

# 주행 시뮬레이션을 이용한 차량간 상호작용에 따른 사고발생가능성 분석

## Analysis of Crash Potential by Vehicle Interactions Using Driving Simulations

김윤증\* · 오철\*\* · 박수빈\*\*\* · 최새로나\*\*\*\*

\* 주저자 : 한양대학교 교통·물류공학과 박사과정  
 \*\* 교신저자 : 한양대학교 교통·물류공학과 교수  
 \*\*\* 공저자 : 한양대학교 교통·물류공학과 석박사 통합과정  
 \*\*\*\* 공저자 : 한국교통안전공단 교통안전연구개발원 선임연구원

Yunjong Kim\* · Cheol Oh\*\* · Subin Park\*\*\* · Saerona Choi\*\*\*\*

\* Dept. of Transportation and Logistics Eng., Hanyang University  
 \*\* Dept. of Transportation and Logistics Eng., Hanyang University  
 \*\*\* Dept. of Transportation and Logistics Eng., Hanyang University  
 \*\*\*\* Transportation Safety Research & Development Institute, Korea Transportation Safety Authority  
 † Corresponding author : Cheol Oh, cheolo@hanyang.ac.kr

Vol.17 No.2(2018)

April, 2018

pp.98-112

ISSN 1738-0774(Print)

ISSN 2384-1729(On-line)

<https://doi.org/10.12815/kits>

2018.17.2.98

Received 2 January 2018

Revised 30 January 2018

Accepted 6 March 2018

© 2018. The Korea Institute of  
Intelligent Transport Systems. All  
rights reserved.

### 요 약

공격운전은 상대방 운전자에 대한 공격 의지를 가지고 위협을 가하는 매우 위험한 운전행태이다. 기존 연구의 경우 공격운전자에 대한 주행특성 및 유발요인 등 공격운전자를 초점으로 한 연구가 대부분인 것으로 나타났다. 그러나 공격운전을 안전성 관점에서 분석하기 위해서는 공격운전 가해자와 피해자간의 상호작용에 대한 분석이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 Multi-Agent 주행시뮬레이션 환경을 구축하여 공격운전 가해자와 공격운전 피해자간의 차량간격 및 상대속도를 통해 상호작용을 분석하였다. 공격운전 가해자와 피해자의 가감속 패턴을 파악하고 차간거리를 통해 TTC(Time-to-Coollision)를 도출하였다. 또한 도출된 TTC를 EDF(Exponential Decay Function)를 통해 사고발생가능성으로 전환하여 일반운전과 공격운전의 사고발생가능성을 분석하였다. 분석결과, 공격운전 시 일반운전에 비해 사고발생가능성이 높은 것으로 나타났다. 본 연구결과를 통해 공격운전의 위험성을 경고하며, 공격운전 관리방안 수립을 위한 기초연구로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심어 : 공격운전, 사고발생가능성, 상호작용, 주행시뮬레이션, TTC

### ABSTRACT

Intentional aggressive driving (IAD) is a very dangerous driving behavior that threatens to attack the adjacent vehicles. Most existing studies have focused on the independent driving characteristics of attack drivers. However, the identification of interactions between the offender and the victim is necessary for the traffic safety analysis. This study established multi-agent driving simulation environments to systematically analyze vehicle interactions in terms of traffic safety. Time-to-collision (TTC) was adopted to quantify vehicle interactions in terms of traffic safety. In addition, an exponential decay function was further applied to compare the overall pattern of change in crash potentials when IAD events occurred. The outcome of this study would be useful in developing policy-making activities to enhance traffic safety by reducing dangerous driving events including intentional aggressive driving.

Key words : Crash potential, Driving simulation, Intentional aggressive driving, Interactions, TTC

## I. 서론

공격운전은 안전한 주행의 범위를 초과하는 것으로 다른 운전자를 위협에 처하게 하는 매우 위험한 운전 행태이다(NHTSA, 2009). 국내 규제에 따르면 둘 이상의 위험운전 행위를 연달아 하거나 하나의 행위를 지속 또는 반복하여 다른 사람에게 위협을 가하는 운전행태를 난폭운전(도로교통법 제46조의 3)이라 정의한다. 또한 도로 위에서 사소한 시비를 이유로 자동차를 이용하여 고의적으로 특정인에게 위협을 가하는 운전행태를 보복운전(형법 제261조)이라고 정의한다. 이러한 국내 법·제도를 참고하여 본 연구에서는 공격운전을 일반적인 주행행태를 벗어나는 위험한 운전행태 중에서 상대방에게 위협을 가하려는 운전자의 의지가 반영된 운전 행태라고 정의하였다. 이처럼 공격운전의 경우 공격을 가하는 공격운전 가해자와 위협을 당하는 공격운전 피해자가 발생한다. 공격운전 발생 시 운전자간 상호작용으로 인해 사고발생가능성이 증가할 수 있다. 그러나 공격운전 가해자와 피해자의 상호작용을 분석하는 연구가 미비한 것으로 나타났다. 본 연구에서는 공격운전 가해자와 피해자의 상충 발생에 영향을 미치는 차량간격과 상대속도를 차량 간 상호작용이라고 정의하였다.

본 연구에서는 Multi-Agent 주행 시뮬레이션을 통해 공격운전을 구현하였으며 공격운전 가해자와 피해자 간의 상호작용으로 인한 사고발생가능성을 분석하였다. 주행 시뮬레이션 상에서 3차로 연속류 네트워크를 구현하였으며, 공격운전 가해자와 피해자가 동일한 도로에서 동시에 주행하는 Multi-Agent 주행 시뮬레이션 실험환경을 구축하였다. 피실험자는 주행 시뮬레이션 실험을 통해 일반운전 시나리오와 공격운전 시나리오를 각각 2번 주행하였다. 시나리오는 3개의 구간으로 구성되어 있으며 추종 구간, 앞지르기 구간, 추월 후 구간을 순서대로 주행한다. 일반운전 시나리오는 피실험자의 평소 운전행태대로 안전거리 등을 확보하여 안전하게 주행하며, 공격운전 시나리오는 후방 밀착주행, 측방 밀착주행 및 급앞지르기, 급감속을 지시하여 최대한 공격적인 주행을 통해 상대방에 대한 위협이 발생하게 주행하도록 하였다. 주행 시뮬레이션 분석 결과, 공격운전 시 일반운전 시에 비해 공격운전 가해자, 피해자 모두 가감속이 높은 것으로 나타났다, 또한 공격운전 시나리오에서 TTC(Time-to-Collision)가 낮고 사고발생가능성은 높은 것으로 나타났다.

