

차량간 정보전파의 연쇄추돌 교통사고에 대한 효과

장현호* · 윤병조** · 정소연***

Chang, Hyun-ho*, Yoon, Byoung-jo**, Jeong, So-Yeon***

Effects of Inter-Vehicle Information Propagation on Chain Collision Accidents

ABSTRACT

One of most shocking headlines is a serious chain collision accident (CCA). The development of CCA has a temporal and spatial locality, and the information of the CCA is time-critical. Due to these characteristics of CCA, traffic accident information should be rapidly propagated to drivers in order to reduce chain collisions, right after the first accident occurs. Inter-vehicle communication (IVC) based on ad-hoc communication is one of promising alternatives for locally urgent information propagation. Despite this potential of IVC, research for the effects of IVC on the reduction of CCA has not been reported so far. Therefore, this study develops the parallel platform of microscopic vehicle and IVC communication simulators and then analyses the effects of IVC on the reduction of the second collision related to a series of vehicles. To demonstrate the potential of the IVC-based propagation of urgent traffic accident information for the reduction of CCA, the reduction of approaching-vehicle speed, the propagation speed of accident information, and then the reduction of CCA were analysed, respectively, according to scenarios of combination of market rates and traffic volumes. The analysis results showed that CCA can be effectively reduced to 40~60% and 80~82% at the penetration rates of 10% and 50%, respectively.

Key words : ITS, Inter-vehicle communication, Simulation platform, Safety speed control, Chain collision accident

초 록

충격적인 헤드라인 중 하나는 심각한 연쇄추돌 교통사고(chain collision accident, CCA)이다. CCA의 진행과정은 시공간적으로 국부성을 가지며, 그 정보는 시간 임계적(time-critical)이다. 따라서 연쇄추돌을 감소시키기 위해서는 1차 사고 발생 직후 교통사고 정보를 운전자에게 신속하게 전파시켜야 한다. 국부적 긴급 정보전파의 유력한 대안 중 하나는 Ad hoc 통신에 기반을 둔 차량 간 통신(Inter-Vehicle Communication, IVC)이다. 이러한 IVC의 잠재력에도 불구하고, CCA 감소에 대한 IVC의 효과에 대한 연구는 현재까지 보고되지 않고 있다. 따라서 본 연구는 미시적 차량 시뮬레이터와 IVC 시뮬레이터가 결합된 병렬 플랫폼을 개발하고, 이를 이용하여 CCA 감소에 대한 IVC의 효과를 분석하였다. CCA를 감소시키기 위한 IVC기반 긴급 교통사고정보 전파의 가능성을 증명하기 위하여, IVC 장치의 시장 점유율과 교통량 시나리오에 따른 차량의 접근속도 감소, 사고정보의 전파속도, 그리고 CCA의 감소를 분석하였다. 분석결과, IVC 장치의 시장 점유율 10%와 50%에서 CCA는 40~60% 그리고 80~82%로 각각 감소될 수 있는 것으로 나타났다.

검색어 : 지능형교통체계, 차량 간 통신, 모의실험 플랫폼, 안전속도제어, 연쇄추돌 교통사고

* 서울대학교 BK조교수, 공학박사 (Seoul National University · netterk@hanmail.net)

** 정회원 · 교신저자 · 인천대학교 도시과학대학 도시공학과 교수, 공학박사

(Corresponding Author · Incheon National University · bjyoon63@inu.ac.kr)

*** 정회원 · 인천대학교 대학원 도시융 · 복합학과 박사과정 (Incheon National University · jsy2000@inu.ac.kr)

Received February 12, 2018/ revised March 3, 2018/ accepted March 9, 2018

1. 서론

고속도로 교통사고의 특징 중 하나는 연쇄추돌 교통사고(chain collision accident, CCA)이다. CCA의 사고원인은 다음의 예와 같이 짙은 안개, 강설, 강우 등이며, 추돌대수는 20~100대에 달한다. 예) ①20중 추돌(서해안고속도로 춘장대 나들목 인근, 강설 6cm, 2017년 12월), ②106중 추돌(인천대교, 가시거리 10m, 2015년 2월), ③21중 추돌(서해안고속도로 상행선 264km, 가시거리 10m, 2008년 10월), ④41중 추돌(서해대교, 가시거리 40m, 2006년 10월). CCA의 영향은 도로교통시스템 측면에서 도로망 전반에 걸쳐 장시간으로 지속되며, 사회경제적 측면에서 인적·물적 피해는 일반적인 교통사고에 비하여 매우 크다. 이러한 부(-) 편익의 영향에도 불구하고, 교통류 제어의 측면에서 CCA를 효과적으로 방지/감소시킬 수 있는 유력한 대안은 제시되지 않고 있는 실정이다.

