

다중객체환경에서의 차선인식 및 경고 시스템의 효과분석

Effectiveness Analysis of Lane Detection and Warning Systems in Multi-object Environments

김형규¹

Hyung-Kyu Kim¹

요약

본 연구는 다중객체환경에서 도로이용자 안전성을 확보하기 위하여 개발되어 상용화된 ADAS 중 차선인식 및 경고시스템의 정량적 효과를 도출하고자 하였다. 과거 연구에서는 교통사고 데이터만을 근거하여 효과를 추정하다 보니 차선인식 및 경고시스템만의 독립적인 효과를 판단하기 어려운 단점이 있다. 이러한 이유로 인해 본 연구에서는 이러한 정량적인 효과를 교통사고 측면이 아닌, 운전자별 반응 속도, 이탈 회수 등 객관화할 수 있는 효과적으로 분석을 수행하였다. 총 70명의 운전자를 대상으로 주행시뮬레이터를 활용하여 차선인식 및 경고시스템이 장착되었을 때와 장착되지 않았을 때를 각각 주간 및 야간으로 구분하여 실험을 진행하였다. 실험결과 차선인식 및 경고시스템은 야간 주행 시 차선을 인식하지 못하고 차선을 이탈하는 운전자에게 효과를 보였으며, 시스템 장착으로 차선이탈 시간이 감소하였다. 하지만 차선이탈 횟수가 소폭 증가하였는데, 이는 운전자의 시스템 의존도 증가로 인한 주의력 저하문제로 판단할 수 있다.

핵심어 : 다중객체환경, 차선인식, ADAS, 교통안전, 비교그룹 분석

Abstract

This study aimed to derive the quantitative effects of the lane recognition and warning system, one of the ADASs developed and commercialized to ensure the safety of road users in a multi-object environment. In past studies, the effects were estimated based only on traffic accident data, making it difficult to determine the independent effects of the lane recognition and warning system. For this reason, this study analyzed the quantitative effects not in terms of traffic accidents, but rather as objective measures of effects such as driver reaction speed and number of departures. A driving simulator was used with 70 drivers, and experiments were conducted during the day and night, with and without the lane recognition and warning system installed. The results of the experiment showed that the lane recognition and warning system was effective for drivers who did not recognize the lane and departed from the lane during night driving, and the time of lane departure decreased with the installation of the system. However, the number of lane departures slightly increased, which can be considered to be a problem of decreased attention due to the increased dependence of the driver on the system.

Keyword : Multi-object environment, Lane recognition, ADAS, Traffic safety, Comparative group analysis

¹ Department of Highway and Transportation Research, KICT, Gyeonggi-do, Korea [Principal Researcher]
e-mail: hyoungkyukim@kict.re.kr

* 본 연구는 과학기술정보통신부 한국건설기술연구원 연구운영비지원(주요사업)사업으로 수행되었습니다(과제 번호 20240304-001, 미래 모빌리티 도로 환경 인지 기술 및 이용 편의 서비스 개발).

Received(November 2, 2024), Review Result(1st: November 24, 2024), Accepted(February 7, 2025), Published(February 28, 2025)



© 2025 The Authors. Published by NCISS.
This is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.
To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

1. 서론

도로에서 다중객체 환경이란 보행자, 차량 운전자, 자전거 등 도로 이용자 뿐만 아니라 도로의 부속시설물인 교통안전표지, 방호울타리 등이 모두 혼재되어 있는 상황의 도로 환경을 의미한다. 이런 혼재된 환경에서 차량 운전자는 다른 객체에 의해 차선이 가려지거나 전방 시야를 방해하는 등의 원인으로 차선의 위치를 파악하고 주행방향을 인식하기 힘들어 진다. 주행방향 인식하지 못할 경우 다른 객체와의 충돌로 인한 교통사고로까지 연결된다. 이러한 원인의 교통사고를 예방하기 위하여 자동차 제조사는 차량에 ADAS(Advanced Driver Assistance System)란 시스템을 도입하였다. ADAS는 자동차를 안전하고 편리하게 운행할 수 있도록 운전자의 운전을 보조하고, 지원하는 시스템으로 차량과의 충돌뿐만 아니라 보행자와의 충돌을 사전에 경고를 통해 예방해주고 필요에 따라서는 차량을 제어해주기도 하는 시스템이다.