본 연구는 공격운전의 유형 및 특성에 대한 연구를 고찰한 기존연구 고찰과 주행 시뮬레이션 실험환경 구축에 대한 내용, 주행 시뮬레이션 실험 데이터 분석 결과, 분석 결과를 토대로 작성한 결론으로 구성되었다. 공격운전 가해자와 피해자간의 상호작용 분석 결과를 통해 공격운전 가해자뿐만 아닌 공격운전 피해자의 특성을 교통류 시뮬레이션에 반영하여 신뢰성 높은 시뮬레이션 환경을 구축할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 본 연구 결과를 통해 공격운전의 위험성을 경고하며, 공격운전에 대한 안전관리 방안 수립을 위한 기초연구로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

## II. 기존 연구 고찰

본 연구는 공격운전이 발생함에 따라 공격운전 가해자와 피해자간의 상호작용이 발생하고, 그로 인한 사고발생가능성을 분석하기 위해 수행되었다. 논문 작성을 위해 공격운전 관련 연구사례와 사고발생가능성 분석을 수행한 연구를 대상으로 분류하여 기존 연구 고찰을 수행하였다.

### 1. 공격운전 관련 연구

Oh et al.(2012)은 성인 운전자 534명을 대상으로 설문조사를 실시하였으며, 5개의 운전행동 결정요인(공격

성, 대인분노, 대인불안, 이익/자극 추구, 문제회피성향)은 운전자의 위험운전행동에 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. Shin et al.(2007)은 난폭운전을 운전자 본인과 주변의 다른 운전자의 생명을 모두 위협하고, 막대한 경제적 손실을 입히는 매우 위험한 운전행태라고 정의하였다. 주행 시뮬레이션 분석 결과, 난폭운전은 운전자의 시간압박 수준에 의해 영향을 미치는 것으로 나타났다. Kim et al.(2016)은 난폭운전과 보복운전의 발생 원인을 분석하였다. 공격운전 발생원인은 운전행동 결정요인(대인분노, 공격성)과 위험운전 행동요인(난폭운전행동, 과속위험행동, 음주행동, 주의산만, 대처미숙)으로 분류되며, 위험운전 행동요인이 운전행동 결정요인보다 약 15% 높은 관련성이 있는 것으로 나타났다. Bogdan et al.(2016)은 메타분석을 통해서 운전자의 분노와 공격운전간의 관계를 분석하였으며, 분석 결과 운전자의 분노는 공격운전과 양의 관계가 있는 것으로 도출되었다. 기존 연구 결과, 공격운전 유발 요인은 운전자 본인의 공격성, 운전습관 등의 운전자 요인과 주변 운전자, 시간적 압박 등에 의한 외부적 요인 등 다양한 요인이 복합적으로 발생하여 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

Habtemichael et al.(2013)은 교통류 시뮬레이션 VISSIM을 이용하여 공격운전으로 인한 교통류 영향을 분석하였다. 분석 결과, 공격운전자의 운전자유를 제한할 경우 상충건수가 감소하는 것으로 나타났다. 결과적으로 공격운전이 감소할수록 교통안전과 운영효율성이 모두 향상되는 것으로 나타났다. Habtemichael et al.(2014)은 VISSIM을 통해 공격운전을 시뮬레이션 상에 구현하였으며, 상충분석 툴인 SSAM(Surrogate Safety Assessment Model)을 활용하여 고속도로에서 발생하는 공격운전을 안전성 측면에서 평가하였다. 분석 결과, 공격운전자는 정상 운전자에 운전자의 충돌 위험이 증가하는 반면, 공격운전 주행 시 주행시간의 감소는 1-2%에 불과하다고 나타났다.

## 2. 사고발생가능성 분석 연구

Hyden(1987)은 사고 데이터가 충분하지 않을 때 사고위험의 잠재성을 정량화하는 SSM(Surrogate Safety Measurement)을 사용할 수 있다고 제시하였다. Hayward(1972)는 TTC의 개념을 처음으로 제시하였으며, TTC는 두 차량이 현재 주행상태와 같은 방향 및 속도로 주행한다고 가정할 때, 충돌하는데 소요되는 시간을 의미한다. TTC는 선행차량과 추종차량의 충돌 위험성을 비교할 수 있는 대표적인 SSM이며, 다양한 연구에서 활용되고 있다. Minderhoud and Bovy(2001)은 TTC 개념을 기반으로 변형한 지표로는 TET(Time Exposed TTC), TIT(Time Integrated TTC), TLC(Time-to-Lane Crossing) 등이 있다고 제시하였다. Allen et al.(1978)은 선행차량이 한 지점을 통과한 시간과 후방의 차량이 그 지점에 도달하는 시간의 시간차이를 나타내는 PET(Post-Encroachment Time)를 제시하였다. PET는 TTC와 함께 가장 자주 사용되는 SSM이라고 제시하였다. 검토한 바와 같이 다양한 SSM이 교통안전성을 평가하기 위해 활용되고 있었다. 또한, Oh et al.(2010)은 차량의 거동을 분석하여 실시간으로 후방 충돌확률을 추정하는 방법론을 제시하였다. 선행차량과 추종차량의 TTC를 EDF(Exponential Decay Function) 기본식을 통해 사고발생가능성으로 전환하였다.

Yannis et al.(2004)는 주행 시뮬레이션 데이터를 이용하여 ACC(Advanced Cruise Control) 장착 유무에 따른 TTC를 산출하였다. 분석 결과 ACC 장착 시 평균 TTC는 약 10초로 ACC 미장착 시에 비해 약 7초 감소하였지만, TTC 값이 교통안전에 부정적인 영향을 미칠 정도는 아니라고 제시하였다. Duan et al.(2013)은 주행 시뮬레이터 실험을 통해 반대차선의 차량에 따른 선행차량과의 상호작용을 분석하였다. 분석결과 반대차선에 차량이 다수 주행할 경우, 피실험자는 선행차량과의 차두거리를 줄이는 경향을 보여 사고발생가능성이 증가하는 것으로 나타났다. Xiong and Olstam(2015)는 주행 시뮬레이터를 통해 일반상황, 위험 이벤트 발생 상황, 자율주행환경 등 다양한 시나리오에서 피실험자와 가상의 차량 간의 상호작용을 TTC 등을 이용하여 분석하

였다. Yan et al.(2014)는 주행 시뮬레이션 상에서 TTC가 일정치 이하가 되면 음성 충돌회피 경고가 발생하는 TTC 센서의 효과평가를 수행하였다. 이처럼 주행 시뮬레이션을 이용한 다양한 연구에서 차량 간 상호작용을 TTC를 통해 분석하였다.

