

# 전방충돌경보(FCW)의 교통안전 증진효과 추정

## Estimation of Traffic Safety Improvement Effect of Forward Collision Warning (FCW)

김형규\* · 이수범\*\* · 이혜린\*\*\* · 홍수정\*\*\*\* · 민혜령\*\*\*\*\*

\* 주저자 및 교신저자: 한국건설기술연구원 미래융합연구본부 박사후연구원

\*\* 공저자: 서울시립대학교 교통공학과 교수

\*\*\* 공저자: 서울시립대학교 교통공학과 박사과정

\*\*\*\* 공저자: 서울시립대학교 교통공학과 박사과정

\*\*\*\*\* 공저자: 서울시립대학교 교통공학과 석사과정

Hyung-kyu Kim\* · Soo-beom Lee\*\* · Hye-rin Lee\*\* · Su-jeong Hong\*\*

· Min-hye Ryung\*\*

\* Dept. of Future Tech. and Convergence Research, Korea Institute of Civil Eng. and Building Tech.

\*\* Dept. of Transportation Eng., Univ. of Seoul

† Corresponding author : Hyung-kyu Kim, Hyoungkyukim@kict.re.kr

Vol.20 No.2(2021)

April, 2021  
pp.43~57

pISSN 1738-0774  
eISSN 2384-1729  
<https://doi.org/10.12815/kits.2021.20.2.43>

Received 24 March 2021  
Revised 5 April 2021  
Accepted 9 April 2021

© 2021. The Korea Institute of  
Intelligent Transport Systems. All  
rights reserved.

### 요약

자율주행의 핵심기술인 첨단 운전자 지원 시스템(Advanced Driver Assistance Systems) 중 대표기술인 전방충돌경보(Forward Collision Warning)를 대상기술로 선정하여, 주행시뮬레이션 실험 기반의 교통사고 예방효과를 추정하였다. 효과적으로 ①인지반응시간(s) ②감속도( $m/s^2$ ) ③충돌여부(회)로 선정하여, 전방충돌경보 미설치시와 설치시의 변화량 측정하였다.

실험 시나리오오는 운전자 전방의 차량의 급정거하는 시나리오(1)과 옆차로에서 차량이 끼어드는 시나리오(2)를 진행하였으며, 주간/야간으로 구분하였다. 분석결과, 전방충돌경보장치를 설치하였을 경우, 인지반응시간(s)이 감소하였으며, 감속도( $m/s^2$ )는 감소하였다. 운전자의 위험상황을 빠르게 감지하여 여유로운 감속을 할 수 있게 되었으며, 그에 따른 전방충돌횟수도 감소한 것으로 분석되었다. 향후 운전자의 운전성향을 반영하고 실험 시나리오를 다양화하면, ADAS의 설치효과를 증대시키고 다른 기술의 효과추정에도 활용될 수 있을 것이다.

핵심어 : ADAS, FCW, 주행시뮬레이션, 인지반응시간, 효과추정

### ABSTRACT

The Forward Collision Warning, a representative technology of the Advanced Driver Assistance Systems, was selected as the target technology. The cognitive response time, deceleration, and impact were selected as the measures of effectiveness. And the amount of change with and without the Forward Collision Warning was measured. The experimental scenarios included a sudden stop event (1) of the vehicle in front of the driver and an event (2) in which the vehicle intervened in the next lane. All experiments were divided into day and night. As a result of the analysis, response time and the deceleration rate decreased when the forward collision warning system was installed. It was analyzed that the driver's risk situation could be detected quickly and the number of front-end collisions could be reduced as a result. Reflecting the driver's operating habits and diversifying the experimental scenarios will increase the installation effectiveness of ADAS and be used to estimate the effectiveness of other technologies.

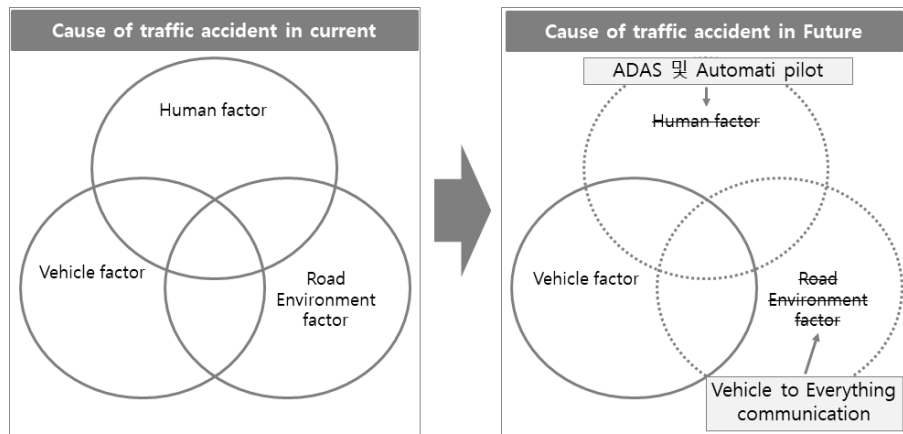
Key words : ADAS, FCW, Driving Simulation, Reaction Time, Estimation of Effect

## I. 서 론

### 1. 연구의 배경 및 목적

상용화된 자율주행기술단계는 SAE<sup>1)</sup>기준 Lev.2~3 수준에 불과하며, Lev.5 상용화까지는 상당한 기간이 소요될 것으로 예상되며, 상용화 이후에도 도로 위의 모든 차량이 자율주행차로 대체되기까지는 더 많은 시간이 필요하다. 이러한 기술발전과 보급에 있어 요구사항이 많기 때문에 <Fig. 1>과 같이 자율주행차가 운전자를 대체함으로써 교통사고 원인 중 인적, 도로환경요인 제거된 도로교통체계는 먼 미래에 대한 이상향이라 표현할 수 있다. 그렇기 때문에 Lev. 5 완전 자율주행까지 발전하기 위해서는 현재 개발되고 있는 자율주행 관련 기술들의 발전, 고도화, 확산이 이루어져야 한다. 대표적인 자율주행 요소기술로는 ADAS<sup>2)</sup>가 존재하는데, 운전자가 미리 위험요소를 인지할 수 있도록, 안전성측면에서 소리(청각), 진동(촉각), 디스플레이(시각)로 운전자를 보조하는 역할과 운전자가 주행시보다 편리하게 지원해 주는 시스템이다.

최근 5년간(2015~2019년) 교통사고 범규위반내용을 살펴보면, 안전거리 미확보로 인한 사고 발생이 전체 교통사고의 9.4%를 차지한다(TAAS, 2015~2019). 우리나라 운전자의 경우 전방차량과의 안전거리를 확보하지 않고 운행하는 경우가 많기 때문에 안전거리 미확보 사고의 비율이 높고, 사고추세가 감소하지 못하고 있다. FCW를 설치하여 운행할 경우 운전자의 인지반응시간을 감소시키고, 제동에 필요한 거리를 감소시킬 수 있기 때문에 연간 2만건 이상 발생하는 안전거리 미확보 사고를 감소시킬 수 있을 것이다.