ADAS 중 상용화가 먼저 이루어진 기능은 차선인식 및 경고 시스템이며, 차선을 영상으로 인식하여 차량이 주행 차선을 이탈할 경우 소리 또는 핸들 진동으로 경고해주는 기능이다. 이러한 차선인식 및 경고 시스템은 주행안전성을 확보한다는 장점으로 설치되었지만, 실제 안전성 증가 효과를 확인 가능한 방법이 부재하기 때문에 어떠한 상황에서 어떤 효과를 나타내는지 정량적인 측정이 요구된다. 과거 연구에서 차선인식 및 경고 시스템은 모든 단일 차량 충돌 사고의 6%와 제어력 상실, 차량 결함 또는 회피 기동이 아닌 모든 도로 이탈 충돌 사고의 38.8%에 적용될 수 있을 것으로 추산하였다 [1]. 이러한 추정치는 작동 속도 제한, 도로의 표면상태, 과속 여부 등에 따라 변화하는 단점이 있어 정확한 효과를 증명하기 어려웠다. 차선인식 및 경고 시스템이 설치된 차량과 설치하지 않은 차량의 충돌률을 비교한 결과, 차선인식 및 경고 시스템이 있는 차량의 단일 차량 충돌률, 정면 충돌률 및 측면 충돌률이 11% 더 낮은 것으로 나타났다 [2]. 단 상기 진행된 연구 모두 사고 데이터를 가지고 연구가 진행되어 객관적인 효과를 추정하기 어려운 단점이 있다. 또한, 교통사고의 경우 운전자의 특성이 반영되기 때문에 이를 객관적으로 분류하여야 하지만 해당 연구에서는 반영되지 못한 한계가 있다.

이러한 이유로 인해 본 연구에서는 이러한 정량적인 효과를 교통사고 측면이 아닌, 운전자별 반응 속도, 이탈 횟수 등 객관화할 수 있는 효과적으로 분석을 수행하고자 하였으며, 이를 주행시뮬레이터를 이용한 가상환경에서의 주행을 통해 결과를 도출하고자 한다.

2. 교통안전측면의 효과분석 방법 고찰

2.1 관찰적 사전·사후 비교방법(Observational Before-After Method)

관찰적 사전·사후 비교방법은 개선 전의 안전척도(수치)가 개선행위를 하지 않을 경우 현 상황

이 그대로 유지된다는 가정하에, 안전 개선 후의 안전척도를 비교하여 효과로 선정하는 방법이다. 세부적인 산정식은 다음 수식 (1)과 같다 [3].

$$SE = \frac{(N_b - N_a)}{N_b} = 1 - \frac{N_a}{N_b} \quad (1)$$

여기서, SE : 개선 후의 안전성 증감효과

N_a : 개선 전 안전척도

N_b : 개선 후 안전척도

N_a 와 N_b 는 분석 대상의 개선행위 이전과 이후의 안전척도를 나타낸다. 안전척도 증감에 따른 대상의 증감효과 SE 를 산정하며, 이는 개선행위 후에 분석 대상이 개선 전보다 감소하거나 증가한 안전척도의 양을 의미한다. 따라서, $SE > 0$ 이면 개선행위로 인한 효과가 있고, $SE < 0$ 이면 개선행위의 효과가 없거나, 오히려 악영향을 미친 것으로 해석할 수 있다. 이 분석방법은 국내 교통안전 개선사업의 효과평가에 사용되고 있으며, 시설물에 대한 안전성 평가연구에서도 다수 사용되고 있다. 1미국에서 3년간 시행된 3지와 4지 교차로 개선사업의 안전성 개선효과를 사전·사후비교 및 우도함수를 통해 분석하였다. 그 결과, 도로조명, 정지신호, 신호제어, 제한속도 낮춤은 사고건수가 감소하였으나, 회전차로 추가, 직진차로 확장, 도로 확폭은 교차로 안전에 별다른 영향을 미치지 않는 것으로 제시하였다. 감소효과에 있어서 장기간에 걸친 사고자료를 기반으로 분석하다보니 외부요인(법·제도 변화, 교통량 변화)에 대한 고려가 이루어지지 않아 증감효과가 과대, 과소 추정될 수 있었다 [4].

