

협력형 차량 안전 시스템의 잠재적 안전 효과 분석 연구

Potential Safety Benefit Analysis of Cooperative Driver Assistance Systems Via Vehicle-to-vehicle Communications

강 지 응* · 송 봉 섭**

* 주저자 : 아주대학교 기계공학과 석사과정

** 교신저자 : 아주대학교 기계공학과 교수

Ji woong Kang* · Bongsob Song**

* Dept. of Mechanical Eng., Ajou Univ.

** Dept. of Mechanical Eng., Ajou Univ.

† Corresponding author : Bongsob Song, bsong@ajou.ac.kr

Vol.17 No.2(2018)

April, 2018

pp.128~141

ISSN 1738-0774(Print)

ISSN 2384-1729(On-line)

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

2018.17.2.128

요 약

본 논문에서는 대표적인 6대 협력형 차량 안전 시스템 대한 잠재적인 사회적 안전효과를 분석하는 방법론을 제시하고자 한다. 협력형 차량 안전시스템의 도입 및 확산을 위해서는 사회적으로 어떠한 과급효과를 가져올지에 대하여 안전 시스템 별 정량적 분석이 필요하다. 국내에서 사고유형 기반으로 분석이 이루어진 사례들이 있으나, 사고 시나리오를 기반으로 한 분석방법론을 찾아보기 어렵다. 이러한 방법론을 제시하기 위해서 우선 승용차나 승합차만을 대상으로 한 국내 사망교통사고 데이터를 기반으로 사고 시나리오를 분류한다. 다음으로 사고 시나리오를 분석하여 협력형 차량 안전 시스템에 적용 가능한 시나리오를 선정하고 결과적으로 사망 사고 빈도수를 통해 안전 시스템의 잠재적인 사회적 안전효과를 정량적으로 제시한다. 마지막으로 안전효과의 정량적 분석을 이용하여 협력형 차량 안전 시스템의 인증을 위한 대표 평가 시나리오를 제시한다.

핵심어 : 협력형 차량 안전 시스템, 차량 간 통신, 안전 효과 분석, 교통사고 분석시스템

ABSTRACT

In this paper, a methodology to analyze the potential safe benefit of six cooperative driver assistance systems via V2V (vehicle-to-vehicle) communications is proposed. Although it is quite necessary to assess social impact with respect to new safety technologies for cooperative vehicles with V2V communications, there are few studies in Korea to predict the quantitative safety benefit analysis. In this study, traffic accident scenarios are classified based on traffic fatality between passenger cars. The sequential collision type is classified for a multiple pile-up with respect to collision direction such as forward, side, head-on collisions. Then movement of surrounding vehicle is considered for the scenario classification. Next, the cooperative driver assistance systems such as forward collision warning, blind spot detection, and intersection movement assistance are related with the corresponding accident scenarios. Finally, it is summarized how much traffic fatality may be reduced potentially due to the V2V communication based safety services.

Key words : cooperative driver assistance system, vehicle-to-vehicle communication, safety benefit analysis, traffic accident analysis system

Received 31 August 2017

Revised 29 September 2017

Accepted 26 March 2018

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

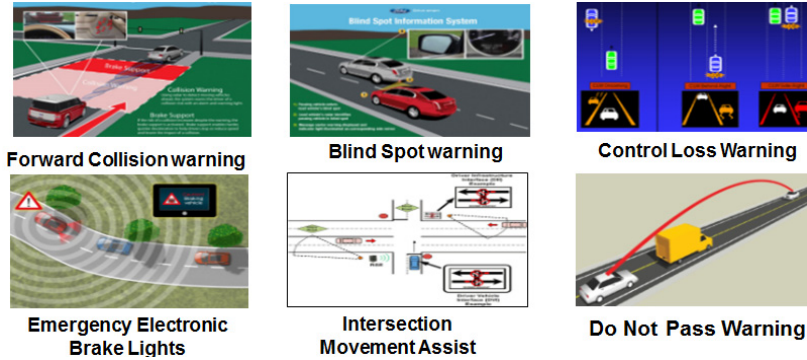
I. 서 론

전 세계적으로 첨단안전자동차에 대한 연구가 진행됨에 따라 적응형 순항제어장치(ACC), 차선이탈경고장치(LDWS), 차선유지장치(LKAS), 긴급제동시스템(AEB) 등 첨단 차량 안전 시스템이 빠르게 상용화되고 글로벌 시장이 급성장하고 있다. 최근에는 차량 내 환경 센서를 기반으로 하는 차량 안전 시스템을 넘어 차량 간 통신을 기반으로 한 협력형 차량 안전 시스템이 개발되고 있으며, 더 나아가 자율주행자동차 개발로 가속화되고 있다(Ahmed-Zaid et al., 2011). 하지만 이러한 협력형 차량 안전 시스템이 상용화되기 위해서는 사회적 수용성 형성을 위한 정량적 안전효과분석과 시스템의 안전성을 확보할 수 있는 인증평가 절차가 법적으로 마련되어야 한다.

첨단 차량 안전 시스템에 대한 정량적 평가를 위한 다양한 연구들이 진행되었다. 시뮬레이션을 통한 연구에는 특정 지역을 모사한 도로에서 순항제어장치(CC), ACC를 사용 한 경우와 그렇지 않은 경우에 대해 maximum speed, time above speed limit 등과 같은 요소를 비교분석한 연구와 차량 안전 시스템의 수준 및 시장보급율에 따른 안전효과를 분석한 연구가 있다(MarkVollrath et al., 2011; Jeong and Oh, 2017). 시험로 주행 데이터를 통한 연구에는 CC 및 충돌회피(CA) 알고리즘을 동일한 상황에 대해 사람의 제어와 비교한 연구가 있다(Moon et al., 2009). 실도로 주행 데이터를 통한 연구에는 CA의 여러 모델을 percent able to respond, frequency of alert 2가지 항목에 대해 비교하는 연구가 있다(McLaughlin et al., 2008). 교통사고 데이터를 통한 연구에는 3가지 충돌 유형에 따라 여러 유형의 운전자 오류가 각각 차지하는 비율을 분석한 연구, 차량 안전 시스템 별로 상해사고를 회피 또는 심각성을 감소시킬 수 있는 잠재적 안전효과를 분석한 연구, LDWS의 편익산정결과/비용산정결과를 통해 2020년과 2030년에 LDWS의 미래 경제성을 평가한 연구, exponential decay function의 수식을 사고발생확률로 전환하여 LDWS와 AEB의 교통안전 효과추정 방법론을 제안한 연구가 있다(Staubach, 2009; Page et al., 2009; Ryu et al., 2009; Jeong and Oh, 2013). 그러나 이러한 연구들은 인증평가 절차에 필요한 평가 시나리오를 선정하는 데에 있어 활용되기 어렵다.