<Fig. 1> Changes in causes of traffic accidents

2008년 FCW<sup>3)</sup>의 상용화를 시작으로 운전자의 안전성, 편의성 증진을 위한 다양한 시스템이 개발되고 있으며, ADAS관련 상용화된 기술을 중심으로 사고 감소에 대한 효과를 정량적으로 분석하고자 하는 연구가 지속되어 오고 있다. 사고데이터를 활용한 전후 분석연구에서는 FCW 설치시 최대 35%의 사고감소 효과가 발생한다고 제시하였지만(IIHS, 2016), FCW 설치 외에도 다른 외부요인(단속, 통행시간, 타 안전장치 장착 등)이 작용하여 순수한 FCW의 효과라 판단할 수 없다. 따라서, 본 연구에서는 ADAS 중 FCW만을 설치하였

1) SAE : Society of Automotive Engineers, 국제자동차기술자협회

2) ADAS : Advanced Driver Assistance Systems, 첨단운전자보조시스템

3) FCW : Foward Collision Waring, 전방충돌경보장치

을 때와 설치하지 않았을 때를 비교분석하고, 교통사고자료가 아닌 안전성을 표현할 수 있는 대체척도를 활용하여 안전성 증진 효과를 추정하고자 한다.

## 2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 ADAS 설치시의 안전 평가 방안을 개발을 하고, 이를 활용한 ADAS 설치 효과를 정량화하는 것으로 연구대상기술은 ADAS 중 FCW를 대상으로 하였다. FCW는 2008년 상용화되었으며, 전방충돌과 측면충돌사고 예방을 목적으로 설치되고 있기 때문에 ADAS의 안전성 효과를 추정하고자 하는 본 연구의 취지에 부합하며, 상용화 이후 장기간에 걸쳐 Before- Market, After-Market에서 보급·확산되어 운전자들에게도 낮설지 않은 시스템으로 정착되었기 때문에 대상기술로 선정한 것이다.

연구는 가상주행시뮬레이션을 통한 실험을 통해 진행하였으며, 사용된 실험기기는 다음 <Fig. 2>과 같다. 가상주행시뮬레이션은 드라이빙 시뮬레이터를 이용한 가상의 도로환경에서 운전자의 운전행태를 분석할 수 있는 실험방법으로, 실제 구현되지 않은 도로에서 다양한 시나리오를 구성하여 운전자들의 주행특성을 도출할 수 있다. 과거연구에서 실제 차량에 운행기록 자기진단장치를 장착하여 주행특성을 도출하고자 하였지만, 평균속도, 차두간격과 같이 기본적인 수행지표를 수집하는데 절대적인 시간 및 교통사고발생과 같은 안전상의 문제가 발생하여 실험적 연구는 크게 발전하지 못하였다. 이러한 시간적·공간적인 문제를 해결하기 위하여 가상주행시뮬레이터를 개발하게 되었으며, 본 연구에서도 상기 실험방법을 이용하여 진행하였다.



<Fig. 2> Driving Simulator used in the experiment

<Table 1> The Scope of Study

Classification	Contents
Target technology	FCW : Forward Collision Warning
Subjects to the experiment	70 Drivers with ADAS experience
Analysis period	2019.12~2020.03(4 months)

## II. 관련문헌 고찰

### 1. FCW관련 연구사례

IIHS(2016)는 FCW와 AEB<sup>4)</sup>를 설치한 차량들의 설치전후의 교통사고 변화량을 분석하였다. IIHS가 제시한 FCW의 효과분석 결과는 <Table 2>와 같으며, 교통사고건수는 최대 34%, 부상자는 35% 감소한다고 제시하였다. 하지만, 보험회사에 등록된 차량정보와 사고자료만을 분류하여 효과를 분류하였고, 외부요인에 의한 사고 자연 감소분을 반영하지 못한 단순 통계분석의 한계가 존재한다.

<Table 2> A Case Study on the Effectiveness of FCW based on Traffic Accident

Classification		Number of collisions	Number of Injured Person
FCW alone	Honda(no ACC)	0.81(▼19%)	0.91(▼09%)
	Honda(with ACC)	0.64(▼36%)	0.99(▼01%)
	Mercedes-Benz	0.75(▼25%)	1.00(=00%)
	Volvo	0.66(▼34%)	0.65(▼35%)
	FCW alone pooled	0.77(▼23%)	0.94(▼06%)
FCW +AEB	Acura	0.53(▼47%)	0.58(▼42%)
	Mercedes-Benz	0.67(▼33%)	0.63(▼37%)
	Subaru	0.54(▼46%)	0.21(▼79%)
	Volvo	0.71(▼29%)	1.20(▲20%)
	FCW+AEB pooled	0.61(▼39%)	0.58(▼42%)

교통사고자료를 기반으로 분석한 연구 외에도 단기적인 실험중심으로 위험순간에 대한 순간적인 회피/예방효과를 분석한 연구도 존재한다. 실차주행을 통한 연구로는 실험트랙에서 충돌상황을 재현하여 운전자의 회피시간을 추정하여 후미추돌이 14.3% 감소하였다는 연구결과를 제시하였다(IIHS, 2016). FCW사용자에 대한 정성적인 설문조사도 진행되었으나, 설문조사의 한계상 정량적 효과를 제시하지는 못하고, FCW가 운전시에 도움이 된다는 정성적 결과만을 제시하였다(AAAFS, 2018).

주행시뮬레이션을 이용한 실험적인 연구에서도 진행되었는데 ADAS의 안전성 증진 효과를 시나리오를 설계하여 운전자(피실험자)의 반응시간과 충돌횟수를 분석하였다. 분석결과, 운전자의 반응시간이 청각으로 정보를 제공할 경우 인지반응시간이 15% 감소하였고, 충돌횟수도 1회에서 0회로 감소하였다고 나타났다(Francesco and Roberta, 2011).

하지만, 실험참여자들의 표본수가 10명 미만이라, 통계적으로 타당한 데이터를 사용하지 못하였다. 국가, 지역, 연령 등에 따른 운전자들의 특성이 다양하며 그에 따른 효과에 차이가 발생할 수 있기 다양한 운전자(피실험자) 구성이 이루어지지 못하였다.

4) AEB : Autonomous Emergency Braking, 자동 긴급 제동장치

## 2. 주행시물레이션 실험 연구 사례

Adell et al.(2011)에서는 주행시물레이터를 활용하여 음성 지시와 헤드업 디스플레이를 통해 연속적인 삐소리와 이 소리가 운전자의 행동에 미치는 영향에 대해 조사하였다. 발취된 특정 소리의 세기와 주기를 통하여, 기준을 만들고 지속적으로 운전자에게 소리 자극을 주었으며, 이를 통해 조향각도, 휠각도 등의 변화 여부를 확인하였다. 하지만, 개인에게 제시된 갑작스러운 청각 자극의 시작과 관련된 잠재적 부작용이 존재하므로 이를 개선하기 위한 실험이 필요하며, 개선을 위한 실험을 제시하지 못한 것을 한계점으로 볼 수 있다.