즉, 관찰적 사전·사후 비교방법은 분석대상의 교통안전에 영향을 미치는 다양한 요인들을 정확히 인지하지 못하고 개선행위 전과 후의 효과척도만을 비교하여 효과분석을 수행하기 때문에 효과의 과대/과소추정 등의 문제점을 야기할 수 있다. 하지만, 교통안전측면에서 해당 요인들에 대한 정보를 정확히 수집할 수 없는 상황이거나, 외부요인이 크게 작용하지 않는 비교대상에게는 적용이 간편하고, 결과에 대한 설명과 이해가 쉬운 장점도 존재한다.

2.2 비교그룹방법(Comparison-Group Method)

비교그룹방법은 분석대상의 개선행위 외에도 외부변화요인(external causal factors)을 고려하기 위하여 안전성의 일반적 추세(maturation) 및 비교대상을 선택하여 상대비교하는 방법이다. 즉, 효과분석의 과대과소 추정의 오류를 방지하기 위한 목적이며, 분석 대상의 효과분석을 수행하고자 하는 개선행위를 미시행시의 안전척도를 예측하여 시행시의 안전척도와 비교분석하는 방법이다.

사회·경제적인 요인과 천재지변, 그리고 COVID-19와 같은 전염병 등으로 도로교통시스템에 영

향이 발생하면, 교통안전측면에서도 크고 작은 영향이 발생한다. 이러한 요인들은 분석대상에게 간접적인 영향이 발생하여 현장에서 측정하기가 어렵기 때문에 비교그룹을 이용한 사전·사후비교분석이 개발되었다. 비교그룹방법을 이용하여, 국외에서는 교차로 신호운영에 있어 AWSC(All-Way Stop Control)신호 운영으로 전환하였을 때의 개선 효과를 분석한 사례가 있다 [5]. 안전척도로 사고건수를 적용하였고 효과는 지역별로 편차가 존재하였지만, 최소 37% 최대 62%의 사고감소효과를 제시하였다.

국내에서는 비교그룹 방법을 사용하여 어린이 보호구역 개선사업의 교통사고 감소 효과를 토지이용 특성별로 분석하였다 [6]. 그 결과, 사고는 10여건 감소하였으며(사고감소율 약 39%), 토지이용 목적별로는 아파트, 주거, 주상복합지역이 각각 3.8건, 2.4건, 0.5건의 감소효과가 나타났다.

2.3 경험적 베이지안 방법

경험적 베이지안 방법은 안전성 효과평가를 시행할 때 사용되어온 기존 방법(관찰적 사전사후분석, 비교그룹방법)들의 문제점을 극복하고자 개발된 방법으로, 특정대상 또는 지역에서 발생한 교통사고가 과거 몇 년간 다수 관측되었다 할지라도, 일시적인 증감현상일 수도 있기 때문에 향후에는 다른 양상의 발생특성을 나타낼수 있다는 가정이 있다. 이는 교통사고 발생에 있어 불확실성 때문이며, 교통 안전성 증진효과에서 RTM 현상을 개선하고자 교통환경(교통특성 및 도로의 구조)이 비슷한 비교 그룹의 현황을 대조하여 과대과소추정을 개선하고 도입된 방법이다.

또한, 경험적 베이지안 방법은 사전분포(prior distribution)의 불연속성을 장래분포(posterior distribution)를 통하여 보완, 보정할 수 있다는 이론이 기반이 된다. 특정대상 또는 지역의 교통사고 현황을 그 특정대상 또는 지역과 참조그룹의 사고현황이 합쳐져서 교통사고 불연속성에 의한 문제를 해결할 수 있고, 확률적 해석이 가능한 비교그룹방식보다는 논리적인 측면에서 우수하다는 의견이 존재한다 [7].