미국 NHTSA나 유럽 ASSESS에서는 시나리오 기반 통계적 분석법을 사용하여 새로운 안전 기술에 대해 사회적/경제적 안전효과를 정량적으로 제시하고 있으며 특히 미국에서는 교통사고 시나리오 별 사회적/경제적 분석에 기반하여 협력형 차량 안전 시스템의 인증평가 절차를 마련하고 있다(Najm et al., 2013; Wisch et al., 2011; Ahmed-Zaid et al., 2011).

시나리오 기반 사회적/경제적 안전효과를 분석하는 방법론은 크게 세 가지 관점으로 나누어 생각해볼 수 있다. 첫 번째로는 사용하는 데이터의 범위이다. 교통사고 데이터, 자동차 사고기록장치(event data recorder), 대규모 검증 프로젝트를 통한 시험로 주행 데이터가 일반적으로 대상이 된다. 미국 NHTSA의 경우 사망 및 중경상 교통사고 데이터와 자동차 사고기록장치의 데이터를 병합하여 교통사고 분석 연구를 2003년도부터 지속적으로 진행하고 있다(Najm et al., 2003). 미국 CAMP(Crash Avoidance Metrics Partnership)프로그램에서는 2006-2009년 3년 동안 VSC-A(Vehicle Safety Communications - Applications) 프로젝트를 진행하여 <Fig. 1>에서 보는 바와 같이 전방추돌경고(FCW), 사각지대경고(BSW), 제어권상실경고(CLW), 긴급제동브레이크등경고(EEBL), 교차로충돌경고(IMA), 중앙선추월경고(DNPW)를 대표 응용 시스템으로 선정하고 시험로 주행 테스트 데이터를 통한 검증을 지속적으로 진행하였다(Ahmed-Zaid et al., 2011; Snyder et al., 2013; Howe et al., 2016).



〈Fig. 1〉 Cooperative Driver Assistance Systems

두 번째로는 교통사고 시나리오의 분류 방법이다. 시나리오를 어떻게 분류 하느냐에 따라 통계 결과에 영향을 미칠 수 있다. 즉, 교통사고 시나리오가 구체적으로 구분이 되고 협력형 차량 안전 시스템의 작동 범위가 정확하게 정의될수록 안전효과에 대한 분석 정확도가 높아진다. 미국 NHTSA의 경우 1990-91년도 사고데이터를 분석하여 “44-crashes”라 불리는 44개의 사고유형으로 분류하는 방법을 제안하였고 이후에 “pre-crash scenarios”라는 개념으로 37개의 사고유형을 제안하고 있다(Najm et al., 2007). 독일의 경우 “German In-depth Accident Study”(GIDAS)를 통하여 사망사고뿐만 아니라 중경상에 해당하는 사고를 모두 기록하고 있으며 나라별로 각자의 기준으로 교통사고를 분석하기 보다는 교통사고 시나리오 분류를 전 세계적으로 표준화하지는 취지로 2011년에 “Initiative for the Global Harmonization of Accident Data”(iGLAD)의 교통사고 시나리오 분류방법이 제안되었다(Chalmers, 2013).

세 번째로는 안전효과의 정량화 방법이다. 정량화 하는 방법에 따라 안전 시스템의 잠재적인 사회적 안전 효과가 다르게 나온다. 미국 NHTSA의 경우 차량 안전 시스템이나 협력형 차량 안전 시스템에 대한 사회적 안전 효과나 경제적 손실을 빈도수(frequency), 경제적 비용(economic cost), functional years lost 3가지 요소로 정량화 하여 분석하고 있다(Najm et al., 2013; Li and Kockelman, 2016). 독일의 한 연구에서는 전체 교통사고 수 대비 차량 안전 시스템으로 예방 가능한 교통사고 수의 비율로 안전효과를 정량화하였다(Kuehn et al., 2009).

국내 교통 환경을 반영한 문헌들의 경우 교통사고 데이터를 정면충돌, 측면직각충돌, 공작물 추돌과 같은 사고유형으로만 분류하여 차량 안전 시스템의 안전효과를 분석하고 있다. 즉, 교통사고 데이터를 교통사고 시나리오로 분류하고 있지 않아 새로운 시스템에 대한 안전효과분석과 각 시스템의 인증을 위한 평가 시나리오를 선장함에 있어 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 선행 연구에 이어 교통사고 시나리오 분류 절차를 강화한 결과를 바탕으로 차량 안전 시스템의 잠재적 안전효과를 정량적으로 제시하고 협력형 차량 안전 시스템의 인증을 위한 대표 평가 시나리오를 선정하는 방법론을 보이고자 한다(Song and Kang, 2017; Kang et al., 2017; Lee et al., 2017). 먼저 국내 사망교통사고 데이터를 데이터 범주로 정하고 pre-crash 시나리오 및 iGLAD를 기반으로 교통사고 데이터를 각 시나리오로 분류한다. 다음으로 교통사고 시나리오 중 차량 간 통신키본 협력형 차량 안전 시스템에 적용 가능한 교통사고 시나리오를 선정하여 협력형 차량 안전 시스템의 잠재적 안전효과를 교통사고 시나리오의 사고 빈도수로 정량화한다. 방법론을 제안하는 것이 목적인만큼 2012~14년까지 3년간 교통사고 데이터만을 사용한다. 더 긴 기간 동안의 데이터 및 중경상 교통사고 데이터를 포함한다면 좀 더 신뢰도가 높은 분석 결과가 도출될 수 있음을 미리 언급한다. 마지막으로 이러한 분석의 결과를 기반 하여 차량 간 통신키본 협력형 차량 안전 시스템을 인증하기 위한 대표 평가시나리오를 제안한다.