James et al.(2019)에서는 ADAS를 이용자를 위한 특정 기준 값을 설정하기 위해 운전자의 한계체감곡선 안전도, 최대가속도 등 주행진행 중에서 얻은 데이터와 naturalistic한 데이터와의 차이를 분석하였다. 그 결과, ADAS를 통해 운전자의 주행에 있어 최적화하기 보다는 운전자의 만족도의 개념에서 효과가 있었다고 판단되었다. 이 결과를 통해 향후 운전자 지원 시스템이 운전자 선호도에 맞게 조정되고, 사용자 수용도가 향상되며, 그에 따라 안전도도 개선될 수 있다고 판단하였다. 연구의 한계점이라고 하면 실험참여자들의 표본수가 부족했으며, 이로 인해 타당한 데이터를 모으는데 한계가 있었다. 또한, 실험에 이용한 GPS를 통한 실험결과 산출 시, 산출값인 위치와 속도가 각각  $\pm 0.9\text{m/s}$ ,  $\pm 0.1\text{m/s}$ 의 오차율을 가지고 있으며, 곡선부에 관한 실험값을 도출할 때, 오차율이 직선구간보다 상대적으로 더 크다는 한계점이 있다.

Adrian et al.(2018)에서는 운전중 스마트폰을 사용하는 운전자들을 대상으로 운전자의 과속 및 신호위반 등에 대한 정보제공시의 효과를 가상주행시물레이터 실험을 통해 분석하였다. 운전 중 규정속도 위반과 전방신호에 대한 정보를 스마트폰에 문자와 경고알람으로 제공하였으며, 정보 제공시와 미제공시로 구분하여 상대비교하였다. 운전자들이 스마트폰을 사용 중일 때 스마트폰을 통해 위험상황에 대한 정보를 제공하면, 미제공시 보다 평균적으로 43.43%의 과속 및 신호위반에 대한 운전위반율이 감소하였다.

Nengchao et al.(2019)에서는 가상주행시물레이터를 기반으로 ADAS를 사용하는 집단(17명)과 ADAS를 사용하지 않은 집단(15명)으로 분류하여, 각각의 도로유형(도시도로, 도시고속도로, 고속도로)에 따른 차량역학, 주행데이터를 확보하였다. 운전자가 ADAS에 노출되었을 때, 제동시간은 증가하였으며, 상대속도는 감소하였다. 또한 ADAS 이용자는 비이용자에 비해 모든 도로유형에서 앞차와의 time headway가 크게 나타났고, 감속도 및 브레이크 감속도 값도 감소하였다. 위의 결과들을 종합한 결과, ADAS가 충돌위험과 근거리 충돌을 잠재적으로 감소시켜 준다는 점을 시사한다. 또한, 제동빈도수는 ADAS 비이용자의 경우 40회, 21회, 4회이고, ADAS 이용자의 경우 35회, 18회, 2회로 감소하였으며, 이로 인해 필요한 제동조치의 수를 줄이는데 성공했음을 알 수 있다. 시물레이션을 이용하여 동영상 정보를 기반으로 진행한 실험이지만, 동영상에 대해 트랙픽을 정의하는 방법 등 객관적인 표준이 없기 때문에 데이터만을 이용하여 값을 산출한 것이 이 연구의 한계점으로 실험자들을 대상으로 설문조사도 시행하였다면, 연구 결과에 대한 신뢰성이 더 높아졌을 것이라고 판단된다.

Eleonora et al.(2018)에서는 100명의 운전자를 실험대상으로 하였으며, OS7 텔레매틱스 회사가 개발한 혁신적인 데이터 수집 방식을 통해 운전자들의 행동에 관련한 데이터를 수집하였다. 평균 속도가 60~90km/h 인 통행에서는 주행 당 휴대전화를 사용하는 비율이 다소 높고, 평균 속도가 60km/h 미만인 통행에서는 휴대전화 사용 비율이 더 낮다는 것을 통해서 운전자의 과속 행동 사이에는 비선형 관계가 존재하는 것으로 추정된다.

또한 대부분의 운전자들은 속도제한과 속도가 더 높은 도시에서 휴대전화를 많이 사용하는 추세였으며, 속도가 높으면 휴대전화 사용비율이 상대적으로 적다는 것을 통해 휴대전화 사용은 과속과 일정한 관계가 있다고 유추가 가능하다. 휴대전화 사용의 실시간 검출은 운전 중 휴대전화의 사용을 줄이는 것을 목표로 하

며, 운전자 알림 및 경보를 통해 인식 제고 및 혁신적인 시행을 지원할 수 있을 것이라고 판단된다. 또한, 주행 중 주요 위험 요소를 식별함으로써, 차량 제조자는 1차 및 2차 안전 기능을 통해 차량 탑승자와 기타 도로 사용자의 안전을 직접적으로 개선할 새로운 시스템을 개발할 수 있을 것이다.

Yeşim et al.(2019)에서는 교통환경에 대한 잠재적인 운전자 행동을 모의 운전 결과와 설문결과를 연관지어 분석하였으며, 모의 운전의 경우 시뮬레이션으로 진행하였다. 평균 속도, 속도 표준편차, 주행차선 위치 등의 종속 변수와 외부 교통환경, 성별 등의 독립변수를 HRL<sup>5)</sup>로 수행하였다. 교통 환경에 대한 의식적인 태도와 운전자의 행동 사이의 관계는 중요하지 않은 것으로 판단되는데 이는 표본의 수가 부족했기 때문이라고 추측한다. 교통 환경에 대한 무의식적 태도와 의식적 태도 사이의 차이는 추후에 다시 고려해야할 부분이다. 운전자들마다 교통환경에 대한 운전행태가 다르며 이를 변화시키기 위하여 유사한 여러 경험과 의식적인 차이를 고려한다면, 운전자들의 안전성을 더욱 제고시킬 수 있을 것이다. 이 연구는 터키라는 제한된 장소에서 수행되었기 때문에 각 국가마다 운전의 패턴과 교통환경이 달라 실험의 결과가 다를 확률이 크며, 젊은 운전자들만 대상으로 실험을 진행한 것에 한계점이 있다.

