

## C-ITS 차량 추돌방지 지원 시스템의 통신 부하를 고려한 도로네트워크 영향 분석

### Analysis of the effect on Road Network with Communication Failure Rate of C-ITS Information System for Rear-end Collision Avoidance

김 준 용\*

(Jun-Yong Kim)

(Korea National University of Transportation)

김 진 태\*\*

(Jin-Tae Kim)

(Korea National University of Transportation)

#### 요 약

C-ITS 단위 서비스 중 차량 추돌방지 지원 서비스는 위험상황 교통안전을 지원하나, 교통량이 많아 주변에 V2V 통신 대상 차량이 많은 경우 V2V 통신부하로 인한 통신 지연 및 실패 가능성이 존재하여 서비스 효율성이 변화할 수 있다. 본 연구는 교통량이 증가하여 혼잡한 도로에서 V2V 통신 과다로 인한 차량 추돌방지 지원 서비스가 실패에 따른 도로 네트워크 영향을 모의실험으로 분석한 정량적 결과를 제시한다. 교통량 조건을 낮은 수준(서비스 수준 A) 높은 수준(서비스 수준 E)까지 변화하며, V2V 통신 실패율을 0%에서 100%까지 극단적인 상황을 포함하여 10% 씩 증가시키면서 차량 추돌방지 지원 서비스 효율성을 잠재상충 발생 건수를 지표로 분석하였다. 분석 결과 차량 1대당 잠재상충 발생 건수가 낮은 교통량 상황 대비 높은 교통량 상황에서 30% 수준 증가하는 것으로 확인되었다. 교통량이 충분히 증가하는 경우 통신 실패율 10% 증가에 따라 잠재상충 발생 건수가 14%씩 증가하는 것으로 분석되었다. C-ITS 단위 서비스 구현을 위한 기존 장비중심의 연구와 더불어 서비스의 효율성을 높일 수 있는 도로교통 운영분야 연구가 병행될 필요가 있음을 제언한다.

핵심어 : C-ITS, 차량추돌방지지원시스템, 통신실패율, VISSIM, SSAM

#### ABSTRACT

Information System for rear-end collision avoidance is a unit service of C-ITS pilot project. Road environment that the number of vehicles at the same driving high-speed has a possibility that the communication delay or failure caused by heavy load of vehicle to vehicle communication. In this study, effects of the road network about a communication failure rate of information system for rear-end collision avoidance was analyzed quantitatively with micro traffic simulation. The simulation was carried out in situation that crash of two vehicles are occurred at merging area with speed limit 80km/h and information of collision is provided to the rear vehicle. From simulation results, it can confirm the trend of the increasing 14% of potential conflict according to 10% increasing of the communication failure rate. C-ITS service has a goal of increasing safety. The communication failure rate increases due to heavy load of vehicle causes a fatal result in road safety administrator position. For the success of C-ITS project, a communication system developers side should perform the effort to reduce the communication failure rate.

Key words : C-ITS, Rear-end Collision, Communication Failure Rate, VISSIM, SSAM

† 본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비 지원(15CPAP-C098206-01)에 의해 수행되었습니다.

\* 주저자 : 한국교통대학교 교통시스템공학과 박사과정

\*\* 교신저자 : 한국교통대학교 교통시스템공학과 교수

† Corresponding author : Jin-Tae Kim(Korea National University of Transportation), E-mail jtlkim@ut.ac.kr

† Received 7 June 2016; reviewed 13 July 2016; Accepted 2 September 2016

## I. 서론

Intelligent Transport Systems (ITS)는 현장 교통정보 수집체계와 중앙 교통정보 센터 간 통신을 활용하는 첨단 교통서비스 구현 기술이다. Cooperative - Intelligent Transport System (C-ITS)는 차량과 차량 간 Vehicle-To-Vehicle (V2V) 통신을 주로 활용하는 첨단 미래 교통서비스 구현 기술이다. C-ITS는 도로를 주행하는 차량들에게 (1) 조금 전 도로를 이미 주행한 차량으로부터 확인된 소통정보를 V2V 통신으로 다른 차량에게 전하는 교통정보제공서비스와 (2) 긴박한 위험상황에서 V2V 통신을 활용하여 차량 안전을 지원하는 안전지원서비스 등을 포함한다. V2V는 전용주파수 대역 Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) 통신으로 구현된다. 생성된 정보를 멀리까지 공유하기 위한 Vehicle-To-Infra (V2I) 통신기술과 Infra-To-Center (I2C) 통신기술이 또 다른 C-ITS 기술요소로 구분되지만 C-ITS 핵심은 V2V 통신기술을 기반으로 한다.

C-ITS가 지원하는 다양한 서비스 중 교통안전 지원 서비스가 많이 조명된다. 차량이 위험한 상황에 빠지지 않도록 V2V 통신(0.1 sec/communication)을 이용하여 미리 교통안전을 확보하게 한다. C-ITS ‘차량 추돌방지 지원’ 서비스는 기대하지 않은 위험상황이 전방에 발생하여도 후방 차량이 주변 차량들과 V2V 통신으로 해당 상황을 먼저 인식하게 하고 대응할 수 있게 한다.

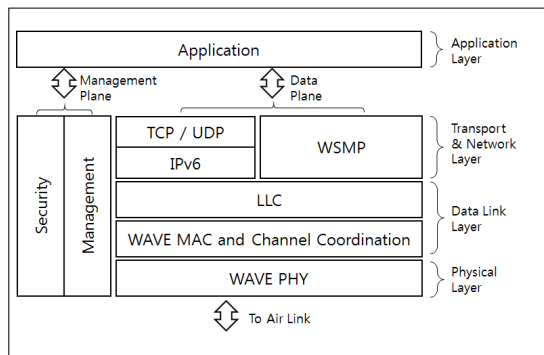
C-ITS 안전서비스는 V2V 통신에 많은 영향을 받는다. V2V 통신의 성공과 실패는 C-ITS 안전서비스의 성공과 실패와 직결된다. V2V 통신은 교통량에 영향을 받을 수도 있다. 교통량이 적어 주변 통신대상 차량 수가 적은 경우 V2V 통신부하는 그리 크지 않아 C-ITS 서비스 구현에 큰 문제가 되지 않는다[1,2].