### 3. 연구의 차별성

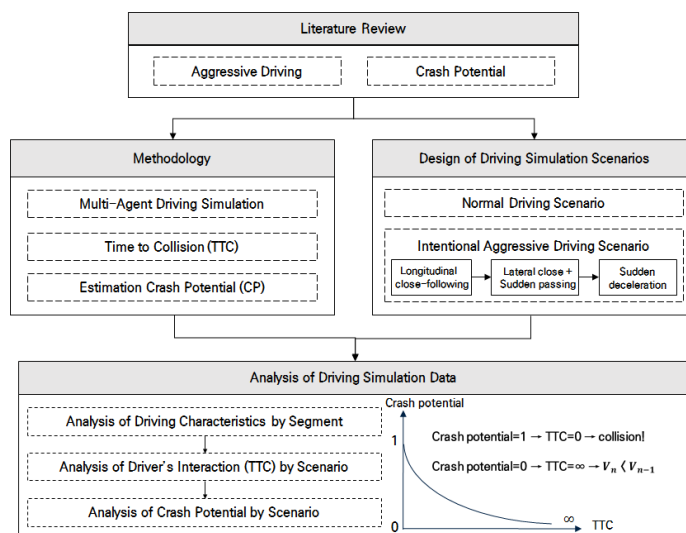
사고발생가능성 분석 연구를 고찰한 결과, TCC, TIT, TLC, PET 등은 선행차량과 추종차량의 충돌 위험성을 비교할 수 있는 대리안전척도로 제시되었으며, TTC를 이용하여 사고발생가능성을 산출한 연구 내용이 제시되었다. 또한 주행 시뮬레이션을 이용한 기존 연구에서 TTC를 통해 차량 간 상호작용을 분석하였다.

공격운전 관련 연구 고찰 결과, 대부분의 연구에서는 공격운전 차량 1대의 주행특성 또는 공격운전에 따른 교통류 영향에 대한 분석 내용이 주를 이루었다. 그러나 본 연구에서는 Multi-Agent 주행 시뮬레이션을 통해 공격운전 가해자와 피해자의 차량 간 상호작용에 따른 사고발생가능성을 분석하여 기존 연구와의 차별성을 가진다. 주행 시뮬레이션 데이터를 기존 연구의 사고발생가능성 분석 방법론을 적용하여 차량의 가감속 패턴, TTC를 산출하고 사고발생가능성을 분석하였다.

## III. 방법론

### 1. 연구 흐름도

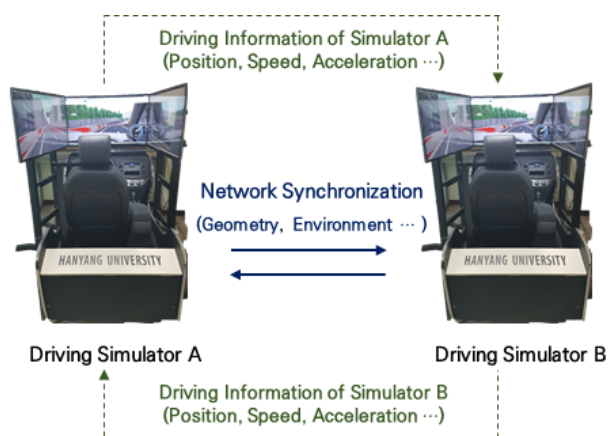
본 연구의 흐름도는 <Fig. 1>에 제시하였다. 공격운전 관련 연구 및 사고발생가능성 분석 관련 기존 연구 고찰을 실시하였다. 기존 연구 고찰을 통해 공격운전을 정의하며 주행 시뮬레이션 상에서 구현 가능한 공격운전 유형을 선정하여 실험을 실시하였다. 또한 기존에 운전시간 상호작용 및 사고발생가능성 분석 시 활용되는 대리안전척도를 통해 연구 방법론을 구축하였다. 주행 시뮬레이션 데이터를 이용하여 구간 별 가해자-피해자 주행특성 분석, 시나리오 별 TTC 분석, 시나리오 별 사고발생가능성 분석을 실시하였다.



<Fig. 1> Research procedure

## 2. Multi-Agent 주행 시뮬레이션

본 연구에서는 주행 시뮬레이터를 활용하여 공격운전과 일반운전의 주행행태를 비교·분석하며, 주행 시뮬레이터 소프트웨어인 UC-win/Road를 이용하였다. UC-win/Road는 3차원의 가상현실을 설계하여 시뮬레이션 환경을 구축할 수 있는 소프트웨어이며, 지형 및 도로의 정의와 편집 작업을 통해 3차로 연속류 도로를 구현하였다. 공격운전 가해자와 공격운전 피해자의 상호작용을 분석하기 위해서는 동일한 주행 시뮬레이션 네트워크에서 2명의 운전자가 동시에 주행을 하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 Multi-Agent 소프트웨어를 통해 2대의 주행 시뮬레이터를 연결하여 동기화된 동일한 공간 내에서 주행 시뮬레이션이 가능한 네트워크 멀티 드라이버 환경을 구축하였다. 또한 통신 프로토콜의 일종인 TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)를 통해 서로 다른 시뮬레이터 컴퓨터를 연결하고, 공격운전 가해차량과 피해차량의 위치, 속도, 가속도, 각속도 등의 주행 데이터를 서로 전송한다. 구축된 네트워크상에서 피실험자 2명이 동시에 주행하며, 공격운전 가해자와 피해자에게 시나리오 별 각각의 임무를 부여하였다. Multi-Agent 주행 시뮬레이션의 개념 도는 <Fig. 2>에 제시하였다.



(Fig. 2) Illustration of multi-agent driving simulation environments

## 3. 운전자 상호작용 분석

### 1) 가해자-피해자간 차량간격 산출

본 연구에서 수행한 주행 시뮬레이션 실험은 추종 구간, 앞지르기 구간, 추월 후 구간으로 정의되어 있으나, 가해자-피해자 상호작용 분석 시에는 종방향 차량간격을 통해 TTC를 분석하기 때문에 차로변경을 수행하는 앞지르기 구간은 분석 구간에서 제외하였다. 주행 시뮬레이션 데이터 매칭을 통해 공격운전 가해자와 피해자의 동시간 주행정보를 도출하였으며, 운전자간 주행 시뮬레이션 데이터 변수 'Distance Along Road'의 차이를 통해 차량간격을 산출하였다. 'Distance Along Road'는 정해진 도로의 기점으로부터 주행 중인 차량의 위치까지의 거리를 나타내는 변수이다.