### 3. 주행시뮬레이션을 통한 FCW 효과추정 실험 차별성

분석을 위한 시나리오 구성에 앞서 가상주행시뮬레이션이라는 한계를 최소화하고 본 연구에서 분석하고자 하는 FCW의 효과를 추정하기 실험 시나리오 구성시 고려사항을 선별하였다. 우선 기존 연구에서는 국내 운전자들을 대상으로 진행된 결과가 부재하기 때문에 국내 운전자들의 특성을 반영할 수 있도록 국내 운전자들을 대상으로 하였다. 또한 연령대로 나누어 진행하지 못한 점을 고려하여, 고령자와 비고령자로 구분하여, 운전자의 신체능력이 낮은 그룹과 높은 그룹으로 구분하여 운전자 특성을 다양화하였다. 시간적인 특성으로 현재 야간주행환경에서의 효과를 분석한 사례가 없기 때문에 주/야간을 구분하여 야간주행환경에서의 FCW 설치효과가 증가하는지 감소하는지도 추정하였다.

가상주행시뮬레이션의 특성상 피실험자가 학습효과에 의해 시나리오를 예상하고 미리 반응할 수 있는데 기존 연구에서는 해당부분을 반영하지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 가상주행시뮬레이션은 반복된 실험으로 인하여 운전자(피실험자)의 학습효과를 배제해야 하기에 실험시 시나리오 순서를 운전자별로 무작위로 배정하였으며, 시나리오 종류는 전반 차량 급정거 외에도 옆차로에서 차량이 끼어드는 시나리오를 추가하여, 정면충돌 외에도 측면충돌 예방 효과가 존재하는지도 확인하였다.

5) HRL : Hierarchical Regression Analysis, 계층적 회귀분석

### III. FCW 교통안전 증진효과 추정 방법론 개발

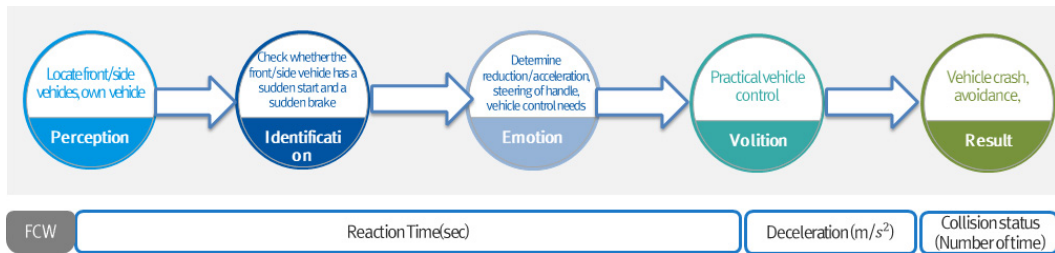
#### 1. 가상주행 실험 개요

효과추정을 위해서 가상주행시뮬레이션을 진행하였으며, 실험을 위해 사용된 H/W는 I-drive 3ch. 2DOF MP품종으로서, PCIG영상 엔진, 32인치 3채널 LCD 모니터, 100% 실차부품을 이용한 1/4차량 형태 캐빈 및 CFLS, ASWS(ActiveSteering Wheel System) Logic의 가상주행시뮬레이터이다. S/W는 Uc-Win/Road ver 13.0을 사용하여 실험에 참여한 운전자의 주행속도, 주행시간, 충돌여부, 주행거리, 주행좌표 등 기초자료를 0.02초 간격으로 저장하여 분석하였다. 실험장비 외에 FCW를 구현하기 위하여 가상주행시뮬레이션 상에 충돌 3초, 2초, 1초전 청각적 경고음을 제공하도록 하였다. 가상주행시뮬레이션의 적용 한계상 시각 및 진동에 의한 정보제공방식은 반영하지 못하였다.

실험에 참여한 운전자인 피실험자는 총 70명으로, FCW를 포함한 ADAS 사용경험이 있는 운전자를 대상으로 하였다. 성별은 모두 남성운전자이며, 연령대는 비고령자와 고령자(만65세 이상)로 구분하였다. 고령자와 비고령자의 비율은 50%대 50%로 35명씩이다.

#### 2. 가상주행 효과척도 및 시나리오 설계

FCW의 실험 시나리오 구성에 앞서서, 먼저 인지반응별 효과척도를 선정하였고 그에 따른 데이터분석방법과 시나리오를 설계하였다. 인지반응단계는 지각, 식별, 판단, 행동, 결과로 구성되기 때문에 시나리오 발생 후 운전자가 반응하여 브레이크를 작동하기까지의 인지반응 시간(s), 브레이크 작동 후 정지까지의 감속도( $m/s^2$ ), 전방차량과의 충돌여부를 효과척도로 선정하였다.

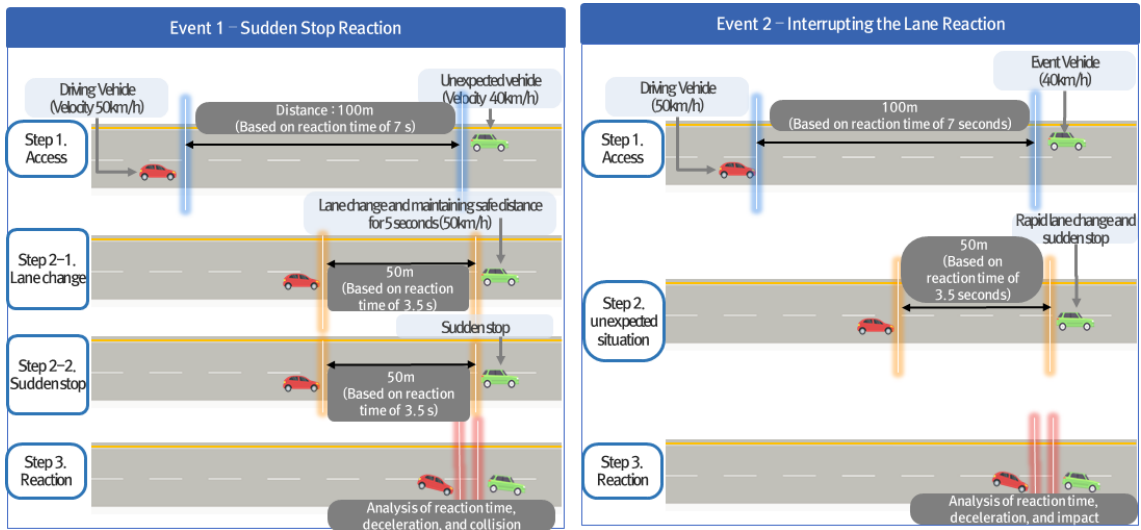


<Fig. 3> FCW Effectiveness Measure by Response Phase

효과척도를 근간으로 FCW의 주행 시나리오를 구성하였는데, 2018년 기준으로 주행 중 차대차 교통사고의 약 70%를 차지하고 있는 측면충돌(47.1%), 후미추돌(22.7%) 중에서 FCW와 상관성이 높은 후미추돌에 대한 시나리오를 설계하였다. FCW의 경우 전방차량과의 거리와 본인 차량의 속도를 계산하여, 전방차량과의 거리가 가까워질 경우 경고를 제공하는 시스템이다. 즉, 후미추돌을 예방하기 위하여 개발된 시스템이라 표현할 수 있다.