II. 교통사고 시나리오 분류

1. 국내 교통사고 데이터 분류

국내의 경우 2011년도부터 도로교통공단에서 교통사고분석시스템(TAAS)을 구축하고 교통사고 데이터를 관리하고 있다(Korea Road Traffic Authority, 2017). 이에 의하면 2012-14년 사이 차대차 사고로 인한 교통사망 건수는 5,636건이며 이중 대상차종을 승용차와 승합차만으로 고려할 경우 1,096건(19.4%)이 발생하였다. 승용차와 승합차만을 고려한 이유는 차량 간 통신기반 협력형 안전 시스템의 적용 대상을 화물차나 특수목적 차량을 제외한 승용차로 한정했기 때문이다.

TAAS에서는 ‘사고유형 대분류(Collision type 1)’를 구분할 때 다음의 규칙을 따른다고 되어있다. ‘다수의 차량과 다수의 사람이 관련된 사고가 동일한 사고로 처리 될 경우 해당사고의 최초의 사고유형을 말한다.’ 하지만 ‘사고유형 대분류’가 차대차 임에도 사고개요에 의거하면 ‘최초의 사고유형’이 차량 단독이나 차대사람 사고가 포함된 경우가 있어 이를 다시 분류할 필요가 있었다. 재분류 시 ‘최초의 사고유형’에 대한 기준을 사고 제1차량의 최초 충돌에 대한 사고유형 또는 <Table 1(a)> 예와 같이 충돌이 일어나기 전 사고를 유발한 원인이 적혀져 있는 28건에 대해서는 사고를 유발한 원인으로 하였다. 재분류 결과 차대사람 83건, 차량단독 90건, 차대차 사고이나 농기계나 이륜차 또는 자전거와의 사고 8건, 차대차 사고이나 사고차량들의 위치와 진행방향이 나와 있지 않아 분석이 불가능한 데이터 51건(<Table 1(b)> 참조)과 같은 오류 데이터가 존재하였다. 이를 제외한 864건의 차대차 사고데이터를 대상으로 분석을 진행하였다.

<Table 1> Examples of wrong classification of collision type 1

Collision type 1	Accident description
vehicle-to-vehicle	The # 1 car (carnival) was driving along the Gangbyeonno in front of the 206 Dong of Garak town, Hadan-dong, along the third line of one way-four lane road from the direction of Dadae-dong to the direction of Eomgung-dong. At the point of the accident, the driver found a motorcycle running ahead of the car which is same line and braked. The steering wheel turned to the left and drove over the median. The #1 car was drove on the opposite side hence the front of the #1 car came butt against front of the #2 car (Windstorm). The #1 car was overturned after the collision.

(a) Vehicle to Motorcycle case

vehicle-to-vehicle	The # 1 car violated a traffic signal that's why the car is collided with # 2 car.
--------------------	--

(b) Non-classification case

다음으로 TAAS에서는 정면충돌, 측면직각충돌, 진행중 추돌, 주정차중 추돌, 기타 5가지로 분류되는 ‘사고유형(Collision type 2)’항목이 있으며 다음과 같은 이유로 재분류가 추가적으로 필요하다. 첫째, 동일 사건에 대해 사고유형과 사고개요가 불일치하는 경우가 있었다. 예를 들어 <Table 2>의 첫 번째 사례처럼 사고유형은 ‘측면직각충돌(Collision type 2: 2)’로 되어 있으나 사고개요를 보면 ‘주정차중 추돌(Collision type 2: 4)’이어서 불일치한다. 둘째, 사고유형이 ‘기타(Collision type 2: 5)’로 분류되어 있으나 사고개요를 분석했을 때 사고유형을 ‘기타’가 아닌 다른 유형으로 분류가 가능한 경우가 있었다. 예를 들어서, <Table 2>의 두 번째 사례처럼 사고개요를 보면 ‘진행중 추돌(Collision type 2: 3)’로 분류가 가능하다. 셋째, 다중충돌의 경우 최초 사고 기준이 아닌 사망사고에 직접적인 충돌 시점을 기준으로 분류가 되어 있다(<Table 2> 세 번째 사례 참조). 따라서 (1)사고유형과 사고개요가 불일치하는 경우 사고개요를 기준으로 사고유형을 변경하였다. (2)사

고유형이 ‘기타’로 분류되어 있더라도 사고개요를 보고 다른 유형으로 분류가 가능한 경우 사고개요를 기준으로 사고유형을 변경하였다. (3)최초 사고 기준으로 사고유형을 변경하였다. 재분류 한 결과를 <Table 3>과 같이 나타내었고 최초 데이터에서 ‘정면충돌’로 분류된 사고 227건은 ‘정면충돌(Collision type 2: 1)’ 197건, ‘측면직각충돌’ 23건, ‘진행중 추돌’ 2건, ‘주정차중 추돌’ 2건, ‘기타’ 3건으로 재분류되었다.

<Table 2> Examples of wrong classification of Collision type 2

*Collision type 2	Accident description
2 → 4	The # 1 car was driving on the third line of one way-five lane road from Incheon direction to Suwon direction. In the same lane, the driver of the # 1 car was passed away by colliding with the rear end of the # 2 car that was waiting for the signal.
5 → 3	This accident was that a driver of #1 car drove via third line of one way-third lane road from Yangjae-dong to Segok-dong with the driver’s blood alcohol concentration of 0.343%. In the meantime, #2 car, which was ahead of #1 car, was collide by the the #1 car.
2 → 1	The (#1) car moved forward from the Shincheon IC side to the Anhyeon Junction along the first lane in the reverse direction. The (#1) car was in a head-on collision with the car (#2), which was running along the first lane from the Anhyeon to the Sincheon IC. The (#3) car is moving along the first lane from the Anhyeon Junction to the Sincheon IC. The side of driver seat in the car (#3) hit the side of driver seat in the car (#1) which had previously been stopped due to an accident.

* 1: Collision with another oncoming vehicle, 2: Collision with another vehicle moving laterally in the same direction or collision with another vehicle which turns into or crosses a road, 3: Collision with another vehicle moving ahead, 4: Collision with another vehicle waiting, 5: Etc.

<Table 3> Result of Reclassification

Before (*Collision type 2)	Result(Collision type 2)					Total
	1	2	3	4	5	
1	197	23	2	2	3	227
2	38	188	3	12	9	250
3	12	15	39	22	4	92
4	1	2	7	89	2	101
5	63	61	21	34	15	194
Total	311	289	72	159	33	864

* 1: Collision with another oncoming vehicle, 2: Collision with another vehicle moving laterally in the same direction or collision with another vehicle which turns into or crosses a road, 3: Collision with another vehicle moving ahead, 4: Collision with another vehicle waiting, 5: Etc.