### 2) TTC

본 연구에서는 운전자의 상호작용을 분석하기 위한 SSM으로 TTC를 이용하였다. 차량 추종 이벤트 상에

서 선·후행 차량이 속도변화 없이 현재의 속도를 유지할 경우, 후행 차량의 속도가 빠르면 충돌이 발생한다고 제시하였다(Hayward, 1972). 이때 현재시점과 충돌시점간의 시간차이를 TTC라고 하며, TTC 값이 0에 가까울수록 더 높은 충돌 가능성을 가지게 된다. TTC 산출식은 수식 (1)에 제시하였다.

$$TTC_F(t) = \frac{S_F^L(t)}{V_F(t) - V_L(t)} \quad (1)$$

$TTC_F(t)$  = TTC at time step  $t$

$S_F^L(t)$  = Vehicle spacing at time step  $t$

$V_F(t)$  = Following vehicle's speed at time step  $t$

$V_L(t)$  = Leading vehicle's speed at time step  $t$

### 3) 사고발생가능성 분석

TTC 분석을 통해 일반운전과 공격운전의 안전성을 비교 가능하나, 사고발생가능성을 정량적으로 도출할 필요가 있다고 판단하였다. 따라서, 주체차량과 선행차량 간 충돌 확률을 도출하기 위해 Exponential Decay Function(EDF) 기본식을 이용하여 TTC를 0~1 사이의 사고발생가능성으로 전환하였다(Oh et al., 2010). TTC가 낮을수록 사고발생가능성은 1에 가까워지며, TTC가 높을수록 사고발생가능성은 0에 수렴하게 된다. EDF 기본식은 수식 (2)에 제시하였다.  $a=0$ ,  $b$ ,  $c$ 는 1로 상수화하여 설정하였다.

$$y = a + b \times \exp\left(-\frac{x}{c}\right) \rightarrow y = \exp\left(-\frac{TTC}{c}\right) \quad (2)$$

## IV. 주행 시뮬레이션 실험

본 주행 시뮬레이션 실험은 한양대학교 ERICA 제2공학관 316호 교통시뮬레이션 연구실에서 진행되었으며, 원활한 진행을 위하여 피실험자1(공격운전 가해자), 피실험자2(공격운전 피해자)에게 각각 1명의 실험 보조자가 피실험자 별 역할 및 지침을 설명하고 차로변경 등의 지시를 내렸다.

일반운전과 공격운전 모두 3차로 연속류 2km 구간으로 동일한 네트워크에서 진행되었다. Multi-Agent 주행 시뮬레이션 소프트웨어를 통해 공격운전 가해자와 공격운전 피해자를 동기화된 네트워크에서 동시에 주행 가능한 환경을 구축하였다. 선·후행차량이 200m 간격을 가지고 주행을 시작하며 선행차량을 추종하고, 앞지르는 과정으로 진행되었다. 본 실험의 피실험자는 20대, 운전 경력 1년 이상, 고속도로 주행경험이 있는 운전자를 대상으로 설정하였다. 총 32명의 피실험자를 모집하였으며, 남성 28명, 여성 4명으로 구성되어있다. 또한, 공격운전 가해자 16명과 공격운전 피해자 16명으로 구성하였으며 피실험자 구성은 <Table 1>에 제시하였다. 운전자 별로 일반운전 시나리오와 공격운전 시나리오를 각각 2번씩 주행하도록 실험을 진행하였다.

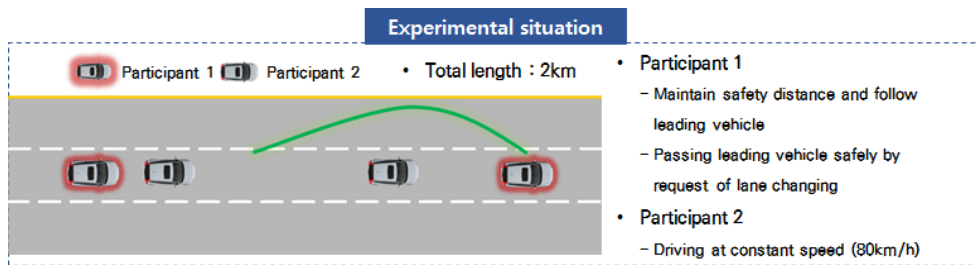
본 실험에서는 공격운전 피해자가 공격운전에 대한 설명 시 공격운전에 대해 인지하여 면역이 발생해 대처능력이 향상될 수 있다고 판단하였다. 따라서 공격운전 피해자에게는 주행시뮬레이션 시나리오에 대한 설명 없이 차로변경 수행 금지, 정속주행 등의 주행 지침만을 제시하였다. 그러나 2대의 주행 시뮬레이터가 근접하게 배치되어 있어 피실험자간 친밀도가 발생하여 공격운전 강도가 약해질 가능성이 있으며, 향후 실험에서는 피실험자간 교류 없이 실험을 진행해야 할 것으로 판단된다. 또한 운전자간 상호작용은 교통류의 혼잡도에 따라 상이하게 나타날 수 있으므로, 교통 혼잡 정도를 변화하는 시나리오 설계가 필요하다.

〈Table 1〉 Characteristics of simulation participants

Gender		Scenario	
		Normal Driving	Intentional Aggressive Driving
Attacker	Male	13 people	13 people
	Female	3 people	3 people
Victim	Male	14 people	14 people
	Female	2 people	2 people
Total		32 people	32 people

### 1. 일반운전 시나리오 설계

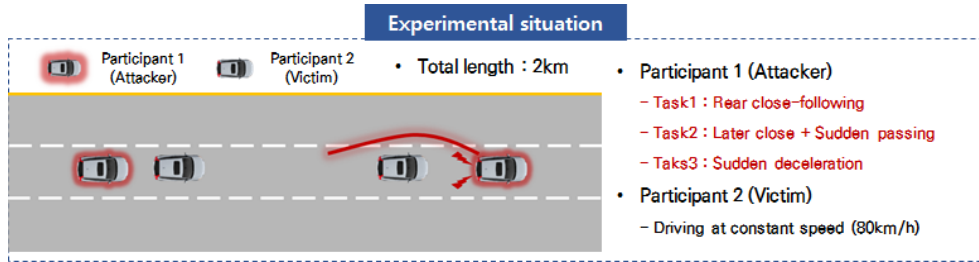
일반운전 시나리오의 경우 피실험자2가 피실험자1의 200m 선형하여 2차로에서 주행을 시작한다. 피실험자2는 차로변경 없이 80km/h로 실험이 종료될 때까지 정속주행을 하도록 지시를 하였다. 피실험자1의 경우 선형차량 후방을 안전거리를 유지하며, 1km 지점까지 추종한다. 1km 지점에서 실험 보조자가 차로변경을 지시하고, 피실험자1은 급차로변경이 아닌 운전자 자유의지에 의해 안전한 차로변경 이후 선형차량을 추월하여 다시 2차로에서 시나리오 종료 시 까지 주행하도록 요청하였다. 일반운전 시나리오의 개념도는 <Fig. 3>에 제시하였다.