CCA는 짧은 시간동안 국부적 지점에서 발생하는 특징을 가진다. 그리고 CCA를 방지/감소시키기 위한 사고정보의 전파는 시간 임계적(time-critical)이다. 이러한 CCA의 사·공간적 전개 과정과 시간 임계적인 정보전파의 필요성 때문에, 고정지점 검지체계 및 폐쇄회로카메라 등에 기반하여 사고정보를 수집한 후, 교통정보 전달매체로 사고정보를 전파하는 현행의 지능형교통체계(intelligent transport systems, ITS) 기술은 CCA의 방지/감소에 적합하지 않다. 따라서 CCA를 방지/감소시키기 위해서는 국부적으로 발생하는 1차 사고정보를 즉시 수집하고, 수집된 사고정보를 긴급하게 전파시킬 수 있는 방안이 필요하다.

ITS는 21세기의 5G 기술과 융합된 차세대 ITS (next generation ITS, NGITS)로 진화하고 있다. NGITS는 MANET (Mobile Ad hoc Network)과 같은 차세대 통신을 기반으로 하며, MANET의 하위 분야인 차량간 통신(inter-vehicle communication, IVC)은 다양한 교통정보의 실시간 교환을 가능하게 한다. 이와 같이 IVC는 현행 ITS의 고정지점 정보수집 및 정보전파의 한계를 극복할 수 있는 유력한 대안 중의 하나이다. 따라서 본 연구는 교통류 측면에서 CCA와 긴급 교통사고 정보전파를 구현하기 위하여 차량 시뮬레이션과 차량간 통신 시뮬레이션을 병렬로 연결한 시뮬레이션 프레임워크를 개발하고, 개발된 방법론을 이용하여 차량간 긴급 교통사고 정보전파를 실험적으로 해석함으로써 CCA 감소 효과를 다각적으로 분석하고자 한다.

2. 기존 연구

위치기반과 무선통신 기술은 위치에 대한 상대적 또는 절대적인 정보를 제공하는 고정된 노드들이 존재하지만, Ad hoc 통신망은 고정된 인프라 없이 이동노드(mobile node)로 구성된 이동노드간

통신을 수행한다. 따라서 Ad hoc 통신은 통신 인프라가 구축되지 않은 환경(e.g., 전장, 비행기, 선박 등)에서 이동노드 즉, 이동 단말간 통신을 수행한다(Blum et al., 2004). Ad hoc 통신망은 이동노드를 기반으로 임시적으로 구성된다. 따라서 시간의 흐름에 따라 이동노드의 위치가 변하면서 통신망의 위상(topology)이 변화하는 차량간 통신망에 적합하다. Fig. 1은 이동 차량을 기반으로 구성된 Ad hoc 통신망을 개념적으로 보여주고 있다.

Ad hoc 통신망을 구성하기 위한 인접한 노드 간의 연결 링크 즉, 차량 간의 연결은 통신반경에 의해 결정되며, 정보는 Fig. 2와 같이 이동노드 간의 릴레이 방식으로 전달된다. 통신반경과 차량의 위치에 따라 노드는 은닉 노드(hidden node)와 노출 노드(exposed node)로 구성되며, 이러한 노드 간의 통신은 RTS/CTS 교환규칙(request-to-send/clear-to-send handshaking rule)에 의해 수행된다(Blum et al., 2004).

통신 분야에서 IVC는 MANET의 하위 분야이다. Blum et al.(2004)은 기존의 MANET과 달리 IVC 망은 차량의 높은 속도와 운전자의 주행행태 변화로 인한 급격한 위상 변화와 통신망 붕괴의 문제를 지적하였다. Goel et al.(2004)은 ad hoc 망의 특성과 이를 이용한 정보전파의 가능성을 실험하였다. 차량 모의실험기와 Cell (2km×2km) 방식의 IVC 라우팅 기법을 이용한 실험결과, IVC 장비의 시장 점유율(penetration rate, PR, 0.0~1.0)이 0.3이고 통신범위가 100m 이상일 경우 충분히 넓은 지역에 교통 혼잡정보를 전파시킬 수 있음을 보였다. Leung et al.(2006)은 차량 모의실험기와 Cell (2km×2km) 방식의 IVC 라우팅 기법을 이용하여 혼잡상황 정보전파를 실험하였으며, IVC의 적용 가능성을 보였다. Kim et al.(2008a, b)은 차량 모의실험기와 IVC 통신을 이용하여 전방에서 수집된 교통정보를 전달받고, 다시 추중 차량에게 전달하는 방식으로 구간통행시간 정보를 실시간으로 수집/전파하는 모의실

