클라우드 서비스를 이용한 교차로 운영상태 실시간 분석 시스템 및 그 방법	한국	한국교통대 산학협력단			한국교통대 산학협력단	2016.09	10-16636 66	50
7	시간과 주파수 영역 채널 추정 방법 및 이를 이용하는 추정 시스템	한국	한국교통대 산학협력단			한국교통대 산학협력단	2016.06	10-16360 61	50

마. 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율
1	차량통신 기반 차세대 지능형 교통시스템 서비스 성능 분석 및 검증을 위한 다계층 통합 시뮬레이션 프로그램	2016.05.19	한국교통대 학교 산학협력단	2016.05.15	C-2016-01449 9	한국교통대 산학협력단	100
2	코오퍼레이티브지능 형교통체계 서비스분석 평가 프로그램 CEPHIA(C-ITS Evaluation Program based on Historical Analysis)	2017.03.23	한국교통대 학교 산학협력단	2017.04.06	C-2017-00873 2	한국교통대 산학협력단	100

3	차량간 네트워크에 대한 그래프 생성 프로그램	2017.06.23	한국교통대학교 산학협력단	2017.08	C-2017-019388	한국교통대학교 산학협력단	100
4	IEEE802.11p 무선채널 통합 링크레벨 시뮬레이터	2016.09	한국교통대학교 산학협력단	2017.08	C-2017-019384	한국교통대학교 산학협력단	100
5	IEEE802.11p/WAVE(차량환경 무선접속) 통신 계층 통합 시뮬레이터	2017.07	한국교통대학교 산학협력단	2017.08	C-2017-019386	한국교통대학교 산학협력단	100
6	IEEE802.11p 물리계층과 MAC(매체접속제어) 계층 통합 링크레벨 시뮬레이터	2016.12	한국교통대학교 산학협력단	2017.08	C-2017-019385	한국교통대학교 산학협력단	100

바. 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도 (배출 연도)	현황										
			학위별			성별			지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여		충청권	영남권	호남권	기타
1	김연아	2016		○				○		○			
2	최주영	2016		○			○		○				
3	신유호	2016		○			○		○				
4	배현식	2016		○			○		○				
5	서제연	2016		○			○		○				
6	서길원	2016		○			○			○			
7	백민	2016		○			○			○			
8	이환	2017		○			○		○				
9	최효진	2017		○			○			○			
10	류지수	2017		○				○	○				
11	윤여은	2017			○			○		○			
12	정의석	2017			○		○			○			
13	유기훈	2017			○		○			○			
14	안승욱	2017			○		○			○			
15	김주영	2017		○				○		○			
16	조용빈	2017			○		○		○				
17	김응진	2017		○			○						
18	김진수	2017		○			○						
19	전태인	2017		○			○						
20	장지훈	2017			○		○		○				
21	박정남	2017			○		○			○			
22	주한샘	2017			○		○		○				
23	김준섭	2017			○		○			○			
24	김범영	2017			○		○			○			

사. 산업 기술 인력 양성

번호	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

아. 기술 거래(이전) 등

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황

자. 사업화 투자 실적

번호	연구개발 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자 자금 성격

차. 사업화 현황

(: 명, 년)

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내	국외		

카. 표준화

번호	수행 기관명	표준화 주제	표준화 기구	표준화 단계	관련 번호	제출(채택)일	국가
						yyyy.mm.dd	

타. 기술요약정보

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호

파. 보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호
2017년	최종보고서	2017.8.5	

하. 기타

- **제작: V2X 기반의 C-ITS 교통안전서비스의 성능 평가 시뮬레이션 플랫폼 제작**
 - 무선채널 시뮬레이터, 물리계층 시뮬레이터, MAC 계층 시뮬레이터가 Prescan traffic 시뮬레이터와 통합된 시뮬레이션 플랫폼 제작
 - 도심 교차로 환경에서, 4대의 IEEE 802.11p 송신기를 장착한 차량과 4대의 수신기를 장착한 차량간 패킷 송수신 및 지연시간 성능 분석

- **성과홍보: 2016년 국토교통과학기술대전 전시**
 - 본 연구를 통해 개발된 “V2X 기반의 C-ITS 교통안전서비스의 성능 평가 시뮬레이션 플랫폼” 시제품을 전시

4. 전 계층 통합 V2X 기반 C-ITS 안전서비스 시뮬레이션 플랫폼

가. 통합 시뮬레이션 플랫폼의 개요

- 통합 시뮬레이션 플랫폼은 교통안전서비스의 정확한 성능 평가 및 인증을 위해, 물리계층, 매체 접근제어 계층, 네트워크 및 어플리케이션 계층 그리고 교통 트래픽의 모델링을 포함한 전 계층을 통합하여, 차량 충돌방지 안전 서비스의 시나리오에 적용함으로써, 교통안전서비스의 성능을 통합적으로 분석할 수 있도록 함. 이러한 시뮬레이션 환경을 구현하기 위해 Tass사의 PreScan을 사용하였으며, PreScan은 능동 안전 시스템, 운전자 지원 시스템 및 지능형 교통시스템 등을 실제 물리적 특성을 반영하여 시뮬레이션 할 수 있는 소프트웨어(SW)임.

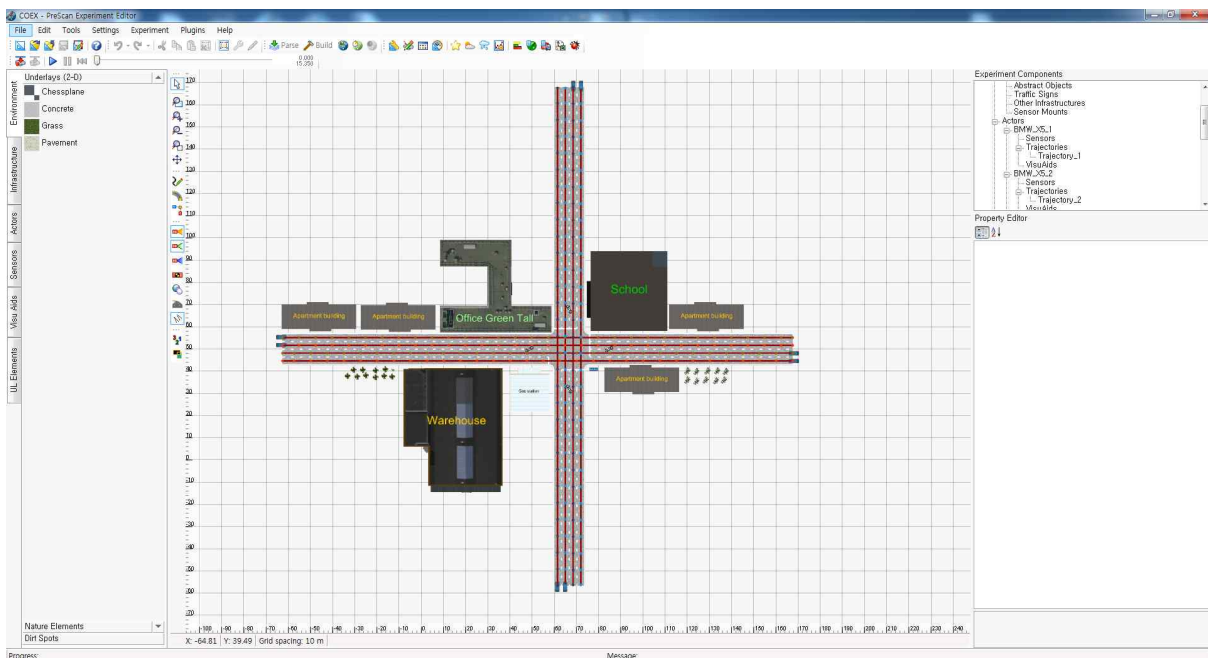


그림 5. 통합 시뮬레이션 시나리오 설정

- ① Prescan microscopic traffic simulator 이용한 시뮬레이션 시나리오(차량 분포 및 궤적)를 작성함.
- ② Prescan에 기반하여 MATLAB Simulink를 이용하여 IEEE 802/11p의 무선채널, 물리계층, MAC 계층, 네트워크 계층, 응용 계층을 이용한 시뮬레이터 통합 구현. 아래 그림은 Prescan에 기반한 IEEE 802/11p의 무선채널, 물리계층, MAC 계층 구현의 예임.

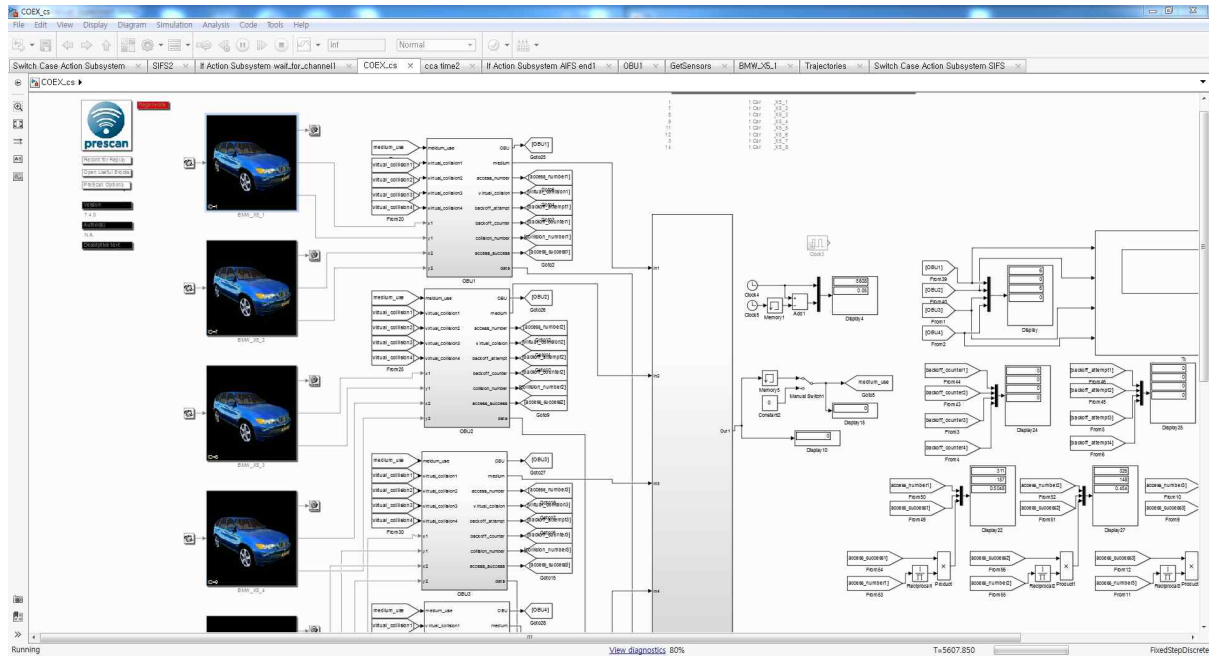


그림 6. IEEE802.11p/WAVE 다계층 통합 시뮬레이터의 구성

- ③ 시뮬레이션 시나리오에 따라 각 차량에서 BSM 메시지를 전송하고 이의 수신 여부를 분석. 이를 통해 차량의 밀도 및 교통 환경에 따른 평균 메시지 에러율 및 전송 지연을 분석할 수 있음. 아래 그림은 1차년도에 개발된 시뮬레이션 플랫폼 수행 모습을 보여줌. CSMA/CA와 EDCA MAC 프로토콜에 의해 패킷이 경쟁하여 송신되고, 송신된 패킷은 무선채널의 페이딩 특성과 물리계층 성능에 의해 각 수신기에서 패킷 수신 성공 여부가 결정되는 과정을 보여줌.

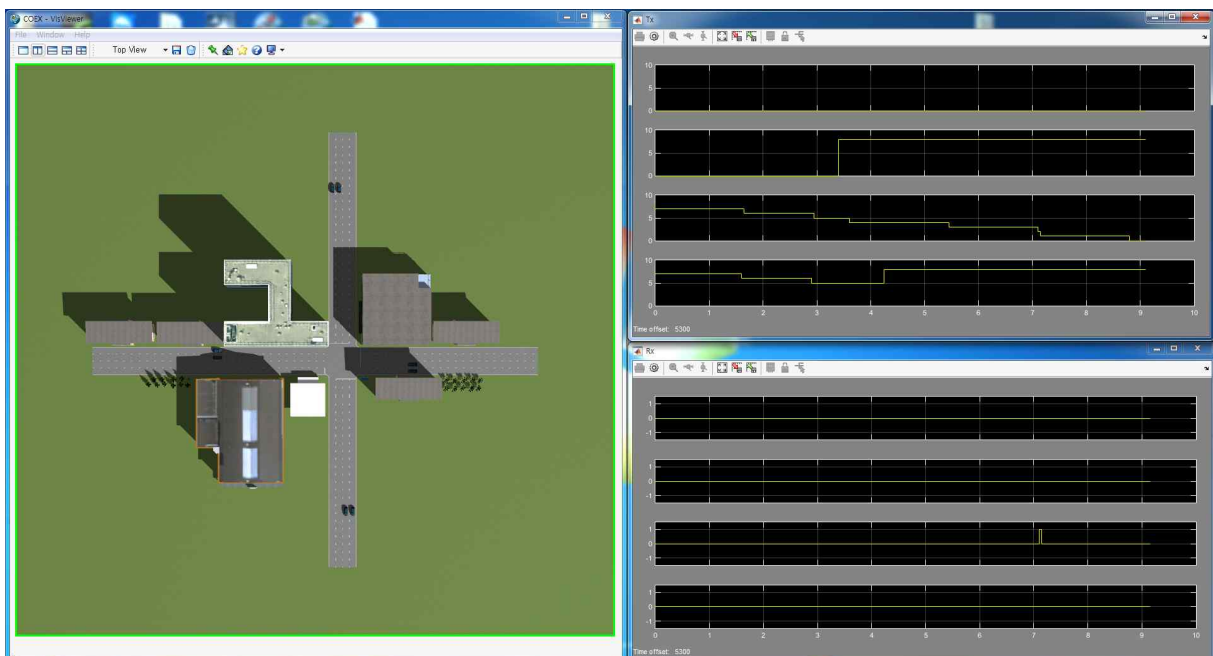


그림 7. 통합 시뮬레이션 수행 및 결과

나. IEEE 802.11p/WAVE 응용계층 시뮬레이터 개발

1) IEEE 802.11p/WAVE 응용 계층에서 BSM 구현

- Basic Safety Message(BSM)은 미 자동차 기술 협회인 SAE(Society of Automotive Engineers)에서 제정한 J2735 안전메시지 표준으로, 각 차량의 운행 상태 정보를 주기적으로 교환하기 위해 정의됨. 이러한 운행 상태 정보는 그림과 같이 GPS, 속도, 휠 각도, Heading, 차량 크기 등 차량의 기본 상태 정보를 포함하고 있음.

```

BasicSafetyMessageVerbose ::= SEQUENCE {
  -- Part I, sent at all times
  msgID      DSRCmsgID,          -- App ID value, 1 byte
  msgCnt     MsgCount,           -- 1 byte
  id         TemporaryID,        -- 4 bytes
  secMark    DSecond,            -- 2 bytes
  -- pos      PositionLocal3D,
  lat        Latitude,           -- 4 bytes
  long       Longitude,          -- 4 bytes
  elev       Elevation,          -- 2 bytes
  accuracy   PositionalAccuracy, -- 4 bytes

  -- motion   Motion,
  speed      TransmissionAndSpeed, -- 2 bytes
  heading    Heading,             -- 2 bytes
  angle      SteeringWheelAngle,  -- 1 bytes
  accelSet   AccelerationSet4Way, -- 7 bytes

  -- control  Control,
  brakes     BrakeSystemStatus,   -- 2 bytes

  -- basic    VehicleBasic,
  size       VehicleSize,         -- 3 bytes

  -- Part II, sent as required
  -- Part II,
  safetyExt  VehicleSafetyExtension OPTIONAL,
  status     VehicleStatus        OPTIONAL,
  ... -- # LOCAL_CONTENT
}

```

그림 8. BSM의 내용 구조

- 아래 그림은 IEEE 802.11p의 채널에 대한 동기화 주기를 나타냄. WAVE 통신은 5.850~5.925 GHz 대역을 1개의 CCH(Control Channel) 채널과 6개의 SCH(Service Channel) 채널로 나누어 사용. CCH 채널은 안전 또는 긴급 메시지를 전송하는데 사용되고 SCH 채널은 부가 서비스를 위한 메시지를 보낼 때 사용. 채널의 동기화 주기는 100ms로써 CCH 채널과 SCH 채널의 동기 구간은 각각 50ms로 할당되며, 50ms 중 5ms를 보호 구간으로 설정. 여기서 BSM은 CCH의 45ms 구간에서 전송이 이루어지며, 주기는 SCH까지 포함하여 100ms 마다 수신 영역에 속해있는 차량에게 전송.

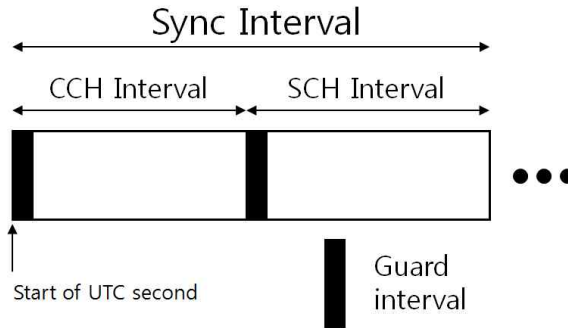


그림 9. CCH와 SCH의 구조

- 본 시뮬레이션에서 사용된 BSM의 패킷은 아래 그림과 같이 Preamble(32us)와 Signal(8us) 그리고 BSM 패킷 정보 데이터가 담겨있는 Payload(800us)로 구성됨.



그림 10. BSM 메시지의 구조

2) IEEE 802.11p/WAVE 응용 계층에서 BSM 구현

- BSM을 통해 주변 차량의 운행 상태 정보를 취득한 후에, 주변 차량의 경로를 예측하여 자차의 예측 경로와 충돌 가능성을 계산하여, 충돌 가능성이 있을 경우 충돌 가능 신호를 운전자에게 전달하여 차량을 제동함으로써 차량 충돌을 회피하는 알고리즘을 구현하였음. 다양한 경로 예측 모델 중에 본 시뮬레이션에서 사용된 경로 예측 모델은 가장 기본적인 알고리즘인, 고정된 속도를 이용한 CV(Constant Velocity) 모델을 사용. 이후 CTRA(Constant Turn Rate and Acceleration)과 같은 경로 예측 모델로 확장이 가능함.
- CV 모델에서 상태변수는 시스템의 동적 동작 상태를 나타낼 수 있는 최소개의 변수들로 아래 그림과 같이 나타냄. x축 좌표는 x, y축 좌표는 y, 차량의 Heading은 θ , 차량의 속도는 v, 차량의 가속도는 a으로 나타냄.

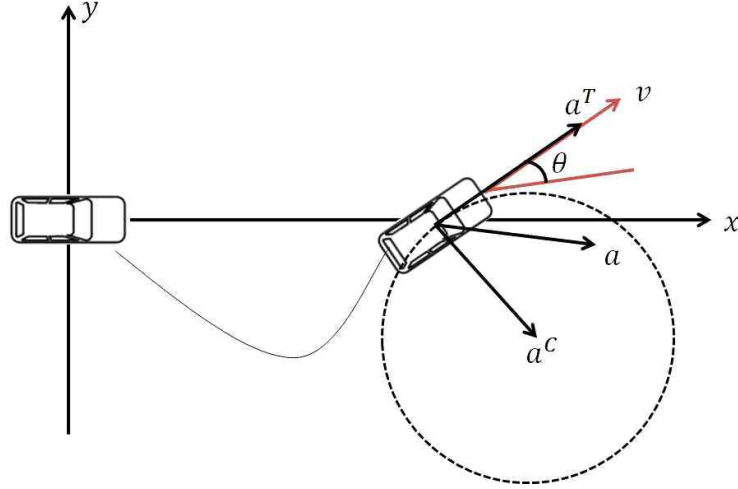


그림 11. 상태 공간 모델

○ CV 모델의 상태 공간 모델은 다음과 같음.

$$p(t) = (x(t) \ v(t) \ y(t) \ v_y(t))$$

상태 공간이란 시간 t 의 변화에 따라 상태 점(상태변수들에 의해 지정 됨)이 그 공간을 이동하며 동적인 특성(상태방정식)을 보여주는 공간을 말함. 이 모델에 대한 상태 방정식은 다음 식과 같음.

$$\vec{p}(t + \Delta t) = \begin{pmatrix} x(t) + \Delta t v_x \\ v_x \\ y(t) + \Delta t v_y \\ v_y \end{pmatrix}, \quad v_x = v \cos \theta, \quad v_y = v \sin \theta, \quad 0 \leq \theta \leq 2\pi$$

○ 위 식으로 현재 위치에서의 $\Delta = 3.5$ 초까지의 예측된 경로는 다음 그림과 같음. 아래 그림의 파란 선 그래프는 실제 차량이 움직인 좌표이며, 빨간 선 그래프는 CV 모델을 활용한 차량의 경로 예측값을 나타냄.