〈Fig. 3〉 Scenario of normal driving

### 2. 공격운전 시나리오 설계

공격운전 시나리오의 경우 일반운전 시나리오와 동일하게 피실험자2가 피실험자1의 200m 선형하여 2차로에서 주행을 시작하였다. 피실험자2는 차로변경 없이 80km/h로 실험이 종료될 때까지 정속주행을 하도록 요청하였다. 공격운전 시나리오에서는 피실험자1이 공격운전 가해자 역할을 수행하며, 피실험자2가 공격운전 피해자 역할을 수행한다. 공격운전 가해자는 후방 밀착주행, 측방 밀착주행 및 급앞지르기, 급감속 3개의 공격운전 유형을 수행하도록 지시하였다. 공격운전 가해자는 주행 시작 후 공격운전 피해자 후방에서 최대한 밀착하여 상대방을 위협한다. 1km 지점에서 실험 보조자가 차로변경을 요청하면 급차로변경을 하여 공격운전 피해자의 옆 차로에서 최대한 측방 밀착하여 피해 운전자에게 정신적 압박감을 준 후 급앞지르기를 수행하여 피해차량을 추월한다. 추월 후에 급감속을 수행하여 후방의 공격운전 피해자를 위협하고 분노를 유발하고 다시 주행을 하도록 지시하였다. 공격운전 시나리오의 개념도는 <Fig. 4>에 제시하였다. 본 연구의 공격운전 시나리오에서는 3개의 공격운전 유형을 설정하여 일련의 과정으로 발생하는 주행행태를 구현하였으며, 향후 연구에서 다양한 공격운전 유형에 대한 시나리오 설계 및 분석이 필요하다.

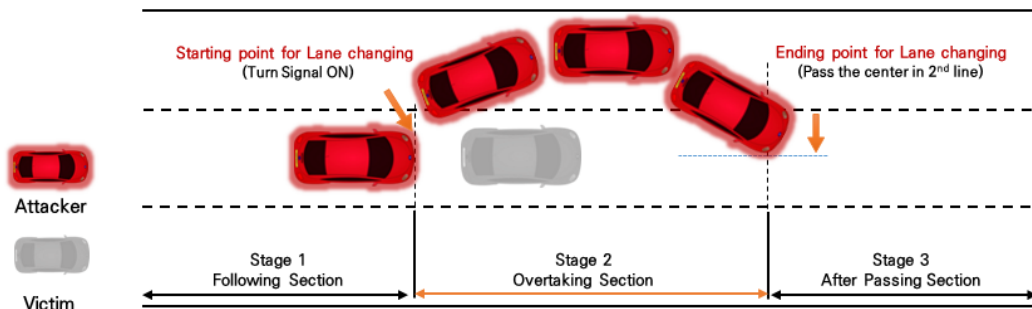


〈Fig. 4〉 Scenario of intentional aggressive driving

## V. 주행 시뮬레이션 데이터 분석

### 1. 주행행태 별 분석구간 정의

주행 시뮬레이션 데이터를 이용하여 공격운전 가해자, 피해자의 주행특성 분석과 공격운전 가해자-피해자 상호작용에 따른 사고발생가능성 분석을 실시하였다. 본 연구에서는 공격운전 시 후방 밀착주행, 측방 밀착주행 및 급앞지르기, 급감속의 3개의 공격운전 유형을 수행하였으며, 주행행태 별 특성 분석을 위해 분석구간에 대한 정의가 필요하다고 판단하였다. 3개의 구간을 추종 구간, 앞지르기 구간, 추월 후 구간으로 정의하였으며 <Fig 5>에 주행행태 별 분석구간 정의에 대한 개념도를 제시하였다. 앞지르기 구간을 전·후로 추종 구간, 추월 후 구간을 설정하였다. 앞지르기 구간은 피실험자1이 차로변경 의지를 가지고 방향지시등을 작동하였을 때를 시점으로 설정하고, 차로변경 다시 피실험자2의 차량을 추월하여 2차로의 중앙을 주행차량의 앞바퀴가 통과한 지점을 종점으로 설정하였다. 앞지르기 구간의 경우 피실험자 별 실측치를 산출하여 정의하였다. 추월 후 구간은 공격운전 시나리오에서 공격운전 가해자가 앞지르기 구간 종료 이후부터 급감속을 수행하고 브레이크 작동을 종료하여 급감속이 종료할 때까지로 설정하였다. 주행 시뮬레이션 운전자 별 데이터를 분석하여 산출한 급감속 종료시간 최대값이 9.99초인 것을 반영하여 추월 후 구간을 10초로 설정하였다. 또한 추종 구간의 경우 추월 후 구간과 동일하게 10초로 설정하여 분석을 실시하였다.



〈Fig. 5〉 Setting of analysis sections



## 2. 구간 별 가해자-피해자 주행행태 분석

공격운전 가해자와 피해자의 데이터의 구간 별 분석을 실시하여 주행행태를 분석하였다. 분석을 위해 주행속도, 가속도, 각속도, Steering, Offset 5개의 Measurement의 평균 및 표준편차를 산출하여 구간 별 비교·분석을 수행하였다. 각속도는 단위시간 동안 차량의 Head가 회전한 각도이며 Steering은 차량을 조작할 때 조향 정도를 측정한 값으로 모두 차량의 횡방향 거동과 관련이 있다. Offset은 차로 중심과 차의 중심간의 거리를 나타내는 값이다.

### 1) 추종 구간 주행행태 분석 결과

추종 구간에서 일반운전 시나리오와 공격운전 시나리오의 운전자 별 데이터를 이용하여 운전자 별 Measurement의 평균 및 표준편차를 산출하여 <Table 2>에 제시하였다. 분석 결과, 공격운전 가해자는 일반운전 대비 공격운전 수행 시 대부분의 Measurement의 평균 및 표준편차가 증가하였다. 그러나 주행속도의 경우 공격운전 시 감소하는 것으로 나타났는데 이는 후방 밀착을 수행하는 과정에서 공격운전 피해자의 속도를 유지하여 주행하기 때문인 것으로 보인다. 공격운전 피해자 또한 대부분의 Measurement의 평균 및 표준편차가 증가하는 패턴을 보였는데, 특히 가속도의 표준편차가 일반운전 대비 공격운전 시 1270.9%의 매우 큰 증가율이 나타났다. 이는 후방의 공격운전 가해자의 밀착주행으로 인해 위협을 느끼기 때문인 것으로 보인다. Offset의 평균은 공격운전 가해자와 피해자 모두 공격운전 시 다소 감소하는 것으로 나타났다. 이는 공격운전 수행 시 종방향 차량간격이 매우 가까워지기 때문에 횡방향 움직임에 비교적 주의를 기울이기 어렵기 때문인 것으로 보인다.