2. 사고 시나리오 분류

미국 NHTSA의 경우 37개의 pre-crash 시나리오를 정의하여 사고 시나리오를 분류하고 있다. 그 중 17개가 차대차 사고 시나리오이며 자동차 사고기록장치(EDR)의 차량 속도 정보를 이용하여 전방 차량의 가감속과 교차로에서 차량이 신호를 지켜 진행했는지를 구분하여 시나리오를 분류하고 있다. 하지만 본 연구에서는 TAAS가 제공하는 교통사고 데이터만을 사용하기 때문에 전방 차량의 가·감속 및 사고 당시 신호등의 신호를 제한적으로만 파악할 수 있다. 따라서 이러한 환경을 구분하지 않는다면 11개의 시나리오로 병합된다. 다음으로 11개의 시나리오를 TAAS의 ‘사고유형’ 구분과 ‘도로형태 대분류(Vehicle location)’ 구분으로 분류하고 사고 건수를 <Table 4>와 같이 요약하였다. <Table 4>에서 정면충돌, 단일로에 해당하는 283건 모두가 2개의

pre-crash 시나리오 범주에 해당 하는 것은 아니며, 데이터화 하는 과정이 더 필요하다. <Table 4>를 활용하여 <Fig. 2>의 예제와 같이 글로 서술되어 있는 사고개요를 기반으로 864건의 데이터를 pre-crash 시나리오로 데이터화 하였다. <Fig. 2>는 ‘사고유형’ 구분에서 측면직각충돌, ‘도로형태 대분류’ 구분에서 교차로에 해당하는 222건 중에 2건에 대한 예시이다. <Fig. 2(a)>를 보면 경기차량과 울산차량이 마주보고 진행하는 중에 경기차량은 자회전하고 울산차량은 직진하여 사고가 났음을 알 수 있다. 이는 pre-crash 시나리오에서 ‘LTAP/OD at non-signalized junctions’ 시나리오에 해당 된다. <Fig. 2(b)> 역시 같은 과정을 거쳐 시나리오로 데이터화 한 예이다.

유럽에서 제안한 iGLAD는 교통사고 시나리오를 7개의 그룹, 296개의 ‘Accident type’으로 분류하고 있다 (Chalmers, 2013). 그 중 차대차 사고(자전거 제외) 시나리오는 134개이며 두 차량의 진행 방향과 위치가 같은 시나리오 임에도 신호등의 유무, 차선 구분, 한국에는 없는 도로유형, 제3차량의 유무 및 거동에 따라 시나리오를 분류한다. 하지만 TAAS가 제공하는 정보로는 이러한 요소들을 제한적으로만 구분 할 수 있다. 따라서 이러한 요소들을 구분하지 않는다면 57개의 시나리오로 병합된다. 다음으로 57개의 시나리오를 TAAS의 ‘사고유형’ 구분과 ‘도로형태 대분류’ 구분으로 분류하고 사고 건수를 <Table 5>과 같이 요약하였다(<Table 5>에서 621의 경우 단일로, 교차로를 구분하지 않아 중복 표기하였음, 621: Longitudinal traffic - veh. waiting mandatory and follower). <Table 5>를 활용하여 pre-crash 시나리오와 마찬가지로 864건에 대해 accident type으로 데이터화 하였다. <Fig. 3>은 ‘주정차중 추돌’이면서 ‘단일로’에 해당하는 113건 중에 2건을 나타낸 것이다.

864건의 데이터를 pre-crash 시나리오로 분류했을 경우 652건(75%)의 데이터가 11개의 시나리오에 포함되었으며 나머지 212건(25%)은 시나리오에 포함되지 못하였다. accident type으로 분류했을 경우 737건(85%)의 데이터가 57개의 시나리오에 포함되었으며 나머지 127건(15%)은 accident type-799(others)로 분류되어 accident type이 pre-crash 시나리오 보다 TAAS 데이터를 더 많이 분류할 수 있었다. 따라서 분석하는데 있어 더 적합하다는 것을 알 수 있었으며 이에 이후 각 시스템의 인증을 위한 평가 시나리오 선정에 있어서는 accident type을 이용할 것이다.

<Table 4> Classification Scenario - Pre-crash

*Collision type 2	Vehicle location	Pre-crash Scenarios (total number)	Frequency
1	Non-Junction	Opposite direction/no vehicle maneuver (1)	283
	Junction	-	28
2	Non-Junction	Changing lanes/both vehicles traveling in same direction, Drifting/both vehicles traveling in same direction (2)	67
	Junction	LTAP/OD at non-signalized junctions, SCP at non-signalized junctions, Turning at non-signalized junctions, Turning right at signalized junctions, Turning/ both vehicles traveling in same direction (5)	222
3	Non-Junction	Rear-end crash/LVM, Rear-end crash/following vehicle making a maneuver (2)	64
	Junction	-	8
4	Non-Junction	Rear-end crash/LVS (1)	113
	Junction	-	46
5	Non-Junction	-	18
	Junction	-	15
Total	-	(11)	864

* 1: Collision with another oncoming vehicle, 2: Collision with another vehicle moving laterally in the same direction or collision with another vehicle which turns into or crosses a road, 3: Collision with another vehicle moving ahead, 4: Collision with another vehicle waiting, 5: Etc.

Accident description	Pre-crash Scenarios
The car, Gyeonggi ** Neu ****, collided with car, Ulsan**Ba****Ho, which goes straight with correct traffic signal to Songjeong from Ilgwang. The accident occurs due to the car, Gyeonggi ** Neu**, violated traffic signal and turned left to the Gijang-eup office from Songjeong.	

(a) LTAP/OD at non-signalized junctions(Left Turn Across Path/Opposite Directions)

The #1 car went straight from the Yongjang to Bonggye Ri, and at the time, there occurred the accident that the #1 car hit right side of the #2 car with front of the 1 car while the #2 car went straight from Oedong-eup to Naenam-myeon.	
---	--

(b) SCP at non-signalized junctions(Straight Crossing Paths)

<Fig. 2> Examples of pre-crash scenarios

<Table 5> Classification Scenario - iGLAD(accident type)

Collision type 2	Vehicle location	Accident type (total number)	Frequency
1	Non-Junction	543, 681, 682 (3)	283
	Junction	-	28
2	Non-Junction	561, 562, 571, 572, 635, 645, 646, 702, 714, 715, 721, 722, 724 (13)	67
	Junction	201, 211, 212, 214, 215, 232, 251, 252, 261, 262, 301, 302, 303, 306, 321, 322, 323, 326, 351, 352, 591, 592, 593, 594 (24)	222
3	Non-Junction	541, 542, 601 (3)	64
	Junction	201, 231 (2)	8
4	Non-Junction	501, 502, 621, 701, 741 (5)	113
	Junction	621 (0)	46
5	Non-Junction	581, 582, 651, 652, 703, 711, 712 (7)	18
	Junction	-	15
Total	-	(57)	864

* 1: Collision with another oncoming vehicle, 2: Collision with another vehicle moving laterally in the same direction or collision with another vehicle which turns into or crosses a road, 3: Collision with another vehicle moving ahead, 4: Collision with another vehicle waiting, 5: Etc.