그러나 도시부 일반도로와 같이 혼잡한 경우 상황은 다를 수 있다. C-ITS 차량 한 대가 동시에 많은 주변차량들과 V2V 통신해야 한다. 항상 통신 성

공이 이루어지지 않을 수 있다. 모든 V2V 통신이 모두 성공할 것이라 단정하기는 어렵다.

### 1. 연구 배경

한 번의 V2V 통신 성공은 C-ITS 단위시간(0.1 초) 내 서로 다른 통신 계층을 거치는 일련의 작업이 모두 성공하는 상황을 의미한다[1-4]. 이들 계층은 (1) 물리 계층, (2) 데이터링크 계층, (3) 네트워크&전송 계층, (4) 어플리케이션 계층을 포함한다 [1, 2].



<Fig. 1> Layer of V2V WAVE communication

지금까지의 C-ITS 실험은 제한된 수의 실험차량으로 통제된 실내실험(Lab test) 또는 실외 테스트베드 환경에서 실행되었다. 통신대상 차량이 적은 상태에서 C-ITS 장비기능 중심으로 실험이 수행되었다. 교통량이 증가하여 혼잡한 경우 통신반경 내 통신대상 차량의 수가 증가하고, 주행차량이 처리하는 V2X 통신량도 증가한다.

많은 차량들이 상호작용하는 일반적인 교통흐름 상황에서 상기 여러 계층에서 처리하는 작업 소요시간이 증가할 수도 있다. 이는 V2V 4개 계층에서 발생할 수 있는 통신 (1) 지연(latency) 또는 (2) 실패(failure) 상황이 발생할 수 있음을 가한다.

이처럼 교통량이 증가하여 혼잡한 경우 정해진 C-ITS 단위시간(0.1 sec) 내 처리하여야 할 통신량을 전량 처리하기가 쉽지 않다. 이는 교통량 혼잡시

V2V 통신 지연 또는 실패가 발생할 확률이 높아지며, 이에 따른 C-ITS 서비스 효율성이 낮아지는 상황이 있을 수 있다.

## 2. 연구 목적

본 연구는 교통량이 많아지는 상황에서 V2V 통신을 구성하는 요소 계층에서 통신 ‘지연’ 또는 ‘실패’로 인한 서비스 구현 ‘실패’가 발생할 수도 있음을 가정하며, 해당 상황에서 C-ITS 안전서비스의 효율성 변화를 진단한다.

이는 단위시간 내 처리하여야 하는 다중 V2V 통신 중 일부가 처리되지 못하여 지연 또는 실패 될 수도 있는 현실적인 여건을 반영한다.

## 3. 연구 범위

본 연구는 ‘차량 추돌방지 지원’ C-ITS 서비스를 연구 범위로 한정한다. 이는 전방 돌발 상황이 발생하면 추돌사고를 피하기 위해 후방차량의 급 감속을 유도하는 C-ITS 서비스이다.

## II. 문헌 및 이론고찰

본 연구에서 고려하는 V2V 통신, C-ITS 차량 추돌방지 지원 서비스, C-ITS 서비스 효과평가 내용에 대한 기존 문헌을 고찰하였다. 단, C-ITS의 개별 단위 서비스에 대해서는 현재까지 구현되어 있지 않으므로, 유사 연구에 대하여 고찰을 수행하였다.

### 1. V2V 통신

V2V는 서로 다른 두 개 차량 간 통신이다. 한 번의 V2V 통신은 내부 계층으로 구분되는 여러 번의 프로세스 작업들로 구성된다[1-4]. 이들 계층은 물리 계층, MAC 계층, 네트워크 계층, 응용 계층으로 구분된다. 또한 물리 계층은 물리 계층 전환기능과 Physical Medium Dependent (PMD) 기능으로 세분화되며, 네트워크 계층은 IP 계층과 Vehicle Multi-hop Protocol (VMP) 계층으로 구분되는 등 단순하지 않

다 [5-9].

Lee(2007) 차량간 통신에서 차량의 높은 이동속도로 인한 네트워크 토폴로지의 빈번한 변화, 도플러 효과(dopler effect)로 인한 전송 실패, 짧은 통신시간으로 인한 신속한 데이터 전달의 중요성을 언급하였다[10].

Kim(2011)은 차량 주행환경에서의 IEEE802.11 b/g 방식과 IEEE802.11p에 따른 V2V/V2I 통신에 대하여 주행속도와 통신부하를 달리하여 발생하는 차이를 비교분석하였다. 실 주행환경 테스트 결과 주행속도와 통신 부하가 높아질수록 지연시간이 높아지는 결과를 확인하였다[11].

MAC 계층은 미디어 접속 방식을 정의하고 접속 및 관리를 위한 프레임을 정의하며 다중 무선 채널 액세스를 제어 및 관리한다. 주변 여러 차량들로부터 접속이 동시에 요청되면 이들을 모두 한 번에 수용하지 못하기 때문에 이 중 일부를 MAC에서 선택 처리한다. 채택되지 못한 V2V 통신으로 인해 통신 지연(latency)이 발생하며, 지연이 반복되어 실패(failure)가 발생할 수 있다[1, 2]. 이러한 통신 ‘지연’ 및 ‘실패’가 임계 허용시간을 초과하는 경우 넓은 의미에서 C-ITS 서비스 실패를 의미한다.

### 2. 차량 추돌방지 지원 서비스

통신기반의 추돌방지 지원서비스의 경우 다양한 형태의 연구가 진행되고 있다. Akasan(2016)은 전방 돌발상황에 대한 Time To Collision(TTC) 기반의 적정 정보 제공 타이밍에 대한 연구를 진행하고 있다 [12]. Jianqiang(2016)은 운전자 동작 변화에 따라 전방 돌발상황에 대한 제어 임계값을 조정하는 알고리즘을 개발 중이다[13]. 이 외에도 Benjamin(2015)은 전방 충돌 경고에 대한 운전자의 인지반응 및 브레이크 작동시간을 연령대 별로 비교분석함으로써 고령 운전자에 적합한 차량 제어형태를 도출하는 연구를 진행하였다[14]. 이와 같이 통신기반의 차량 추돌방지 지원 서비스로 인한 연구는 위험 정

보가 운전자에게 제공 되었을 때 운전자의 행태에 따른 차량의 제어 형태 개선에 초점을 맞춘 연구가 대부분으로서, 네트워크 관점의 영향에 대한 연구는 부족한 것으로 사료된다.