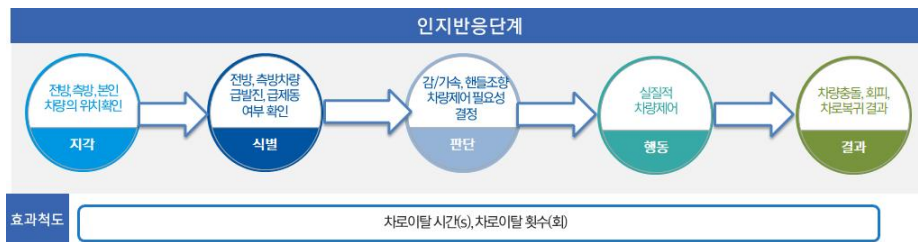
2.4 차선인식 및 경고 시스템 효과분석시 최적 분석방법 선정

ADAS 설치 전후의 안전성 효과를 추정하고자 하는 본 연구의 특성상, 특정지점이 아닌 특정대상(운전자)의 변화를 관찰적으로 평가하여야 한다. 또한 추정하고자 하는 안전척도가 사고감소 건수의 변화량(건)이 아닌 변화비율(%)이며, 추정과정에서 사용되는 안전척도가 위험운전행동(상충), 인지반응 등 대체척도이기 때문에 교통사고건수를 안전척도로 활용하는 경험적 베이지안 방법은 분석방법으로 적합하지 못하며, 운전자의 특성이 일치하는 비교그룹을 선정하여 분석하는 비교그룹 방식도 최적의 분석방법이라 할 수 없다. 따라서 관찰적 사전사후분석을 이용하였다.

3. 다중환경에서의 차선인식 효과분석을 위한 주행시뮬레이션 실험

3.1 실험 시나리오 구성 및 분석방법론

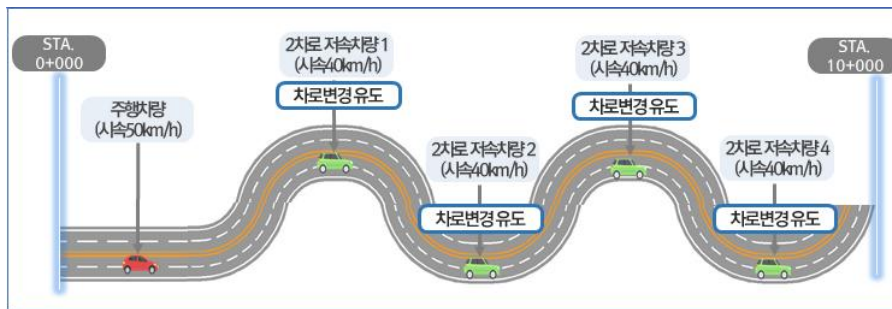
차선인식 및 경고 시스템의 이벤트 구성을 위하여 먼저 인지반응별 효과척도를 [그림 1]과 같이 선정하였고 그에 따른 데이터분석방법과 이벤트를 설계하였다. 인지반응단계는 지각, 식별, 판단, 행동, 결과로, 운전자가 주행 중 차로이탈 후에 본래 주행하던 차로로 복귀하기 위한 행동 이전까지의 차로이탈시간(s)과 횡수(회)를 효과척도로 선정하였다.



[그림 1] 인지반응단계별 차선인식 및 경고 시스템의 효과척도

[Fig. 1] Effectiveness scale of the cognitive response stage-by-stage lane transplantation and warning system

효과척도를 근간으로 차선인식 및 경고 시스템 주행 시나리오를 구성하였는데, 다음 [그림 2]와 같이 주행차량이 주행 중 이벤트 1과 동일하게 1차로에서 2차로로 피실험자가 접근시 돌발차량이 2차로로 차로 변경하고, 돌발상황없이 사라지도록 하는 Fake 이벤트가 발행하게 하였다. 이를 통해 운전자는 이벤트를 미리 예측할 수 없도록 하였다. 이를 통해 실험의 객관성을 확보하도록 하였다.