<Table 2> Result of descriptive statistics of following section

		Attacker			Victim		
		Normal driving	Intentional aggressive driving	Rate of change	Normal driving	Intentional aggressive driving	Rate of change
Speed (km/h)	Avg.	94.524	91.258	-3.46%	79.667	79.799	+0.17%
	Std.	3.114	5.532	+77.65%	0.596	0.74	+24.16%
Acceleration (m/s <sup>2</sup> )	Avg.	0.414	0.712	+71.98%	0.069	0.144	+108.7%
	Std.	0.395	1.251	+216.71%	0.031	0.425	+1270.9%
Yaw rate (rad/s)	Avg.	0.0003	0.0007	+133.33%	0.000037	0.000064	+72.97%
	Std.	0.0004	0.0009	+125%	0.00004	0.000092	+120%
Steering	Avg.	0.0005	0.0009	+80%	0.000069	0.000101	+46.38%
	Std.	0.0006	0.0009	+50%	0.000047	0.000109	+131.91%
Offset (m)	Avg.	0.244	0.242	-0.82%	0.097	0.086	-11.34%
	Std.	0.068	0.07	+2.94%	0.018	0.022	+22.22%

### 2) 앞지르기 구간 주행행태 분석 결과

앞지르기 구간에서 시나리오 별, 운전자 별 데이터를 이용하여 운전자 별 Measurement의 평균 및 표준편차를 산출하여 <Table 3>에 제시하였다. 공격운전 가해자의 경우 대부분의 Measurement의 평균 및 표준편차가 증가하는 패턴을 보였지만, 주행속도의 평균 및 표준편차는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 공격운전

피해자에게 측방 밀착주행을 수행하기 위해 피해차량의 속도를 맞춰 유지하기 때문에 오히려 주행속도 자체는 낮아진 것으로 보인다. 또한 공격운전 시 Offset의 표준편차가 다소 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 급차로변경 및 급앞지르기 시 평소보다 차량의 회전반경이 작아져 차량이 차로 중심에서 벗어나는 폭이 작아지기 때문인 것으로 판단된다. 공격운전 피해자는 측방 밀착주행 및 급앞지르기를 당했을 때 각속도 및 Steering의 평균 및 표준편차가 낮아지고, 가속도의 평균이 매우 높게 나타났다. 이는 측방의 공격운전 가해자의 차량에 위협을 느껴 핸들 조향의 움직임을 최소화하고, 가속하여 측방 차량을 회피하는 경향이 나타났다.

<Table 3> Result of descriptive statistics of overtaking section

		Attacker			Victim		
		Normal driving	Intentional aggressive driving	Rate of change	Normal driving	Intentional aggressive driving	Rate of change
Speed (km/h)	Avg.	102.804	96.581	-6.05%	79.826	79.226	-0.75%
	Std.	6.747	6.584	-2.42%	0.545	1.152	+111.38%
Acceleration (m/s <sup>2</sup> )	Avg.	0.404	0.662	+63.86%	0.044	0.08	+81.82%
	Std.	0.153	0.582	+280.39%	0.037	0.058	+56.76%
Yaw rate (rad/s)	Avg.	0.0033	0.0057	+72.73%	0.000097	0.000047	-51.55%
	Std.	0.0029	0.0054	+86.21%	0.00015	0.000072	-52%
Steering	Avg.	0.0042	0.007	+66.67%	0.00013	0.000079	-39.23%
	Std.	0.0032	0.0065	+103.13%	0.00017	0.00008	-52.94%
Offset (m)	Avg.	0.522	0.659	+26.25%	0.123	0.123	-
	Std.	0.436	0.409	-6.19%	0.032	0.046	+43.75%

### 3) 추월 후 구간 주행행태 분석 결과

추월 후 구간에서 시나리오 별, 운전자 별 Measurement의 평균 및 표준편차를 산출하여 <Table 4>에 제시하였다. 공격운전 가해자는 대부분의 Measurement의 평균 및 표준편차가 증가하는 패턴을 보였으며, 특히 주행속도의 표준편차와 가속도의 평균 및 표준편차가 매우 큰 폭으로 증가하는 것으로 나타났다. 이는 공격운전 시나리오에서 공격운전 가해자는 급감속을 수행한 후 다시 급가속을 하기 때문에 속도의 변동폭이 크기 때문인 것으로 보인다. 급감속으로 인해 평균 주행속도 자체는 낮아졌으며, 차량의 종방향 거동으로 인해 횡방향 거동이 비교적 줄어들어 Offset의 평균 및 표준편차가 낮아졌다. 공격운전 피해자는 공격운전 가해자의 급감속으로 인해 피해자 역시 감속을 수행하여 평균 주행속도는 낮아졌다. 반면에 주행속도의 표준편차, 가속도의 표준편차가 매우 큰 폭으로 증가하는데 이는 공격운전 가해자의 급감속으로 인해 매우 큰 위협을 느끼고, 충돌을 회피하기 위해 같이 급감속을 수행하기 때문인 것으로 보인다. 또한, 각속도와 Steering의 평균 및 표준편차도 매우 큰 폭으로 증가하는데, 이 또한 역시 공격운전 가해자의 차량과의 충돌 회피하기 위해 본능적으로 핸들의 조향을 회전시켰기 때문인 것으로 판단된다.

〈Table 4〉 Result of descriptive statistics of after passing section

		Attacker			Victim		
		Normal driving	Intentional aggressive driving	Rate of change	Normal driving	Intentional aggressive driving	Rate of change
Speed (km/h)	Avg.	115.630	81.170	-29.8%	79.838	70.770	-11.36%
	Std.	2.13	13.63	+539.91%	0.721	6.409	+788.9%
Acceleration (m/s <sup>2</sup> )	Avg.	0.276	1.761	+538.04%	0.037	0.058	+56.76%
	Std.	0.174	2.049	+1077.6%	0.086	0.75	+772.09%
Yaw rate (rad/s)	Avg.	0.0024	0.0038	+58.33%	0.00006	0.00042	+600%
	Std.	0.0022	0.0042	+90.91%	0.000096	0.00062	+545.83%
Steering	Avg.	0.0034	0.0044	+29.41%	0.000088	0.00047	+434.09%
	Std.	0.003	0.0048	+60%	0.000109	0.00064	+487.16%
Offset (m)	Avg.	0.495	0.442	-10.71%	0.118	0.171	+44.92%
	Std.	0.365	0.321	-12.05%	0.023	0.051	+121.74%

## 2. 가해자-피해자 상호작용 분석

공격운전 발생 시 공격운전 가해자와 피해자의 상호작용이 나타나게 된다. 2대의 차량 간 상호작용으로 인해 사고발생가능성이 증가할 수 있으며, 주행 시뮬레이션 데이터를 이용하여 가해자-피해자 상호작용 분석을 실시하였다. 상호작용 분석 과정은 공격운전 가해자와 피해자의 주행 시뮬레이션 데이터를 매칭하여 2대의 차량의 종방향 차량간격을 산출하였다. 산출된 차량간격과 차량의 속도를 이용해 TTC를 산출하여 시나리오별 비교·분석을 실시하였다. 또한, 산출된 TTC를 사고발생가능성으로 전환하여 사고발생가능성을 분석하였다.