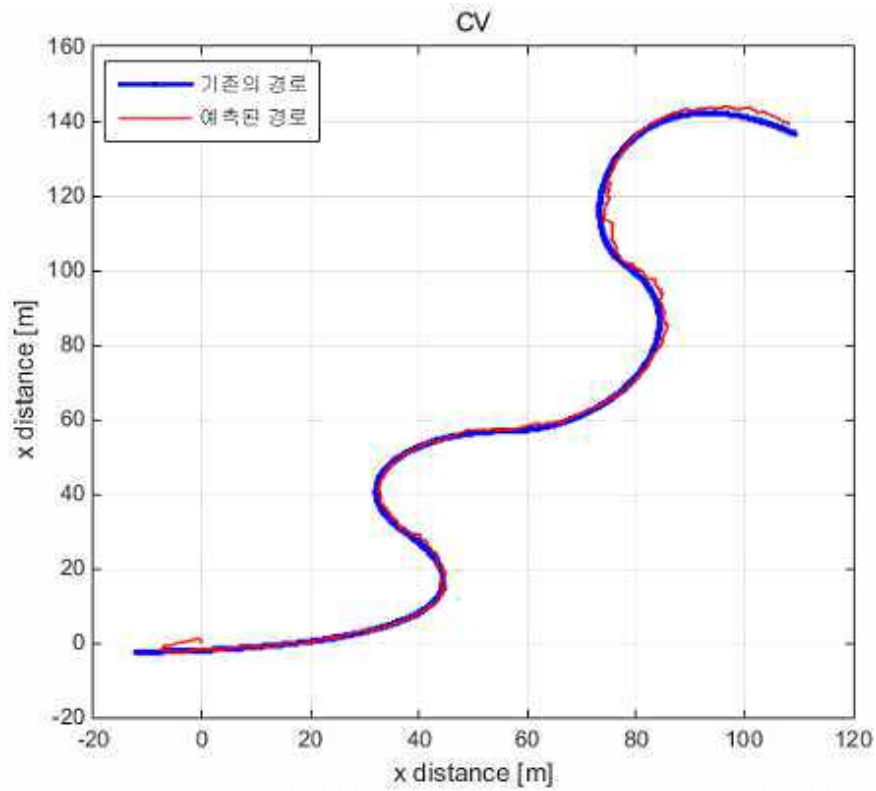


그림 12. CV모델을 이용한 경로 예측

- 시뮬레이션에서는 3.5초 후의 상황을 예측하는데, 이는 그림에서 속도와 정지거리의 관계를 고려하여 3.5초로 적용함. 운전자가 위험을 인식하고 브레이크가 실제로 작동하기까지 걸리는 시간 지연을 공주시간이라고 하고 그 시간 동안 진행한 거리를 공주거리라고 함. 즉, 주행 중 운전자가 전방의 위험 상황을 발견하고 브레이크를 밟아 실제 제동이 걸리기 시작할 때까지 자동차가 진행 거리로서 차량의 속력과 공주시간(반응시간)의 곱으로 나타냄. 공주시간은 운전자의 인지 반응특성이나 피로도, 신체적, 정신적 상황에 따라 차이가 나며, 브레이크의 유격 등 기계적 특성에도 영향을 받음. 실제 교통사고 공학 분야에서는 안전을 고려한 평균치로 약 0.7~1.0초로 보며, 그림에서는 1초로 가정함.

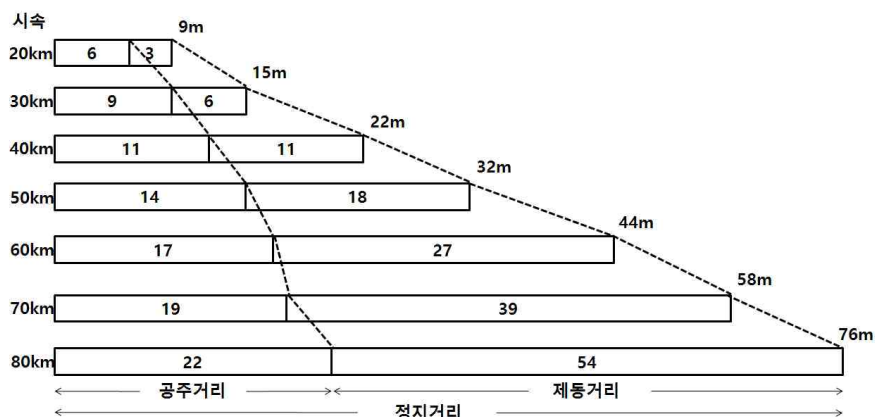


그림 13. 속도와 정지거리의 관계

다. IEEE 802.11p/WAVE MAC 계층 시뮬레이터 개발

- IEEE 802.11p 매체 접근 제어 계층(MAC, Medium Access Control)은 기존의 IEEE 802.11 매체 접근제어 계층의 DCF(Distribution Coordinated Function) 방식에서 QoS(Quality of Service) 지원하기 위한 EDCA(Enhanced Distributed Channel Access) 방식을 사용. IEEE 802.11에서 매체 접근제어 계층은 무선 네트워크 구조에서 무선 매체를 통해 메시지를 전송하려는 노드들의 매체 접근 및 전송 방식에 대한 표준 규격으로, DCF 방식과 PCF(Point coordination Function) 방식으로 나뉨. WAVE는 경쟁 기반 방식인 DCF 방식의 일종인 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)을 사용함.

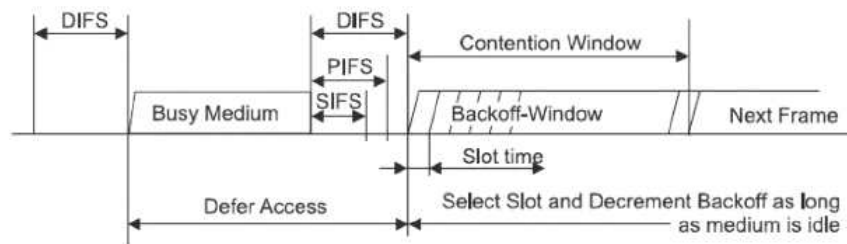


그림 14. DCF 메카니즘 흐름도

- 위 그림은 DCF 메카니즘의 흐름도를 나타냄. 기본적인 방식은 전송하고자 하는 데이터가 있는 노드들은 매체가 유헤 상태(Idle)인지 실시간으로 감시하고, 매체가 유헤상태를 인지하게 되면 DIFS(DCF Inter Frame Space)라 부르는 시간 동안 기다림. 이때 매체가 다른 노드에 의해 사용 중이면 노드들은 전송이 끝날 때까지 접속을 연기하며, 유헤 상태라면 패킷의 충돌을 회피하기 위한 백오프 타이머(Backoff-timer)를 작동하는데 백오프 타임(Backoff-time)은 다음과 같이 정의됨.

$$ckoffTime = Random() * aSlotTime$$

위 식에서 Random()은 [0,CW] 범위로부터 생성된 랜덤한 정수 값이며, aSlotTime은 타이머의 최소 단위로써 표준 규격에 따라 다른 값을 가지며, IEEE 802.11p의 값은 아래 표와 같음.

표 1. IEEE802.11a와 802.11p의 백오프 파라미터 비교

	IEEE 802.11a	IEEE 802.11p
aSlot Time	9 us	13 us
SIFS Time	16 us	32 us
CWmin	15	15
CWmax	1023	1023

- 백오프 시간은 SlotTime의 배수이고, 매체가 유힘 상태라면 백오프 시간을 감소해 나가면서 백오프 시간이 0이 되는 노드는 전송을 시작. CW(Contention Window)의 초기 값은 aCWmin으로 설정되며, 만약 패킷 충돌이 발생하여 재전송을 수행할 때마다, 재송신 횟수는 증가하며 CW는 지수적으로 증가. 다음은 패킷 충돌로 인한 재전송에 따른 CW의 편화를 나타냄.

$$W = (aCWmin + 1) \times 2^n - 1, n \geq 0$$

여기서 n은 재전송 횟수이며, CW는 aCWmax에 도달할 때까지 증가하고 aCWmax에 도달한 상태에서는 재전송 횟수가 증가하더라도 CW는 aCWmax로 고정됨. 이러한 일련의 대기과정을 백오프 과정(Backoff Process)이라 하며, 매체가 사용 중인 것을 노드가 감지하면 노드는 이 과정을 다시 시작하는 것이 아니라 단지 타이머를 멈추고 매체가 유힘 상태인 것이 감지되면 그 때 다시 타이머를 작동하여 매체 점유에 대한 보상이 이뤄짐.

- DCF 방식에서의 CSMA/CA 메카니즘은 기본적으로 전송 이전에 감지 또는 말하기 이전에 듣기 방식(Listen before Talk) 원칙에 기반을 두고 있음. 이는 노드가 패킷을 전송하기 전에 매체 사용 여부를 미리 감지함으로써 매체의 부하를 감소시키고자 하는 방법임.
- 아래 그림은 CSMA/CA 흐름도를 보여줌. DCF는 CSMA/CA 메카니즘이 사용되며, 기본적인 흐름은 매우 유사하지만 숨은 노드 문제(Hidden Node Problem)로 인해 발생하는 패킷 충돌은 RTS(Ready to Send)와 CTS(Clear to Send)를 사용함으로써 패킷 충돌을 보완 할 수 있음. 그러나, 이동 중인 차량이 실시간으로 데이터 송수신이 이루어져야하는 V2V 환경에선 이러한 과정을 처리하기 위한 딜레이가 발생하면, 교통안전 시스템에 심각한 열화를 발생한다. 또한, P2P(Point to Point) 환경이 아닌 커버리지에 존재하는 차량들에게 BSM을 전송해야하는 브로드캐스팅 방식에는 맞지 않기 때문에 RTS/CTS 방식은 사용하지 않음.

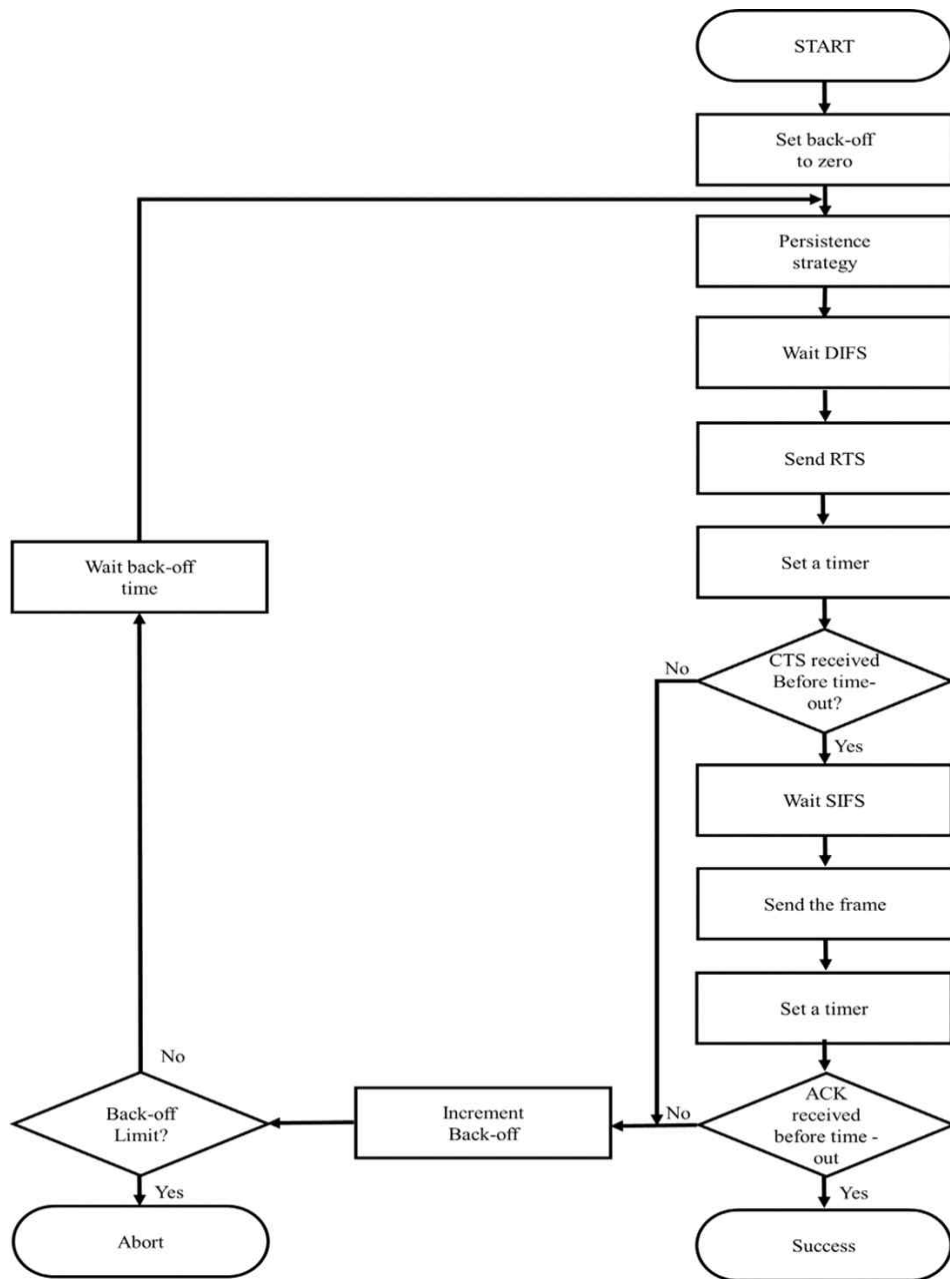


그림 15. CSMA/CA 흐름도

- EDCA는 기존 IEEE 802.11 매체 접근 제어 계층에서 사용되는 DCF 방식에서 서로 다른 QoS를 보장하기 위한 방식으로 사용함. 이는 트래픽의 종류에 따라 4개의 AC(Access Category)로 등급을 나누어 그림과 같이 AIFS(Arbitration Inter Frame Space) 값을 조절하여 높은 우선순위의 트래픽에는 더 많은 전송 기회를 주도록 하는 경쟁 기반 매체 접근 방식임.

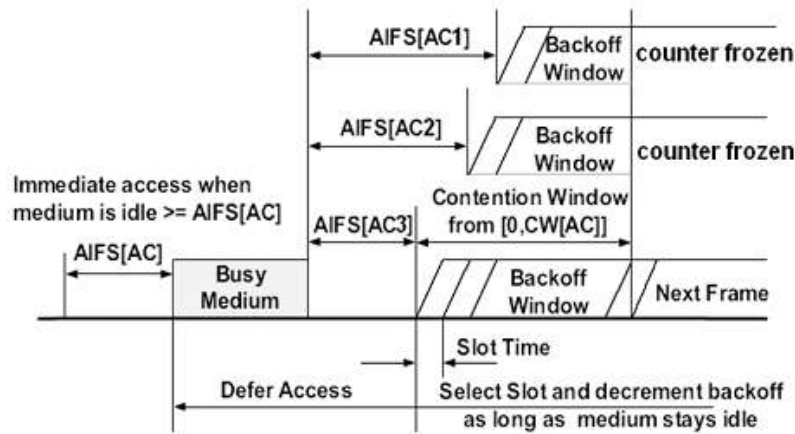


그림 16. EDCA 메카니즘 흐름도

- 아래 표와 같이 4개의 카테고리는 중요도에 따라 VO(Voice), VI(Video), BE(Best Effort), BK(Background)로 나뉘며, 우선순위가 높을수록 많은 전송 기회를 보장하기 위해 적은 값을 갖음. BSM은 가장 높은 우선 순위를 가지기 때문에 VO(Voice) 카테고리의 EDCA 파라미터 값을 사용하며, 각 AC에 따른 AIFS는 다음과 같이 계산 할 수 있음.

$$IFS = AIFSN \times SlotTime + SIFS$$

표 2. EDCA 카테고리에 따른 파라미터 값

Access Category	CWmin	CWmax	AIFSN
VO	3	7	2
VI	7	15	3
BE	15	1023	6
BK	15	1023	9

- 아래 그림은 V2V 환경에서의 EDCA 메카니즘에 따른 채널점유 흐름도를 보여줌. BSM 메시지를 보내고자 하는 차량들은 커버리지에 속한 차량들과 채널 점유를 위한 경쟁을 하며 이때, 각각의 차량들은 패킷 충돌 회피를 위한 랜덤한 백오프 시간을 갖고 대기함. 이러한 백오프 시간이 0이 된 차량부터 채널을 점유하여 메시지를 전송하게 되고, 다른 차량들은 백오프 시간을 정지시킴. 메시지 전송이 끝난 차량은 해당 채널 주기 동안 대기하고, 나머지 차량들은 정지했던 백오프 시간부터 다시 대기하여 일련의 전송과정을 반복함.

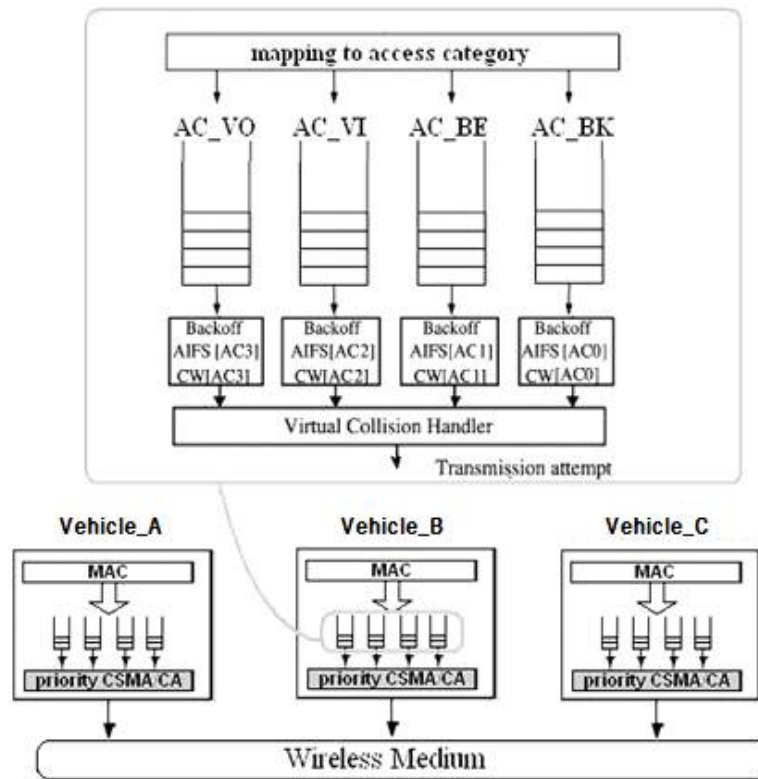


그림 17. EDCA 계층을 이용한 흐름도 예시

라. V2X 무선 채널 시뮬레이터와 결합된 IEEE 802.11p/WAVE 물리계층 시뮬레이터 개발

1) IEEE 802.11p/WAVE V2X 통신 시스템용 large-scale 페이딩 모델 구현

- V2X 무선통신의 국제 표준인 IEEE 802.11p/WAVE는 송신기와 수신기간의 최대 거리가 1km이며, 5.8GHz 대역을 사용함. 도심 환경에서는 V2X 통신의 송신기 또는 수신기가 되는 차량의 OBU(on board unit)과 노변 기지국 RSU(road side unit)은 주변 건물 보다 낮게 위치하기 때문에, 아래 그림과 같이 송신기와 수신기 간에 장애물이 없는 LOS(line of sight) 경로와 송신기와 수신기간에 장애물이 있는 NLOS(non line of sight) 경로가 혼재하여 발생함.

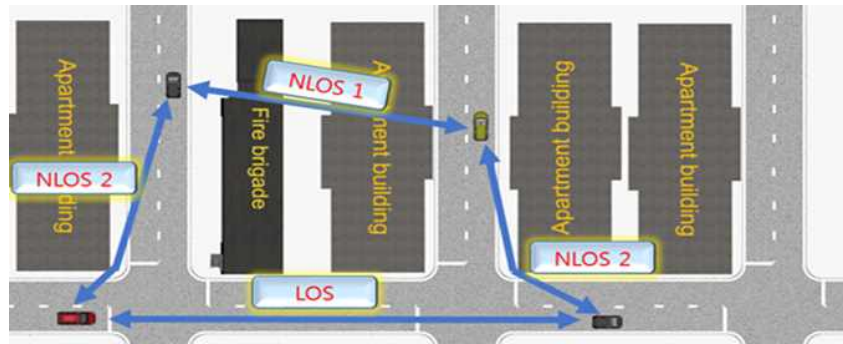


그림 18. 도심에서의 LOS와 NLOS 환경

- 위와 같은 채널 환경에 적합한 경로 손실 모델에 대한 측정과 모델링 연구들이 많이 수행되었으며, IEEE802.11p/WAVE에 가장 적합한 WINNER-II 모델을 이용하여 채널 시뮬레이터를 구현함. WINNER (Wireless World Initiative New Radio) 프로젝트는, 2~6 GHz 주파수 대역에서, 반경 1km 이하의 마이크로셀 도심 전파환경에 대해 수행된 측정에 의한 측정값을 이용하여, 경로 손실 모델을 개발함.
- WINNER-II 모델에서 LOS 환경에서는 송신기와 수신기의 유효 높이(effective height)에 의해 결정되는 break point 를 중심으로 서로 다른 기울기, 즉 서로 다른 경로 손실 지수 n 을 갖는 경로 손실 모델을 다음과 같이 제안함. 송신기와 수신기간의 거리가 break point d_c 보다 작을 경우에는 경로손실 지수 n 은 2.27이고 break point d_c 보다 클 경우에는 경로손실 지수 n 이 4의 값을 가짐을 확인할 수 있음.

$$\overline{L_{LOS}}(d) = \begin{cases} 22.7 \log d + 41 + 20 \log \left(\frac{f_c}{5} \right), & d < d_c \\ 40 \log d + 41 - 17.3 \log d_c + 20 \log \left(\frac{f_c}{5} \right), & d \geq d_c \end{cases}$$

- WINNER 모델은 그림과 같은 NLOS 조건에서 평균 경로 손실을 다음과 같이 구함.

$$\overline{L_{NLOS}}(d) = \overline{L_{LOS}}(d = d_1) + 20 - 12.5n_j + 10n_j \log(d_2)$$

수식을 보면, 송신기에서 교차로 중심까지의 거리 d_1 에 의한 LOS 경로 손실에, NLOS에서 발생하는 추가적으로 평균 경로 손실 $20 - 12.5n_j + 10n_j \log(d_2)$ 를 더하여 구하고 있음.