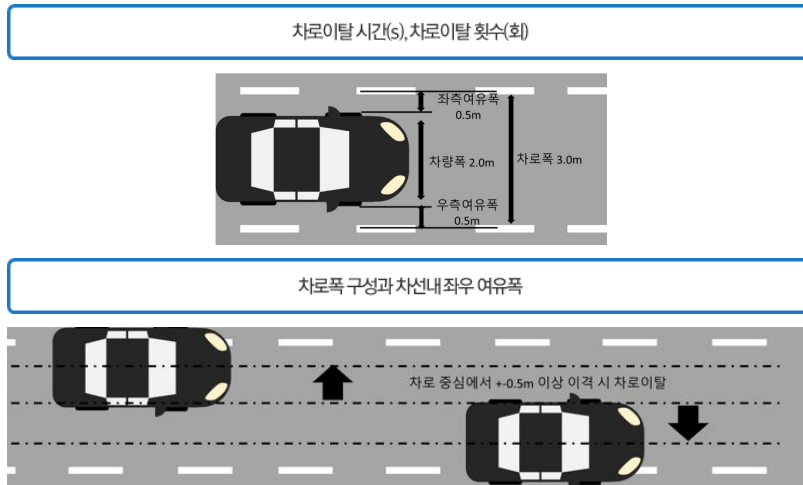


[그림 2] 차로이탈 시나리오 구성

[Fig. 2] Configuring a car departure scenario

주행시뮬레이터에서 도출된 데이터는 차로중심에서 벗어난 거리로 측정이 되는데 차로폭이

3.0m인 도로에서 도로 중간에서 주행시 차량폭이 2.0m이므로 좌우로 0.5m의 여유폭이 존재한다. 다음 [그림 3]과 같이 좌우 여유폭보다 더 큰 값으로 차로 중심에서 벗어날 경우 차로이탈로 간주하게 되고, 이를 차로이탈 시간과, 횡수로 분석하였다.



[그림 3] 차선인식 및 경고 시스템의 주행시뮬레이션 효과척도

[Fig. 3] Driving simulation effectiveness scale of lane change and warning systems

분석대상군(피실험자)은 [표 1]과 같이 총 70명의 운전자를 대상으로 진행되었으며, 60대 미만의 운전자가 총 40명 60대 이상의 운전자가 30명으로 구성되었다. 주간에 주로 운전하는 운전자는 60대 이상의 운전자 비율이 48.6%로 구성되어 있다. 야간 운전자의 경우 30~40대의 비중이 상승하여 39.4%이며, 60대 이상의 운전자는 36.4%로 구성되었다.

[표 1] 분석대상군(피실험자) 기초통계 분석

[Table 1] Analysis of basic statistics of the analysis target group(subjects)

구분	주간 운전자		야간 운전자	
	명	비율	명	비율
30대	2	5.4%	4	12.1%
40대	5	13.5%	9	27.3%
50대	12	32.4%	8	24.2%
60대	18	48.6%	12	36.4%
합계	37	100.0%	33	100.0%

3.2 주행 시뮬레이션 분석 결과

주행시뮬레이션의 차선인식 및 경고 시스템 인지반응시간 실험은 [표 2]와 같이 야간, 주간환경

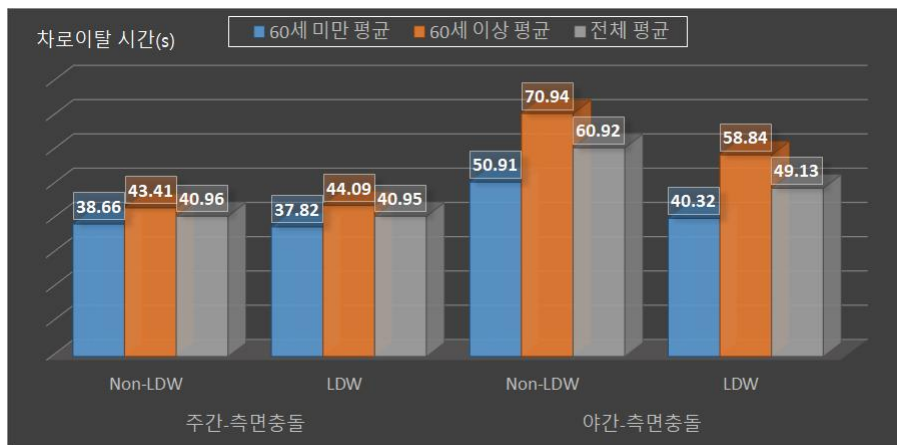
에 이루어졌으며, 평균 12분의 주행시간동안 차로이탈 시간은 40~60초 가량 이탈하였다. 특히 야간에 차로이탈시간이 길게 나타났다. 야간의 시인성 저하로 차로유지능력이 저하되었기 때문이며, 이는 조명의 밝기와 노면 표시의 차이에 따라 달라질 수 있다. 하지만 상대적인 차이를 분석하고자 하는 연구목적이기 때문에 이를 감안 할 필요가 있다. 차선인식 및 경고 시스템 설치시의 차로이탈시간의 차이는 차선인식 및 경고 시스템을 설치하였을 경우 주간에는 큰 변화가 없었지만 야간에는 차로이탈시간이 감소한 것으로 나타났다.