차량 센서 기반의 추돌방지 지원서비스는 민간 차량 제조사들을 중심으로 마련되어 구체적인 기술 문서의 확보가 용이하지 않다. 해당 기술은 민간 제조사의 기술로 일반적으로 공개되지 않는다. 해당 분야 연구는 차량 추돌방지 지원이 필요한 상황을 크게 (1) 안정적인 상태, (2) 불안정한 상태, (3) 위험한 상태 등과 같은 여러 단계로 구분하고, 이들 상황에 맞는 적절한 C-ITS 차량의 대응방법을 마련하는 방식으로 진행되고 있다[15].

차량 자체 센서 기반의 추돌방지 지원 서비스는 주체 차량 전방의 급정거, 사고, 혹은 장애물의 출현과 같은 국소적 범위의 돌발상황만을 인식한다. 반면 C-ITS에 의한 추돌방지 지원 서비스는 통신시스템을 기반으로 더 넓은 범위의 전방에서 발생한 돌발상황을 인지할 수 있다. 이를 바탕으로 돌발상황 발생 지점 도달 이전부터 단계적 차량의 제어가 가능하며 차량 센서 기반의 추돌방지 지원 시스템 보다 높은 안전성을 확보할 수 있는 장점이 있다. C-ITS 국내 도입방안 연구를 통하여 이러한 추돌방지 지원 서비스를 단위 서비스로 규정하고 있다[16].

### 3. C-ITS 서비스 효과평가

현장시험이 불가능한 C-ITS 및 자율주행차량 교통 안전 지원 서비스 효과를 평가하는 방법으로 Jeong(2015)는 Verkehr In Städten Simulationsmodell (VISSIM)과 VISSIM COM Interface를 이용한 모의 실험 분석방법을 제시하였다[17]. 그는 도로를 주행하는 전체 교통량 대비 C-ITS 차량의 비율에 따른 C-ITS 안전증진 효과를 점검하였다. 그는 C-ITS 및 자율주행차량의 비율이 일정수준보다 높지 않으면 C-ITS 안전증진 효과는 미비하다고 제안하였다.

Park(2016)은 C-ITS 서비스 성능평가를 위한 마이

크로 시뮬레이션 플랫폼을 개발하였으며, 개발 배경으로서 교통안전서비스 성능은 V2V 무선 채널 특성, 물리계층 영향을 받고 있음을 언급하고 있다[18].

### 4. 문헌 및 이론고찰 소결

문헌 및 이론 고찰 결과로부터 교통량 부하에 따른 통신 실패 및 그에 따른 네트워크 관점의 영향 분석에 대한 연구가 부족한 것으로 판단된다. 최근 활발하게 진행되고 있는 운전자 행태에 따른 차량 제어 형태 개선 중심의 연구와 더불어 도로 운영자 관점에서 네트워크에 미치는 영향에 대한 연구가 병행될 때 해당 C-ITS 기반 해당 서비스의 다각적 추진 당위성이 확보될 수 있을 것으로 판단된다.

## III. 연구방법

C-ITS는 현재 운영되지 않는 미래기술이다. 일부 개별 차량 실험은 기존 테스트베드 환경을 활용하며 수행할 수 있으나, 실제 도로처럼 높은 교통량 상황 연출이 불가능하다. 본 연구는 이를 극복하기 위해 미시적 교통류 모의실험 전산모형을 활용하는 방법을 수행하였다. 모의실험 환경에서 교통량을 변화하며, 다양한 수준의 V2V 통신 지연·실패 상태를 고려하였다.

### 1. 모의실험 적용 방법

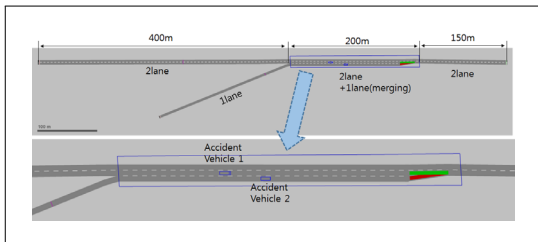
본 연구는 VISSIM 미시적 모의실험 전산모형을 채택하여 활용하였다. 일반적인 VISSIM 상용모형은 C-ITS 모의실험 기능을 포함하지 않는다. 본 연구를 위해 VISSIM COM Application Programming Interface (API)와 Matric Laboratory (MATLAB) 프로그램을 연동하여 (1) C-ITS 차량 추돌방지 지원 서비스 기능을 구현하고 (2) V2V 통신 지연·실패 상황 연출을 구현하였다.

모의실험으로 구현된 C-ITS 안전지원 서비스의 효용성을 평가하는 지표로 ‘잠재상충 발생 건 수’를 선정하였으며, 해당 지표 분석을 위해 미국에서 개

발된 Surrogate Safety Assessment Measure (SSAM) 프로그램을 적용하였다. SSAM은 VISSIM으로 모사된 차량들의 궤적을 기반으로 Time-to-Collision (TTC) 값을 계산하며 잠재상충 발생 건 수 분석을 수행한다. 본 연구에서 사용한 TTC 임계값은 미국 Federal Highway Administration (FHWA)가 제시한 기본 값 (1.5 sec)으로 적용하였다[19, 20].

## 2. 모의실험 기하구조 조건

본 연구에서는 통신 실패 상황 발생비율에 따른 교통영향의 상대적 변화분석을 연구대상으로 한다. 교통조건에 따른 통신 부하의 변화를 바탕으로 연구를 진행하며, 마이크로 시뮬레이션을 통한 모의실험 상의 제약으로 인하여 실제 네트워크와 가상 네트워크의 분석 결과에 차이가 발생 하지 않을 것으로 판단하였다. 따라서 본 연구에서는 아래와 같은 합류부 가상 네트워크를 대상으로 연구를 진행한다.