- 마지막으로, 경로 손실 $L_p(d)$ 는 쇠도우 페이딩을 고려하여 다음 수식처럼 평균 경로 손실에 쇠도우 페이딩 랜덤변수 X_σ 가 더해져 결정됨.

$$L_p(d)\text{dB} = \overline{L_p}(d)\text{dB} + X_\sigma$$

여기서, 평균 경로 손실 $L_p(d)$ 는 환경에 따라 $L_{OS}(d)$ 또는 $L_{NLOS}(d)$ 가 되고, X_σ 는 LOS 조건에서는 3dB의 표준편차, 그리고 NLOS조건에서는 4dB의 표준 편차에 의해 결정되는 쇠도우 페이딩 효과를 나타내는 랜덤 변수임.

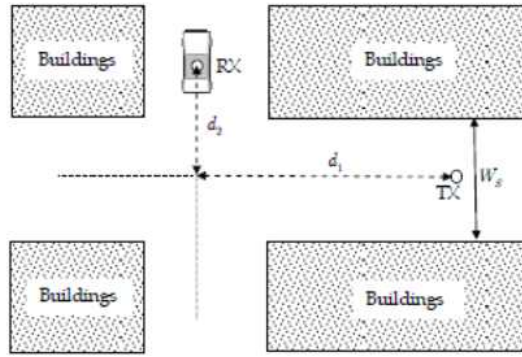


그림 19. NLOS WINNER 경로 손실 모델 환경

- 앞에서 설명한 WINNER 모델을 Matlab으로 구현함. 도심 LOS 환경에서 중심 주파수 $f_c = 5.8\text{GHz}$, 송신기 안테나의 높이는 $h_T = 5.1\text{m}$ 이고 수신기 안테나의 높이 $h_R = 1.8\text{m}$, 그리고 유효 높이를 계산하기 위한 트래픽 밀도 보정 계수는 1.0으로 가정하고, RSU와 OBU간의 거리가 최대 1,000m까지 증가할 경우의 LOS 환경에서 평균 경로 손실을 구하는 Matlab 함수의 구현은 다음과 같음.

```

1 function [ PL ] = WINNER_LOS( dist, hT, hR, f, trf_den)
2
3 % 자세한 설명 위치
4 % dist : 송수신기간의 거리 (~1,000m)
5 % hT : RSU 높이 (5m < < 20m)
6 % hR : OBU 높이 (1.5m < < 20m)
7 % f : 중심 주파수 (2.0 ~ 6.0 (GHz))
8 % trf_den : 트래픽 밀도. 트래픽이 없거나 낮을 때: 0.5, 트래픽 밀도가 높을 때: 1.5 0.5 <= trf_den <= 1.5
9
10 lambda=3e8/(f*1e9);
11 dc=4*(hT-trf_den)*(hR-trf_den)/lambda;
12 if dist < dc
13     PL=22.7*log10(dist) + 41 + 20*log10(f/5);
14 else
15     PL=40*log10(dist) + 41 - 17.3*log10(dc) + 20*log10(f/5);
16 end

```

그림 20-1. WINNER-II 모델 성능테스트를 위한 코딩

- NLOS 환경에서는 LOS 환경과 동일한 시스템 파라미터를 가정하며, 추가적으로 오른쪽 경로 손실 모델 환경에서 송신단에서 교차로까지의 거리 $= 10m$ 또는 $30m$ 로 가정하고 $d_1 + d_2$ 가 최대 $1,000m$ 까지 증가할 경우의 평균 경로 손실은 다음과 같은 Matlab 함수로 구해짐.

```

1 function [ PL ] = WINNER_NLOS( dist1, dist2, hT, hR, f, trf_den)
2
3 % 자세한 설명 위치
4 % dist1 : 송수신기에서 교차로 중심까지의 거리 (~1,000m)
5 % dist2 : 교차로 중심에서 수신기까지의 거리 (~ 1,000m - dist1)
6 % hT : RSU 높이 (5m ~ 20m)
7 % hR : OBU 높이 (1.5m ~ 20m)
8 % f : 중심 주파수 (2.0 ~ 6.0 (GHz))
9 % trf_den : 트래픽 밀도, 트래픽이 없거나 낮을 때: 0.5, 트래픽 밀도가 높을 때: 1.5, 0.5 <= trf_den <= 1.5
10
11 lambda=3e8/(f*1e9);
12 dc=4*(hT-trf_den)*(hR-trf_den)/lambda;
13 nj=max(2.8-0.0024*dist1, 1.84);
14 if dist1 < dc
15     PL_LOS=22.7*log10(dist1) + 41 + 20*log10(f/5);
16 else
17     PL_LOS=40*log10(dist1) + 41 - 17.3*log10(dc) + 20*log10(f/5);
18 end
19
20 PL = PL_LOS + 20 - 12.5*nj + 10*nj*log10(dist2);

```

그림 20-2. WINNER-II 모델 성능테스트를 위한 코딩

- 아래 그림은 구현된 Matlab 함수를 이용하여 구해진 평균 경로 손실 결과 그래프를 보여줌. LOS 환경에서의 결과는 $117m$ 를 전후로 경로 손실 지수가 2.27 에서 4.0 으로 증가하는 것을 확인할 수 있음. 그리고 NLOS 환경은 LOS 환경에 비해 동일한 송신기와 수신기간의 거리에서 평균 경로 손실이 10dB 이상 더 높다는 것을 확인할 수 있음. NLOS 환경에서 송신기에서

교차로까지의 거리가 10m인 경우가 20m인 경우에, 전체적으로 평균 경로 손실이 10dB 정도 감소함.

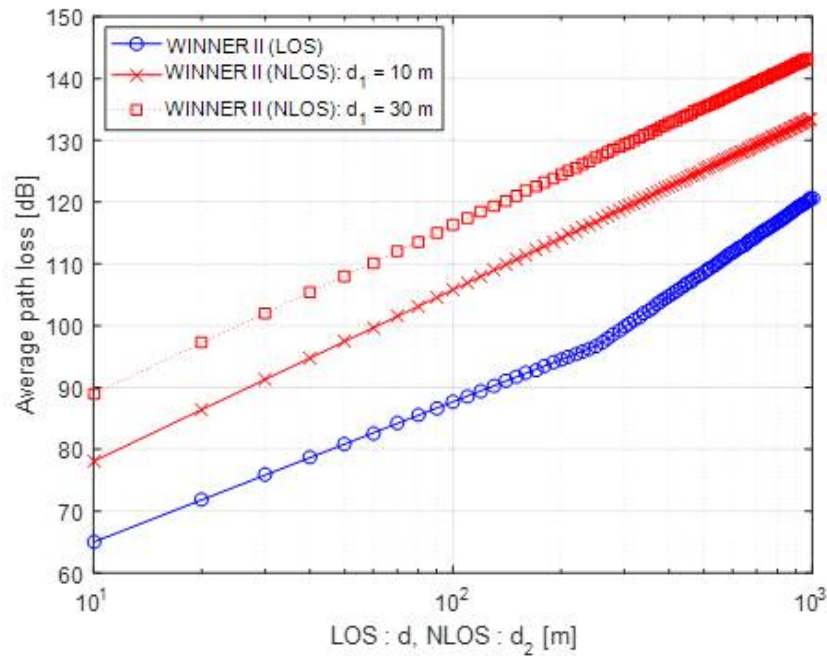


그림 21. 평균 경로손실 결과 그래프

- 이 결과를 이용하여 RSU에서 서비스 가능한 셀 영역을 링크 버짓 계산을 통해 분석하면, IEEE 802.11p/WAVE의 송신전력은 33dBm이고, 수신기의 receive sensitivity (즉, 신호 복구가 가능한 최소 수신 전력)이 -90dBm 임. 대규모 페이딩 마진은 3dB, Small-scale 페이딩 마진은 20dB, 그리고 추가적인 손실이나 이득은 없다고 가정할 때, 서비스 가능한 셀 반경은 다음과 같이 계산됨.



그림 22. 링크 버짓 계산식

- 위의 계산식에 따르면, 평균 path loss가 100dB 이하이어야 수신에 가능하며, 평균 경로 손실의 결과 그래프에서, 평균 경로 손실이 100dB 이하가 되기 위해서는, LOS 환경에서는 거리가 120 미터 이하, NLOS 환경이고 $d_1 = 10\text{m}$ 인 경우, d_2 가 62m 이하, $d_1 = 30\text{m}$ 인 경우, d_2 가 27m 이하가 되는 것을 확인할 수 있음. 일반적으로, RSU와 OBU간 NLOS 환경일 경우에는 커버리지가 30미터 이하로 매우 작음을 확인할 수 있음.

2) IEEE 802.11p/WAVE V2X 통신 시스템용 small-scale 페이딩 모델 구현

- 도심 환경에서 차량 통신 시스템에서 발생하는 지연확산(delay spread)을 고려하기 위하여 무선 채널 시뮬레이터인 Wireless InSite를 사용하여 다음 그림과 같은 도심 환경에서 V2V(Vehicle to Vehicle) 통신시스템의 채널특성을 분석함. Wireless InSite는 ray-tracing 기법을 통해 소규모 및 대규모 페이딩과 같은 무선 채널 특성을 예측할 수 있음. 그림은 시뮬레이션 환경을 나타내며 가로 1km, 세로 1km 크기로 도시를 3차원으로 모델링하였음.



그림 23. Wireless InSite 모델링

- 시뮬레이션 결과 도출된 TDL(tapped delay line) PDP(Power Delay Profile) 모델은 다음 표와 같음.

표 3. TDL PDP 성능표

	Tap	Delay [ns]	Average Power [dB]
LOS	1	0	0
Non-LOS	2	100	-3.5
	3	200	-5.1
	4	300	-8.0
	5	400	-10.9
	6	500	-14.0
	7	600	-21.5

3) IEEE 802.11p 물리계층 시뮬레이터 구현

- IEEE 802.11p 물리 계층은 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 전송을 사용. 송신기에서는 컨벌루션 인코더가 사용되며, 코딩 레이트는 채널 환경에 따라 1/2, 2/3, 3/4가 사용. 코딩 된 데이터는 버스트 에러(burst error)를 방지하기 위해 인터리빙(Interleaving)을 수행. 인터리빙 후, 채널 환경에 따라 선택되는 변조 방식에 따라 변조

되고 64-point IFFT (Inverse Fast Fourier Transform)를 수행한 후 CP (Cyclic Prefix)가 삽입되어 전송.

- 수신기에서는 파일럿 부 반송파(pilot subcarrier)를 이용하여 채널을 추정하고, 수신 OFDM 심볼은 FFT(Fast Fourier Transform) 후에 추정된 채널 계수를 사용하여 페이딩 효과를 보정. 차량의 이동에 의해 시변 채널이 발생하며, 시변 채널에 적응하기 위해 채널추정 기법 사용.
- 본 연구에서 구현된 링크레벨 시뮬레이터의 물리계층 파라미터는 다음과 같음.

표 4. 링크레벨 시뮬레이터 물리계층 파라미터

Parameter	value
Bandwidth	10 MHz
Bit rate	3,4,5,6,9,12,18,24,27 Mbps
Modulation schemes	BPSK,QPSK,16QAM,64 QAM
Code rate	1/2, 2/3, 3/4
Number of data subcarriers	48
Number of pilot subcarriers	4
Number of total subcarriers	64
FFT period	6.4 μ s
GI duration	1.6 μ s
Symbol duration	8.0 μ s

- 위의 TDL PDP 모델을 사용하여 물리 계층의 PER(Packet Error Rate) 성능을 링크레벨 시뮬레이터를 이용하여 분석하면, 변조방식 QPSK 1/2였을 때에 60km/h로 이동하는 차량의 PER(packet error rate) 성능 그래프는 다음과 같음.

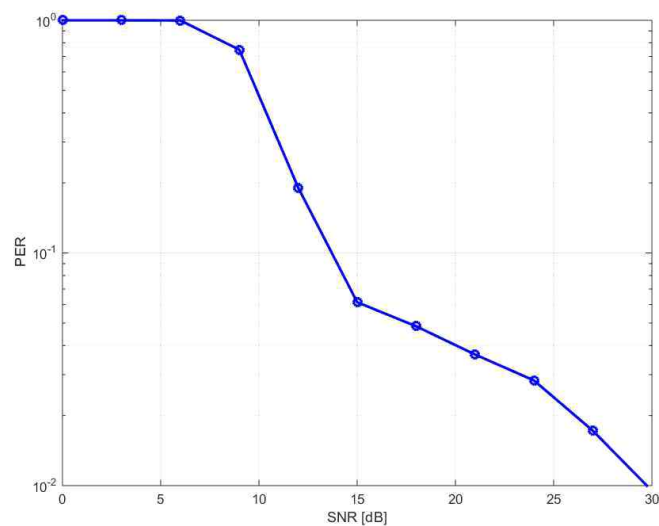


그림 24. QPSK 1/2, 60km/h에서의 PER 그래프

4) V2X 채널 시뮬레이터와 결합된 IEEE 802.11p 물리계층 시뮬레이터 구현

○ V2X 채널 시뮬레이터와 결합된 IEEE 802.11p 물리계층 시뮬레이터의 구현 방법을 전체적으로 보면, 다음과 같음.

- ① 그림과 같이 V2V micro Cell로 통신 환경을 설정하고, 도심 빌딩 환경에 적합한 전파 경로손실 모델 WINNER-II 모델을 사용하여, 송신기와 수신기 사이의 경로 손실을 다음과 같이 계산함.

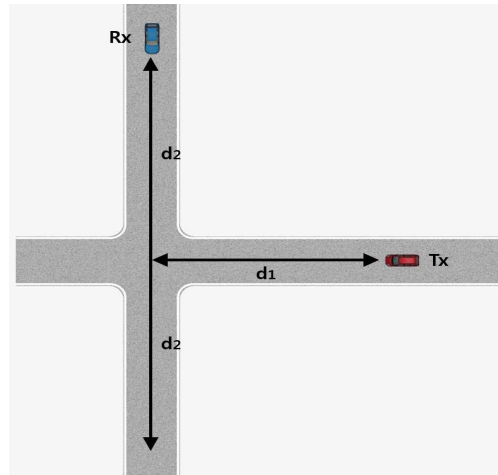


그림 25. 시뮬레이션에서의 경로손실 환경

- ② 송신기와 수신기간의 경로 손실을 구하고, 이를 이용하여 수신기가 수신하는 평균 SNR을 계산함. 아래 그림은 NLOS 환경에서 송신기와 수신기간의 거리가 증가함에 따라 경로 손실이 증가하고, 그에 따라 수신되는 평균 SNR이 감소하는 현상을 보여줌.

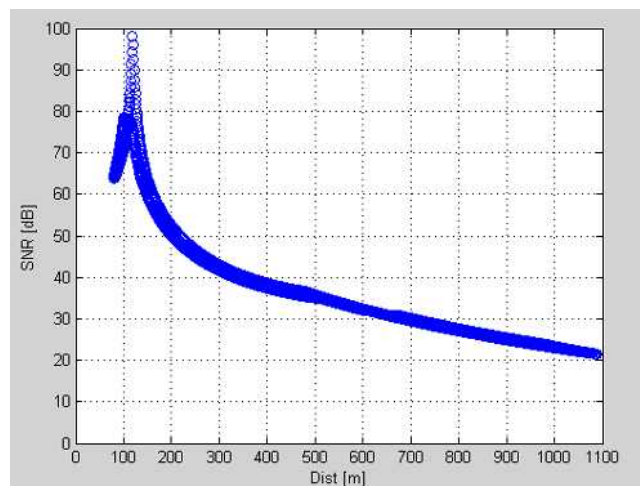


그림 26. 거리에 따른 경로손실 그래프

- ③ 송신기와 수신기간의 거리에 따라 평균 수신 SNR이 결정되고, 결정된 평균 SNR을 이

용하여 아래 BSM의 PER 성능 그래프를 이용하여 평균 PER을 구함. 예를 들어, 평균 수신 SNR이 15dB 이면, 아래 그림과 같이 BSM의 평균 PER은 0.05로 결정됨.

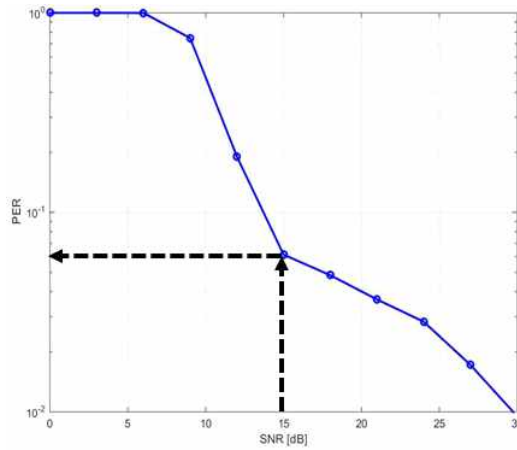


그림 27. 수신 SNR에 따른 평균 PER 비교
그래프

- ④ BSM의 평균 PER을 이용하여 해당 패킷의 에러 여부를 결정함. 예를 들어 평균 PER 이 0.05이면, [0 1] 구간에서 균일한 분포를 갖는 랜덤 변수를 발생시키고, 발생된 랜덤 변수가 0.05 보다 작으면 해당 패킷이 에러가 발생한 것으로 판단함. 발생된 랜덤 변수가 0.05 보다 크면 해당 패킷은 에러가 발생하지 않고 성공적으로 수신된 것으로 판단함. 아래 그래프의 y축 값이 0이면 BSM이 에러가 발생함을 보여줌. 교차로 중심인 0을 향해 -75m부터 두 대의 차량이 마주 보며 접근할 경우, 두 차량 간의 거리가 감소하면서 BSM의 에러가 발생하지 않다가, 다시 거리가 멀어질 경우 BSM의 에러 발생이 증가함을 확인할 수 있음.

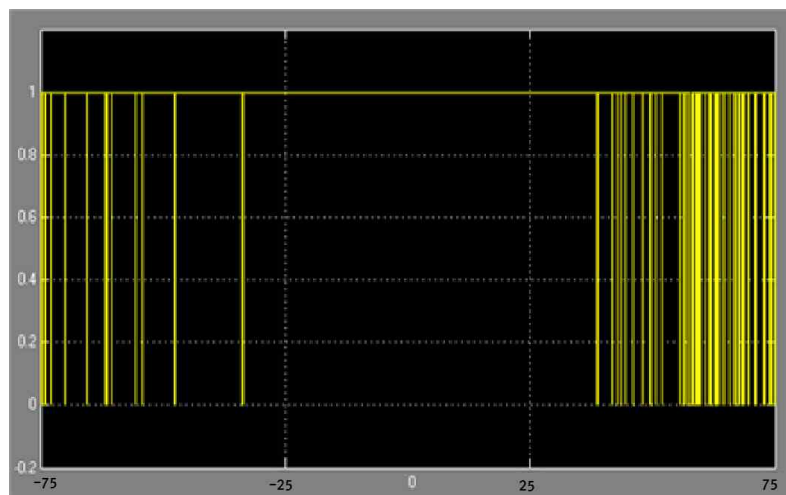


그림 28. 거리에 따른 수신 패킷에러 그래프

마. 교통안전서비스의 성능 분석을 위한 V2X 통신 전 계층 통합 시뮬레이션 플랫폼 구현 및 검증

1) V2X 통신 전 계층 통합 시뮬레이션 구현 환경

- 다음 그림은 V2X 통신 전 계층 통합 시뮬레이션 플랫폼을 구현하기 위해 진행된 시뮬레이션 환경의 흐름도를 나타냄.