다음 <Fig. 4>와 같이 돌발차량이 피실험자와의 차량과의 거리가 약 50m정도일 때, 시나리오 1-후미추돌 상황은 차에서 주행하고 있던 돌발차량이 피실험자가 주행 중인 2차로로 끼어들지만, 바로 급정거하지 않고 끼어들기전 50km/h 가속하고, 5초의 유지시간을 가진 후 급정거하도록 하였다. 시나리오 2-측면충돌은 1차에서 주행하고 있던 돌발차량이 피실험자가 주행 중인 2차로로 끼어들면서 급정거하도록 하여 측면충돌

상황이 연출되도록 하였다. 시나리오 주행시 인지반응시간, 감속도, 충돌여부를 동일하게 분석하여 FCW의 효과를 분석하고, 사고유형별 사고예방효과를 비교할 수 있도록 하였다.



<Fig. 4> Scenario of Driving Simulation

## IV. FCW 교통안전 증진효과 결과

### 1. FCW-시나리오 1의 주행시뮬레이션 결과

전방차량과의 상충상황(시나리오 1)에서의 전방충돌경보장치가 차량에 장착되어 있어, 운전자가 얼마나 상충상황에서 사고를 회피할 수 있는지를 분석하기 위하여 피실험자 70명을 대상으로 가상주행환경에서 상충상황을 재현하여 총 4회에 걸쳐 실험을 진행하였다.

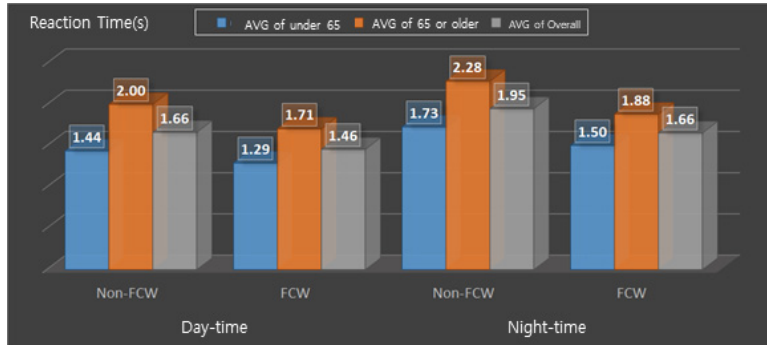
4회에 걸친 실험은 전방충돌경보장치 미장착시, 장착시로 구분하며, 또 주·야간으로 구성하였으며, 각각의 상황별 결과를 나누어 분석하였다. 효과적도로는 ①인지반응시간(s) ②감속도 $m/s^2$  ③충돌여부(회) 3가지로 추출하였으며, 총 70명의 실험자 중 실험목적에 맞는 주행에 실패한 운전자 5인을 제외한 65명의 실험자 데이터를 기반으로 분석하였다.

① 인지반응 시간(s)은 시나리오 시작 후 운전자가 브레이크를 밟기직전까지의 시간을 인지반응시간이라 정의하여 도출하였으며, ② 감속도( $m/s^2$ )는 브레이크 사용 후 정지까지의 시간과 감속된 속도를 기준을 분석하였으며, ③충돌여부는 시뮬레이션 결과상 측면(정면)의 시나리오차량과의 거리가 0.0m인 경우를 충돌로 판단했다.

시나리오 1 실험결과, FCW 미설치시 후미추돌상황에서 <Fig. 5>와 같이 주간에는 시나리오 시작 후 감속까지의 인지반응시간이 1.66초로 나타났으나, FCW 설치시 1.46초로 감소하는 경향을 나타내었다. 야간에서도 동일하게 FCW 미설치시 1.95초에서 설치시 1.66초로 감소하여 FCW가 위험상황발생시 운전자에게 자극을 미리 전달하여 인지반응시간을 감소시키는 것을 확인할 수 있었다. 비고령자와 고령자의 경우, 비고령자가 기본적인 인지반응시간이 고령자보다 짧았으며, FCW 설치시 인지반응시간 감소시간은 고령자가 주간



14.5%, 야간 17.5% 감소하여 비교령자가 주간 10.4%, 야간 13.3% 감소한 것보다 크게 감소하였다.



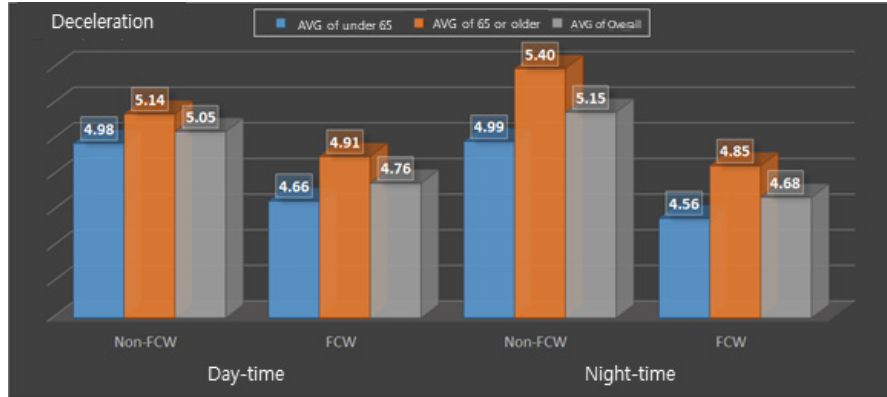
<Fig. 5> Scenario 1 - Reaction time(s) by Driver Group

통계적 검정에서도 <Table 3>과 같이 FCW설치시의 정규성 검증 2가지 방식(Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov)에서 모두 검통 통계량  $p$ 값(유의확률)이 모두 0.05 미만이었으며, 설치시와 미설치시의 차이에 대한 대응표본 t-test 결과  $p$ 값(유의확률)이 모두 0.000으로 인지반응감소가 유의확률 0.00으로 주간과 야간에 모두 FCW설치로 인하여 인지반응시간이 감소하는 효과가 나타난 것으로 검토되었다.

<Table 3> Scenario 1 - Reaction time(s) result

Classification		Day Time		Night Time	
		Non-FCW	FCW	Non-FCW	FCW
Sample mean		1.66	1.46	1.95	1.66
95% confidence interval of mean	Lower limit	1.58	1.39	1.87	1.60
	Upper limit	1.75	1.52	2.03	1.72
Median		1.73	1.51	1.97	1.66
Variance		0.12	0.07	0.11	0.06
Standard Deviation		0.35	0.27	0.33	0.25
Normality verification	Shapiro-Wilk $p$ value	0.001	0.020	0.002	0.008
	Kolmogorov-Smirnov $p$ value	0.001	0.097	0.010	0.058
Correspondence sample t-test $p$ value		0.000	0.000	0.000	0.000

피실험자의 감속도는 <Fig. 6>과 같이 FCW 설치전에는 주간 평균  $5.05m/s^2$ , 야간 평균  $5.15m/s^2$ 로 감속하였지만, FCW를 설치하였을 때는 주간 평균  $4.76m/s^2$ , 야간 평균  $4.68m/s^2$ 로 감속하여 각각 5.7%, 9.1% 감속도가 감소하였다. 주간보다 야간의 감소폭이 더 크게 나타났으며, 특히 야간의 고령자의 감소폭이 10.2%로 가장 크게 나타났다. 이는 인지반응시간과 상관성이 있으며, 인지반응시간이 짧아져서 충돌까지의 시간적 여유가 생기기 때문에 여유가 있어 감속도에도 영향을 미쳤다고 판단할 수 있다.