[표 2] 차선인식 및 경고 시스템 설치 전/후의 차로이탈시간 분석결과

[Table 2] Analysis results of lane departures time before and after lane transplantation and warning system installation

구분		주간		야간	
		Non-LDW	LDW	Non-LDW	LDW
표본평균		40.96	40.95	60.92	49.13
평균의 95% 신뢰구간	하한	40.24	40.27	60.12	48.42
	상한	41.68	41.62	61.72	49.83
분산		8.36	7.37	10.41	8.18
표준편차		2.89	2.72	3.23	2.86
최소값		36.44	35.73	56.22	43.78
최대값		46.15	45.18	66.11	53.55
정규성검증	Shapiro-Wilk p 값	0.005	0.003	0.000	0.011
	Kolmogorov-Smirnov p 값	0.000	0.006	0.003	0.094

다음 [그림 4]는 그룹별 차로이탈 시간을 그래프로 나타낸 것이다.



[그림 4] 차선인식 및 경고 시스템의 그룹별 차로이탈시간

[Fig. 4] Lane departure time by group of lane detection and warning systems

주행시뮬레이션 이벤트의 LDW 안전성에 대한 효과적도를 [표 3]과 같이 이탈시간 외에도 횡수로 산정하였을 경우 이탈시간과 유사하게 주간에는 평균 15회로 차이가 없었다.

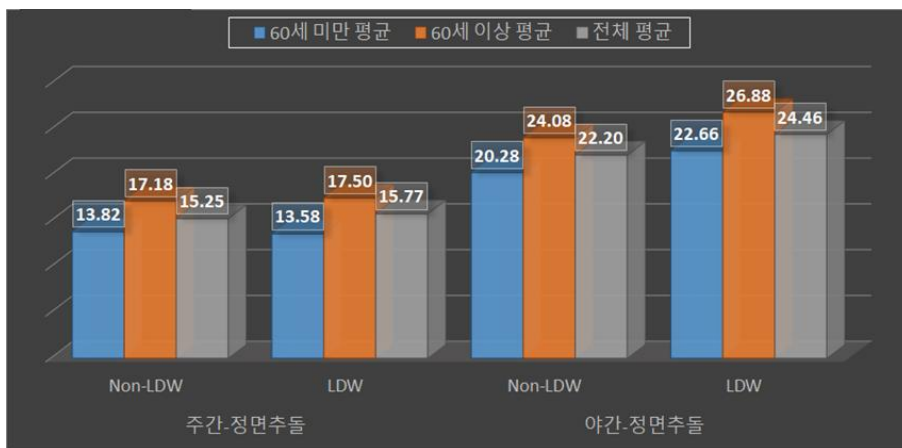
하지만, 야간에는 오히려 이탈횟수가 22.2회에서 24.5회로 증가하였다.

[표 3] 차선인식 및 경고 시스템 설치 전/후의 차로이탈횟수 분석결과

[Table 3] Analysis results of number of lane departures before and after lane transplantation and warning system installation

구분	주간		야간		
	Non-LDW	LDW	Non-LDW	LDW	
표본평균	15.25	15.77	22.20	24.46	
평균의 95% 신뢰구간	하한	14.86	21.83	24.14	
	상한	15.64	16.13	22.58	24.78
분산	2.43	2.09	2.28	1.66	
표준편차	1.56	1.44	1.51	1.29	
최소값	12.74	13.30	19.82	21.85	
최대값	17.53	18.05	24.78	26.66	
정규성검증	Shapiro-Wilk p 값	0.005	0.003	0.000	0.011
	Kolmogorov-Smirnov p 값	0.000	0.006	0.003	0.094

다음 [그림 5]는 그룹별 차로이탈 횟수를 그래프로 나타낸 것이다.