Accident description	iGLAD(accident type)
The #1 Infiniti car hit left rear of the #2 tourist bus by right front bumper which parked on the road in the direction of the Anseong IC from Bubwon junction. The driver of #1 car was blood alcohol concentration of 0.128%.	

(a) Accident type-501

The # 1, 2, 3, 4 cars were moving forward from Busan to Gimhae. It is an accident that collided with a # 2 vehicle that was stationed due to congestion. It happened due to negligence on the safe distance in driving the second lane of one way-two lane road.	
--	--

(b) Accident type-621

(A: participant 1, B: participant 2)

<Fig. 3> Examples of iGLAD(accident type)

Ⅲ. 협력형 안전 시스템의 안전 효과 분석

본 논문에서는 잠재적 안전효과를 분석하기 위하여 모든 차량이 협력형 안전 시스템 단말기를 사용하고 있고 이를 지원하기 위한 인프라가 완전히 구현되어 있으며 모든 단말기 사용자가 안전 시스템의 경고를 순응한 경우라 가정한다. 또한 교통사고 시나리오와 <Fig. 1>에서 소개된 대표 응용 시스템과의 연관성을 정의하고자 한다. 우선 CLW의 경우 노면 상태나 차량 고장 상태를 알아야 하지만 현재의 데이터를 가지고는 알 수 없기에 본 논문에서는 고려하지 않는다. 또한 전방 추돌 위험이 있는 경우 FCW는 운전자에게 직접 경고를 해주는 시스템이며 EEBL은 급제동 시 외부지시등을 통하여 주변 차량에 경고를 해주는 시스템이다. 전방 차량의 급제동 여부를 알 수 있다면 좀 더 시나리오를 상세 구분하여 분석을 할 수 있지만 관련 데이터가 없는 관계로 FCW와 EEBL에 적용되는 시나리오가 동일하다고 가정하였다.

이미 미국 NHTSA에서는 I 서론에서 언급하였듯이 pre-crash 시나리오와 대표 응용 시스템의 연관성을 정의하고 각 시스템의 잠재적인 사회적 안전 효과를 분석한 결과를 보고서에 나타내고 있다. 이 보고서를 참고하여 iGLAD의 accident type과 대표 응용 시스템을 <Table 6>과 같이 맵핑하였다. 맵핑한 결과 57개의 시나리오 중에 21개의 시나리오가 대표 응용 시스템과 연관성이 있었으며 협력형 차량 안전 시스템에 해당되는 데이터는 864건 중 652건(75%)이었다.

<Table 6> Mapping of Scenarios to VSC-A Applications

VSC-A safety applications	Pre-crash scenario	Accident type (total number)
FCW+EEBL	Rear-end crash/LVM	541, 542, 601, 621 (4)
	Rear-end crash/following vehicle making a maneuver	
	Rear-end crash/LVS	
BSW	Changing lanes/both vehicles traveling in same direction	202, 232, 635, 645, 646 (5)
	Drifting/both vehicles traveling in same direction	
	Turning/ both vehicles traveling in same direction	
DNPW	Opposite direction/no vehicle maneuver	681, 682 (2)
IMA	LTAP/OD at non-signalized junctions	211, 215, 301, 302, 303, 321, 322, 323, 351, 352 (10)
	SCP at non-signalized junctions	
	Turning at non-signalized junctions	
	Turning right at signalized junctions	
Total	11 Scenarios	21 Scenarios

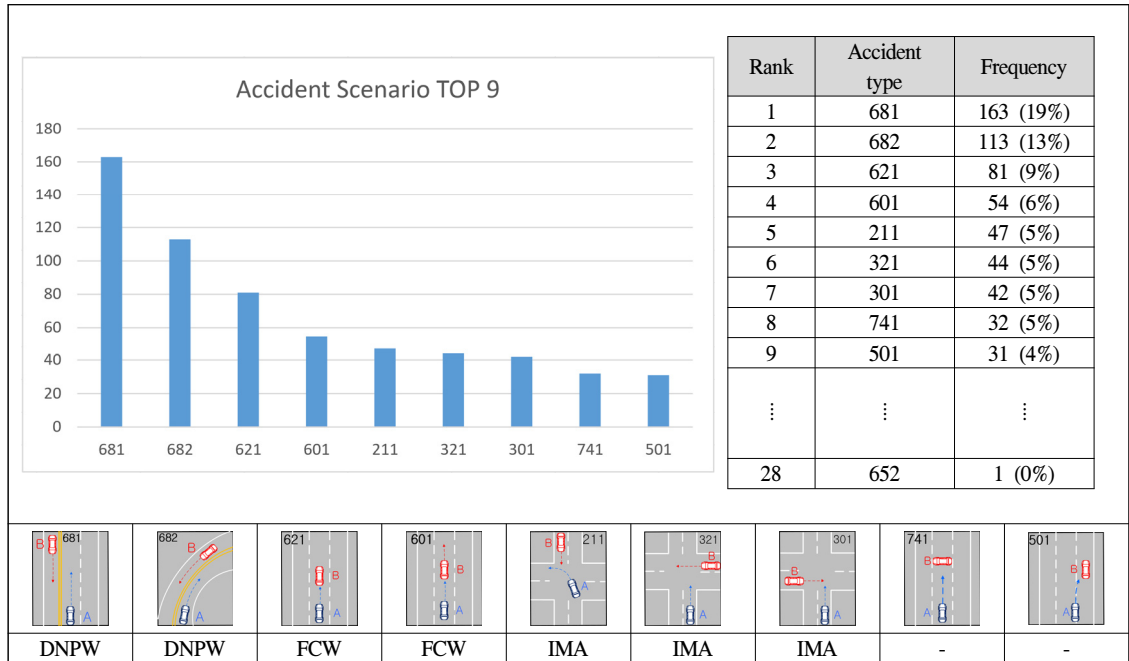
<Table 6>을 바탕으로 미국과 한국의 협력형 차량 안전 시스템 별 잠재적인 사회적 안전 효과를 <Table 7>과 같이 미국 GES(General Estimates System)의 2004-2008 5년간 데이터의 연 평균 빈도수(frequency)와 비교하였다(Najm et al., 2013). 미국에서는 빈도수, 경제적 비용, functional years lost 3가지 요소로 잠재적인 사회적 안전 효과를 정량화 하고 있다. 본 논문에서는 TAAS에서 제공하는 사망사고 데이터만을 사용하기에 직접적인 비교는 어렵고 잠재적인 사회적 안전효과의 일부인 사망사고 빈도수만을 분석하여 미국의 경우와 비교하였다. 분석 결과 미국에서는 FCW+EEBL 시스템이 가장 잠재적인 사회적 안전 효과가 높게 나온 반면 한국에서는 DNPW 시스템이 가장 잠재적인 사회적 안전 효과가 높은 것으로 나타났다.