<Fig. 2> hypothetical network developed for the study

VISSIM 모의실험 분석을 위한 가상의 연속류 도로를 <Fig. 2>와 같이 개발하였다. 주도로의 연장은 총 1,150m이며, 상류로 부터 750m 지점에서 합류하는 부도로가 위치한다. 주도로 제한속도는 80km/h, 부도로 제한속도는 60km/h로 정하였다.

## 3. 모의실험 교통조건

통신부하를 고려한 도로네트워크 영향 분석 수행을 위하여, 통신량에 직접적인 영향을 미치는 교

통량을 다양하게 설정할 필요가 있다. 가상 네트워크의 합류부 이후 진출 교통량을 바탕으로 총 5단계로 구분하였다. 교통량은 미국 HCM에서 제시하는 연속류 도로 서비스 수준을 기준으로 바탕으로 아래와 같이 설정하였다.

- (1) 서비스수준 A ( $\leq 500$  pcphpl),
- (2) 서비스수준 B ( $\leq 800$  pcphpl),
- (3) 서비스수준 C ( $\leq 1,125$  pcphpl),
- (4) 서비스수준 D ( $\leq 1,500$  pcphpl),
- (5) 서비스수준 E ( $\leq 2,000$  pcphpl)

이를 통하여 교통이 원활한 수준부터 혼잡한 수준까지 다양한 교통조건 에서의 V2V 통신 지연·실패 비율에 따른 C-ITS 안전서비스 효용성 변화자료를 수집할 수 있도록 하였다.

모의실험을 위한 가상 네트워크 상에서 충돌 방지 지원 시스템의 발현을 구현하기 위해서는 인위적인 돌발상황의 연출이 필요하였다. 모의실험 시작 600초 이후 합류 고어(Gore)지점 후 400 m 하류지점에서 합류 상충으로 인한 사고를 상정하였다. 합류상충을 일으킨 2대의 차량은 <Fig. 1>에 표시된 지점에서 정지하게 된다. 이를 통하여 차로 용량이 급격히 저하되도록 유도하여 ‘차량 충돌방지 지원 서비스’ 효용성 지표(잠재상충 발생 건 수) 자료 수집이 용이하도록 연출하였다.

## 4. C-ITS 안전서비스 기능 구현

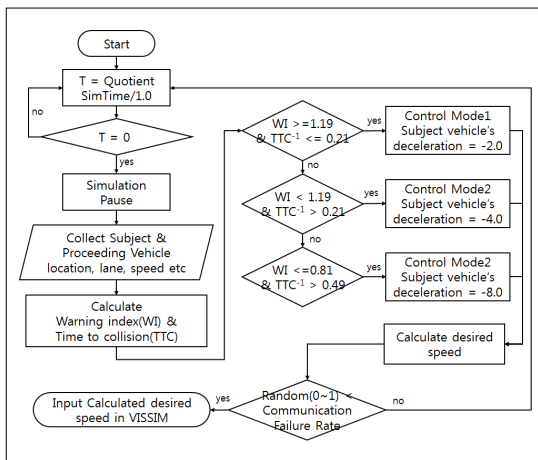
차량 충돌방지 지원 서비스는 통신기능을 바탕으로 전방에 발생한 돌발상황 정보를 후방접근 차량에 전달하는 서비스이다. 돌발상황 발생 지점으로부터 일정 후방 영역 걸쳐 정보제공이 가능한 것이 차량 센서 기반의 전방경보 서비스와의 차이점이라고 할 수 있다.

차량 센서 기반의 전방경보 서비스의 경우 상용 차량에 적용되고 있으며 전방 상황 위험 등급별 차량 감속에 대한 기준이 마련되어 있다. 하지만,

C-ITS의 차량 추돌방지 지원 서비스는 전방 돌발상황의 위험 등급 구분이나, 위험 등급별 차량의 제어 여부 등에 대한 연구가 현재까지도 진행 중이다.

본 연구에서는 차량 추돌방지 지원 서비스를 통하여 운전자에게 전방 돌발상황에 대한 정보가 제공된 이후의 차량의 제어형태가 차량 센서 기반의 전방경보 서비스에서 적용하는 차량의 가감속 기준을 따른다는 가정을 바탕으로 하고 있다.

VISSIM 모의실험 전산모형은 ‘차량 추돌방지 지원 서비스’와 같은 C-ITS 안전서비스를 모사하는 기능을 제공하지 않는다. VISSIM 모의실험 과정에서 C-ITS ‘차량 추돌방지 지원 서비스’가 구현될 수 있도록 VISSIM과 연계되는 모듈을 MATLAB으로 별도 제작하여 활용하였다. 본 연구에 사용된 C-ITS ‘차량 추돌방지 지원 서비스’ 알고리즘의 흐름도는 <Fig. 3>과 같다.



<Fig. 3> Programming flow

C-ITS ‘차량 추돌방지 지원 서비스’를 모의실험 모사하는 방법으로 실제 C-ITS 차량과 동일하게 차량이 처한 위험상황에 따라 차량제어 Control Mode (CM)가 다르게 적용될 수 있도록 하였다. 위험상황에 따라 다르게 적용되는 CM의 구성은 다음과 같다.