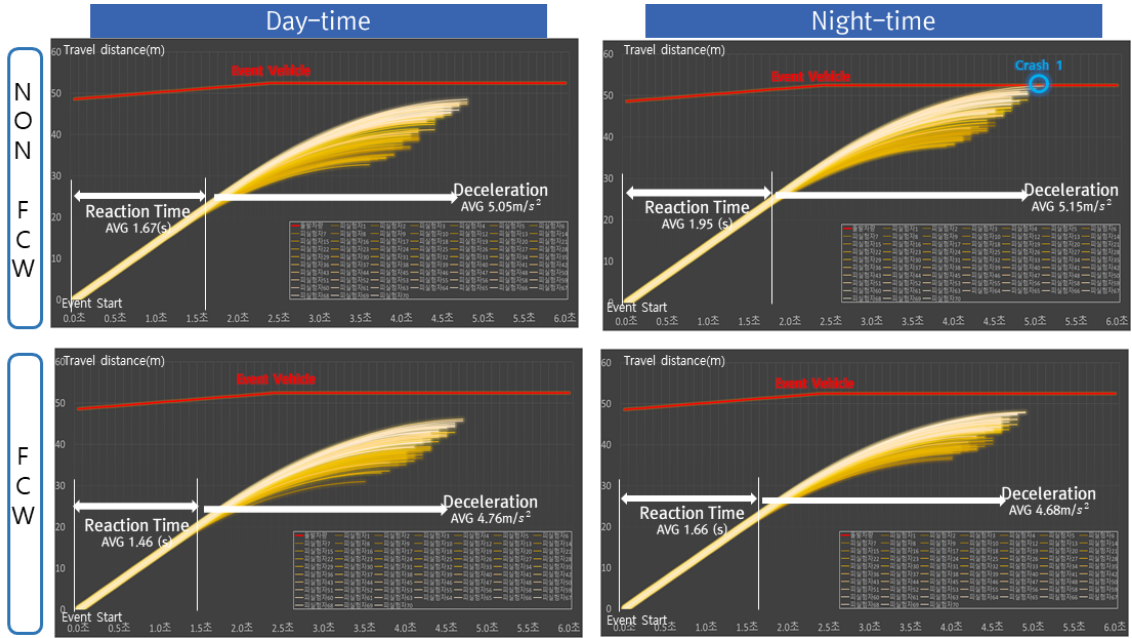
<Fig. 6> Scenario 1 - Deceleration(m/s<sup>2</sup>) by Driver Group

통계적 검정에서도 <Table 4>와 같이 FCW설치시의 정규성 검증 및 대응표본 t-test 결과 p값(유의확률)이 모두 0.05 미만으로 주간과 야간에 모두 FCW설치로 인하여 감속도가 감소하는 효과가 나타난 것으로 검토되었다.

<Table 4> Event 1 - Deceleration(m/s<sup>2</sup>) result

Classification		Day Time		Night Time	
		Non-FCW	FCW	Non-FCW	FCW
Sample mean		5.05	4.76	5.15	4.68
95% confidence interval of mean	Lower limit	4.98	4.69	5.08	4.61
	Upper limit	5.11	4.82	5.23	4.74
Median		5.07	4.72	5.13	4.67
Variance		0.07	0.07	0.09	0.07
Standard Deviation		0.26	0.27	0.30	0.27
Normality verification	Shapiro-Wilk <i>p</i> value	0.014	0.139	0.013	0.185
	Kolmogorov-Smirnov <i>p</i> value	0.043	0.189	0.040	0.200
Correspondence sample t-test <i>p</i> value		0.000	0.000	0.041	0.000

주행시뮬레이션 시나리오의 인지반응시간과 감속도를 고려하여 전방차량과의 거리를 시나리오 시작 후부터 Time table로 <Fig. 7>과 같이 분석하였을 경우, 전방돌발차량과의 거리가 위험상황을 인지하기 전까지(인지반응 소요시간) 지속적으로 감소하다 인지 후 제동하는 과정을 거쳤으며, 야간에 FCW 미설치시 1회의 충돌이 발생하였다. 주/야간 모두 전방의 돌발차량과의 여유거리가 FCW 설치 후에 증가하여, 설치에 따른 사고예방 효과가 높은 것을 확인할 수 있었다.

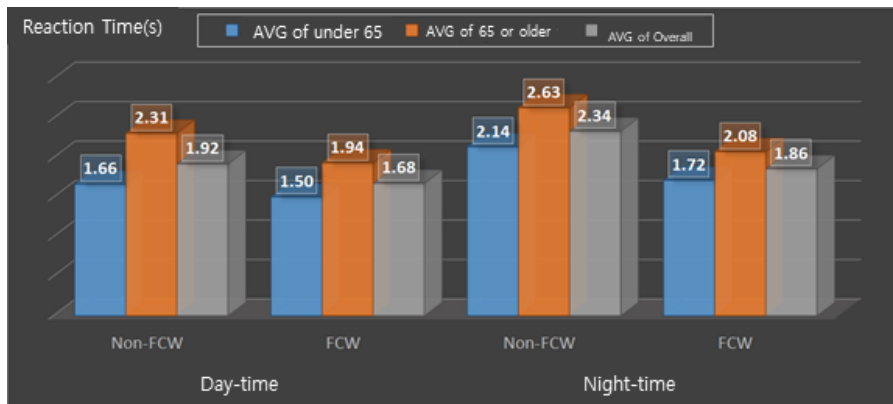


<Fig. 7> Scenario 1 - Vehicle travel distance and collision status after the event

## 2. FCW-시나리오 2의 주행시뮬레이션 결과

시나리오 2의 경우, FCW 미설치시 후미추돌상황에서 <Fig. 8>과 같이 주간에는 시나리오 시작 후 감속까지의 인지반응시간이 1.92초로 나타났으나, FCW 설치시 1.68초로 시나리오 1과 동일하게 감속하는 경향을 나타내었다. 비교령자와 고령자의 경우, 비교령자가 기본적인 인지반응시간이 고령자보다 짧았으며, FCW 설치시 인지반응시간 감소시간은 고령자가 주간 19.6%, 야간 20.9% 감소하여 비교령자가 주간 9.6%, 야간 16.0% 감소한 것보다 크게 감소하였다.