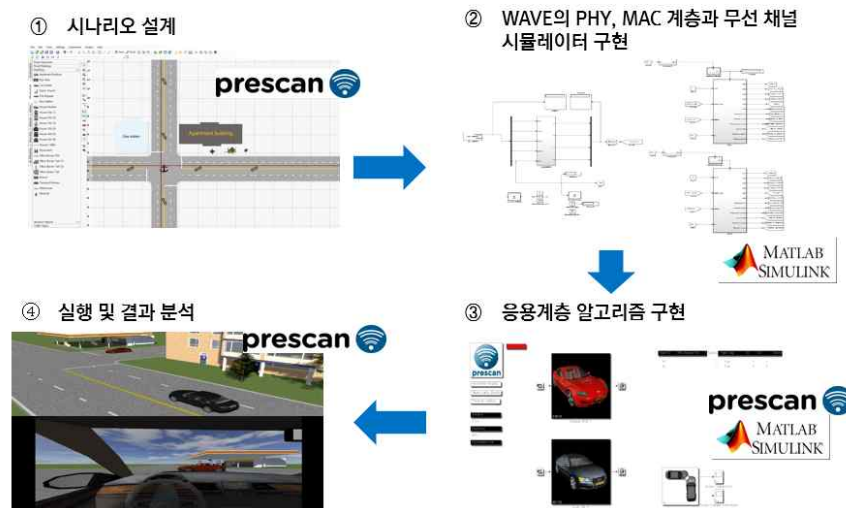


그림 29. 시뮬레이션 진행 흐름도

- ① PreScan은 사용자가 원하는 다양한 시나리오 환경을 구축할 수 있는 인터페이스를 제공함. 이를 이용한 도심에서의 교차로 차량충돌 환경 시나리오 구성.
- ② WAVE 전 계층(MAC, PHY, 무선채널)에 대한 시뮬레이터는 Matlab/Simulink로 구현되었으며, 각 차량에 대한 BSM 생성 및 V2X 통신환경 구축.
- ③ PreScan에서 충돌방지 알고리즘 CV모델 구현 및 V2X 통신환경 적용.
- ④ V2X 통신 전 계층 통합 시뮬레이션 결과 분석.

- 통합 시뮬레이터(PHY, MAC, 무선채널)의 구성 개념도는 아래 그림과 같이 수행 됨.

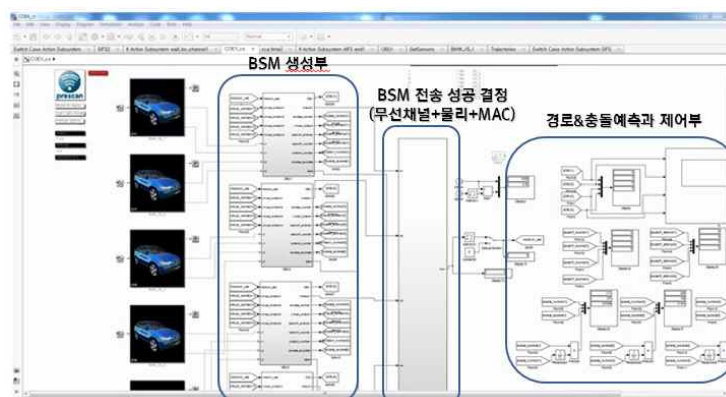


그림 30. 통합 시뮬레이터(PHY, MAC, 무선채널)의 구성도

- ① 시뮬레이션에 배치되는 각 차량의 BSM 생성부는 차량 밀도(10, 30, 50대)에 따라 모든 차량이 각각 생성 됨.
- ② 생성된 BSM은 무선채널, PHY, MAC 계층에 의해 각 차량의 채널 우선순위와 BSM 전송 성공 및 실패 유무를 나타냄.
- ③ 최종적인 BSM 패킷 전송 성공 유무는 경로&충돌예측을 위한 시뮬레이션을 수행하기 위해 PreScan의 충돌방지 알고리즘에 적용함.

○ 고속 시뮬레이션환경을 위해 2대의 PC로 시뮬레이션 수행.

- ① WAVE 전 계층의 시뮬레이터와 충돌방지 알고리즘(PreScan)의 시뮬레이션은 PC의 처리속도가 현저히 느려지므로, 이러한 처리속도를 분산하기 위해 PC 2대로 시뮬레이션을 구현함.
- ② PC I는 WAVE의 전 계층의 시뮬레이터를 처리하고, PC II는 PreScan 구동 및 안전서비스 시나리오와 충돌방지 알고리즘으로 구성.
- ③ Matlab/Simulink에서 지원하는 UDP통신을 통해 PC I에서 생성된 BSM 패킷 정보를 PreScan으로 전송, PreScan은 이러한 데이터를 바탕으로 C-ITS 안전서비스 시나리오에 적용하고 안전서비스 검증 확인.

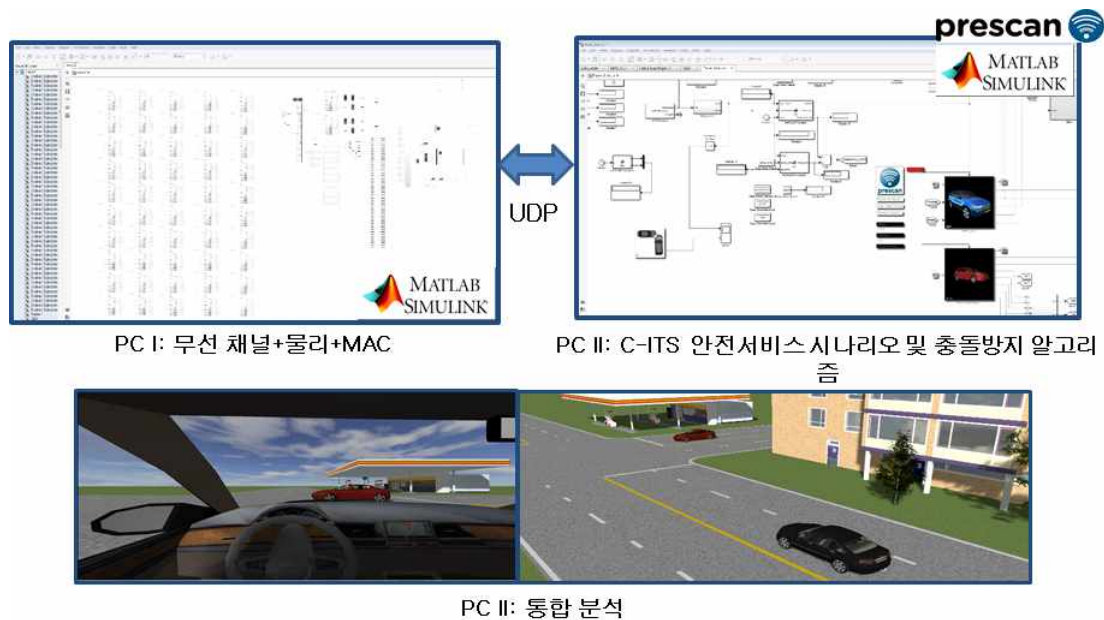


그림 31. 고속 시뮬레이션 환경을 위한 시뮬레이션 구성도

2) V2X 통신 전 계층 통합 시뮬레이션 플랫폼의 수행 흐름

- 다음 그림은 매체접근제어에 의해 BSM 패킷 송신이 허락된 송신기와 이를 수신하는 수신기간의 채널 모델, 물리계층 시뮬레이션에 의해 BSM 패킷 수신 성공 여부를 결정하는 흐름도를 나타내며, 다음의 순서대로 수행됨.

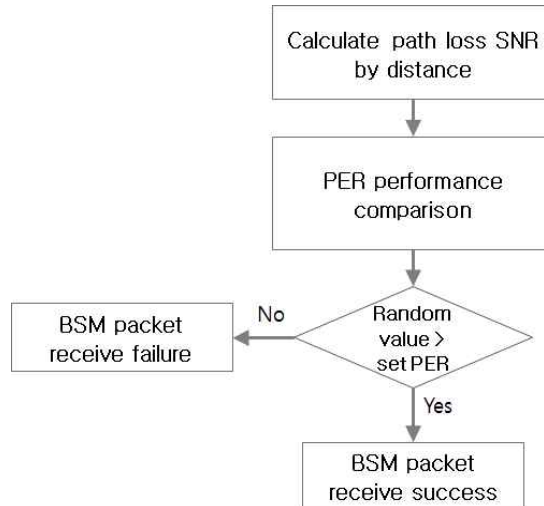


그림 32. BSM 패킷 수신 성공 여부 흐름도

- ① 시뮬레이션 시나리오(차량 분포 및 궤적)에서 무선 채널 시뮬레이터에 의해 송신기와 수신기 사이의 경로손실로 인한 BSM의 수신 SNR을 계산함.
 - ② BSM의 평균 수된 SNR을 이용하여, 물리계층 시뮬레이터에서는 각 차량의 수신 PER을 결정함. 실제 패킷 수신 성공 여부를 결정하기 위해서는 0과 1 사이의 균일한 랜덤 분포를 갖는 값을 구하고 그 값이 그림 10에서의 수신 PER보다 작으면 BSM 패킷 송신에 실패한 것으로 간주하며, 반대의 경우에는 패킷 송신에 성공한 것으로 결정함.
- 매체 접근제어 계층에서 BSM을 송신할 송신기를 선택하는 과정을 수행하며, 아래 그림과 같은 흐름으로 시뮬레이션을 수행함.

- ① BSM을 전송하고자 하는 차량은 매체에 접속을 하기 위해선 매체가 유희상태인지를 감지하기 위해 CCA(Clear Channel Assessment)에서 캐리어 센싱을 시도함.
- ② 채널이 유희상태라고 감지하게 되면 EDCA 알고리즘에서의 AC(Access Category) 등급에 따라 AIFS 값이 설정되어 대기 및 캐리어 센싱이 이루어짐.
- ③ 백오프 시간은 어떠한 차량이든 매번 똑같은 시간이 설정된다면, 무수히 많은 충돌을 야기하므로 각 차량은 서로 다른 랜덤한 대기시간을 할당받아 패킷충돌을 회피하게 됨. 백오프 시간의 한 슬롯은 13us로 구성되어 있으며 13us마다 백오프 시간을 대기하면서 매체의 유희상태를 주기적으로 감시.
- ④ 백오프 시간 중 다른 차량에 의해 매체가 점유 중이라면 백오프의 모든 과정을 멈추어 대기

한 후, 매체의 유희상태가 되면 남은 백오프 시간을 마저 기다림.

⑤ 백오프 시간이 완료가 되면 BSM의 패킷 송신 시작한다.

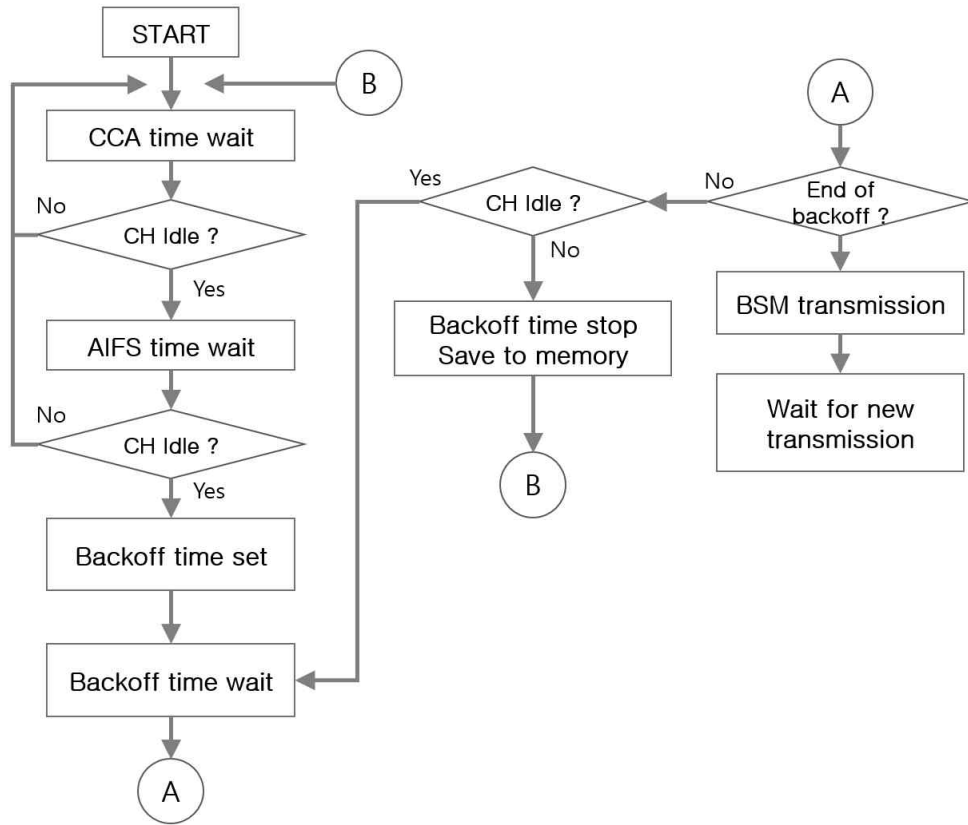


그림 33. 시뮬레이션 MAC 계층 알고리즘 흐름도

3) V2X 통신 전 계층 통합 시뮬레이션 플랫폼을 이용한 교통안전서비스의 성능 분석

- 본 시뮬레이션은 다음 그림과 같이 구현한 환경에서의 차량상태를 볼 수 있는 view와 1~4번의 상태 파라미터를 통해 교통안전시스템 시뮬레이션의 성능을 확인함.

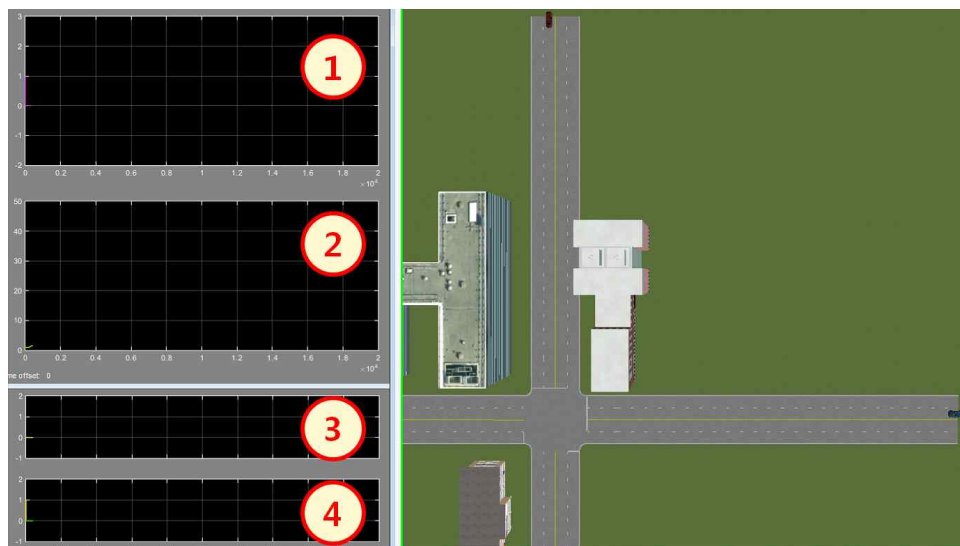


그림 34. 시뮬레이션 결과그래프 구성도

- 시뮬레이션은 도심 교차로에서의 충돌을 예측 및 경고하여 충돌을 억제하는 안전 서비스 시나리오로 구성하였으며, 차량 밀도에 따라 교차로 중심 반경 100m 안에서 10대, 30대, 50대를 균일하게 분포 시킴. 또한 모든 차량은 100ms 마다 50ms CCH 구간에서 BSM을 송신하고 수신하기 때문에 차량 밀도에 따라 교통안전서비스의 성능을 분석함.
- 1번의 그래프는 CV모델을 적용하여 해당 차량에게 브레이크를 권고하는 알람 및 실제 브레이크 적용 유무를 확인할 수 있는 그래프임. 파라미터는 평소 주행 상태에선 0이라는 파라미터를 갖으며, 이 때 CV모델을 통한 브레이크 알람경고가 발생시 1(보라색의 그래프)을, 실제 차량이 브레이크가 적용되면 1.5(노란색의 그래프)의 파라미터 값을 갖기 때문에 1번 그래프를 통해 제동상태를 알 수 있음. CV모델에서 권고하는 브레이크 알람 발생 타이밍은 3.5초 후의 충돌을 예측한 결과이므로 이는 속도와 밀접한 관계가 있다. 특히, 저속과 고속으로 이동하는 경우, 이는 현재 속도와 진행 방향에 따라 3.5초 후의 위치를 그려낼 수 있기 때문에 저속으로 주행하는 차량보단 고속으로 주행하는 차량이 브레이크 권고 알람이 먼저 발생하게 된다.
- 2번 그래프는 주행하는 차량의 속도 그래프를 나타냄.
- 3번 그래프는 BSM의 수신유무를 확인할 수 있는 그래프임. BSM 수신유무는 V2V 통신 커버리지안에서 BSM을 성공적으로 받았다면 1의 파라미터를 갖으며, 그 외에는 0을 갖음.
- 마지막으로 4번은 충돌 발생 시 이를 확인할 수 있는 그래프임.
- 본 시뮬레이션은 차량 밀도가 증가함에 따라 발생하는 V2V 트래픽의 환경을 구현함. 시뮬레이션에서 사용된 각 시나리오들의 차량 밀도는 V2V 커버리지 반경을 고려하기 위해 교차로를 중심으로 반경 100m안에 배치되었으며, 시나리오는 차량 밀도에 따라 각각 10대, 30대, 50대의 환경으로 나뉘고, 이에 따른 V2V 교통 트래픽 및 교통 안전서비스 알고리즘을 통합하여 성능을 확인함. 또한 차량의 속도를 15km/h, 40km/h 각각 적용함으로써 교통 안전서비스의 안전성을 검증함.

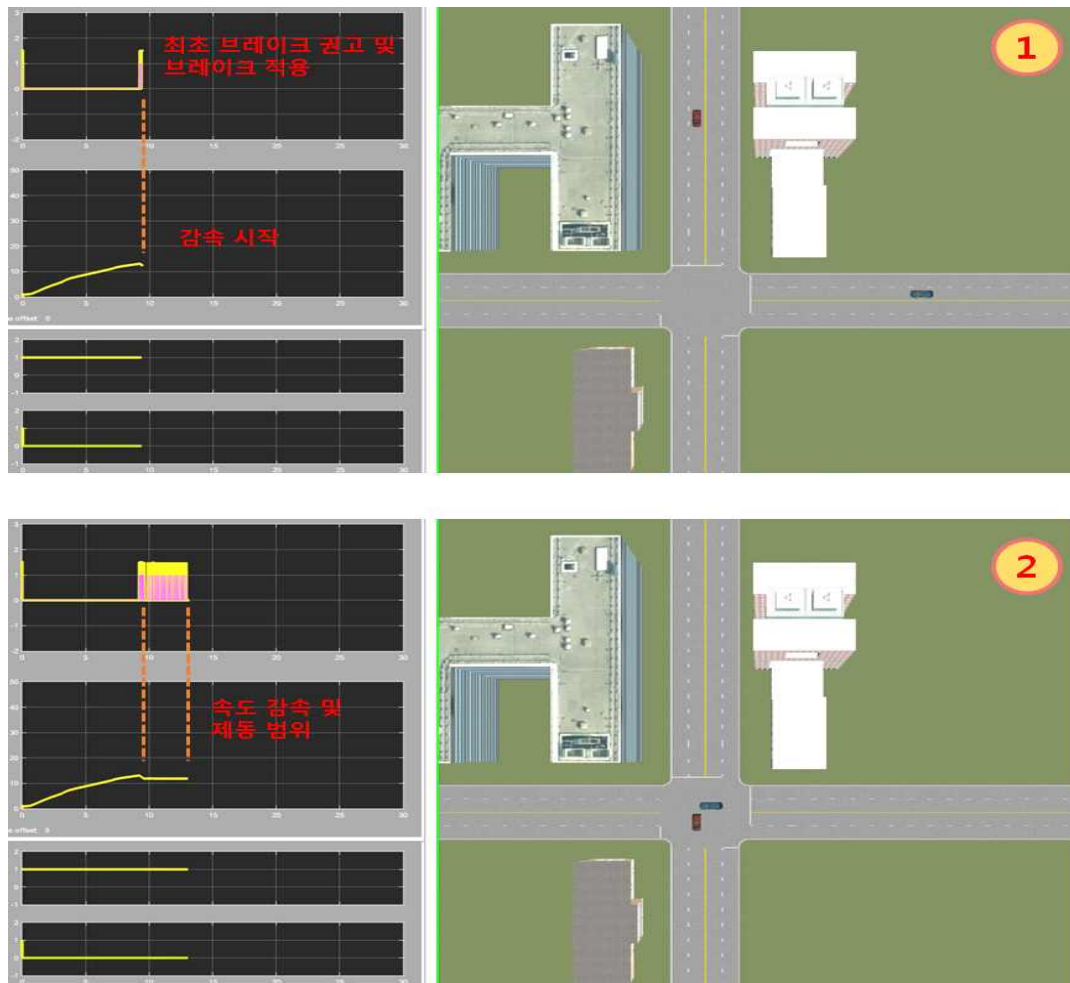


그림 35. BSM 수신성공률 100% 환경에서의 시나리오, 차량 속도 15km/h

- 위 그림은 이상적인 교통안전서비스 시나리오를 나타내며, 차량 밀도나 무선채널의 간섭이 없는 환경의 시나리오임. 두 차량의 속도는 15km/h로 주행하면서 교차로를 진입할 때, 충돌에 회피하는 모습을 확인할 수 있음. 단, 이는 V2X 통신환경이 100%의 BSM 패킷 송수신이 이루어지고 있는 환경이기 때문에 그림에서의 BSM 수신 그래프는 정상적인 패킷 수신 성공을 나타내는 파라미터 1값이 지속적으로 유지가 되는 것을 확인 할 수 있음. 따라서 두 차량은 지속적인 BSM 송수신을 통해 서로의 상태정보를 인지하고 있기 때문에 1번 그림과 같이 충돌방지 알고리즘에서 권고하는 브레이크 알람이 발생과 동시에 브레이크가 적용됨을 볼 수 있음.