- (1) CM 1 : 안정적 주행상태 차량제어 구동
- (2) CM 2 : 전방 차량과의 상호작용 불안정 상태
- (3) CM 3 : 전방 차량과의 상호작용 위험한 상태

모의실험 과정에서 도출되는 Warning Index(WI) 지표와 (2) Inverse Time-To-Collision(TTC<sup>-1</sup>) 지표를 근거로 상기 CM 1, 2, 3 상황을 실시간 구분 적용하도록 하였다. WI와 TTC<sup>-1</sup> 지표 산정 수식은 각각 식(1) 및 식(2)와 같다.

$$WI = \frac{c - d_{br}}{d_w - d_{br}} \quad \dots\dots (1)$$

*c* = Actual vehicle spacing  
*d<sub>br</sub>* = Braking critical distance (m)  
*d<sub>w</sub>* = Warning critical distance (m)

$$TTC^{-1} = \frac{1}{TTC} = \frac{v_s - v_f}{c} \quad \dots\dots\dots (2)$$

*c* = Actual vehicle spacing  
*v<sub>s</sub>* = Speed of vehicle (m)  
*v<sub>f</sub>* = Speed of *ject* vehicle (m)

모의실험과정에서 실시간으로 도출되는 WI 및 TTC<sup>-1</sup> 지표 값을 토대로 <Table 1>과 같이 CM을 구분하였다.

<Table 1> Control Mode

Control Mode	WI	TTC <sup>-1</sup>	Deceleration
CM 1	>1.19	<0.21	-2m/s <sup>2</sup>
CM 2	<=1.19 & >=0.81	>=0.21 & <=0.49	-4m/s <sup>2</sup>
CM 3	<0.81	>0.49	-8m/s <sup>2</sup>

모의실험 C-ITS 차량은 구분된 상황에 맞는 CM의 감속도 값(-2m/s<sup>2</sup>, -4m/s<sup>2</sup>, -8m/s<sup>2</sup>)을 적용하며 차량 추돌방지 지원 서비스를 구현하였다. 통신 기반의 추돌방지 지원시스템을 모사하기 위한 과정에 통신가능 범위를 관심 네트워크 영역 전체로 설정하였다. C-ITS 기반 단위서비스들을 위한 통신 영역에 대한 명확한 기준이 부재하고 모의실험 실험

결과를 보수적으로 해석하기 위해 설정 네트워크 영역 전체를 통신 가능 영역으로 설정하였다.

### 5. V2V 통신실패 상황 반영

V2V 통신 지연·실패 비율에 따른 C-ITS 서비스 효율성 자료를 수집하기 위해 V2V 통신이 모두 성공하는 극단적인 상황(실패율 0%)에서부터 통신이 모두 실패하는(실패율 100%) 극단적인 상황까지 통신 실패 비율을 10%씩 증가하며 모의실험 분석을 수행하였다. 이러한 설정은 네트워크를 통과하는 모든(100%) 차량이 기본 C-ITS 서비스 단말기를 부착하고 있다는 가정을 바탕으로 하고 있다.

모의실험 단계에서 단위 시간별 및 차량별 무작위 난수를 선정하여 V2V 통신 지연·실패 차량을 지정하였다. 예를 들어 V2V 통신실패 비율이 20% 일 경우, 무작위 난수가 0.2 보다 작거나 같게 추출 되면 해당 차량이 일정시간 동안 V2V 통신 실패차량으로 구분되어 C-ITS 안전 서비스 혜택을 받지 못하도록 연출하였다.

통신 실패상황은 통신 부하로 인하여 일시적으로 발생한다. 모의실험 수행을 위한 프로그램은 전방 상황에 따라 후방 추종 차량의 가감속도를 제어하도록 설계되어 있다. 일반 상태 시 추종모형을 적용하여 주행하던 차량은 전방 돌발상황 감지 시 위험 정도에 따라 3개 등급으로 분류된 Control Mode로 전환되며, 각 모드에 사전 정의 되어 있는 감속도를 부여받는다. 모든 차량은 C-ITS 서비스를 제공 받으며 전방 돌발상황이 해제 된 것으로 판단되면 일반 추종모형에 따른 주행으로 복귀한다. 이러한 돌발상황 감지 및 Control Mode 전환여부 판정 알고리즘은 네트워크 안의 모든 차량을 대상으로 1sec 마다 반복된다.

### 6. 모의실험 수행 및 자료 수집

모의실험을 수행하기 위한 시나리오는 크게 교통량 기준으로 5개 케이스, 통신 실패율 기준으로 11개 케이스, 랜덤 시드 별로 5개 케이스로 분류되

며, <Table 2>와 같다.

<Table 2> Simulation Case

Index	Volume (pcphpl)	Communication Failure Rate(%)	Random seed
Case	LOS A : ≤500	0 60	11
	LOS B : ≤800	10 70	12
	LOS C : ≤1125	20 80	13
	LOS D : ≤1500	30 90	14
	LOS E : ≤2000	40 100	15
	50		
Num	5	11	5
Total			275

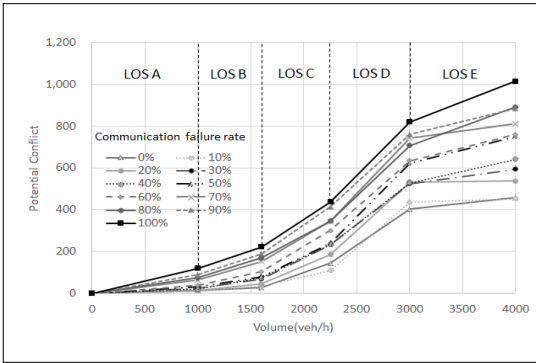
한 번의 모의실험 결과를 도출하는 오류를 피하기 위해 각 시나리오 당 다섯 번의 모의실험을 무작위 난수를 달리하며 수행하였다. 개별 시나리오 별 다섯 번의 모의실험 결과(잠재상충 발생 건 수) 평균 값 10% 내로 표준편차 들어오는 경우 모의실험을 종료하였다. 분석 결과 모든 시나리오별 다섯 번 모의실험으로 충분한 것으로 확인되었다. 본 연구는 상기 연구방법을 적용하여 총 275회 (5×11×5=275) VISSIM 모의실험 분석 및 SSAM 분석을 수행하였다.