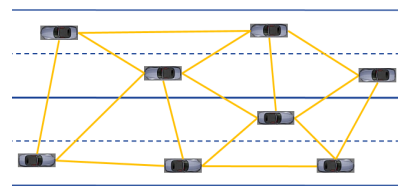


Fig. 1. Vehicular Ad hoc Communication Network

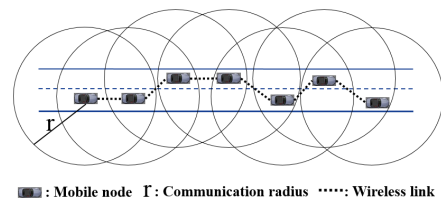


Fig. 2. Vehicle-based Indexing Technique

험 프레임워크를 개발하고, 그 가능성을 증명하였다. 또한, PR 0.1인 경우, 교통정보를 150~200초 동안에 8 km까지 전파할 수 있음을 보였다. Jung et al.(2011)은 차량 급정지 상태에서 IVC기반 정보전파의 효과를 차량의 감속도로 분석하였으며, IVC 장비가 탑재된 차량의 CCA 가능성은 매우 낮음을 확인하였다. Jeong et al.(2012)은 V2X (vehicle to vehicle and infrastructure) 환경에서 차량의 미시적 주행 상태를 고려한 위험 운전 이벤트를 감지/분석하는 모니터링 기법을 개발하였으며, V2X 통신환경은 실시간 안전운전 모니터링에 적용할 수 있음을 보였다. Park et al.(2016)은 (모의실험을 통해) 통신가능 범위의 증가는 교통류의 흐름에 효율적이지 않으며, 낮은 통신장비의 점유율에서도 V2X 환경의 효과를 달성할 수 있음을 보였다.

기존연구의 고찰 결과, V2X 통신환경의 개발 및 개발된 V2X 통신환경을 실시간 교통류에 활용(e.g., 통행시간, 교통혼잡, 교통사고 발생 가능성 등)하기 위한 연구가 주로 수행되었으며, 그 적용 가능성을 제시하였다. 이러한 연구 성과에도 불구하고, 본 연구에서 다루고자하는 CCA 감소와 같은 핵심적인 연구와 그 효과를 제시하지는 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 (현행 고속도로 교통류 관리 시스템(freeway traffic management system, FTMS)의 고정 지점 정보수집 체계에서 불가능한) 시·공간적으로 국부적인 교통사고 정보를 교통사고 발생과 동시에 수집하고, IVC를 이용하여 긴급 전파함으로써 CCA 감소효과를 분석하였다. CCA 감소효과를 분석하기 위하여 미시적 차량 모의실험기와 IVC 모의실험기를 결합한 병렬 모의실험 프레임워크를 개발/활용하였으며, CCA의 감소효과는 a)사고정보의 전파속도, b)교통류 속도의 변화, 그리고 c)연쇄추돌 대수를 이용하여 분석하였다.

3. 방법론

3.1 모의실험 프레임워크

본 연구는 미시적 차량 시뮬레이션과 IVC 시뮬레이션을 결합하여 Fig. 3과 같은 병렬 모의실험 프레임워크를 개발하고, 수집된 1차 교통사고 정보를 상류부의 잠재적 추돌가능 차량에게 IVC를 기반으로 긴급 전파시킴으로써 CCA의 감소효과를 평가하였다.

현재까지 교통류의 미시적 행태를 구현하면서 CCA를 현실적으로 구현하는 시뮬레이터는 보고되고 있지 않다. 따라서 API(application program interface)를 이용해 차량의 미시적 행태를 효과적으로 제어할 수 있는 Paramics 시뮬레이터를 이용하여 교통사고를 인위적으로 모사하였다. 모의실험 프레임워크는 Fig. 3과 같이 차량을 모의실험 하는 Paramics 시뮬레이터, 차량간 IVC를 수행하는 통신시뮬레이터, 그리고 두 시뮬레이터를 연결하는 Interface 모듈로 구성된다.