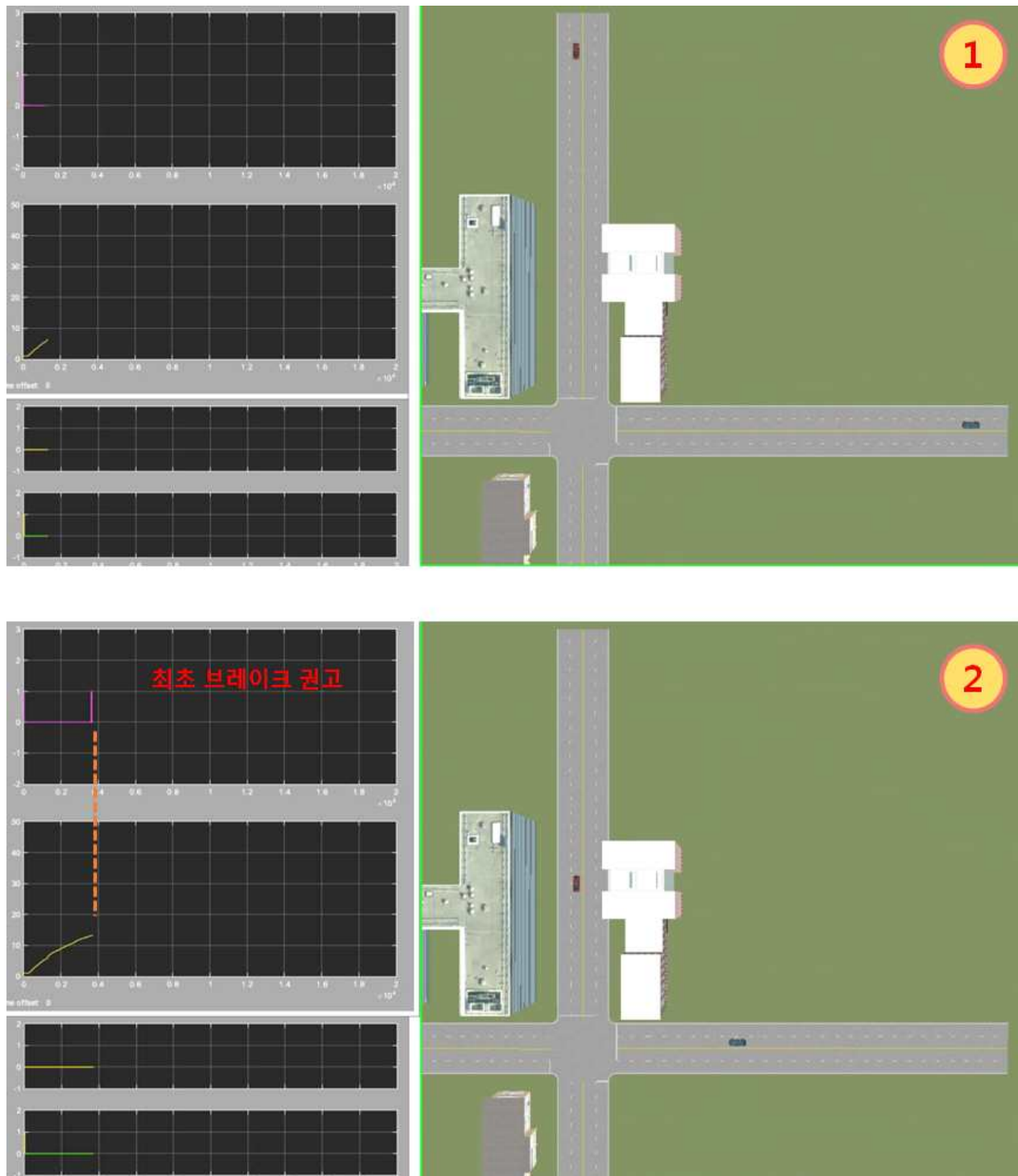


그림 36-1. 차량 밀도 10대, 속도 15km/h

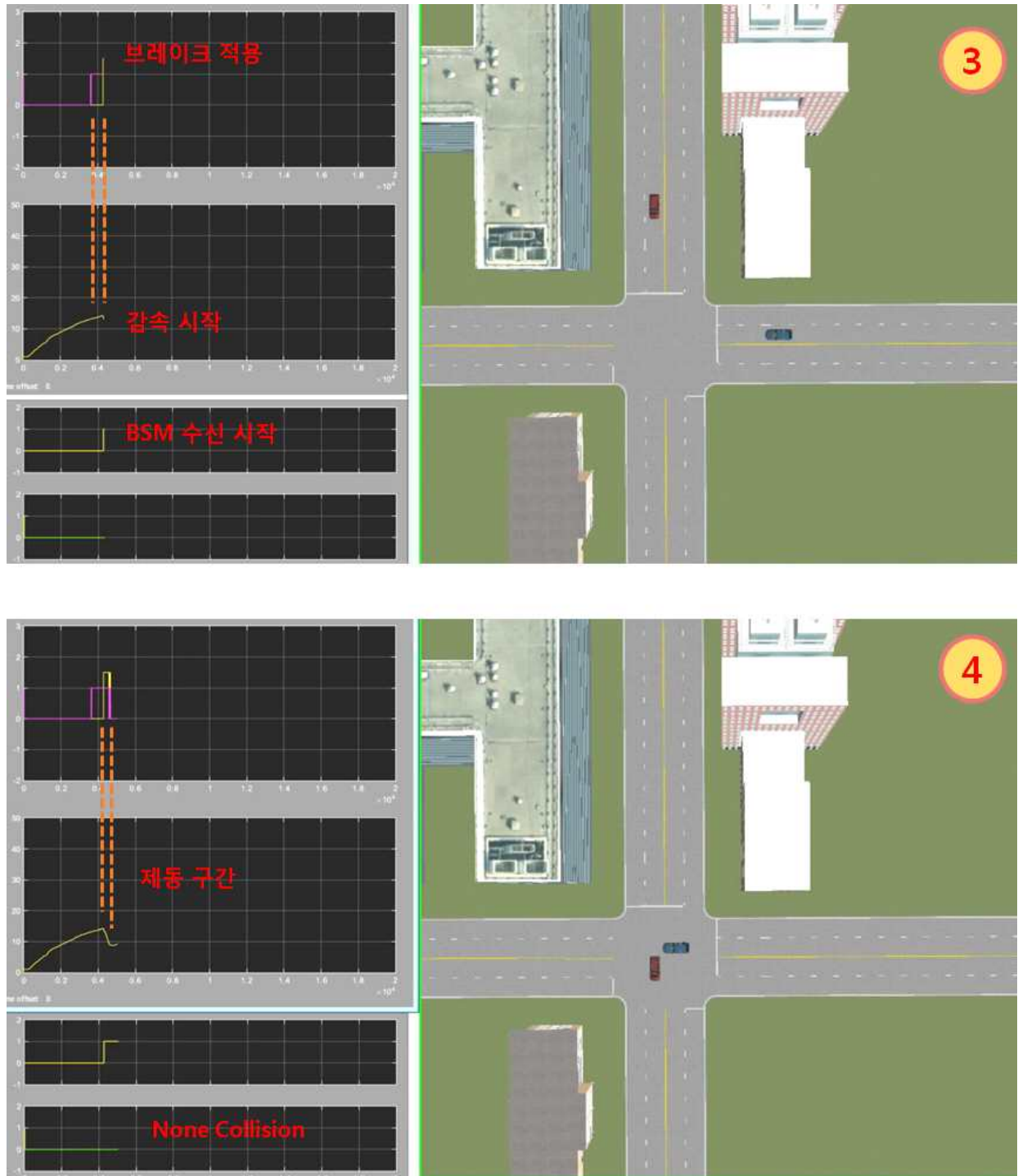


그림 36-2. 차량 밀도 10대, 속도 15km/h

- 위 그림은 차량 밀도 10대와 차량 속도 15km/h로 저속 주행하는 시나리오에 대한 결과 그림임. ①번 사진은 두 차량이 교차로 진입 속도 15km/h 환경을 구성하기 위해 가속하는 시뮬레이션 초기 그림임. ②번은 두 차량이 교차로를 중심으로 저속 주행하면서 CV 알고리즘에서 산정한 3.5초 후의 충돌을 예측하여 발생한 브레이크 알람이 활성화 된 것을 나타냄. 여기서의 브레이크 알람은 V2V 통신환경이 BER = 0 일 때를 뜻함. 즉, 브레이크가 적용되면 반드시 차량 충돌을 회피할 수 있는 타이밍을 의미하지만, 두 차량은 서

로간의 송수신 가능 영역을 벗어나 있기 때문에 V2V 통신환경에 의한 BSM의 송수신이 이뤄지고 있지 않음. 따라서, 이상적인 타이밍의 브레이크 알람이 발생함에도, BSM 메시지를 수신하지 못해 브레이킹 없이 주행하는 것을 확인할 수 있음. 교차로 중심으로부터 $d1$ 거리와 $d2$ 의 거리 합($d1+d2$)이 52m부터 BSM을 수신받기 시작 했으며, BSM을 수신 받은 시점부터 브레이크가 적용되어 감속이 시작되는 것을 ③번에서 확인할 수 있음. ④에서의 4번 그래프를 보면 충돌회피 알고리즘으로 충돌에 대한 회피에 성공한 것을 볼 수 있으며, 이는 BSM을 정상적으로 수신받기 시작했을 때부터 교차로 진입까지 속도가 저속으로 주행했기 때문에 충분히 제동이 가능하여 충돌 회피가 성공한 것을 알 수 있음. 또한 BSM을 수신 받는 시점부터 충돌회피가 끝날 때까지 BSM의 수신 패킷 성공률이 양호한 결과를 볼 수 있음.

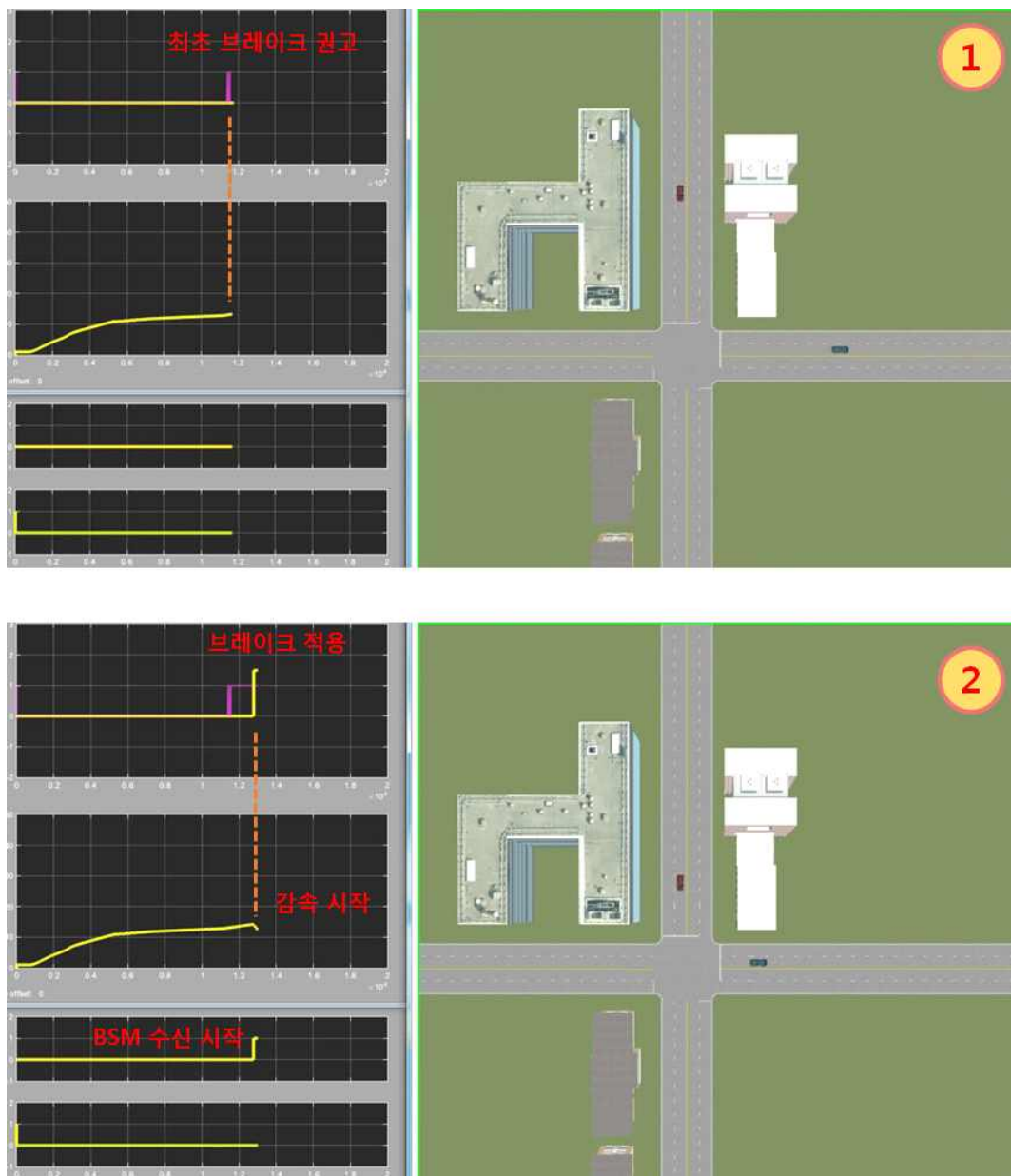


그림 37-1. 차량 밀도 30대, 속도 15km/h

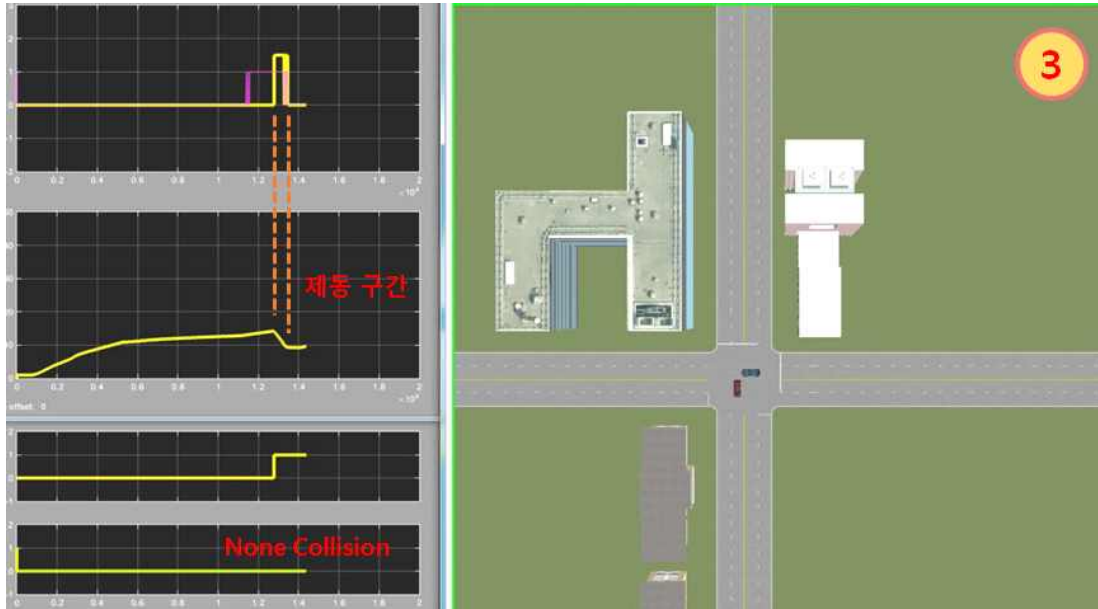


그림 37-2. 차량 밀도 30대, 속도 15km/h

- 위 그림은, 차량 밀도 30대, 속도 15km로 주행할 때의 시뮬레이션 결과이며, 차량 밀도 10대 시뮬레이션과 유사한 시뮬레이션 결과를 볼 수 있음. 브레이크 경고 알람이 권고 되었지만 V2V 트래픽 커버리지에서의 BSM 송수신이 원활하지 못했기에 지속적으로 주행하는 모습을 볼 수 있음. 그러나 차량의 밀도는 10대에서 30대로 3배의 차량이 반경 100m안에 밀집되어 있으므로 이는 CCH 채널 50ms 안에서 32대의 차량이 채널을 점유하기 위한 경쟁을 한다는 것을 뜻함. 그러나 차량 밀도가 증가함에 따라 발생하는 BSM 패킷 충돌은 ③에서와 같이 BSM 수신률이 양호한 것을 볼 수 있으며, 차량이 15km의 저속으로 주행하기 때문에, 이는 충분한 제동거리를 갖기 때문에 충돌 회피에 성공한 것을 볼 수 있음.

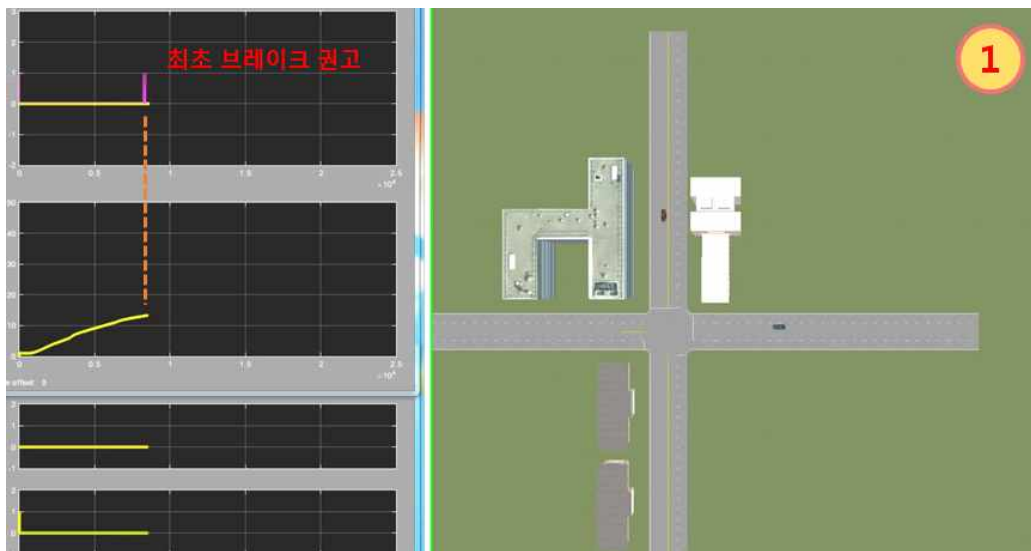


그림 38-1. 차량 밀도 50대, 속도 15km/h

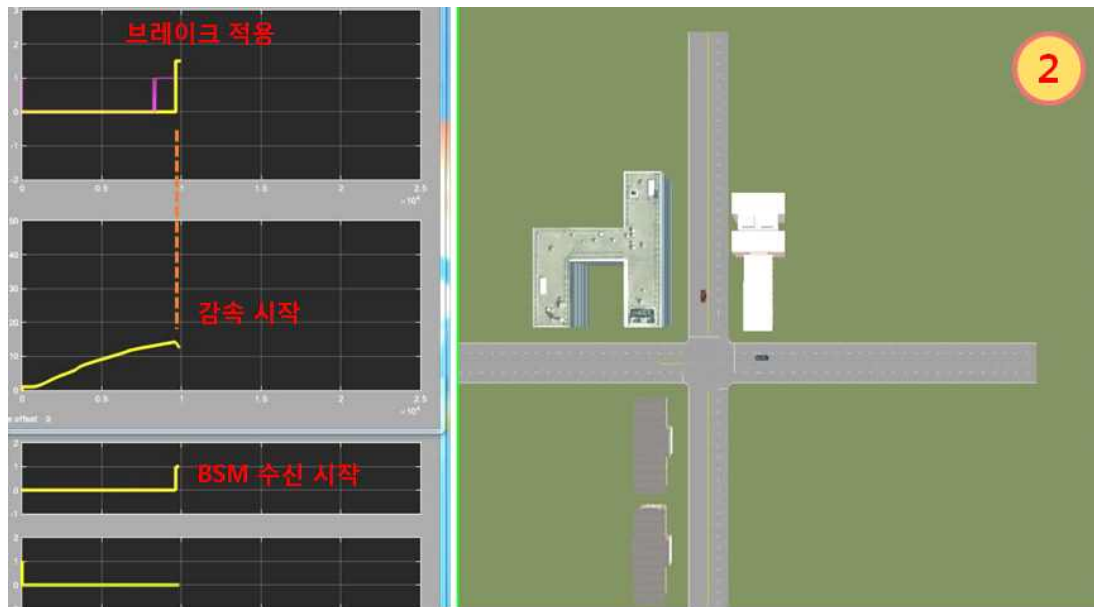


그림 38-2. 차량 밀도 50대, 속도 15km/h

- 위 그림은, 차량 밀도 50대, 속도 15km로 진행한 시뮬레이션 결과를 나타냄. 브레이크 알람 권고와 BSM 수신 허용 위치는 앞서 진행한 차량밀도 10, 30대의 시뮬레이션 결과와 매우 유사함. 그러나 교차로에 밀집되어 있는 50대의 차량은 MAC계층에서의 채널점유에 따른 트래픽 증가와, 지연 그리고 BSM 패킷 충돌은 ③에서 BSM 수신 실패에 대한 그래프를 확인 할 수 있음. 이는 저속으로 주행하는 만큼 교차로에 밀집되어 있는 50대의 차량과 V2X 통신 횟수가 비약적으로 잦기 때문에 수신 에러 발생률이 상승하는 것을 볼 수 있음. 그러나 15km/h 저속으로 주행하는 차량은 이러한 BSM 수신 에러가 몇 회 발생하더라도 이러한 저속 운행은 충분한 제동이 가능함으로 충돌에 대한 회피가 된 것을 볼 수 있음.