## IV. 분석 결과

V2V 통신 지연·실패 비율 별 C-ITS의 안전지원 서비스 효율성을 ‘잠재 상충발생 건 수’를 지표로 평가하였다. ‘잠재 상충발생 건 수’는 VISSIM 과 SSAM 프로그램의 연계적용으로 수집될 수 있는 정량적 자료이다. 분석에서 도출된 ‘잠재상충 발생 건 수’는 (1) ‘추돌상충’과 (2) ‘차로변경에 의한 상충’ 두 가지 종류 상충으로 다시 구분된다. 본 연구에서 대상으로 하고 있는 C-ITS 추돌방지 지원 서비스는 기본적으로 전방에서 발생한 돌발상황에 대한 정보를 후방 접근차량에 제공함으로써 추돌상충의 발생 가능성을 최소화하기 위한 서비스이다. 하지만, 이러한 추돌 위험을 회피하고자 하는 차로변경을 유발시킬 것으로 판단된다. 따라서, 추돌상충과 차로변경 상충 2개 상충 모두에 대한 분석을 수행한다.

### 1. 교통량 조건별 C-ITS 효용성 비교

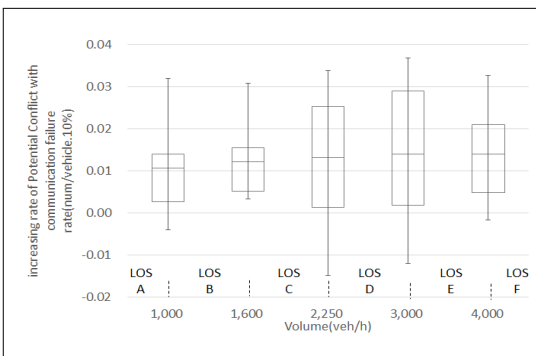
<Fig. 4>는 교통량 조건 변화(수평 축)에 따른 ‘잠재상충 발생 건 수’ 변화 (수직 축)를 제시한다.



<Fig. 4> Potential conflict with Volume

도로 교통량이 증가함에 따라 ‘잠재상충 발생 건 수’가 증가하는 것은 당연하다. <Fig. 4>는 V2V 통신 실패 비율이 증가함에 따라 ‘잠재상충 발생 건 수’ 증가 폭이 큰 것으로 비교되나, 증가된 교통량 대비 상충 증가 폭은 확인할 수 없다.

이를 명확하게 확인하기 위해 ‘단위 통신 실패 비율’ 10% 증가에 따른(0%→10%, 10%→20%, ..., 90%→100%) 상충 발생건수의 증감량을 전체 교통량으로 나누어 교통조건별 평균값을 도출하였다. 이는 차량 1대 당 통신 실패 비율 10% 증가에 따른 잠재 상충발생 건 수’를 의미한다. 분석결과를 <Fig.5>에 제시하였다.



<Fig. 5> Increasing rate of potential conflict with communication failure rate (num/vehicle·10%)

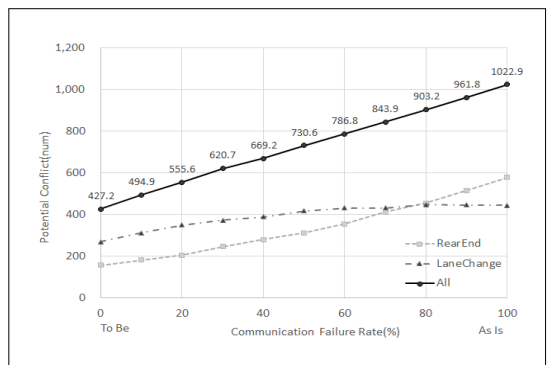
V2V 통신 실패 비율 10% 증가에 따라 변화하는 차량 1대 당 잠재상충 발생 건수를 확인한 결과, 서비스수준 A-B 경계 수준(0.0107) 대비 서비스수준 D-E 경계 수준(0.0139)에서 약 30% 증가하는 것으로 분석되었다. 교통량이 한산한 상황 대비 혼잡한 상황에서 발생하는 통신실패에 비례하여 잠재상충 건 수가 증가하는 현상을 정량적으로 확인할 수 있다.

### 2. 혼잡한 교통류 상태의 V2V 통신실패 영향분석

혼잡한 교통상황에서 교통량이 증가하는 경우 C-ITS V2V 통신 실패 가능성도 증가할 것으로 예상된다. 혼잡 교통류에 대한 하나의 시나리오 상황을 선정하여, 해당 상황에 대한 C-ITS 안전서비스 특성분석을 수행하였다. 분석대상은 교통량이 충분히 많으나 용량보다 적은 상태인 서비스 수준 D로 선정하였다. 서비스 수준 D 상태에서 C-ITS 서비스의 (1) 안전측면 효용성과 (2) 소통측면 효용성을 V2V 통신 실패 상황을 구분하며 해석하였다.

#### 1) C-ITS 안전지원 서비스 부문 영향

고정된 교통량 수준(서비스 수준 D)에서 V2V 통신실패 비율에 따라 변화하는 잠재상충 건수를 비교하였다. <Fig. 6>은 비교 결과를 제시한다.



<Fig. 6> Potential conflict with communication failure rate

V2V 통신 실패 비율이 증가함에 따라 잠재상충 발생 건 수가 비례 증가하는 것으로 분석되었다.

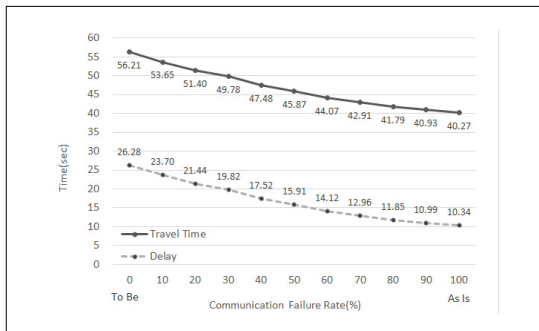


V2V 통신이 모두 성공하는 시나리오의 경우 잠재 상충 발생 건수는 평균 427.2건이다. 극단적으로 V2V 통신이 모두 실패하는 경우 분석된 잠재상충 발생 건수는 평균 1,022.9건이다. 이는 현재와 같이 C-ITS 서비스가 없는 경우에 해당한다. 즉 교통량이 증가함에 따라 상충발생 가능성이 약 139% 수준 증가하는 것으로 해석된다.