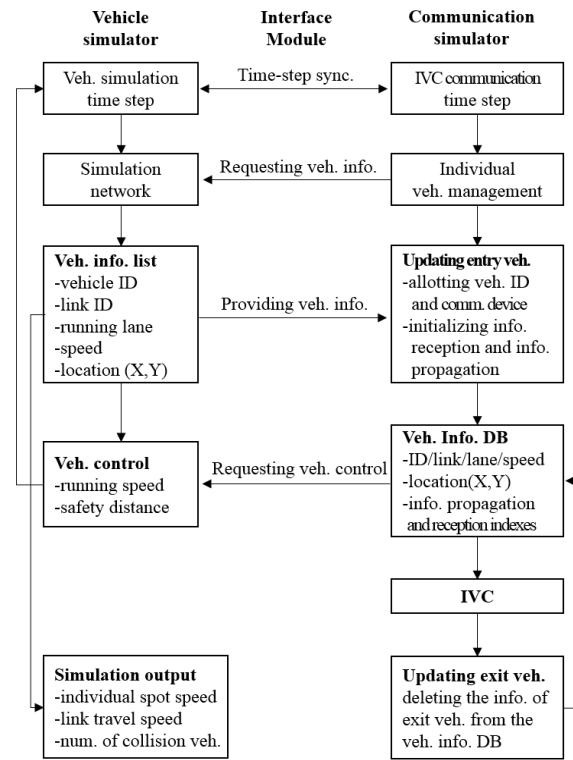


Fig. 3. Simulation Framework

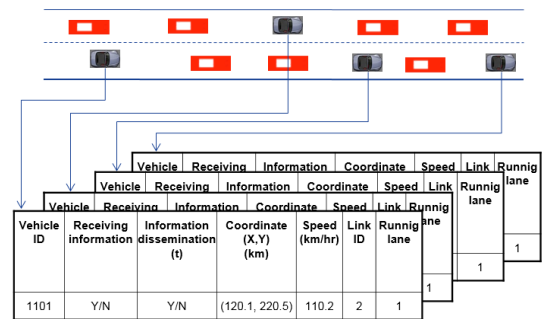


Fig. 4. Information list of Vehicle

Interface 모듈은 통신 시뮬레이터에서 요청된 Paramics 시뮬레이터의 개별차량의 정보를 통신 시뮬레이터에 전달한다. 전달된 개별차량 정보는 Fig. 4와 같으며, 통신 시뮬레이터에서 관리하게 된다. Paramics 시뮬레이터의 시뮬레이션 시간간격(time step)마다 제공되는 정보는 개별차량의 ID, 주행 중인 Link ID, 주행 중인 차로와 속도이다. 통신 시뮬레이터에서는 차량 시뮬레이터에서 매 시간간격마다 제공되는 개별차량 정보와 더불어 IVC를 수행하기 위한 세부정보(정보단말기의 장착여부, 통신 시뮬레이터의 시간간격별 정보제공 및 정보수신 여부)를 관리하게 된다.

IVC를 수행하기 위한 1회 통신시간인 레턴시(latency, ms)는 일반적으로 차량 시뮬레이터의 시간간격(sec)인 0.5나 1.0 보다

작으며, 0.1초는 되어야 한다(Kim et al., 2008). 따라서 차량 시뮬레이션의 시간간격 마다 통신 시뮬레이터는 여러 번의 통신 시뮬레이션을 수행하게 된다. 이러한 IVC시뮬레이션의 반복과정은 Fig. 3에서 통신 시뮬레이션 모듈의 중-하위 단계(차량정보 DB-IVC-진출차량 갱신)에서 수행된다.

Fig. 3의 모의실험 프레임워크에서 두 시뮬레이션은 병렬적으로 수행됨으로, 두 시뮬레이션의 시간간격 간에 시간 동기화가 필요하다. 1회 IVC 수행을 위한 통신주기는 차량 시뮬레이터의 시간간격보다 작음으로 차량 시뮬레이션 시간간격 마다 IVC는 여러 번의 통신 즉, 정보전달을 수행한다. 두 모의실험의 시간 동기화 조건은 다음과 같다. 차량 시뮬레이션 1회 시간간격(VTS, sec) 당 IVC 시뮬레이션 시간간격(CTS, ms)은 N 번($=VTS/CTS$) 수행하게 되며, VTS는 CTS의 정수배이다.

3.2 차량간 통신 시뮬레이션

다음의 구성요소를 기반으로 교통류에 적합도록 simple 하지만 수행속도가 빠른 IVC 모의실험기를 개발하였다. IVC 모의실험기의 구성요소는 무선통신 범위, 은닉과 노출 노드규칙, 노드간 통신 충돌을 방지하기 위한 RTS/CTS 교환규칙, 메시지 타입, IVC 1회 소요시간인 latency time (ms)이다. IVC 모의실험의 pseudo code는 다음과 같으며, 모든 통신 시뮬레이션 시간간격에 대해 긴급 교통사고 정보전파가 필요한 x -km 반경 내에 존재하는 IVC 통신장비를 탑재한 모든 차량에 대하여 수행된다. 정보전파의 영역을 한정하는 이유는 교통사고 전파로 인한 불필요한 교통혼잡의 발생을 방지함으로써 교통류 상태를 보다 현실적으로 모사하기 위한 것이다. 참고로, 본 연구는 IVC의 CCA 감소에 대한 다각적인 영향분석에 그 목적이 있으므로 IVC 모의실험에 대한 상세한 설명은 생략한다(참고: Blum et al., 2004; Martinez et al., 2009).

```

For all simulation time steps{
  For all vehicles equipped with IVC equipment within
  the target space ( $x$ -km radius){
    Step1: Building a list of vehicles within radio range
    Step2: Building hidden and exposed node list and node
    list (RTS/CTS rule is only used in the case of
    the same frequency band)
    Step3: Transferring accident message by RTS/ CTS
    handshaking rule
    Step4: If sum (latency time) = vehicle simulation time
    step then go to the next vehicle simulation step
  }
}
    
```

3.3 개별차량 안전속도 제어

전방에 발생한 교통사고정보를 수신한 차량은 타 차량에 비하여 주의 깊게 안전운전을 수행하는 것으로 가정한다. 안전운전은 전방의 1차 교통사고를 인지하고 안정적인 감속과정을 통해 2차 추돌을 방지할 수 있는 수준의 안전속도를 준수한다고 가정한다. 이러한 IVC 장비 탑재차량의 안전속도 준수는 교통류의 속도를 제어하게 되며, 급제동 없이 CCA를 감소시키게 된다. 사실상 Jung et al.(2011)에서 적용한 운전자 반응시간 1.5초와 감속도 $8.5m/s^2$ 에 달하는 급제동에 의한 충돌방지는 IVC 장비 탑재 차량에 대하여 한정지을 수 있으며, 이후 후속 차량의 충돌을 방지할 수는 없다. 본 연구의 경우, 안전 정지거리의 적용에 있어 인자-반응시간은 AASHTO에서 제시한 2.5초를 적용하였으며, 제동거리는 Eq. (1) 과 같이 NCHRP (Report 400, 1997)에서 제시한 안전 정지거리(d , m) 모형을 적용하였다.

$$d = 2.5 \times u + 0.039 \times (3.6)^2 \times \frac{u^2}{a} \quad (1)$$

여기서, u : 주행속도(m/s), a : 감속도($3.4m/s$)이다.