[그림 5] 차선인식 및 경고 시스템의 그룹별 차로이탈 횟수

[Fig. 5] Number of lane departures by group of lane detection and warning systems

4. 결론

본 연구는 다중객체환경에서 도로이용자이 안전성을 확보하기 위하여 개발되어 상용화된 ADAS 중 차선인식 및 경고시스템의 정량적 효과를 도출하고자 하였다. 과거 연구에서는 교통사고 데이

터만을 근거하여 효과를 추정하다 보니 차선인식 및 경고시스템 만의 독립적인 효과를 판단하기 어려운 단점이 있다. 이러한 이유로 인해 본 연구에서는 이러한 정량적인 효과를 교통사고 측면이 아닌, 운전자별 반응 속도, 이탈 회수 등 객관화할 수 있는 효과적으로 분석을 수행하였다. 총 70 명의 운전자를 대상으로 주행시뮬레이터를 활용하여 차선인식 및 경고시스템이 장착되었을 때와 장착되지 않았을 때를 각각 주간 및 야간으로 구분하여 실험을 진행하였다. 실험결과 차선인식 및 경고시스템은 야간 주행시 차선을 인식하지 못하고 차선을 이탈하는 운전자에게 효과를 보였으며, 시스템 장착으로 차선이탈 시간이 감소하였다. 하지만 차선이탈 횟수가 소폭증가하였는데, 이는 운전자의 시스템 의존도 증가로 인한 주의력 저하문제로 판단할 수 있다.

실제로 국내에서 ADAS를 장착한 고속버스가 안개가 발생하여 감속운행 해야 하는 상황에서 ADAS기능을 과신하여 정속주행을 하다 전방차량과 충돌하는 사고가 발생하는 등 차선인식 및 경고시스템을 포함한 ADAS는 운전자의 인지반응시간, 핸들조향능력 등 운전능력을 향상시켜 주어 상충상황에서의 안전성을 향상시켜 줄 수 있지만은 중장기적으로 운전자의 집중력에 부정적인 영향을 미쳐 사고를 야기할 수도 있다. 즉, 신규 안전기술이 도입시 운전자의 집중력 저하를 예방하기 위한 의식 교육 등이 동반되어야 할 것이다.

References

- [1] J. S. Jermakian. "Crash avoidance potential of four passenger vehicle technologies", *Accident Analysis Prevention*, vol. 43, no. 3, May 2011, pp. 732-740, doi: 10.1016/j.aap.2010.10.020.
- [2] I. J. Reagan, J. B. Cicchino L. B. Kerfoot, R. A. Weast, "Crash avoidance and driver assistance technologies-are they used?", *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 52, January 2018, pp. 176-190, doi: 10.1016/j.trf.2017.11.015.
- [3] G. A. Davis, "Accident reduction factors and causal inference in traffic safety studies: a review", *Accident Analysis and Prevention*, vol. 32, no. 1, January 2000, pp. 95-109, doi: 10.1016/S0001-4575(99)00050-0.
- [4] D. Lord, F. Mannering, "The statistical analysis of crash-frequency data: A review and assessment of methodological alternatives", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 44, no. 5, June 2010, pp. 291-305, doi: 10.1016/j.tra.2010.02.001.
- [5] R. A. Retting, H. B. Weinstein, M. G. Solomon, "Analysis of motor-vehicle crashes at stop signs in four U.S. cities", *Journal of Safety Research*, vol. 34, no. 5, January 2003, pp. 103-107. doi: 10.1016/j.jsr.2003.05.001.
- [6] G. Y. Maeng, D. Y. Lee, B. J. Park, H. C. Park, "Analysis of safety effectiveness of village zone using empirical bayes method", *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 42, no. 1, February 2024, pp. 1-15, doi: 10.7470/jkst.2024.42.1.001.
- [7] J. B. Lim, D. W. Lee, "Estimation of the effect of commercial vehicle driving safety training using the propensity score matching method", *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 41, no. 2, April 2023, pp. 254-265, doi: 10.7470/jkst.2023.41.2.254.