잠재상충 중 ‘추돌 상충’의 경우 V2V 통신 실패 비율이 증가함에 따라 상충발생 건수가 지속 증가하는 것으로 분석되었다(<Fig. 6> 참조). 그러나 이와 반대로 ‘차로변경 상충’의 경우 V2V 통신 실패 비율이 60% 이후 증감 추세가 급격하게 둔화되어 80% 이후 부터는 상충발생 건수가 오히려 감소하는 것으로 분석되었다. 이러한 원인은 C-ITS 서비스가 제공되지 않는 현재 상황, 즉 통신실패율 100% 일 때 LOS D 수준의 교통조건에서 나타나는 차로변경의 기회가 통신실패율 감소와 더불어 줄어드는 것으로 해석이 가능하다. 이러한 원인은 추돌 방지 지원 서비스의 수혜 차량이 많아질 수록 돌발상황에 대한 사전 감속 행태를 수행을 위하여 차로변경 기회가 줄어드는 것으로 판단된다.

2) C-ITS 소통증진 서비스 부문 영향

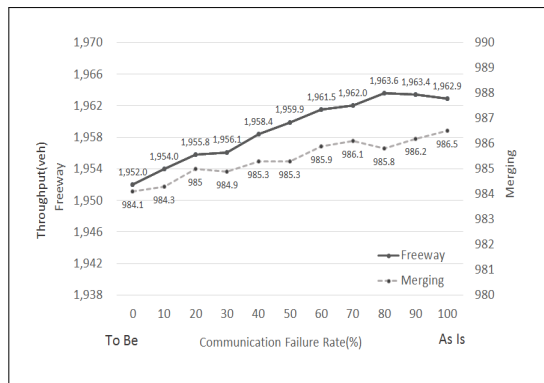
고정된 교통량 수준(서비스 수준 D)에서 V2V 통신 실패 비율에 따라 변화하는 소통(mobility) 영향을 분석하였다. 해당 분석을 위한 지표로 (1) ‘네트워크 통행시간’ 및 ‘네트워크 지체시간’과 (2) ‘네트워크 통과교통량’을 선정하였다. <Fig. 7>과 <Fig. 8>은 이들 지표별 분석결과를 제시한다.



<Fig. 7> Travel Time and Delay

고정된 교통량 수준(서비스 수준 D)에서 V2V 통신 실패 비율이 증가하면 오히려 네트워크 통행시간 및 네트워크 지체가 감소하여 소통(mobility) 수준이 증가하는 것으로 분석되었다. 극단적으로 V2V 통신이 모두 실패하는 경우(C-ITS 적용되지 않는 현재상황과 동일)에 비하여 V2V 통신이 모두 성공하는 이상적인 경우 네트워크 통행시간은 오히려 40% 증가하며, 지체시간도 154% 증가하는 것으로 분석되었다. 상기 네트워크 통행시간 및 네트워크 지체도는 네트워크를 통과하는 전체 (본선 및 합류램프 포함) 차량의 차량 당 평균 통행시간과 평균 지체도를 사용하였다.

통신 실패율 증가에 따른 소통 수준의 증가 원인으로, C-ITS 서비스를 제공받지 못할 경우 전방 돌발상황에 대한 사전 감속 행태가 이루어지지 않아 기존 주행행태를 바탕으로 한 차두간격을 유지하는 것을 고려할 수 있다. C-ITS 서비스를 제공받는 경우에는 돌발상황 발생지점으로 부터 전방 차량들의 감속 행태가 후방까지 연쇄적으로 전달됨으로 인한 전반적인 통행시간의 감소가 발생한다. 감속으로 인한 다소의 통행시간을 포기하는 행태가 상기 상충 분석 결과에서 확인할 수 있듯 상충발생 가능성을 낮추는 결과를 가져오는 것으로 해석된다.



<Fig. 8> Comparison of throughput with V2V failure rate

<Fig. 8>은 통신 실패율에 따른 네트워크를 진입하여 진출하는 통과교통량을 본선과 합류부로 분리하여 나타내고 있다. 상기 결과와 유사하게 V2V 통신 실패 비율이 증가할수록 오히려 통과교통량(throughput)이 증가하는 경향을 발견하였다.

상기 결과들을 바탕으로 통신 실패율 증가에 따른 상충 발생 가능성의 상대적 증대 및 통행시간과 지체도의 감소, 통과교통량의 증대와 같은 효과가 확인되었다. 이러한 결과를 안전성(Safety) 감소, 이동성(Mobility) 증대까지 해석하기는 어렵지만 교통안전과 교통소통이 서로 상반되는 형태로 존재한다는 교통공학의 기본내용에 부합하며, C-ITS도 결국 교통공학의 기초이론을 따르고 있음을 알 수 있다.

## V. 결론

V2V 차량 간 통신을 기반으로 하는 C-ITS 서비스는 안전성 측면에서 획기적인 개선효과를 기대할 수 있음을 확인하였다. 그러나 교통량이 증가하여 혼잡한 경우 V2V 통신 대상 차량이 집중되어 V2V 통신 부하로 인한 통신 지연 및 실패 가능성이 존재한다.

본 연구를 통해 교통안전측면에서 통신실패율 10% 증가에 따라 잠재상충 발생 건수가 14% 증가할 수도 있음을 알게 한다. 특히 교통량이 집중되는 혼잡 상황에서 V2V 통신 실패율을 낮출 수 있는 방안에 대한 연구가 필요함을 인식하게 한다.

본 연구에서는 다양하게 전개될 C-ITS 서비스 중 일부인 추돌방지 지원 서비스를 분석대상으로 하고 있다. 전방에서 발생한 돌발상황에 대한 정보가 전달된 이후의 차량의 반응 행태에 대해서는 차량 자체 센서 기반의 추돌 경보시스템에서 적용하고 있는 가감속 행태를 따른다는 가정을 적용하고 있다. 또한 통신 실패 상황에 대하여 실패로 판정된 차량에 대해서는 가상 네트워크를 통과하는 시간동안 서비스를 제공받지 못하는 상황을 가정하고 있다.