안전 정지거리는 선행차량의 급격한 정지 상태로의 전환을 가정 하며, 일반적인 차량의 주행상태에서는 발생하지 않는다. 즉, 낙하 물, 1차 교통사고 등 CCA의 원인이 되는 비정상적 경우에 교통사고 를 방지하기 위한 최소의 조건이다. 본 연구의 목표는 IVC를 이용한 사고정보 전파를 통해 안전운행속도로 교통류의 속도를 제어함으로써 CCA의 감소효과를 분석하는데 있다. 따라서 교통사고 정보를 수신한 차량의 속도는 안전 정지거리를 이용하여 다음과 같이 제어된다.

```

If speed(t)의 안전 정지거리 > 차간거리 then
  speed(t+1) = speed(t) - a
Else
  car-following 모형에 의해 가/감속
    
```

4. 모의실험 및 분석결과

4.1 실험설계

본 연구는 IVC기반의 긴급 교통사고정보 전파를 이용한 CCA의 감소효과를 모의실험을 통해 분석하고자 한다. 따라서 통신과 교통 환경에 대한 시나리오를 설정하고, 시나리오에 따른 CCA 감소효과, 교통류 속도제어 효과, 그리고 IVC기반 긴급 교통사고 정보전파의 속도 및 한계를 분석하고자 한다.

차량 모의실험을 위한 도로망은 IVC의 효과를 충분히 분석하기

위하여 (일방향 2차로로 구성되는) 양방향 고속도로 20km 구간으로 설정하였다. 교통량(승용차/시/차로)은 500, 1000, 2,000으로, 그리고 IVC장비의 PR은 0.0~0.5(+△=0.1)로 각각 설정하였다. 따라서 총 분석 시나리오는 18(=3×6)개로 구성된다.

모의실험 수행시간은 3,600초로 설정하였으며, CCA는 모의실험 시작 1,800초 후 설정 도로망의 10km지점에서 차량을 1초만에 인위적으로 긴급하게 정지시킴으로서 1차 교통사고가 발생하도록 하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 연쇄추돌 대수는 20~100로 큰 변동을 보인다. 이를 고려하여 연쇄추돌 차량대수는 사례 CCA의 중간 값인 60대(2차로×30대)로 설정하였다.

차량의 자유속도는 100kph로 설정하였으며, IVC장비를 탑재하고 사고정보를 수신한 차량은 Eq. (1)의 안전 정지거리를 확보하기 위하여 지속적으로 가/감속을 수행하게 하였다. 또한 도로교통법은 악천우 시 최고제한속도의 20~50%로 주행하도록 규정하고 있다. 이를 반영하여 안전 정지거리 내에 정지하기 위한 안전운행속도는 설정된 자유교통류 속도 100kph의 50%인 50kph로 설정하였다. 통신환경은 0.1초당 1회의 차량간 통신을 수행하고(Kim et al., 2008b), 통신반경은 300m, 사고정보 전파의 공간적 거리는 10km, 그리고 통신성공 확률(MOLIT, 2008)은 Table 1과 같이 설정하였다. 차량 모의실험과 IVC 모의실험을 결합한 병렬 시뮬레이션은 Paramics API을 이용하여 구현하였으며, 차량 연쇄추돌의 구현과정은 Fig. 5와 같다.

4.2 분석결과

Table 2와 Fig. 6은 교통량과 IVC 장비의 PR에 따른 연쇄추돌 차량대수의 변화를 보여주고 있다. Fig. 6에서 PR의 증가에 따라 연쇄추돌 차량대수는 기하급수적으로(exponentially) 감소하고 있다. 즉, IVC 장비의 PR이 0.2가 될 때까지 급격히 감소한 후 PR 0.5까지 서서히 감소하고 있다. PR 0.2에서 추돌 차량대수는

Table 1. IVC Success Rate According to Distance

Distance (m)	100	200	300
Success rate (%)	99.98	99.93	96.00

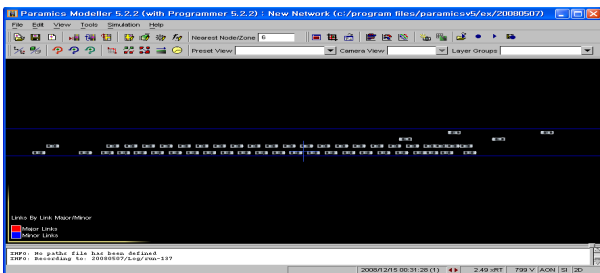


Fig. 5. CCA Simulation

15대에서 25대까지 나타나고 있어, 사고대수 감소율은 58~75%로 높게 나타났다. 또한 PR 0.1인 경우 약 59%까지 추돌 사고대수를

Table 2. Summary of CCA-reduction Effects (unit: veh)