시나리오 1보다 야간의 FCW설치에 의한 감소폭이 더 크게 나타났고, 전반적인 인지반응시간이 길게 나타났다. 이는 전방주행차량보다 측면주행차량인지에 더 많이 시간이 소요되기 때문이라 판단할 수 있다.



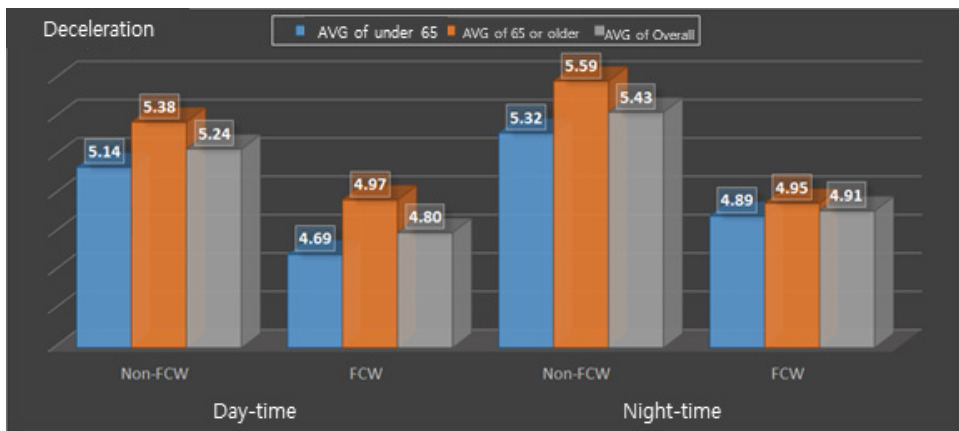
<Fig. 8> Scenario 2 - Reaction time(s) by Driver Group

통계적 검정에서도 <Table 5>와 같이 FCW설치시의 정규성 검증 및 대응표본 t-test 결과  $p$ 값(유의확률)이 모두 0.05 미만으로 주간과 야간에 모두 FCW설치로 인하여 인지반응시간이 감소하는 효과가 나타난 것으로 검토되었다.

<Table 5> Scenario 2 - Reaction time(s) result

Classification		Day Time		Night Time	
		Non-FCW	FCW	Non-FCW	FCW
Sample mean		1.92	1.68	2.34	1.86
95% confidence interval of mean	Lower limit	1.83	1.60	2.26	1.79
	Upper limit	2.02	1.75	2.42	1.93
Median		1.90	1.80	2.46	1.95
Variance		0.13	0.09	0.10	0.07
Standard Deviation		0.37	0.30	0.32	0.27
Normality verification	Shapiro-Wilk $p$ value	0.003	0.000	0.000	0.001
	Kolmogorov-Smirnov $p$ value	0.003	0.000	0.000	0.001
Correspondence sample t-test $p$ value		0.000	0.000	0.000	0.000

시나리오 2에서의 감속도는 <Fig. 9>와 같이 FCW 설치전에는 주간 평균  $5.24m/s^2$ , 야간 평균  $5.43m/s^2$ 로 감속하였지만, FCW를 설치하였을 때는 주간 평균  $4.80m/s^2$ , 야간 평균  $4.91m/s^2$ 로 감속하여 각각 8.4%, 9.6% 감속도가 감소하였다. 시나리오 1보다 감속도는 전반적으로 크게 나왔으나, FCW 설치 이후의 감속도 변화폭은 더 크게 나타났다. 이는 인지반응시간이 길어져 감속을 위한 감속도가 증가하였고, 인지반응시간 감소량에 비례하여 감속도의 변화량도 동일하게 감소한 것으로 판단된다.



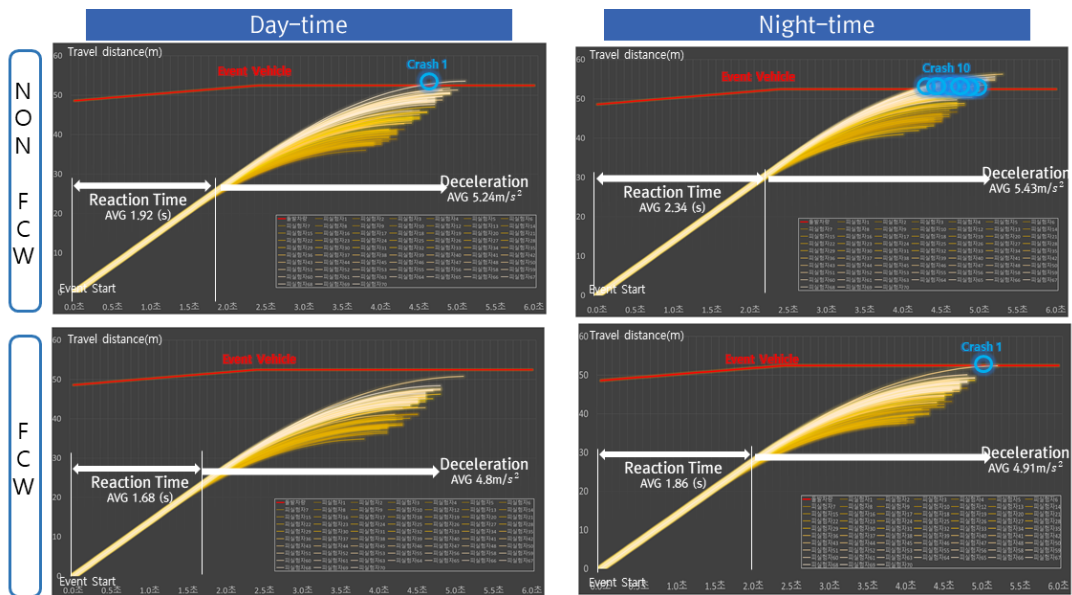
<Fig. 9> Scenario 2 - Deceleration( $m/s^2$ ) by Driver Group

통계적 검정에서도 <Table 6>과 같이 FCW설치시의 정규성 검증 및 대응표본 t-test 결과  $p$ 값(유의확률)이 모두 0.05 미만으로 주간과 야간에 모두 FCW설치로 인하여 감속도가 감소하는 효과가 나타난 것으로 검토되었다.

<Table 6> Scenario 2 - Deceleration(m/s<sup>2</sup>) result

Classification		Day Time		Night Time	
		Non-FCW	FCW	Non-FCW	FCW
Sample mean		5.24	4.80	5.43	4.91
95% confidence interval of mean	Lower limit	5.17	4.73	5.36	4.86
	Upper limit	5.30	4.87	5.50	4.97
Median		5.22	4.84	5.44	4.87
Variance		0.07	0.08	0.09	0.05
Standard Deviation		0.26	0.28	0.29	0.22
Normality verification	Shapiro-Wilk <i>p</i> value	0.033	0.029	0.021	0.044
	Kolmogorov-Smirnov <i>p</i> value	0.014	0.139	0.013	0.185
Correspondence sample t-test <i>p</i> value		0.000	0.000	0.000	0.000

Time table 분석결과는 <Fig. 10>과 같으며, 시나리오 1에서 충돌횟수가 1회 인것에 비해 총 충돌횟수가 12 회로 증가하였다. 이는 인지반응시간이 증가하여 인지전까지의 주행거리가 증가하여 충돌로 이어진 것으로 FCW 미설치시 12회에서 설치시 1회로 감소하였다.