### 1) 가해자-피해자 상호작용 기술통계

시나리오 별 운전자간 상호작용을 분석하기 위해 공격운전 가해자와 피해자의 주행속도와 운전자간 차량간격의 기술통계분석을 실시하였다. 분석결과 일반운전 대비 공격운전에서 공격운전 가해자의 주행속도의 평균, 최소값, 최대값이 낮아지는 것으로 나타났다. 이는 공격운전 시나리오에서 가해차량은 피해차량에 밀착주행하기 위해 속도를 유지하고, 추월 후 급감속을 수행하기 때문인 것으로 보인다. 특히 급감속으로 인해 가해자의 주행속도 최소값이 0으로 차량이 완전히 정지 후 급가속하는 상황이 나타났다. 반면에 공격운전 시나리오에서 공격운전 가해자는 감속과 가속의 반복되며, 이로 인해 주행속도의 표준편차는 높게 나타났다. 공격운전 피해자는 공격운전 시나리오에서 공격운전 가해자의 주행행태에 따라 위협을 느껴 가해차량을 회피하기 위해 가해자의 속도가 높아질 경우 동일한 패턴으로 높아지고, 가해자가 급감속을 수행할 경우 같이 감속을 수행하여 일반운전 대비 주행속도의 최소값은 낮아지고, 최대값은 높아지며 결과적으로 표준편차가 높게 나타났다. 운전자간 차량간격은 일반운전 시나리오 대비 공격운전 시나리오에서 평균, 표준편차, 최소값, 최대값이 모두 낮게 나타났다. 이는 공격운전 시나리오에서 후방 밀착주행, 급감속 수행 시 차량간격이 매우 근접한 상황이 발생하기 때문인 것으로 보인다.

〈Table 5〉 Result of descriptive statistics by drivers

	Normal driving				Intentional aggressive driving			
	Avg.	Std.	Min.	Max.	Avg.	Std.	Min.	Max.
Attacker's travel speed (km/h)	96.61	13.71	71.67	134.02	85.41	20.25	0.00	132.08
Victim's travel speed (km/h)	79.57	4.32	65.90	93.78	77.97	8.11	6.91	94.88
Vehicle spacing (m)	64.99	34.27	13.42	232.00	33.14	25.33	0.11	153.84

## 2) 시나리오 별 TTC 분석

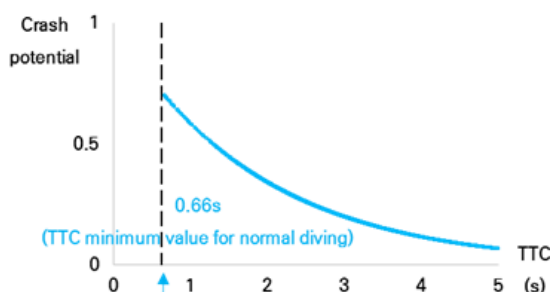
TTC가 1.5초 이하인 경우 사고발생가능성이 높은 매우 위험한 상황이라고 정의하였다(Grayson, 1984). 시나리오 별로 1.5초 이하인 TTC의 비율을 파악하기 위해 전체 TTC 데이터를 0.5초 단위로 분류하여 전체 대비 비율을 산출하여 <Table 6>에 제시하였다. 분석 결과, TTC가 1.5초 이하인 경우는 공격운전 시나리오에서 전체 대비 22.62%로 나타났고, 일반운전 시나리오에서는 전체 대비 3.14%로 나타나 공격운전 시 일반운전에 비해 약 7배 높은 비율을 보였다. 일반운전 시나리오에 비해 공격운전 시나리오에서 충돌이 발생할 확률이 높으며 사고발생가능성 또한 증가하는 것으로 나타났다. 이는 후방 밀착주행, 측방 밀착주행, 급감속 등으로 인해 공격운전 가해자와 피해자의 차량 간격이 매우 가까워지는 상황이 발생하기 때문인 것으로 보인다.

〈Table 6〉 TTC rate by scenarios

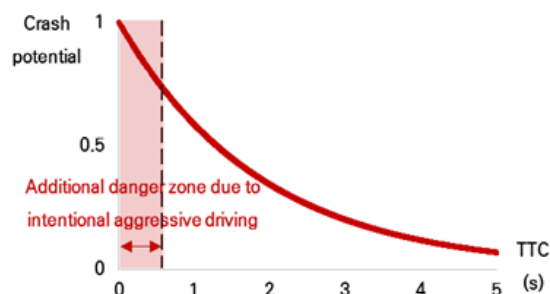
TTC	Normal driving	Intentional aggressive driving	Rate of change (%)
TTC ≤ 0.5s	0% (0case/3118case)	3.25% (125case/3851case)	-
TTC ≤ 1.0s	1.15% (36case/3118case)	9.74% (375case/3851case)	+743.4%
TTC ≤ 1.5s	3.14% (98case/3118case)	22.62% (871case/3851case)	+619.61%
TTC ≤ 2.0s	10.23% (319case/3118case)	31.52% (1214case/3851case)	+208.13%
TTC ≤ 2.5s	20.72% (646case/3118case)	40.48% (1559case/3851case)	+95.4%
TTC ≤ 3.0s	28.86% (900case/3118case)	50.22% (1934case/3851case)	+73.99%
TTC ≤ 3.5s	40.84% (1302case/3118case)	57.83% (2227case/3851case)	+41.6%
TTC > 3.5s	59.16% (1816case/3118case)	42.17% (1624case/3851case)	-28.72%

## 3) 시나리오 별 사고발생가능성 분석

주행 시뮬레이션 데이터의 5초 미만 TTC를 EDF 식을 활용하여 사고발생가능성을 산출하였으며, 일반운전 시나리오의 TTC에 따른 사고발생가능성 그래프를 <Fig. 6>, 공격운전 시나리오의 TTC에 따른 사고발생가능성 그래프를 <Fig. 7>에 제시하였다. 그래프에서 TTC가 낮을수록 사고발생가능성은 높아지는 반비례 관계가 나타난다. 일반운전 시나리오의 사고발생가능성 그래프는 일반운전의 TTC 최소값인 0.66초까지 나타난다. 그러나 일반운전에 비해 공격운전 시나리오에서는 0.66초 이하의 TTC를 가지며, 그에 따라 공격운전으로 인한 추가 위험영역이 나타났다. 공격운전 시 사고발생가능성이 1에 근접한 매우 위험한 상황이 발생하였다.



〈Fig. 6〉 Crash potential for normal driving



〈Fig. 7〉 Crash potential for Intentional aggressive driving

## VI. 결 론

공격운전은 다른 운전자를 불필요한 위험에 처하게 하는 매우 위험한 운전행태이며, 공격운전 발생 시 공격운전 가해자와 피해자의 상호작용이 나타나게 된다. 기존에 실시된 공격운전 주행특성에 대한 연구는 대부분 공격운전 가해자의 주행패턴을 분석하여 일반운전과 비교를 실시하였다. 그러나 공격운전 가해자에 의해 공격운전 피해자의 주행특성도 영향을 미칠 수 있으며, 두 운전자간의 상호작용을 분석하여 공격운전의 사고개연성을 파악할 필요가 있다고 판단하였다.