Penetration rate (PR) (0.0~1.0)	Traffic flow (vehicle/lane/hr)		
	500	1,000	2,000
0.0	60	60	60
0.1	22	32	35
0.2	17	21	23
0.3	14	14	21
0.4	12	13	18
0.5	12	9	11
Average	22.8	24.8	28.0

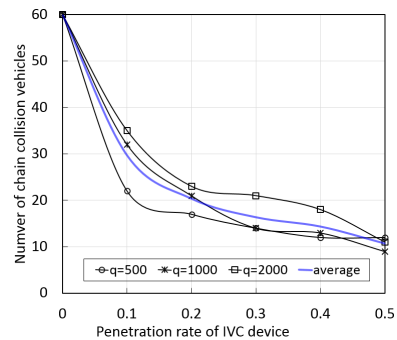


Fig. 6. Relationship Between PR and Collision Vehicles

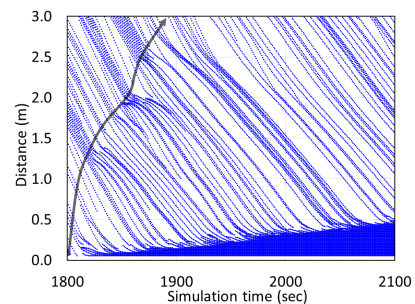


Fig. 7. Time and Space Vehicle Trajectory at PR=0.3

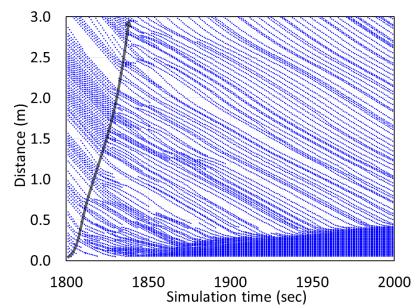


Fig. 8. Time and Space Vehicle Trajectory at PR=0.5

감소시킬 수 있는 것으로 분석되었다. 따라서 향후 NGITS에 IVC 장비 또는 IVC의 기능을 수행하는 자율주행 자동차가 10% 이상 도입될 경우, 60%의 연쇄추돌사고 감소효과를 기대가 기대된다.

Figs. 7~8은 IVC 장비의 PR 0.3과 0.5에서 안전 주행속도제어 효과를 시공간 차량계적을 통해 보여주고 있다. Fig. 7의 교통량 1,000, PR 0.3인 경우, 사고정보를 수신한 차량은 사고지점의 상류부에서 안전 정지거리기반 차량속도제어로 인하여 자유교통류 속도의 약 2/3의 수준으로 주행하고 있으며, 사고정보는 속도 분리선, 즉 인위적인 충격파의 경계를 따라 후방으로 전파되고 있다. Fig. 8은 교통량 2,000, PR 0.5에서 속도제어 영향을 보여주고 있다. 교통량 수준이 높을수록 IVC에 의한 안전 주행속도의 영향은 증가하며, 사고정보 전파의 속도 또한 증가하고 있다.

Fig. 9는 PR 0.5에서 모의실험 수행시간에 따른 교통류의 속도변화를 보여주고 있다. 교통량이 500인 경우, 안전속도제어로 인한 교통류 속도제어의 효과는 없는 것으로 나타나고 있다. 교통량 1,000인 경우, 속도제어 효과는 있지만 교통류의 속도를 안전속도로 제어하지 못하고 있다. 반면, 교통량 2,000인 경우, 사고전파 약 200초 후 교통류 속도는 50kph이하로 제어되고 있으며, 안전속도 제어로 인해 거대 이동 혼잡(wide moving jam)과 같은 교통 혼잡이 발생할 수 있다. 추가로, IVC기반 사고정보 전파는 CCA와 관련 없는 대향방향 교통류 또는 타 도로의 불필요한 혼잡을 야기한다.

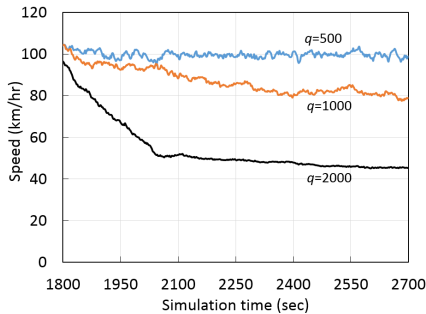


Fig. 9. Temporal variation of Traffic Flow Speed

Table 3. Controlled Traffic Flow Speed (unit: kph)

Traffic volume	IVC device	Penetration rate (0.0~1.0)					
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
500	Equipped	102.2	98.6	96.3	96.9	96.2	96.0
	Unequipped	102.2	101.6	101.7	101.1	99.7	97.4
1,000	Equipped	102.2	95.8	93.0	86.7	78.1	71.0
	Unequipped	100.2	99.2	96.9	87.3	79.3	71.4
2,000	Equipped	92.5	75.2	61.4	54.7	50.2	49.3
	Unequipped	92.5	75.9	60.9	54.4	49.7	48.5

이상의 교통류 속도제어 효과를 분석한 결과는 Table 3과 같다. 교통량이 1,000 이하이고 IVC 장비의 PR이 0.2이하인 경우, 차량 속도는 90kph 이상을 유지하고 있다. 반면, 교통량 1,000이고 PR이 0.3 이상인 경우와 교통량 2,000인 경우 PR이 증가함에 따라 교통류 속도는 감소하고 있으며, 교통량 2,000이고 PR이 0.3이상인 경우 교통류 속도는 50kph 수준으로 제어되고 있다.