<Fig. 10> Scenario 2 - Vehicle travel distance and collision status after the event

### 3. 실험결과 종합 및 해석

FCW의 순기능인 전방의 차량과의 충돌예방효과는 운전자 및 시간대별 차이가 존재하였지만, 인지반응시간이 미설치보다 야간 고령운전자에게 평균 20.5%감소하였고, 주간에는 평균 12.5%감소하여 충돌에 대한 청각알림으로 인한 운전자의 반응속도가 빨라진 것을 확인할 수 있었다. 또한, 위험상황 인지후 차량감속에서

도 야간 고령운전자의 경우 평균 9.6% 감소하여 정지시 여유를 가지고 감속한 것을 확인할 수 있었다. 즉, 인지반응시간이 감소하고 그에 따른 감속을 여유롭게 하면서 운전자의 추돌가능성을 줄이고 급정거에 따른 후미차량들과의 2차, 3차 연쇄추돌을 예방할 수 있다.

추돌 결과에서도 FCW 미설치 모든 시나리오에서 12회 충돌하였지만, FCW 설치 후 1회로 감소하여, 실제 교통사고 감소에 효과가 존재한다는 결과해석을 뒷받침한다.

시나리오 1과 2를 대변하는 정면추돌과 측면충돌에서의 효과차이에서는 측면충돌의 경우가 FCW 미설치 시 인지반응시간이 더 길고, 감속도가 더 높았고 추돌도 많이 발생하였다. 하지만 FCW를 설치함으로 인하여 인지반응시간과 감속도가 시나리오 1보다 크게 감소하였다. 정면추돌과 측면충돌 중 어떠한 사고에 더 큰 효과가 있다고 쉽게 판단할 수는 없지만, 전방 및 측면과의 차량사고에 있어 FCW의 효과가 모두 있으며, 인지반응시간이 긴 상황에서 FCW가 더 큰 효과를 나타낸다고 판단된다.

## V. 결론 및 향후 연구과제

FCW의 경우 모든 운전자에게는 안전성 측면에서 긍정적인 효과가 나타났으며, 그 효과는 그룹별로 상이하였지만 설치 전/후로 최대 30%까지 나타났다. 특히, 전방 차량 또는 물체에 대한 인지가 어려워지는 야간 시간대의 경우 운전자들의 인지반응시간이 길어져 교통사고 발생을 야기하는데 FCW는 본 연구결과와 같이 인지반응시간을 감소시켜 야간의 추돌사고를 예방할 수 있을 것이다. 실험결과에서도 야간의 측면급정거시 추돌사고가 11건에서 1건으로 감소하는 높은 효과를 나타냈기 때문에 FCW의 설치필요성을 확인할 수 있었다. 하지만, 본 연구의 피실험자는 ADAS 사용 경험이 있는 운전자였기 때문에, 만약 ADAS 사용경험이 없는 운전자를 피실험자로 연구를 진행하였을 경우 FCW기술에 대한 이해도가 낮아 안전성 증진 효과가 축소될 수 있다. 또한, 피실험자의 안전상의 문제로 실제 도로를 주행하는 실험이 아닌 가상주행시뮬레이션 실험을 진행하였기 때문에, 이또한 실험 결과가 과대과소 추정될 수 있다. 종합하면, 본 연구에서 제시한 효과를 FCW의 정량적인 효과라 단정할 순 없고 설치와 미설치에 따른 긍정적인 효과에 의의를 두어야 한다.

추가적으로 FCW의 일원화된 작동방식(전방차량과의 예상충돌시간에 따라 경고)은 운전자별 특성에 따라 효과가 상이할 수 있다. 본 연구에서는 FCW의 작동 시간을 운전자별 운전습관에 따라 유동적으로 변경되는 방식을 적용하지 않고 경고시간을 정하여 제고하였다. 향후 운전습관을 분석하고 운전습관에 따른 세부설정이 가능하게 된다면 그 효과는 보다 증가할 것으로 판단된다. 향후 운전자별 평소 차간거리 유지 및 브레이크 작동 시간 등을 반영한 실험과 도로 위 보다 다양한 돌발상황에 대한 연구를 진행할 경우 FCW 외 타 ADAS 기술에 대한 안전성 증진효과를 보다 상세하게 분석할 수 있을 것이다. 또한, FCW를 포함한 ADAS를 설치에 따른 운전자 행동에 대한 연구가 진행된다면, 설치 이후의 장기적인 효과도 분석할 수 있을 것이다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

이 논문(발표회, 전시회, 저서)은 2020년도 서울시립대학교 교내학술연구비에 의하여 지원되었음

This work was supported by the 2020 Research Fund of the University of Seoul.

## REFERENCES

- AAAFoundation for Traffic Safety(2018), *Vehicle Owner's Experiences with and Reactions to Advanced Driver Assistance Systems*, pp.53-71.
- Adell E. et al.(2011), "The effects of a driver assistance system for safe speed and safe distance-A real-life field study," *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 19, pp.145-155.
- Adrian I. D. et al.(2018), "Effects of smartphone based advanced driver assistance system on distracted driving behavior: A simulator study," *Computers in Human Behavior*, vol. 83, pp.1-7.
- Eleonora P. et al.(2018), "Analysis of driver behaviour through smartphone data: The case of mobile phone use while driving," *Safety Science*, vol. 119, pp.91-97.
- Francesco B. and Roberta R.(2011), "A Collision Warning System for rear-end collision: A driving simulator study," *Proc. Social Behav. Sci.*, vol. 20, pp.676-686.
- Insurance Institute for Highway Safety(2016a), *Crash test report-FCW*, pp.72-79.
- Insurance Institute for Highway Safety(2016b), *Effectiveness of Forward Collision Warning Systems with and without Autonomous Emergency Braking in Reducing Police-Reported Crash Rates*, pp.131-133.
- James M. F. et al.(2019), "Adaptive driver modelling in ADAS to improve user acceptance: A study using naturalistic data," *Safety Science*, Vol. 119, pp.76-83.
- Nengchao L. et al.(2019), "A field operational test in China: Exploring the effect of an advanced driver assistance system on driving performance and braking behavior," *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 65, pp.730-747.
- Traffic Accident Analysis System, <http://taas.koroad.or.kr/>, 2021.03.23.
- Yeşim Ü. et al.(2019), "Traffic climate and driver behaviors: Explicit and implicit measures," *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 62, pp.805-818.