<Table 7> Potential safety benefits of safety applications

VSC-A safety applications	pre-crash scenario	Korea 2012-2014 TAAS		U. S. A 2004-2008 GES	
		Frequency	Rank	Frequency	Rank
FCW+EEBL	Rear-end crash/LVM	137	3	1,646,000	1
	Rear-end crash/following vehicle making a maneuver				
	Rear-end crash/LVS				
BSW	Changing lanes/both vehicles traveling in same direction	52	4	643,000	3
	Drifting/both vehicles traveling in same direction				
	Turning/ both vehicles traveling in same direction				
DNPW	Opposite direction/no vehicle maneuver	276	1	129,000	4
IMA	LTAP/OD at non-signalized junctions	187	2	917,000	2
	SCP at non-signalized junctions				
	Turning at non-signalized junctions				
	Turning right at signalized junctions				
Total	-	652	-	3,335,000	-

하지만 미국의 경우 모든 중경상 사고를 포함하고 있는 반면 이 연구 결과의 경우는 승용차 및 승합차 간의 사망사고만을 고려하고 있어 건수가 상대적으로 매우 적으며, 해당 순위를 직접적인 비교하는 것은 분석에 포함시킨 데이터의 범주에 따라 달라질 수 있음을 언급하고자 한다. 또한 본 연구에서는 교통사고 데이터 분석을 통하여 첨단안전시스템의 잠재적인 사회적 안전 효과를 정량적으로 분석할 수 있는 방법론을 소개하는 것에 목적을 두고 있음을 다시 한 번 강조하고자 한다. 또한 잠재적인 사회적 안전효과에서 1순위인 DNPW의 경우 차선을 유지하는 차선 유지 시스템(lane keeping assist)의 기능을 모두 포함하고 있다. 즉 운전자가 앞 차를 추월하는 과정에서 정면충돌이 발생하였는지 운전자의 부주의로 중앙선을 침범하여 정면충돌이 발생하였는지에 대한 명확한 구분을 할 수가 없다. 이렇듯 안전효과가 다소 중복되거나 확장되어서 해석하는 경우도 있기에 잠재적인 사회적 안전효과라고 명기하고 있다는 점도 밝히고자 한다.

추가적으로 전체 864건 데이터를 accident type 별로 빈도수를 비교 하여 <Fig. 4>와 같이 나타내었다. 864건 중 737건이 57개의 시나리오로 분류되었고 나머지 127건은 기타(others)로 분류되었다. 기타로 분류된 127건을 제외하고 빈도수가 1 이상인 시나리오는 57개 중 28개였으며 28개의 accident type을 비교하였다. 864건 중 4% 이상의 빈도수를 갖는 상위 9개의 accident type을 그래프 아래 도식화하여 나타내었다. 예상대로 DNPW에 해당되는 accident type이 1, 2 순위를 기록했으며 잠재적인 사회적 안전 효과에서 2위순인 IMA 보다 3순위인 FCW에 해당되는 accident type이 그 다음 순위를 기록 하였다. 8, 9위 accident type은 864건 중 63건(7%)으로 6대 협력형 차량 안전 시스템에 해당되지 않았지만 비교적 높은 빈도수를 갖는 것을 확인할 수 있었다. accident type-741은 선행 사고로 전복되어 있거나, 차선에 걸쳐 있는 등 사고로 인해 멈춰 있는 차량을 뒤에서 충돌한 경우이고 accident type-501은 갓길 또는 편도 마지막 차로에 시동이 꺼져 있는 상태로 주차되어 있는 차량을 다른 차량이 후방 옆 차선에서 차선변경으로 충돌하거나 동일 차선 뒤에서 직진 충돌한 경우이다.