Figs. 10~12는 IVC 장비의 PR과 정보전파 시간에 따른 정보도달 위치를 보여주고 있다. 교통량이 500과 1,000이고 PR이 0.1이하의 경우, IVC는 사고방향 상류부로의 정보전파에 실패하고 있다. PR 0.1 이상의 경우, 교통량 1000 수준에서 전파속도는 교통량 500 수준의 2배 그리고 교통량 2000 수준의 1.5배로 높게 나타나고 있다. 이상의 분석결과는 Table 4와 같다. 교통량 수준 1000이하에

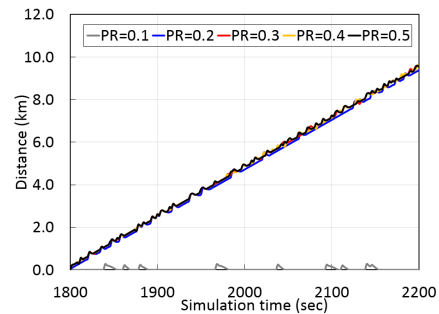


Fig. 10. Time-Space Information Propagation, q=500

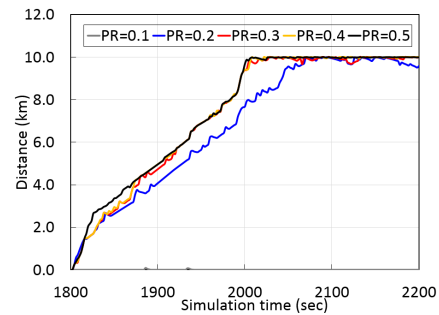


Fig. 11. Time-Space Information Propagation, q=1000

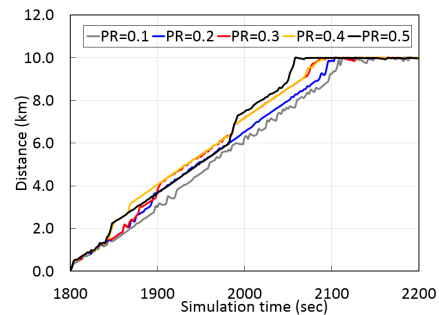


Fig. 12. Time-Space Information Propagation, q=2000

Table 4. Speed of Information Propagation (unit: m/s)

Upstream direction	Penetration rate				
Traffic volume	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
500	-	23.4	23.4	23.4	23.7
1,000	-	37.6	48.6	48.6	48.6
2,000	32.1	33.4	34.5	34.5	38.5
Opposite downstream	Penetration rate				
Traffic volume	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
500	27.7	31.1	31.1	31.1	31.1
1,000	25.0	31.9	31.9	31.9	31.9
2,000	26.5	41.4	41.4	41.3	41.3

서 사고방향 상류부의 정보전파 실패의 경우와 달리 대항방향 하류부의 정보전파속도(m/sec)는 25.0이상으로 분석되었다. 그리고 교통량 500인 경우, 평균 전파속도는 경우 대항방향 상류부(30.0)가 사고방향 상류부(23.5) 보다 높게 나타났다. 이상의 분석 결과는, 교통량이 낮은 수준일 경우에도 대항방향 IVC 장차차량을 이용하여 사고전파에 충분히 성공할 수 있음을 의미한다. 추가로, 교통량 2,000 수준에서 사고방향 상류부로의 정보전파 속도는 교통량 1,000 수준보다 낮게 나타나고 있으며, 이는 안전 주행속도 제어로 인해 발생된 교통 혼잡과 더불어 통신 과부하가 원인으로 판단된다.

5. 결론 및 향후연구

본 연구에서는 현행 FTMS의 (고정지점) 정보수집 및 제공체계에서 불가능한 국부적인 교통사고정보의 즉각적인 수집/전파를 IVC기반으로 구현함으로써 긴급 사고정보전파의 CCA 감소효과를 실험적으로 평가하고, 그 적용 가능성을 검토하였다.

IVC기반 긴급 사고정보전파에 의한 CCA 감소효과 분석 결과, 교통량이 낮은 경우 차량간 통신이 단절되어 정보전파에 실패할 수 있다. 그리고 교통량 수요가 높을 경우, 사고지점의 상류부에 혼잡을 발생시킬 수 있음(Park et al., 2016)과 동시에 통신과부하로 정보전파 속도는 낮아질 수 있다. 그러나 그 정보전파의 속도는 차량의 접근속도보다 높음으로 교통사고정보 긴급전파에 의한 CCA 감소효과에는 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 또한 연쇄추돌을 효과적으로 감소시키기 위해서는 IVC 장비의 PR이 0.1 이상일 때 그 효과를 기대할 수 있으며, 연쇄추돌 차량대수를 50~75%까지 감소시킬 수 있을 것으로 분석되었다.