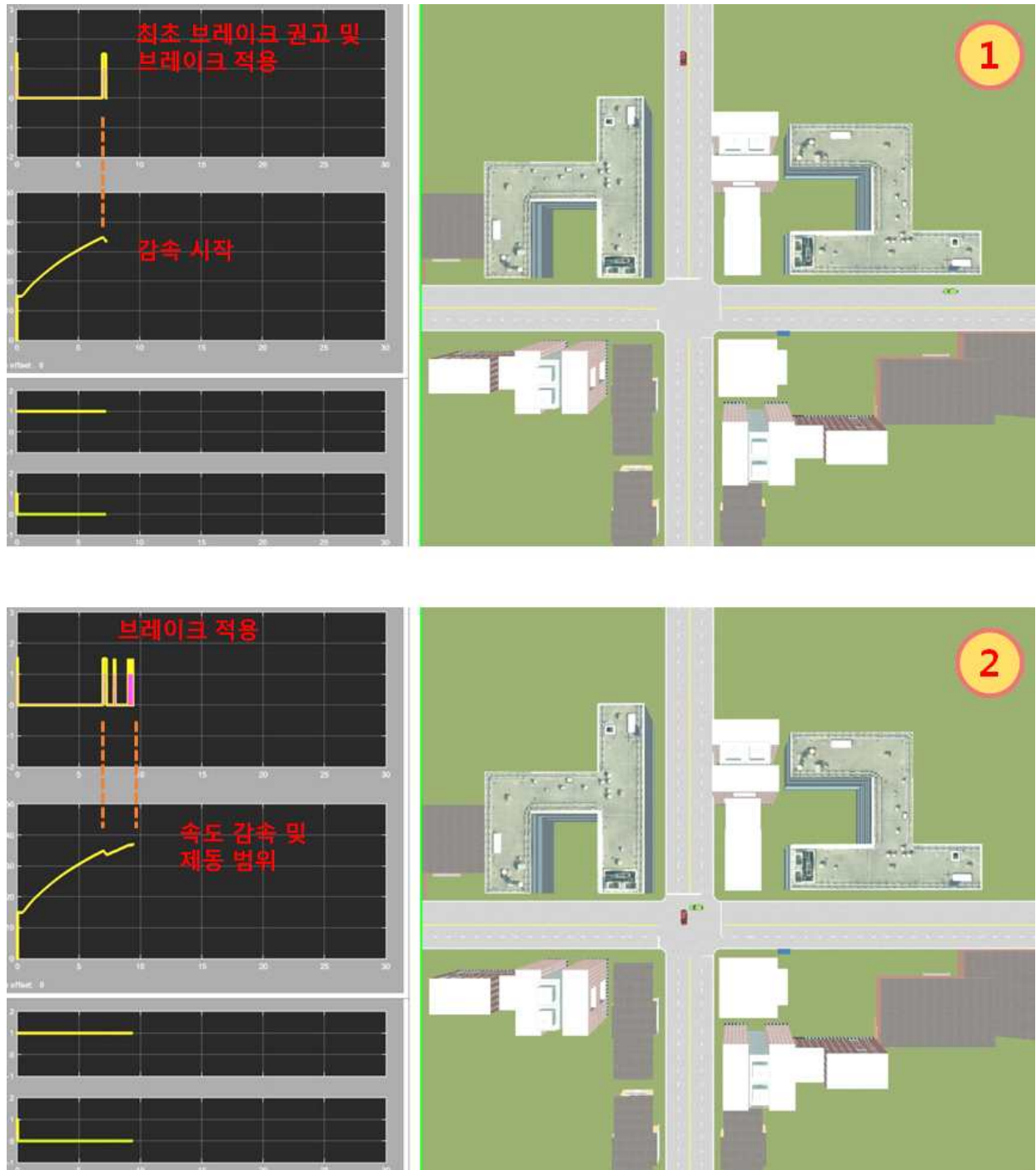


그림 39. BSM 수신성공률 100% 환경에서의 시나리오, 차량 속도 40km/h

- 위 그림은 이상적인 속도 40km/h에서의 교통안전서비스 시나리오 결과를 나타냄. 앞서 15km/h 시뮬레이션 결과와는 상이하게 브레이크 알람 권고가 일찍 발생하는 것을 볼 수 있음. 이는 3.5초 후의 위치를 예측하기 때문에 속도가 빠르면 빠를수록 충돌을 예측한 브레이크 알람 권고의 타이밍은 교차로 중심으로부터 멀어지게 됨. 그러나 15km/h에서와 마찬가지로 V2X 통신환경이 100%의 BSM 패킷 송수신이 이루어지고 있는 환경을 가정했기 때문에 그림에서의 BSM 수신 그래프는 정상적인 패킷 수신 성공이 유지됨을 볼 수 있음. 따라서 충돌예측을 통한 제동 또한 권고 알람이 발생과 동시에 브레이크가 적용되

어 차량 충돌을 회피함을 확인할 수 있음.

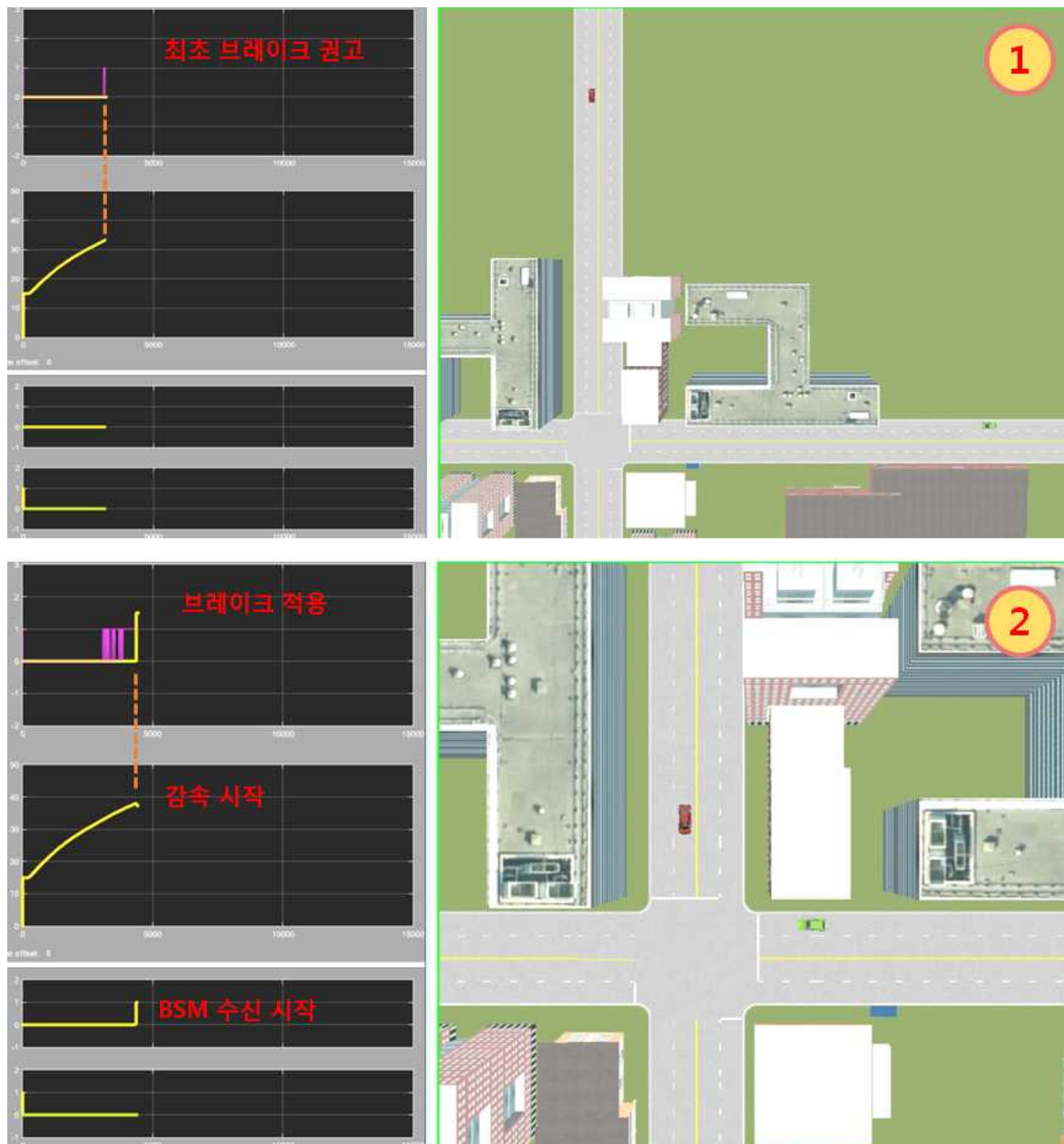


그림 40-1. 차량 밀도 10대, 40km/h



그림 40-2. 차량 밀도 10대, 40km/h

- 위 그림은, 차량 밀도 10대, 속도 40km로 주행할 때의 그림이며, 앞서 설명한 BSM 수신 성공률 100%, 40km/h 시뮬레이션 결과와 같이 브레이크 권고 알람이 교차로 중심부로부터 멀리 떨어진 곳에서 발생됨을 볼 수 있음. 이러한 브레이크 권고 알람은 그 타이밍에 제동을 시도하면 충돌에 대해서 회피가 가능한 위치에 있지만, V2X 통신 환경에서의 수신 범위를 벗어나있기 때문에 지속적으로 속도가 증가함을 알 수 있음. BSM 수신 위치는 교차로에 인접했을 때 수신되기 시작하였으며, BSM 수신과 동시에 제동을 시도했지만, 속도에 따른 충분한 제동 거리가 부족하였으므로 차량간 충돌이 발생한 결과를 볼 수 있음. 이는 차량 속도가 증가함에 따라 이동하는 거리가 비약적으로 늘어나기 때문에 속도 15km/h 시뮬레이션 결과와는 달리 BSM 수신 위치가 교차로 중심부로부터 가까움을 알 수 있음.



그림 41-1. 차량 밀도 30대, 40km/h



그림 41-2. 차량 밀도 30대, 40km/h

- 위 그림은, 차량밀도 30대, 속도 40km로 주행할 때의 시뮬레이션 그림임. 앞에서의 차량 밀도 10대, 속도 40km 주행 환경에서의 시뮬레이션 결과와 상이하며, 15km 속도의 환경보다 교차로로부터 멀리 떨어진 위치에서 브레이크 알림 신호가 발생한 것을 볼 수 있음. 속도가 15km인 경우와 비교하면, 동일한 차량의 밀도를 갖음에도 불구하고 V2X 통신 범위에서 BSM 수신에 이뤄짐과 동시에 속도에 의한 충분한 제동거리를 갖지 못했기 때문에 충돌이 발생한 것을 볼 수 있음. ②에서의 BSM 수신 그래프와 ③에서의 BSM 수신 그래프를 비교해보면 BSM 수신된 진행도가 매우 미비한 것을 알 수 있음, 이는 주행하는 속도에 따른 이동 거리와는 다르게 BSM을 수신하기까지의 V2X 통신 횟수가 적다는 것을 알 수 있음.



그림 42-1. 차량 밀도 50대, 40km/h

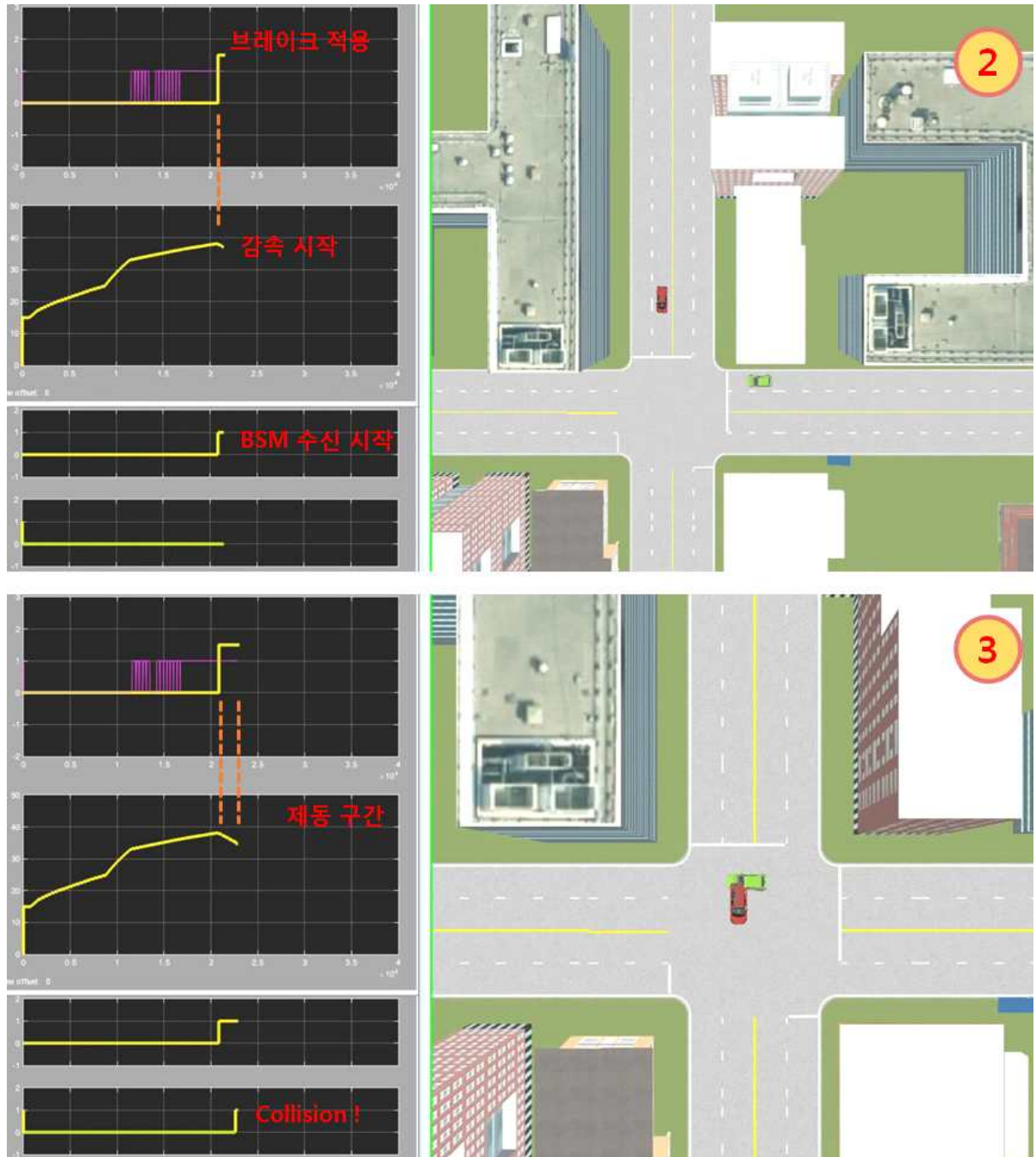


그림 42-2. 차량 밀도 50대, 40km/h

- 위 그림은, 차량밀도 50대, 속도 40km/h로 주행할 때의 시뮬레이션 결과를 나타내며, 앞서 차량 밀도 10, 30대 시뮬레이션 결과와 상이한 결과를 나타냄. 15km/h, 차량밀도 50대 시뮬레이션 결과와 비교하면 동일한 차량 밀도를 가졌음에도 15km/h, 차량밀도 50대 시뮬레이션에서 발생한 BSM 수신 에러현상이 위의 그림 ③에서 발생하지 않았음을 알 수 있음. 15km/h, 차량밀도 50대 시뮬레이션 환경과의 차이점은 똑같은 거리를 이동하더라도 저속과 고속으로 나뉘에 따라 V2X 통신의 송수신의 횟수가 서로 다른 점을 볼 수 있으며, 저속주행 환경에서의 V2X 통신 횟수는 고속주행 환경에서의 통신 횟수보다 확연히 많고 그에 따른 제동 준비거리 또한 차이가 나므로 저속주행 환경에선 이러한 차량충돌에 대한 대처가 쉬움을 알 수 있음.

5. V2X 네트워크 및 응용 계층 시뮬레이터

가. 개요 및 전체 구조

○ 개요

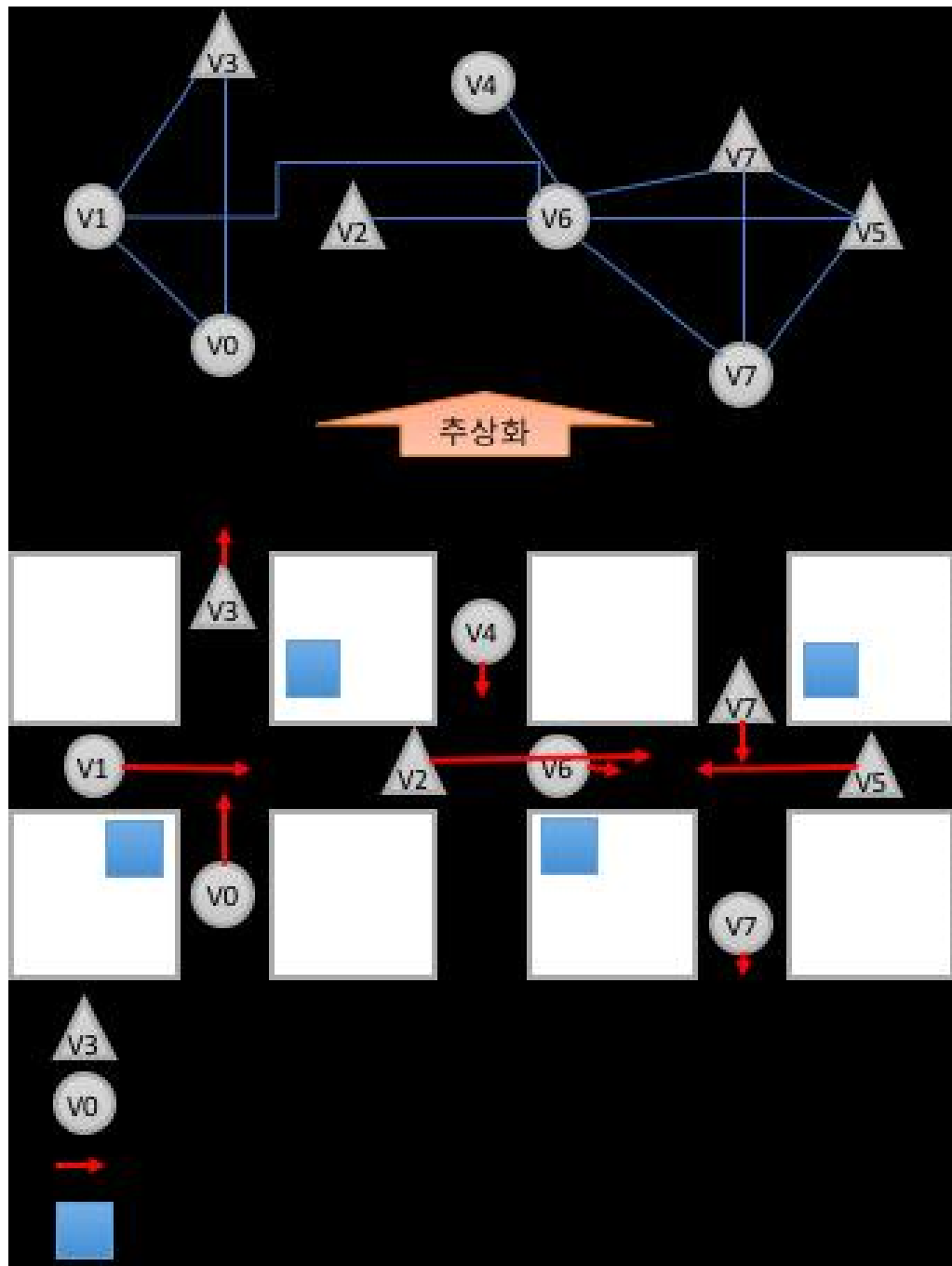
- ① 본 연구에서는 도로망에서 차량들의 이동방향 및 속도를 이용하고 이종의 네트워크의 특성을 반영하여 차량간 네트워크를 그래프로 모델링하고 1hop 뿐 아니라 2hop 이상의 차량들간의 충돌을 예측하는 응용 계층의 시뮬레이터를 개발함.
- ② 개발하는 이종의 통신망 (WAVE, LTE, WiFi 등)이 결합된 차량간 네트워크 (V2V : Vehicle to Vehicle)의 차량간 충돌 예측 시뮬레이터는 하위 계층에서 계산된 차량간의 충돌 가능성을 가중치로 하는 방향이 있는 가중치 그래프 및로 모델링하여 차량간의 충돌 가능성을 예측함.
- ③ 그래프에서 각 차량은 정점(Vertex)이 되며 도로 네트워크를 통해서 서로 충돌할 가능성이 있는 모든 차량 간에 간선(Edge)을 둠. 각 차량은 차량 네트워크를 통해서 1 홉(hop) 에 통신 가능한 이웃차량(Neighbor Vehicle) 과의 충돌소요시간(Time to Collision) 을 계산하고 이 정보를 모든 이웃차량에 전송하여 이를 간선의 가중치로 하는 차량 그래프를 생성.