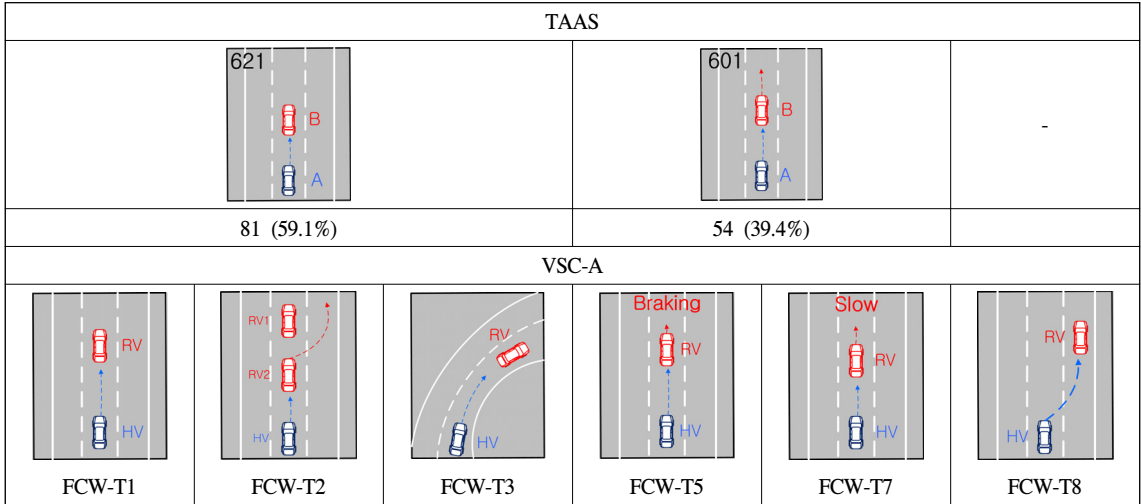


〈Fig. 4〉 Accident scenarios TOP 9

IV. 협력형 차량 안전 시스템의 인증을 위한 평가 시나리오

협력형 안전 시스템의 잠재적인 사회적 안전 효과 분석 결과를 통해 각 시스템을 인증하기 위한 평가 시나리오를 정의하고 미국 NHTSA의 인증 평가 시나리오와 비교하고자 한다. 각 시스템에 해당하는 accident type 내에서 빈도수가 높은 순위부터 누적분포가 90%를 초과되는 순간까지 순위의 accident type을 인증을 위한 평가 시나리오로 선정하였다. 미국의 경우 VSC-A 프로젝트를 통해 협력형 안전 시스템별 인증을 위한 평가 시나리오를 명시하였으며 경고가 울려야 하는 True positive 시나리오와 경고가 울리면 안 되는 False positive 시나리오 2가지로 인증을 위한 평가 시나리오를 구분한다(Ahmed-Zaid et al., 2011). 여기서 False positive 시나리오는 직·곡선과 같은 도로유형과 다중차량이 있는 환경에서 시스템의 오작동 유무를 평가하기 위한 시나리오이다. 잠재적인 사회적 안전 효과 분석은 실제 발생한 사고를 기반으로 이루어졌기 때문에 이 중 True positive 시나리오와 비교하고자 한다.

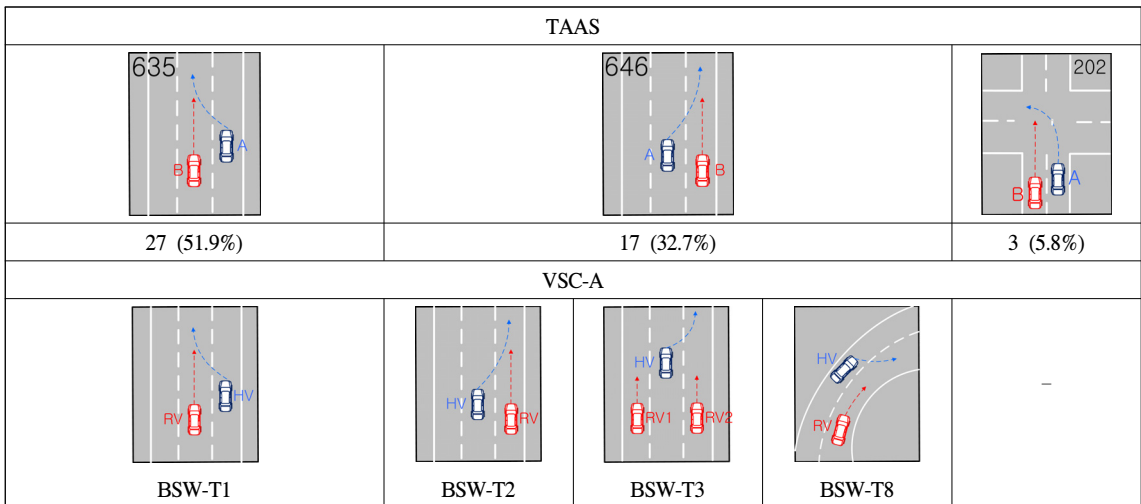
FCW시스템의 인증을 위한 평가 시나리오는 <Fig. 5>과 같이 총 2개가 선정되었으며 이는 FCW에 해당되는 데이터 137건 중 135건(98.5%)을 포함한다(<Table 7> 참조). VSC-A의 FCW시나리오는 총 9개이며 그중 True positive 시나리오에 해당되는 6개 시나리오와 비교하였다. accident type-621의 경우 VSC-A와 비교해 봤을 때 FCW-T1과는 완전히 동일하였고 FCW-T2와는 제3의 차량의 유무가 있었으며 FCW-T3와는 도로 선형의 차이가 있었다. accident type-601의 경우 VSC-A와 비교했을 때 앞 차량의 속도만 차이가 있을 뿐 동일하다는 것을 알 수 있다. 전체적으로 FCW-T8을 제외 하면 VSC-A의 시나리오와 유사하다.



HV(Host Vehicle), RV(Remote Vehicle)

〈Fig. 5〉 Test scenarios for FCW

BSW시스템의 인증을 위한 평가 시나리오는 <Fig. 6>과 같이 총 3개가 선정되었으며 BSW에 해당되는 데이터의 90.4%를 포함한다. VSC-A의 BSW시나리오는 총 8개이며 그 중 True positive 시나리오에 해당하는 4개의 시나리오와 비교하였다. 차선을 왼쪽으로 변경하는 accident type-635와 BSW-T1은 동일하였고 오른쪽으로 변경하는 accident type-646과 BSW-T2, 3, 8은 제3차량 유무, 도로선형에서 차이가 났다. accident type-202는 VSC-A의 시나리오에는 없는 차별성 있는 시나리오이다. 이 시나리오는 BSW에 해당 되는 52건 중 3건 (5.8%)을 차지한다.



〈Fig. 6〉 Test scenarios for BSW

DNPW시스템의 인증을 위한 평가 시나리오는 <Fig. 7> 왼쪽과 같이 총 2개가 선정되었으며 DNPW에 해당되는 데이터의 100%에 해당된다. VSC-A의 DNPW시나리오는 총 3개이며 그 중 2개가 True positive 시나리오에 해당되어 이와 비교하였다. accident type-681과 DNPW-T1, 2는 앞 차량의 유무와 움직임에 있어 차이가 있었고 accident type-682는 VSC-A의 시나리오에는 없는 차별성 있는 시나리오이다. 이 시나리오는 DNPW에 해당되는 276건 중 113건(40.9%)을 차지한다.

IMA시스템의 인증을 위한 평가 시나리오는 <Fig. 7> 오른쪽과 같이 총 5개가 선정되었으며 IMA에 해당되는 데이터의 95.2%에 해당된다. VSC-A의 IMA시나리오는 총 5개이며 그 중 True positive 시나리오에 해당되는 3개의 시나리오와 비교하였다. accident type-321과 IMA-T1, 2, 3은 모두 교차로 오른쪽에서 상대차량과 나오는 시나리오로 VSC-A에서는 내 차량이 정지선에서 출발하는 경우와 상대차량과 내 차량 사이에 장애물 차량이 있는 경우가 있어 차이를 보였고 accident type-211, 301, 302, 351의 경우 VSC-A의 시나리오에는 없는 차별성 있는 시나리오이다. 이 시나리오들은 IMA에 해당되는 187건 중 142건(72.7%)을 차지한다.