본 연구에서도 Blum et al.(2004)이 지적한 바와 같이, 교통량이 적은 경우, 급격한 위상변화에 따른 통신망 분리로 인하여 사고정보 전파에 실패하였다. Goel et al.(2004)은 IVC 장비의 PR이 0.03이

고 통신범위가 100m이상일 때 충분히 넓은 지역에 혼잡정보를 전파시킬 수 있다고 지적하였다. 그러나 본 연구의 경우는 고속 차량의 환경에서 실험을 수행하였다. 실험 결과, 역방향 및 순방향의 교통량, IVC 장비의 PR, 통신주기, 그리고 통신반경에 의해 영향을 받는다고 할 수 있다. 추가로 IVC 장비의 PR 0.03인 경우 고속도 주행환경에서 교통정보를 수집하는데 있어 ad hoc 망의 붕괴를 초래할 수 있음을 확인하였다.

향후 연구로는 첫째, 실제 IVC의 통신주기 및 통신반경을 보다 세밀하게 고려할 필요가 있으며, 실제 고속도로의 양방향 교통량 환경에서 IVC 통신실험을 다각적으로 수행함으로써 급격한 위상 변화에 따른 통신성공률과 정보전파 속도를 실험할 필요가 있다. 둘째, 실제 스마트폰 내비게이션의 이용률은 (장래의 기대되는) IVC 통신장비의 보급률을 앞서고 있다. 따라서 5G시대에 적합한 정보통신의 환경 하에서 동시에 교통사고 정보를 전파하고 이를 교통류 시뮬레이터와 결합한 차량과 통신의 통합 시뮬레이터가 개발되어야 할 것이다. 셋째, IVC를 이용한 교통정보수집에 있어 교통량 수준이 낮은 경우에 대한 충분한 연구가 수행되어야 함과 더불어 교통량 수준이 높고 (거대혼잡과 같이) 넓은 공간에 범위에 혼잡이 발생한 경우, 정보수집에서 발생하는 시간 처짐(time-lag)을 극복할 수 있는 방안이 요구된다. 넷째, 고속도로 교통류 속도제어기 법으로 활용되고 있는 가변속도제어와 본 연구에서 개발된 방법론을 통합함으로써 V2V와 V2I 상황에서 전방의 혼잡검지와 교통사고 발생 시 안전 주행속도제어 방법론에 대한 연구가 필요하다. 마지막으로, IVC를 통해 교통사고 정보를 전달받은 이후 전방의 교통사고에 대응하는 본 연구의 방법 외에도 IVC를 통해 수집/제공되는 전방의 속도정보를 이용하여 전방의 혼잡교통류와 교통사고를 검지할 수 있는 연구가 수행되어야 할 것이며, 이는 자율주행자동차의 도입과 더불어 현실화될 수 있을 것으로 판단된다.

References

Blum, J. J., Eskandarian, A. and Hoffman, L. J. (2004). "Challenges of intervehicle ad hoc networks." *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 5, No. 4, pp. 347-351.

Goel, S., Imielinski, T. and Ozbay, K. (2004). "Ascertaining viability of WiFi based vehicle-to-vehicle network for traffic information dissemination." *Proceeding of the 7th IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp. 1086-1091.

Jeong, E., Oh, C., Kang, K. and Kang, Y. (2012). "Development of traffic safety monitoring technique by detection and analysis of hazardous driving events in V2X environment." *Journal of Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, Vol. 11, No. 6, pp. 1-14 (in Korean).

Jung, S., Kim, T. and Lee, S. (2011). "An analysis on the prevention effects of forward and chain collision based on vehicle-to-vehicle

- communication.” *Journal of Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, Vol. 10, No. 4, pp. 36-43 (in Korean).
- Kim, H., Shin, M., Nam, B. and Lovell, D. J. (2008a). “Designing a simulation framework for vehicular ad hoc network applications.” *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 14, No. 1, pp. 93-101.
- Kim, H., Shin, M., Nam, B. and Lovell, D. J. (2008b). “Measuring a range of information dissemination in a traffic information system based on a vehicular ad hoc network.” *Journal of Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, Vol. 7, No. 6, pp. 12-20 (in Korean).
- Leung, K. Y. K., Dao, T., Clark, C. M. and Huissoon, J. P. (2006). “Development of a microscopic traffic simulator for inter-vehicle communication application research.” *Proceedings of the 9th IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp. 1286-1291.
- Martinez, F. J., Toh, C. K., Cano, J. C. and Calafate, P. M. (2009). “A survey and comparative study of simulators of vehicular ad hoc network (VANETs).” *Wireless Communications Journal*, Vol. 11, No. 7, pp. 813-828.
- Ministry of Land, Infrastructure, and Transport (MOLIT) (2008). “Development of the core technologies for ubiquitous transportation systems (II).” pp. 1192-1208 (in Korean).
- Park, S., Kim, J., Na, S. and Lee, S. (2016). “Empirical analysis on radio communication range and vehicle ratio in V2X environment.” *Journal of Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, Vol. 15, No. 5, pp. 29-41 (in Korean).