○ 이종 망에서의 차량간 네트워크에 대한 그래프 모델링 방법

- ① 개발하는 이종망을 고려한 응용계층의 시뮬레이터는 이종의 통신망이 결합되어 차량간 네트워크를 구성하는 상황을 고려하여 충돌소요시간을 간선의 가중치로 할 때 각 통신망의 서로 다른 지연시간 (Delay Time)을 감안함
- ② 차량간 네트워크를 그래프로 모델링 할 때 그래프의 구성요소인 정점과 간선은 다음과 같음.
 - 정점 (Vertex) : Vehicle ID
 - 간선 (Edge) : weighted time to collision (WT),
 $WT = \text{time to collision} - \text{network delay}$
- ④ 다음 그림 은 차량간 네트워크를 그래프로 모델링한 예임. 그림에서 삼각형과 원은 각각 LTE와 WAVE 통신기술을 이용하는 차량을 나타내며, 그림의 하단은 도로망에서의 차량들과 각 차량들의 이동방향과 속도를 화살표로 나타내고 있음. 화살표의 길이는 속도의 크기를 나타냄. 그림의 상단은 하단의 도로네트워크 상의 차량을 그래프로 추상화한 것으로 그래프에서 정점간에 간선이 있는 경우는 두 차량간에 충돌가능성이 있음을 의미함
- ⑤ 충돌가능성이란 두 차량의 이동방향과 속도를 감안했을 때 언젠가 충돌할 수 있는 가능성이 있는 것을 말함. 그림에서 V1 과 V2사이에는 간선이 없는데 이것은 WT가 무한대임을 의미함. 즉, 현재 두 차량간의 진행방향과 속도를 고려할 때 서로 충돌하지 않음을 뜻함. V1 과 V3 사이에는 간선이 있는데 현재 시점에서 V1의 이동방향이 교차로에서

V3 방향으로 바뀔때 현재 속도로 볼때 충돌 가능성이 있음을 나타냄.

- ⑥ 개발하는 그래프 기반의 차량간 시뮬레이터는 가중치그래프에서 경로 탐색 기법을 이용하여 기준 차량과 1-hop 거리의 차량 뿐 아니라 기준 차량과 2-hop 이상의 거리에 있는 차량 간의 충돌 가능성 까지 예측이 가능함. 예를 들어서, 이 그래프에서 V2를 기준으로 경로가 가장 가까운 3개의 차량을 검색하면 V2는 V6 뿐 아니라 V7 및 V5 과도 충돌 가능성이 매우 높음을 알 수 있음.



나. 이종망을 고려한 응용계층의 차량간 충돌 예측 시뮬레이터 구현

○ 시뮬레이터 구조

- ① 개발한 시뮬레이터의 구조는 다음과 같음. 시뮬레이터는 Graph Database를 기반으로 함. 어떤 종류의 Graph Database 도 사용이 가능하며 실제 구현에는 가장 널리 사용되는 것 중 하나인 Neo4J를 이용하였음.
- ② Mobility Generator 를 통해 생성된 Scenario를 입력으로 하여 Realtime Vehicle Graph Manager는 실시간으로 차량간 Graph를 생성하고 유지함. 또한 Collision Prediction Manager는 실시간으로 업데이트되는 차량간 Graph에서 차량간 충돌을 예측함. 이때의 충돌 예측은 V2X에서 1-hop 에 있는 차량들 뿐 아니라 2-hop 이상의 차량들간의 충돌을 예측할 수 있도록 함.
- ③ Mobility Generator는 bonnmotion 을 이용하였으나 어떠한 종류의 Mobility Generator(Move, NS2 들)를 이용하여도 가능함. 이 연구에서 개발한 하위 계층에서 생성하는 Mobility Generator를 파일형태로 생성하면 연계한 시뮬레이션도 가능함.



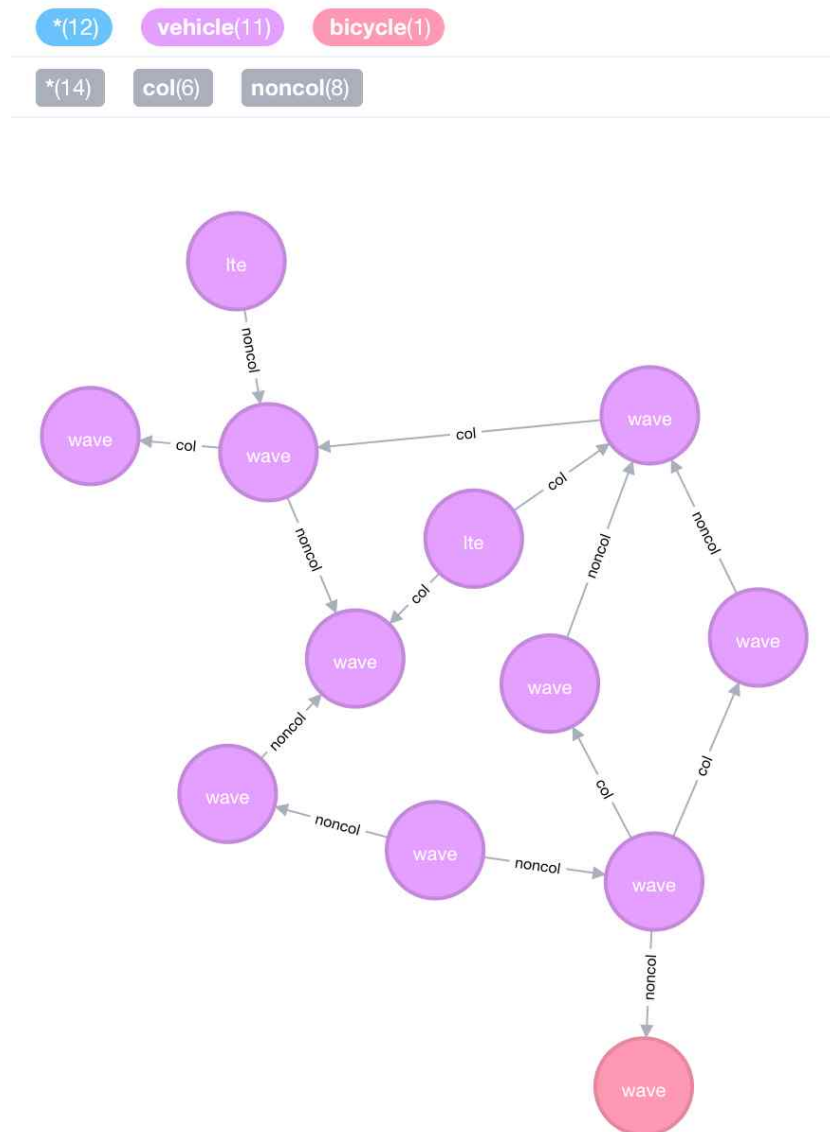
○ 구현 및 테스트

- ① 다음 그림은 Mobility Generator에 의해서 생성된 Mobility Scenario 데이터임. 그림에서 처럼 각 Vehicle 별로 주기적인 위치 데이터가 사전에 지정한 방법 (Manhattan Grid, Boundless, 등)에 따라 생성됨. 아래 그림은 Manhattan Grid 방식에 의해 생성된 데이터의 예를 보여줌.

```

1 0.0 22.74075421762898 100.0 25.62268494502996 46.56662860635558 100.0 56662860635558 117.0523604705254 100.0 121.56662860635558 121.4156483956662860635558 188.221000024138 100.0 176.56662860635558 191.9820375458219.60311602279307 111.56662860635558 200.0 249.17785742962496 151.5666297.72086507844324 200.0 200.0 347.59885284219126 200.0 138.433371393648639525404669 200.0 100.0 407.28459445637736 178.43337139364442 100.0 43337139364442 571.5983093884524 100.0 38.43337139364442 586.6527656578
2 0.0 158.0539308197669 0.0 15.008364628003164 173.32599205099743 0.0 25.325992050997428 62.68337471971654 200.0 23.325992050997428 92.68337471932599205099743 186.3255884724963 200.0 133.32599205099743 191.73077460632599205099743 255.01510771356607 200.0 200.0 270.19981207718 186.67406346.759588920856 116.67400794900257 200.0 361.58890552299454 100.0 200.6117707247363 100.0 101.67400794900257 461.9884062004103 100.0 96.674065211307195423 100.0 21.674007949002572 554.9695657495249 100.0 11.674067400794900257 0.0 600.0 72.43404961519785 0.0
3 0.0 62.328770105576325 0.0 4.768409157370115 68.03415907530717 0.0 9.7450.07309835945125 100.0 8.034159075307173 140.2642045897701 100.0 88.0304171288228736 118.03415907530717 100.0 187.40242579778533 148.0341590716727694477322 198.03415907530717 100.0 246.65027118175385 200.0 100.0 200.0 148.03415907530717 310.7126902360974 200.0 163.03415907530717 310.0 200.0 362.12530715628463 181.96584092469283 200.0 432.99485370333286200.0 565.8608976163996 0.0 200.0 568.9039147357526 0.0 196.96584092469
  
```

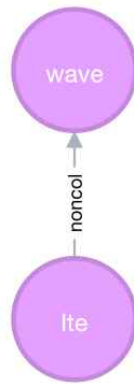
- ② 다음 그림은 위에 생성된 Mobility Scenario 데이터를 이용해 시뮬레이터가 생성한 특정 시점의 그래프를 보여줌. wave는 WAVE 망에서의 차량을 나타내며 lte는 LTE망을 이용하는 차량들을 나타냄. 또한, 간선에 표기된 col은 충돌 가능성이 있음을 나타내며 noncol은 충돌 가능성이 없음을 말함. 충돌 가능성은 계산된 TTC 에 대한 threshold가 주어지고 이에 따라 분류된 결과임.



- ③ 다음 그림은 Graph Query를 통해서 차량 v1과 충돌 가능성이 없는 차량을 검색한 결과임. 이때 사용한 Graph Query 는 다음과 같음.

WITH v1 as a

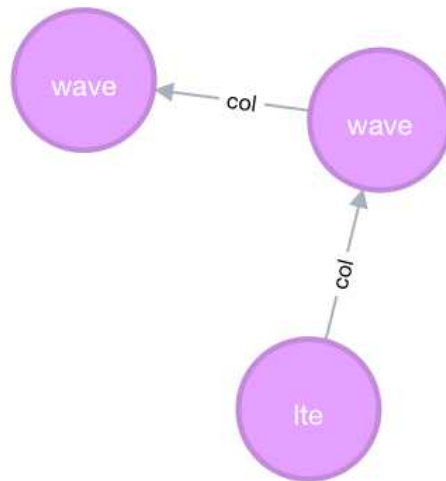
MATCH (a)-[:noncol]->(m) RETURN a,m ;



- ④ 다음 그림은 Graph Query를 통해서 차량 v1과 최대 2-hop 까지 충돌 가능성이 있는 차량들을 검색한 결과임. 이때 사용한 Graph Query 는 다음과 같음.

WITH v1 as a

MATCH (a)-[:col]->(m)-[:col]->(d) RETURN a,m,d;



제 4 장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

가. 연도별 연구개발 목표의 달성도

1) 1차년도(2015)

핵심성과 (level1)		단위 성과 (level2)		1차년도 성과점검기준					해당 기관	예산 (백만)	성과목표	실적
				질적성과지표	목표치	측정 방법	검증 방법	가중치				
A	V2X 무선 채널 시뮬레이터	A-1	이동하는 일대일 차량간 무선 채널 시뮬레이터 구현	① large-scale fading 모델 정확도	기능 구현	3D ray-tracing 결과와 비교	외부전문가로 구성된 검증위원회	10	한국교통대	25	논문: 1 건	논문발표: 2 건
				② small-scale fading 모델 정확도	기능 구현	3D ray-tracing 결과와 비교	외부전문가로 구성된 검증위원회	10				
B	IEEE802.11p 물리계층 시뮬레이터	B-1	물리계층 링크레벨 시뮬레이터를 MATLAB simulink로 제작	① 요구 SINR	SINR Loss 1dB 이내	Simulation	외부전문가로 구성된 검증위원회	15	한국교통대	25	논문: 1 건 논문발표: 1 건	논문: 2 건 논문발표: 3 건
				② Frame body capture 기능	기능 구현	Simulation을 통한 기능시현	외부전문가로 구성된 검증위원회	10				
C	MATLAB simulink 기반 802.11p/1609.4 MAC 계층 시뮬레이터 개발	C-1	기존 Target QoS 및 MAC 프로토콜 기반 시뮬레이터 개발	① 기존 MAC 계층을 MATLAB simulink를 활용하여 구현	기능구현	동작 여부 검증	외부전문가로 구성된 검증위원회	15	한국교통대	25		
		C-2	Packet delay 및 packet loss분석을 통한 문제점 도출	① Packet delay 및 throughput performance	실제 환경에서 packet delay 및 throughput 측정 및 문제점 도출	시뮬레이터를 이용한 성능 평가	외부전문가로 구성된 검증위원회	10	한국교통대	25	특허: 출원 1 건 논문: 1 건 논문발표: 1 건	논문: 1 건 논문발표: 1 건 시제품: 1 건

D	V2X 네트워크 및 응용 계층 시뮬레이터	D-1	멀티 홉 데이터 dissemination 및 응용 시뮬레이터	①	SW기능	V2X멀티 홉 응용 시뮬레이션 기능	기능동작여부	외부전문가로 구성된 검증위원회	10	한국교통대	30	특허: 출원 <u>1 건</u> 등록: <u>1 건</u> 논문: <u>1 건</u> SW: <u>1 건</u>	특허: 출원 <u>1 건</u> 논문: <u>1 건</u> 논문발표: <u>4 건</u> SW: <u>1 건</u>
E	교통 시뮬레이터와 개발된 무선채널, 물리계층, MAC 계층, 네트워크 계층 연동 API 개발	E-1	계층간 인터페이스 및 공통 컴포넌트 정의	①	SW설계	기능 설계	요구사항충족여부	외부전문가로 구성된 검증위원회	10	한국교통대	30	논문: <u>1 건</u>	논문발표: <u>3 건</u>
F	통합 시뮬레이터 검증	F-1	c-ITS 서비스 성능 및 검증 시험 체계	①	c-ITS 단위 서비스 시나리오별 성능 및 검증 실험 결과의 내용적 우수성	85%	지표 기반 정성적 평가	외부전문가로 구성된 검증위원회	10	한국교통대	40	논문: <u>1 건</u> 논문발표: <u>2 건</u>	논문: <u>2 건</u> 논문발표: <u>1 건</u>
총 계									100		200	특허: 출원 <u>2 건</u> 등록: <u>1 건</u> 논문: <u>6 건</u> 논문발표: <u>4 건</u> SW: <u>1 건</u>	특허: 출원 <u>2 건</u> 등록: <u>0 건</u> 논문: <u>5 건</u> 논문발표: <u>13 건</u> SW: <u>1 건</u> 시제품: <u>1 건</u>

2) 2차년도(2016)

핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)		2차년도 성과점검기준					해당기관	예산 (백만)	성과목표	실적
				질적성과지표	목표치	측정 방법	검증 방법	가중 치				
A	V2X 무선 채널 시뮬레이 터	A-2	다수의 이동하는 차량들간 무선 채널 시뮬레이터 개발	① large-scale fading 모델 정확도	기능 구현	3D ray-tra cing 결과와 비교	외부전 문가로 구성된 검증위 원회	1.5	한국교 통대학 교	25	SCI(E)급 1 건 일반학술지: 1 건 학술회의: 1 건 SW: 1 건	SCI(E)급 1 건 일반학술지: 1 건 학술회의: 1 건 SW: 1 건
				② small-scale fading 모델 정확도	기능 구현	3D ray-tra cing 결과와 비교	외부전 문가로 구성된 검증위 원회	1.5				
B	IEEE802.1 p 물리 계층 시뮬레이 터	B-2	Road Network 성능 검증용 통합 시뮬레이터 개발	① Signal 및 Data Field 성능 검증	SINR Loss 1dB 이내	Simulat ion	외부전 문가로 구성된 검증위 원회	1.5	한국교 통대학 교	25	특허: 출원 1 건 등록 1 건 SCI(E)급 1 건 일반학술지 1 건 학술회의: 1 건 시제품: 1 건 SW: 1 건	특허: 출원 1 건 등록 1 건 SCI(E)급 1 건 일반학술지 1 건 학술회의: 2 건 시제품: 1 건 SW: 1 건
				② MAC 계층 통합	기능 구현	Simulat or를 통한 기능시 현	외부전 문가로 구성된 검증위 원회	1.5				
C	MAC protocol 개발 및 개발된 MAC 계층 시뮬레이 터 개발	C-2	Packet delay와 throughput 향상을 위한 물리 계층과의 cross-layer joint optimization을 통한 MAC protocol 개발	① Packet delay 및 throughput performance	packet delay 20% 감소 및 target throughput 만족	MATL AB 기반 Link level simulat or를 이용하 여 성능 검증	외부전 문가로 구성된 검증위 원회	2	한국교 통대학 교	25	특허: 출원 2 건 등록 1 건 SCI(E)급 0 건 일반학술지: 1 건 학술회의: 1 건 시제품: 1 건 SW: 1 건	특허: 출원 1 건 등록 1 건 SCI(E)급 1 건 일반학술지: 1 건 학술회의: 2 건 시제품: 1 건 SW: 1 건
		C-3	개발된 MAC 계층을 MATLAB simulink를 활용하여 구현	① 개발된 MAC 계층을 MATLAB simulink를 활용하여 구현	기능구현	동작여 부 검증	외부전 문가로 구성된 검증위 원회	2				

D	V2X 네트워크 및 응용 계층 시물레이터	D-2	WAVE, BLE, LTE 시물레이터들 연동	①	SW기능	WAVE, BLE, LTE 연동 시물레이션 기능	기능동 작여부	외부전 문가로 구성된 검증위 원회	2	한국교 통대학 교	30	특허: 출원 <u> </u> 건 등록 <u> </u> 건 SCI(E)급: <u> </u> 1 건 일반학술지: <u> </u> 1 건 학술회의: <u> </u> 1 건 시제품: <u> </u> 건 SW: <u> </u> 건	특허: 출원 <u> </u> 건 등록 <u> </u> 건 SCI(E)급: <u> </u> 건 일반학술지: <u> </u> 1 건 학술회의: <u> </u> 1 건 시제품: <u> </u> 건 SW: <u> </u> 1 건
				②	SW기능	WAVE, BLE, LTE 기반 V2X멀티 홉 응용 시물레이션	기능동 작여부	외부전 문가로 구성된 검증위 원회	2				
E	교통 시물레이터와 개발된 무선채널, 물리계층, MAC 계층, 네트워크 계층 연동 API 개발	E-2	계층간 인터페이스 및 공동 컴포넌트 구현	①	SW기능	기능 구현	기능동 작여부	외부전 문가로 구성된 검증위 원회	2	한국교 통대학 교	30	특허: 출원 <u> </u> 1 건 등록 <u> </u> 건 SCI(E)급: <u> </u> 건 일반학술지: <u> </u> 건 학술회의: <u> </u> 1 건 시제품: <u> </u> 건 SW: <u> </u> 1 건	특허: 출원 <u> </u> 1 건 등록 <u> </u> 건 SCI(E)급: <u> </u> 건 일반학술지: <u> </u> 1 건 학술회의: <u> </u> 1 건 시제품: <u> </u> 건 SW: <u> </u> 1 건
F	통합 시물레이터 검증	F-1	c-ITS 서비스 성능 및 검증 시험 체계	①	c-ITS 단위 서비스 시나리오별 성능 및 검증 실험 결과의 내용적 우수성	85%	지표 기반 정성적 평가	외부전 문가로 구성된 검증위 원회	2	한국 교통 대	40	특허: 출원 <u> </u> 0 건 등록 <u> </u> 0 건 SCI(E)급: <u> </u> 0 건 일반학술지: <u> </u> 1 건 학술회의: <u> </u> 0 건 시제품: <u> </u> 0 건 SW: <u> </u> 1 건	특허: 출원 <u> </u> 건 등록 <u> </u> 1 건 SCI(E)급: <u> </u> 건 일반학술지: <u> </u> 건 학술회의: <u> </u> 1 건 시제품: <u> </u> 건 SW: <u> </u> 1 건
계									20		200	특허: 출원 <u> </u> 4 건 등록 <u> </u> 건 SCI(E)급: <u> </u> 2 건 일반학술지: <u> </u> 5 건 학술회의: <u> </u> 5 건 시제품: <u> </u> 건 SW: <u> </u> 5 건	특허: 출원 <u> </u> 3 건 등록 <u> </u> 2 건 SCI(E)급: <u> </u> 2 건 일반학술지: <u> </u> 5 건 학술회의: <u> </u> 8 건 시제품: <u> </u> 건 SW: <u> </u> 5 건