본 연구에서는 Multi-Agent 주행 시뮬레이션 실험환경을 구축하여 동일한 네트워크를 2명의 운전자가 동시에 주행할 수 있도록 하였다. 일반운전 시나리오와 공격운전 시나리오를 운전자 별로 수행하였으며, 주행행태 별로 추종 구간, 앞지르기 구간, 추월 후 구간으로 분류하였다. 구간 별 가해자-피해자 주행특성 분석 결과, 공격운전 가해자와 피해자 모두 일반운전 시나리오 대비 공격운전 시나리오에서 대부분의 Measurement의 평균 및 표준편차가 높게 나타났다. 특히 공격운전 피해자는 공격운전 시나리오에서 모든 구간의 가속도 표준편차가 매우 큰 폭으로 증가하는 것으로 나타났다. 이는 공격운전을 당할 경우 공격운전 가해자에 대한 위협감과 심리적 압박감을 느껴 가속 또는 감속을 수행하는 것으로 보인다. 공격운전 피해 시 가속도의 패턴이 증가하는 것은 사고발생 개연성이 증가할 수 있는 것으로 볼 수 있다. 가해자-피해자 상호작용 분석에서는 공격운전 가해자와 피해자의 주행 시뮬레이션 데이터를 매칭하여 종방향 차량간격을 산출하였다. 산출된 차량간격을 통해 TTC를 산출하여 시나리오 별 비교·분석을 수행하고, TTC를 사고발생가능성으로 전환하여 사고개연성을 분석하였다. 시나리오 별 TTC 분석 결과, 공격운전 시나리오의 TTC 평균 및 표준편차가 일반운전 시나리오에 비해 낮게 나타났고, 1.5초 이하의 TTC 비율도 공격운전 시 일반운전에 비해 7배 가량 높은 것으로 나타났다. 이는 공격운전 시 후방 밀착주행, 급감속 등 다양한 공격운전 유형을 수행할 때 공격운전 가해자, 피해자의 차량의 간격이 근접한 경우가 발생하기 때문인 것으로 보인다. 또한 TTC를 EDF 식을 통해 0-1 사이의 사고발생가능성으로 전환하여 분석한 결과, 공격운전 시나리오에서 사고발생가능성이 1에 근접한 매우 위험한 상황이 나타났다. 전체적인 분석 결과, 공격운전은 사고개연성이 매우 높은 위험한 운전행태인 것을 확인할 수 있었다.

본 연구의 한계점으로는 공격운전 피해자에게 정속주행의 임무를 주어 공격운전 피해 시의 정확한 주행특성을 파악하기 어렵다. 또한, 주행 시뮬레이션 네트워크는 연속류 상황만을 고려했으며, 정체 상황을 고려하지 않았다. 따라서 향후 다양한 시나리오를 구축하여 현실과 유사한 공격운전을 구현할 필요가 있다. 본 실험은 20대 운전자를 대상으로 실시하였으나, 다양한 연령대를 대상으로 실험을 실시하여 고령 운전자의

공격운전 시 주행특성을 파악할 필요가 있다. 또한, 본 연구에서는 종방향 차량간격만을 이용하여 사고개연성을 분석하였으나, 추가 연구를 통해 횡방향 차량간격에 따른 사고개연성 분석이 필요하다.

본 연구 결과는 공격운전에 대한 교통류 시뮬레이션 시 공격운전 구현의 정확성을 높일 수 있는 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 차량간격과 차량의 상대속도를 이용한 상호작용 분석은 향후 첨단안전장치 도입 시 실시간으로 이루어질 수 있으며, 이를 통해 교통 안전성의 향상을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This research was supported by the National Research Foundation of Korea grant funded by the Korea Government(MSIP) (NRF-2017R1A2B4005835).

## REFERENCES

- Allen B. L., Shin B. T. and Cooper P. J.(1978), Analysis of Traffic Conflicts and Collisions (No. HS-025 846).
- Bogdan S. R., Măirean C. and Havarneanu C. E.(2016), “A meta-analysis of the association between anger and aggressive driving,” *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, vol. 42, pp.350-364.
- Duan J., Li Z. and Salvendy G.(2013), “Risk illusions in car following: Is a smaller headway always perceived as more dangerous?,” *Safety science*, vol. 53, pp.25-33.
- Habtemichael F. and Picado-Santos L.(2013), “Sensitivity analysis of VISSIM driver behavior parameters on safety of simulated vehicles and their interaction with operations of simulated traffic,” *In 92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, DC., January.
- Habtemichael F. G. and de Picado Santos L.(2014), “Crash risk evaluation of aggressive driving on motorways: microscopic traffic simulation approach,” *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, vol. 23, pp.101-112.
- Hayward J. C.(1972), Near miss determination through use of a scale of danger.
- Hydén C.(1987), “The development of a method for traffic safety evaluation: The Swedish Traffic Conflicts Technique,” *Bulletin Lund Institute of Technology*, Department, no. 70.
- Kim S. J., Jung C. S. and Jang S. Y.(2016), “A Study on Preparing Measures for Reducing Aggressive Driving and Road Rage by Analysing Mechanism of How the Driving Behavior Determinants and Dangerous Driving Behavior Factors Affect Aggressive Driving and Road Rage: Targeting Traffic Law Violator and Assaulter of a Traffic Accident,” *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 34, no. 1, pp.15-28.
- Minderhoud M. M. and Bovy P. H.(2001), “Extended time-to-collision measures for road traffic safety assessment,” *Accid. Anal. Prev.* vol. 33, no. 1, pp.89-97.
- National Highway Traffic Safety Administration(2009), Aggressive driving enforcement. Strategies for implementing best practices.

- Oh C. and Kim T.(2010), "Estimation of rear-end crash potential using vehicle trajectory data," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 42, no. 6, pp.1888-1893.
- Oh J. S. and Lee S. C.(2012), "Discriminating Risky Drivers Using Driving Behavior Determinants," *Korean J. Psychological Social Issues*, vol. 18, no. 3, pp.415-433.
- Sin Y. G., Ryu J. B. and Gang S. C.(2007), "Predicting Aggressive Driver Behavior Using a Driving Simulator (RTSA-DS)," *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 25, no. 3, pp.45-54.
- Xiong Z. and Olstam J.(2015) "Orchestration of driving simulator scenarios based on dynamic actor preparation and automated action planning," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 56, pp.120-131.
- Yan X., Xue Q., Ma L. and Xu Y.(2014), "Driving-simulator-based test on the effectiveness of auditory red-light running vehicle warning system based on time-to-collision sensor," *Sensors*, vol. 14, no. 2, pp.3631-3651.
- Yannis G., Golias J. and Antoniou C.(2004), "Combining traffic simulation and driving simulator analyses for Advanced Cruise Control system impact identification," In *Proceedings of the 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*, January, pp.11-14.