향후 C-ITS 추돌방지 지원 서비스에 대한 연구가 진행됨에 따라 본 연구에서 적용한 일부 가정들을 명확한 서비스 내용을 바탕으로 수정하여 교통영향 분석을 수행할 필요가 있다. 또한, 추돌방지 지원 서비스 뿐만 아니라 다른 C-ITS 단위 서비스에 대한 영향 분석도 필요할 것으로 사료된다.

본 연구를 통해 도출된 결과로 지금까지 개별 시험차량을 중심으로 하는 장비개발을 중심으로 연구하는 패턴으로부터 탈피하여 교통공학 측면에서 C-ITS 효과에 대한 추가적인 연구가 필요함을 알게 한다. C-ITS 기술이 안전성과 효율성 모두를 만족할 것이라는 지금까지의 기대가 틀릴 수도 있기에 해당 분야에 대한 심도 있는 기초연구를 향후 연구로 제안한다.

## Acknowledgement

This research was supported by a grant(15CPAP-C098206-01) from Infrastructure and transportation technology promotion research Program funded by Ministry of Land Infrastructure and Transport of Korean government.

## REFERENCES

- [1] Choi K. J., Kim J. K. and Park S. K.(2014), "Performance Evaluation of IEEE 802.11 p Based WAVE Communication Systems at MAC Layer," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 25, no. 5, pp.526-531.
- [2] Uzcategui R. and Acosta-Marum G.(2009), "Wave : A tutorial. Communications Magazine," *IEEE*, vol. 47, no. 5, pp.126-133.
- [3] Jiang D. and Delgrossi L.(2008). "IEEE 802.11 p : Towards an international standard for wireless access in vehicular environments. In Vehicular Technology Conference," 2008. VTC Spring 2008, *IEEE*, pp.2036-2040.

- [4] Kumar R.(2011), "Performance evaluation of 802.11p VANETs with different duty cycles".
- [5] Park C. K., Ryu M. W. and Cho K. H.(2012), "Survey of mac protocols for vehicular ad hoc networks," *SmartCR*, vol. 2, no. 4, pp.286-295.
- [6] 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, [http : //www.ieee802.org](http://www.ieee802.org), 2016.4.26.
- [7] Oh J. M. and Mun C.(2016), "Analysis and Modeling of IEEE 802.11p Wireless Channel Characteristics in Domestic Radio Propagation Environments," *Journal of KIIT*, vol. 14, no. 2, p.46.
- [8] Sen I. and Matolak D. W.(2008), "Vehicle-vehicle channel models for the 5-GHz band," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 9, no. 2, pp.235-245.
- [9] Acosta G. and Ann M.(2007), "Six time and frequency selective empirical channel models for vehicular wireless lans," *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 2, no. 4, pp.4-11.
- [10] Lee W. S.(2007), "Pathless Multihop Packet Forwarding Protocol for Inter-vehicular Communication," *Korea Information Science Society Journal*, vol. 34, no. 5, pp.328-339.
- [11] Kim S. C.(2011), "An Evaluation of the Performance of Wireless Network in Vehicle Communication Environment," *The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences*, vol. 36, np. 10, pp.816-822.
- [12] Aksan N., Sager L., Hacker S., Marini R. et al.(2016), "Forward Collision Warning : Clues to Optimal Timing of Advisory Warnings," *SAE Int. J. Trans. Safety*, vol. 4, no. 1, pp.107-112.
- [13] Jianqiang W., Chenfei Y., Shengbo E. L. and Likun W.(2016), "A Forward Collision Warning Algorithm With Adaptation to Driver Behaviors," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 17, Issue 4, pp.1157-1167.
- [14] Benjamin D. L., Lauren N. S., Jeffrey D., Sarah D. H., Nazan A., Matthew R. and Satoshi K.(2015), "PILOT RESULTS ON FORWARD COLLISION WARNING SYSTEM EFFECTIVENESS IN OLDER DRIVERS," *Proc Int Driv Symp Hum Factors Driv Assess Train Veh Des*, vol. 015, pp.345 - 351.
- [15] Moon S., Moon I. and Yi K.(2009), "Design, tuning and evaluation of a full-range adaptive cruise control systems with collision avoidance," *Control Engineering Practice*, vol. 17, Issue 4, pp.442-455.
- [16] The Korea Transportation Institute, Technical trend survey and Introduction of C-ITS, 2013.10
- [17] Jeong, E. B.(2015), "Methodology for Designing Traffic Information and Control Systems based on Vehicle Cooperations Dept. of Transportation Engineering," *The Graduate School of Hanyang University*, pp.61-79.
- [18] Park J. H. Choi J. Y. and Mun C.(2016), "Microscopic Traffic Simulation Platform Considering Physical Layer for C-ITS Services," *The Korean Institute of ITS Conference*, vol. 2016, no. 04, pp.45-48.
- [19] Sayed T., Brown G. and Navis F.(1994), "Simulation of Traffic Conflicts at Unsignalized Intersections with TSC-Sim," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 26, no. 5, pp.593-607.
- [20] Hayward J. C.(1972), "Near-Miss Determination Through Use of a Scale of Danger," *Highway Research Board Report No. HRR 384*, pp.24-35.

저자소개



김 준 용(Kim, Jun-Young)  
2013년 6월~현재 : 한국교통대학교 교통계획/교통시스템공학과 박사과정  
2007년 4월~2013년 5월 : (주)제일엔지니어링종합건축사사무소  
2005년 4월~2007년 3월 : 埼玉大学 理工学研究科 석사  
2001년 4월~2005년 3월 : 埼玉大学 建設工学 학사  
e-mail : toshilow@hanmail.net



김 진 태 (Kim, Jin-Tae)  
2012년 9월~현재 : 한국교통대학교 교통시스템공학과 교수  
2007년 10월~2012년 8월 : 연세대학교 도시공학과 연구교수  
2005년 7월~2007년 9월 : 서울지방경찰청 교통개선기획실 실장  
2004년 3월~2005년 5월 : 한국교통연구원 책임연구원  
1997년 9월~2001년 12월 : University of Florida 박사  
e-mail : jtkim@ut.ac.kr