나. 정량적 연구성과 목표 및 달성도

구분		1차년도(2015)		2차년도(2016)		총합		비고
		목표	달성	목표	달성	목표	달성	
국외 논문 게재	SCI	-	0.25	2	1.0	2	1.25	기여율 25% 1건, 기여율 50% 3건 목표 미달성
	비SCI	-	-	-	0.5	-	0.5	
	계	-	0.25	2	1.5	2	1.75	
국내 논문 게재	SCI	-	-	-	-	-	-	기여율 100% 5건, 50% 3건, 33% 1건 목표 미달성
	비SCI	6	3.5	5	2.83	11	6.33	
	계	6	3.5	5	2.83	11	6.33	
특허 출원	국내	2	1	4	2.5	6	3.5	기여율 50% 3건, 기여율 100% 2건 목표 미달성
	국외	-	-	-	-	-	-	
	계	2	1	4	2.5	6	3.5	
특허 등록	국내	1	0	0	1	1	1	기여율 50% 2건, 목표 달성
	국외	-	-	-	-	-	-	
	계	1	0	0	1	1	1	
인력 양성	석사	-	7	-	7	-	14	14명 석사 초과 배출
	박사	-	-	-	-	-	-	
	계	-	7	-	7	-	14	
기술 이전	계약 건수	-	-	-	-	-	-	
	계약액	-	-	-	-	-	-	
	징수액	-	-	-	-	-	-	
국제 표준화	기고서 제출	-	-	-	-	-	-	
	기고서 채택	-	-	-	-	-	-	
	표준안 채택	-	-	-	-	-	-	
국내 표준화	기고서 제출	-	-	-	-	-	-	
	기고서 채택	-	-	-	-	-	-	
	표준안 채택	-	-	-	-	-	-	
등록· 기타 대상 성과물	보고서 원문	-	-	-	-	-	-	목표 달성
	연구시설·장비	-	-	-	-	-	-	
	기술요약정보	-	-	-	-	-	-	
	생명 자원	생명정보	-	-	-	-	-	
		생물자원	-	-	-	-	-	
		신품종	-	-	-	-	-	
	소프트웨어	1	1	5	5	6	6	
	화학물	-	-	-	-	-	-	
기타	시제품	-	1	-	-	-	1	1건 초과 (전계층 통합 시뮬레이터 개발)
	성과 홍보	-	1	-	-	-	1	1건 초과 (2016년 국토교통과학 기술대전 전시)
	일자리 창출	-						

다. 성과 목표에 대한 자체 평가

성과 목표	자체 평가
논문 게재	■ 국외 논문에서 정량 목표인 SCI 논문 2편에 대해, 3편의 SCI 논문을 게재하여 1편을 초과 달성하였음. 또한, 국외 비 SCI 논문 1편을 초과 게재하였음. 다만, 기여율을 고려할 때, 기여율 25%의 국외논문 1편과 기여율 50%의 국외논문 3편으로, 총 1.75편의 국외논문을 게재하여, 목표인 국제논문 2편에 약간 미달함. ■ 국내 논문에서 정량 목표인 비SCI 논문 게재 11편에 대해 8편의 논문을 게재하여 3편을 미달하였음. 기여율을 고려할 때, 기여율 100%의 국내논문 5편, 기여율 50%의 3편과 기여율 33% 1편으로, 총 6.33편의 국내논문을 게재하여, 목표인 국내논문 8편에 미달함. ■ 논문 게재 실적의 경우, 국외논문과 국내논문이 약간 미달하였으나, 국외와 국내의 논문발표 실적을 고려할 때 전체적으로 양호한 논문 실적으로 판단됨. 논문 발표 실적으로 IEEE 주최 국제 저명 학술대회에 6편의 논문을 발표하고, 국내학술대회에 14편의 논문을 발표하였음. 학술대회 발표 논문은 논문지로 게재가 가능한 수준의 논문들로 과제 종료 이후에도 관련 논문의 게재 성과를 기대할 수 있음. ■ IEEE가 주최하는 국제 저명 학술대회에서 발표된 연구성과들은 국내외적으로 아직 발표된 바 없는 창의적인 연구결과로서, 과제 종료 이후에도 SCI 등급의 논문지에 게재가 가능할 것으로 기대됨.
특허 출원 및 SW 등록	■ 국내 특허출원에서 정량 목표인 특허 6건 출원에서 특허 출원 5건을 완료하여 1건이 미달함. 기여율을 고려할 때, 기여율 50%의 특허 출원 3건과 기여율 100%의 특허출원 2건으로, 총 3.5건의 국내특허를 출원함. ■ 국내 특허등록에서 정량 목표인 특허 1건 등록에서 특허 등록 2건을 완료함. 기여율을 고려할 때, 기여율 50%의 특허 등록 2건으로, 총 1건의 국내 특허 등록을 하여 목표를 달성함. ■ SW에서 정량 목표인 6건 등록에서 6건 등록을 완료하여 목표를 달성함. ■ 특허 출원 실적이 다소 부족하나, 사업비 규모를 생각할 때 비교적 양호한 실적으로 판단됨.
인력 양성	• 연구개발을 수행하던 석사과정 7명이 2016년 2월에 배출됨. • 연구개발을 수행하던 석사과정 7명이 2017년 2월에 배출됨. • 따라서, 연구개발 기간에 관련 연구를 수행한 총 석사 14명을 배출함.
시제품 및 성과홍보	• 추가적으로 무선채널, 물리계층과 MAC 계층이 교통 시뮬레이터인 Prescan에 통합된 통합 시뮬레이션 플랫폼을 개발하고 시제품 형태로 2016년도 국토교통과학기술대전에 전시하고 공개하였음.

라. 외부 전문가로 구성된 검증위원회의 평가

○ 위원회 구성

순번	소속 기관명 및 직위	이름
1	한밭대학교 교수	조한신
2	충북대학교 교수	북경수
3	현대오토에버 차장	문희택

○ 평가회의 개최: 한국교통대학교 교통ICT 융합연구센터(2017년 6월 1일 오후 2시~4시)

○ 평가 결과 및 조치 사항

평가자 (총점 90점 만점)	총평	조치 사항
A (85점)	✓ 기존에 잘 연구되지 않았지만 교통안전기술의 개발을 위해 필수적인 연구를 수행함 ✓ 연구성과의 초과달성 및 전시회 참가 등 우수한 연구 결과 달성 ✓ 연구결과의 질적인 향상을 위한 다음의 방법을 추천함 • 기 제출된 국제학술대회 논문을 SCI급 논문으로 확장 • 유사분야 타 기관 전문가와의 워크샵 및 세미나 추진	✓ 국제학술대회 발표 논문을 SCI 논문으로 확장 준비하고 있음. 추가적으로 SCI 논문 2편의 성과를 계획. ✓ 본 과제에서 개발된 연구성과를 한국전자과학회, 한국통신학회, 한국 ITS학회에서 주최하는 워크샵 및 세미나를 통해 관련 기관 및 전문가들을 발표 및 공유하겠음.
B (88점)	✓ 본 연구의 필요성 및 활용도 매우 높으며 연구목표에서 제시한 정량적 정성적 연구 성과가 도출 ✓ 교통안전서비스 성능 평가를 위한 시뮬레이션 제작이 잘 되었으며 향후 지능형 교통서비스 개발 및 구축시 많은 활용도가 있을 것으로 기대 ✓ 전반적인 연구결과물 및 연구성과가 잘 도출되었으나 추가적인 SCI 논문 성과가 필요하며 시뮬레이터에 다양한 교통환경을 동적으로 설정하거나 변경할 수 있는 기능 개발이 요구됨	✓ 연구결과물로 SCI 논문 3편을 게재하였음. 추가적으로 SCI 논문 2편의 성과물을 계획하고 있음. ✓ Prescan에 다양한 교통환경(교차로, 고속도로 등)에서 다양한 동적인 교통환경 시나리오 작성이 가능하도록 해당 기능을 개발하였음.
C (90점)	✓ 당 과제는 국가시책사업인 차세대 ITS 및 자율주행차 부문에 시급히 필요한 기술적 내용을 그 목표로 하고 있으며, ✓ 과제 수행에 있어서 당해연도 과제목표 및 산출물 수준을 준수하고 있음. ✓ 당 과제는 TRL-4를 목표 수준으로 설정하였으므로 당 과제를 통하여 생산한 산출물이 국가 정책 및 산업계 개발활동에 직접적인 도움을 줄 수 있도록 과제 완료시 민/관 연관 분야에서의 활용성을 증대하는 TRL-7 목표의 추가 과제 활동이 필요함.	✓ TRL-7단계로의 개발이 필요하며, 이를 위해 추가적인 과제 도출을 위해 현대오토에버와 공동 노력하겠음.

2. 관련 분야 기여도

가. 관련 분야에 대한 창의적, 혁신적 기여

○ C-ITS 교통안전서비스의 성능에 영향을 미치는 V2X 통신 모든 계층의 성능을 통합하여 분석하는 기술 개발

- C-ITS 교통안전서비스는 BSM을 최소 100ms 주기로 전송하고 수신해야 하며, BSM의 송수신 성능은 다음의 V2X 통신 계층의 영향을 받음.

- ✓ V2X(Vehicular to Infrastructure, Vehicular to Vehicular, Vehicular to Person) 통신이 이행되는 무선 채널 특성,
- ✓ V2X 통신을 위한 IEEE802.11p 물리계층의 Packet error rate(PER) 성능
- ✓ IEEE 802.11p MAC 계층의 특성과 이에 의한 VANET(Vehicle Ad-hoc Network)의 packet 전송율 및 지연
- ✓ 네트워크 계층 및 어플리케이션 계층에서의 성능
- ✓ 교통 트래픽의 특성 및 모델링과 교통 안전서비스 알고리즘

○ 현재까지 대부분의 연구 및 시뮬레이터는 각 계층의 개별적인 성능 평가에 머무르고 있음.

- 기존 관련 시뮬레이터 현황

구분	시뮬레이터	문제점 분석
교통 시뮬레이터	VISSIM, CORSIM, AIMSUN, PARAMICS	- IEEE 802.11p 기반의 V2X 평가 모듈 없음
	Prescan	- IEEE 802.11p 기반 메시지 모듈과 V2X 모듈 제공 - 물리계층과 네트워크 성능에 의한 패킷 전송율, 지연 고려 못함
네트워크 시뮬레이터	NS-2	- 일부에서 IEEE 802.11p 기반 네트워크 레벨 성능 평가

- 종합적으로, IEEE802.11p 물리계층에서의 PER 성능에 영향을 미치는 채널 추정 기술, 무선 채널 특성 등이 완전히 고려된 상용 시뮬레이터가 개발되고 있지 않으며, 연구 집단별로 개발되어 표준화나 검증이 되지 않고 있음.

○ 본 연구에서는 세계 최초로 V2X 무선 채널 특성, V2X 물리계층, MAC 계층, 네트워크 및 어플리케이션 계층, 그리고 교통 트래픽의 모델링 및 교통 안전서비스 알고리즘을 통합하여, C-ITS 교통안전서비스 성능을 평가할 수 있는 시뮬레이션 플랫폼 개발 함.

- 제안하는 시뮬레이션 플랫폼에 기반한 물리, MAC, 그리고 네트워크 계층을 통합한

WAVE 통신망의 성능 분석을 통해, WAVE 통신망의 성능을 최적화하기 위한 각 물리, MAC, 네트워크 계층의 최적화를 수행할 수 있음.

- 또한, 세계 최초의 V2X 기반 교통안전서비스에 대한 통합 시뮬레이션 플랫폼 개발을 통해, 관련 연구의 주도권을 획득하고, 개발된 시뮬레이터의 상용화를 통해 고가의 시뮬레이터에 대한 수입 대체 및 수출을 통해 국가 신성장동력을 창출할 수 있음.

나. 기대효과

○ 기술의 시장성

- 전 세계적으로 V2X 기반 C-ITS 교통안전서비스 개발이 활성화 되고 있으며, 따라서 교통안전 서비스 개발에 필수적인 평가 시뮬레이션 소프트웨어에 대한 수요가 지속적으로 급증하고 있음.
- 교통관련 traffic 시뮬레이터는 고가의 필수 연구 도구로서 전부 외국에 의존하고 있음. 최종 성과물이 상용화 될 경우, 고부가가치의 시뮬레이션 소프트웨어에 대한 수입을 대체하고 수출을 통한 고부가가치 산업을 육성할 수 있음.

○ 사회적 파급효과

- 본 연구에서 개발할 V2X 기반 교통안전서비스에 대한 성능분석 시뮬레이터는 국내 C-ITS 시범 사업의 성공을 위한 필수적인 도구로서, 국내 C-ITS 시범 사업의 성공 및 산업 확산을 위한 핵심적인 기여를 할 수 있음.
- 본 연구의 연구결과물은 저비용으로 정확하고 빠르게 V2X 기반 교통안전서비스를 평가할 수 있게 함으로서, C-ITS 관련 중소기업의 기술개발 경쟁력을 높이고 발전하는데 기여할 수 있음.
- V2X 기반 교통안전서비스 단말기에 대한 정확한 성능 검증 및 인증을 통해, C-ITS 교통안전서비스를 통한 안전한 사회 구현에 기여를 할 수 있음.

제 5 장. 연구개발성과의 활용계획

○ 기술수요처

- 본 연구의 최종성과물은 V2X 기반 C-ITS 교통안전서비스의 성능 평가에 필수적인 도구로서, V2X 기반 C-ITS 교통안전서비스 개발하는 산업계, 학계, 연구소에서 필요함.
- 특히, 국내 C-ITS 시범 사업 기간 동안 구현될 V2X 안전메시지 표준화와 15개 교통안전서비스의 성능을 검증하는데 필수적으로 요구됨.
- 또한, 각 기업체에서 개발하는 교통안전 단말기가 요구되는 수준 이상의 성능을 보임을 검증하고 이를 인증해야 하는 국가 기관에서 필요로 함.

○ 현장적용 방안

- 개발된 시뮬레이터는 기초원천연구의 연구결과물로서, 프로토타입 수준의 시뮬레이터이므로, 분석하고자 하는 시나리오와 도로환경(도심, 준도심, 고속도로, 국도 등)에 적합한 무선채널모델과 교통류(차량의 이동속도와 밀도)에 따른 물리계층 PER 성능과 MAC 계층의 패킷 충돌에 대한 모델을 추가해야 엔지니어링 툴로써 활용이 가능함.
- 국내 C-ITS 시범 사업 기간 동안 구현될 V2X 안전메시지와 15개 교통안전서비스의 성능을 검증하는데, 본 연구의 최종 성과물을 시범 적용할 예정임.
- 시범 적용을 통해 본 연구의 최종 성과물의 성능이 검증되고 최적화 된 후, 실용 연구 개발을 통해 완성된 성과물을 전 세계의 수요처에 공급할 수 있음.

○ 실용화 및 제품화 방안

- 현재, V2X 교통안전서비스 성능 분석을 위한 통합 시뮬레이터는 없음.
- 기존 상용화되어 있는 Prescan이나 VISSIM과 같은 상용 traffic simulator에, 물리계층 시뮬레이션 모듈과 MAC계층 시뮬레이션 모듈을 연동 API와 함께 라이브러리 형태로 제공함으로써, 제품화가 가능함.

○ 예상되는 활용분야 및 활용방안

- 개발된 시뮬레이터는 기초원천연구의 연구결과물로서, 프로토타입 수준의 시뮬레이터이므로, 실제 교통 환경에 부합하는 채널 모델을 추가하고 다양한 도로교통환경에서의 다양한 주행환경 등을 모사를 추가하여 국내 C-ITS의 15개 교통안전서비스의 성능을 검증하는데 활용이 가능함.
- V2X 기반 교통안전서비스에 대한 성능분석 시뮬레이터는, 다양한 형태의 V2X 기반 교통안전서비스 개발에 필수적인 성능 평가를 저비용으로 정확하고 빠르게 수행할 수 있게 함으로서, 성능이 우수한 교통안전서비스 개발을 가능하게 함.
- 본 연구에서 개발된 V2X 기반 교통안전서비스에 대한 성능분석 시뮬레이터 개발은, IEEE802.11p 물리계층, MAC계층, 네트워크 계층에 대한 통합 최적화 기술 개발에 필수적인 도구로서, 관련 원천 연구를 촉진할 수 있음. 예를 들어, 트래픽 밀도에 따라 BSM(Basic Safety Message)의 전송 주기를 조절하여, 메시지 수신율을 증가시키는 연구 등이 있음.

- 교통관련 traffic 시뮬레이터는 고가의 필수 연구 도구로서 전부 외국에 의존하고 있음. 최종 성과물이 상용화 될 경우, 고부가가치의 시뮬레이션 소프트웨어에 대한 수입을 대체하고 수출을 통한 고부가가치 산업을 육성할 수 있음.

제 6 장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

해당 사항 없음.

제 7 장. 연구개발성과의 보안등급

일반 등급

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

해당 사항 없음.

제 9 장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

제 10 장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관 명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향 력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독/ 중복)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	Generalized precoder designs for energy harvesting constrained MIMO channels based on weighted MMSE criterion	한국 교통 대학 교	주관 기관	IEEE Trans. Wireless Commun	4.951	2016.12	중복	SCI
2	논문	IEEE 802.11p 차량 간 통신의 매체 접근 제어와 물리 계층을 고려한 통합 성능 분석	한국 교통 대	주관 기관	한국정보 기술학회 논문지	-	2017.01	중복	학진등재
3	논문	IEEE 802.11p 기반 차량 간 통신 시스템에서 차량 밀도에 따른 MAC 계층의 성능 평가	한국 교통 대	주관 기관	한국정보기 술학회 논문지	-	2016.08	단독	학진등재
4	특허	차량 충돌 예측 방법 및 이를 이용하는 장치	한국 교통 대	주관 기관	국내특허출 원	-	2017.06	중복	10-2017- 0078917
5	등록 ·기 탁 대상 성과 물	차량통신 기반 차세대 지능형 교통시스템 서비스 성능 분석 및 검증에 위한 다계층 통합 시뮬레이션 프로그램	한국 교통 대	주관 기관	한국저작권 위원회	-	2017.06	단독	C-2016-0 14499

제 11 장. 기타 사항

해당 사항 없음.

제 12 장. 참고 문헌

- [1] Institute for Information & communications Technology Promotion, "V2X communication emerges as key technology for intelligent transportation systems", Trend and Prospect, Vol.73, pp.42-44, Apr. 2014.
- [2] IEEE802.11p, IEEE Standard for Information Technology Telecommunication and Information Exchange Between Systems Local and Metropolitan Area Networks Specific Requirements. part 11: Wireless LAN MAC and PHY Specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments, July 22, 2014
- [3] X. Cheng, Q. Yao, M. Wen, C.-X. Wang, L. Song, and B. Jiao, "Wideband Channel Modeling and ICI Cancellation for Vehicle-to-Vehicle Communication Systems", *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, Vol.31, No.9, pp.434-448, Sept. 2013.
- [4] J. A. Fernandez, K. Borries, L. Cheng, B. V. K. Vijaya Kumar, D. D. Stancil, and F. Bai, "Performance of the 802.11p Physical Layer in Vehicle-to-Vehicle Environments", *IEEE Trans. Veh. Tech.*, Vol.61, No.1, pp. 3-14, Jan. 2012.
- [5] Joo-Young Choi, Kang-Hee Yoo, and Cheol Mun, "MMSE Channel Estimation Scheme using Virtual Pilot Signal for IEEE 802.11p", *Journal of KIIT*, Vol.14, No.6, pp.51-57, June 2016.
- [6] Jung-In Kim, Jun-Hee Jang, and Hyung-Jin Choi, "A Low-Complexity 2-D MMSE Channel Estimation for OFDM Systems", *The Journal of The Korean Institute of Communication Science* Vol.36, No.5, pp.317-325, May 2011.
- [7] J. Zhao, X. Cheng, M. Wen, B. Jiao, and C.-X. Wang, "Channel Estimation Schemes for IEEE 802.11p Standard", *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, Vol.5, No.4, pp.38-49, winter. 2013.
- [8] Yoon Kyeong Kim, Jang-Mi Oh, Yoo Ho Shin, and Cheol Mun, "Time and frequency domain channel estimation scheme for IEEE 802.11p", *Proceedings of Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 2014 IEEE 17th International Conference on, pp.1085-1090, Oct. 2014.
- [9] Jang-Mi Oh and Cheol Mun, "Analysis and Modeling of IEEE 802.11p Wireless Channel Characteristics in Domestic Radio Propagation Environments", *Journal of KIIT*, Vol.14, No.2, pp.45-51, Feb. 2016.
- [10] R. Uzcategui and G. Acosta-Marum, "WAVE: A tutorial", *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 47, No. 5, pp. 126-133, May 2009.
- [11] IEEE1609.4, "IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)-Multi-channel Operation", 2006.
- [12] S. Mangold, S. Choi, G. R. Hiertz, O. Klein, and B. Walke, "Analysis of IEEE 802.11e for QoS support in wireless LANs", *IEEE wireless Commun*, Vol. 10, No. 6, pp. 40-50, Dec. 2001.
- [13] K. Bilstrup, E. Uhlemann, E. G. Strom, and U. Bilstrup, "Evaluation of the IEEE 802.11p MAC method for vehicle-to-vehicle communication", in *proceedings of the 68th Semi-Annual IEEE of the Vehicular Technology Conference (VTC '08)*, Calgary, Canada, pp. 1-5, Sep. 2008.

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.