TAAS (DNPW)		TAAS (IMA)				
163 (59.1%)	113 (40.9%)	47 (25.1%)	44 (23.5%)	42 (22.5%)	24 (12.8%)	21 (11.2%)
VSC-A (DNPW)		VSC-A (IMA)				
					-	-
DNPW-T1	DNPW-T2	IMA-T1	IMA-T2	IMA-T5		

OLRV(Oncoming Left Remote Vehicle), ARV(Ahead Remote Vehicle)

<Fig. 7> Test scenarios for DNPW and IMA

V. 결론

국내 교통사고분석시스템의 사망교통사고 데이터를 기반으로 사고 직전(pre-crash)의 시나리오로 체계적으로 분류하고 협력형 차량 안전 시스템의 대표 응용시스템에 대한 잠재적인 사회적 안전효과를 분석하였다. 또한 안전효과 분석 결과를 바탕으로 차량 안전 시스템을 인증하기 위한 평가 시나리오를 선정하였다. 이러한 결과들을 통해 발견된 우리나라만의 특징들은 국내의 사망교통사고를 줄이는데 있어 효율성을 높일 것으로 기대된다. 교통사고 예방을 위한 운전자지원시스템이나 더 나아가 자율주행자동차의 도입을 위한 사회적 합의의 위해서는 사회적/경제적 효과를 분석하는 연구가 꾸준히 이루어져야 한다. 특히 사고 직전의 차량 데이터, 즉 자동차 사고기록장치(EDR)에 대한 데이터나 중·경상 사고에 대한 데이터까지 포함될 수 있다면 더욱 정확한 안전효과를 분석할 수 있을 것으로 예상된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 산업융합기반구축사업[‘협조형 차량 안전 시스템을 위한 무선통신 및 응용 서비스 평가인증인프라 구축’과제]의 연구비 지원[N0000889]에 의해 작성되었습니다.

REFERENCES

- Chalmers(2013), “iGLAD Codebook of the common data scheme,” pp.7-49.
- European Commission(2011), *Specifications for scenario definitions*, pp.8-28.
- Jeong E. B. and Oh C.(2013), “Methodology for estimating safety benefits of advanced driver assistant systems,” *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*, vol. 12, no. 3, pp.65-77.
- Jeong E. B. and Oh C.(2017), “Evaluating the effectiveness of active vehicle safety systems,” *Accident Analysis & Prevention*, vol. 100, pp.85-96.
- Kang J. W., Lee J. M. and Song B. S.(2017), “A Study on Evaluation for a Forward Collision Warning System Based on V2V Communication,” *The Korean Society of Automotive Engineers 2017 Annual Spring Conference*, vol. 2017, no. 5, pp.737-739.
- Korea Road Traffic Authority(2017), <http://www.koroad.or.kr>, 2017. 08. 28.
- Kuehn M., Hummel T. and Bende J.(2009), “Benefit estimation of advanced driver assistance systems for cars derived from real-life accidents,” *International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles(ESV)*, Paper No. 09-0317.
- Lee J. M., Kang J. W. and Song B. S.(2017), “A Scenario Analysis of Intersection Movement Assistance via Accident Analysis at Intersection,” *The Korean Society of Automotive Engineers 2017 Annual Spring Conference*, vol. 2017, no. 5, pp.602-603.
- Li T. and Kockelman K. M.(2016), “Valuing the safety benefits of connected and automated vehicle technologies,” *Transportation Research Board 95th Annual Meeting*, pp.1-18.
- MarkVollrath, Schleicher S. and Gelau C.(2011), “The influence of cruise control and adaptive cruise control on driving behaviour - a driving simulator study,” *Accident Analysis & Prevention*, vol. 43, pp.1134-1139.
- McLaughlin S. B., Hankey J. M. and Dingus T. A.(2008), “A method for evaluating collision avoidance systems using naturalistic driving data,” *Accident Analysis & Prevention*, vol. 40, pp.8-16.
- Moon S., Moon I. and Yi K.(2009), “Design, tuning, and evaluation of a full-range adaptive cruise control system with collision avoidance,” *Accident Analysis & Prevention*, vol. 17, pp.442-455.
- National Highway Traffic Safety Administration(2003), “Analysis of light vehicle crashes and pre-crash scenarios based on the 2000 general estimates system,” pp.1-24.
- National Highway Traffic Safety Administration(2007), “Pre-crash scenario typology for crash avoidance research,” pp.1-13.
- National Highway Traffic Safety Administration(2011), *Vehicle safety communication-applications (VSC-A)*, pp.1-29.
- National Highway Traffic Safety Administration(2013), “Description of priority light-vehicle pre-crash

- scenario for safety applications based on vehicle-to-vehicle communications,” pp.1-12.
- National Highway Traffic Safety Administration(2013), “Evaluation of CIB system susceptibility to non-threatening driving scenarios on the test track,” pp.1-21.
- National Highway Traffic Safety Administration(2016), “Commercial connected vehicle test procedure development and test results - forward collision warning,” pp.1-41.
- Page Y., Hermitte T., Chauvel C., Van Elslande P., Hill J., Kirk A., Hautzinger H., Schick S., Hell W., Alexopolous K., Pappas M. and Barrios J.(2009), “Reconsidering accident causation analysis and evaluating the safety benefit of technologies: final results of the trace project,” *International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles(ESV)*, Paper No. 09-0148.
- Ryu B. Y., Choi J. E. and Bae S. H.(2009), “An analysis of economic evaluation related to lane departure warning system,” *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*, vol. 8, no. 5, pp.85-97.
- Song B. S. and Kang J. W.(2017), “A Study on safety benefit analysis of cooperative driver assistance systems based on vehicle-to-vehicle communications,” *The 2017 Korean Institute of ITS Conference*, vol. 2017, no. 4, pp.206-208.
- Staubach M.(2009), “Factors correlated with traffic accidents as a basis for evaluating advanced driver assistance systems,” *Accident Analysis & Prevention*, vol. 41, pp.1025-1033.