

주행 시뮬레이터를 활용한 차선폭원 변화에 따른 운전자 주행행태 분석

권경주¹ · 박준영^{2*} · 이현석³ · 곽현준⁴

¹한양대학교 공학대학 교통물류공학과 석사, ²한양대학교 공학대학 교통물류공학과, 스마트시티공학과 조교수, ³한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원, ⁴한국도로공사 건설처 실장

Driving Behaviour Evaluation for Widening Lane Line Width on Expressways Using a Driving Simulator

KWON, Kyeongjoo¹ · PARK, Junyoung^{2*} · LEE, Hyunsuk³ · KWAK, Hyunjun⁴

¹M.A., Department of Transportation and Logistics Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 15588, Korea

²Assistant Professor, Department of Transportation and Logistics Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 15588, Korea

³Principal Research Director, Korea Expressway Corporation, Gyeonggi 18489, Korea

⁴Team Leader, Korea Expressway Corporation, Gimcheon 39660, Korea

*Corresponding author: junyoung@hanyang.ac.kr

Abstract

Roadway lane lines can provide drivers not only information on the continuous flow of traffic movement but also helpful information for proper lane positioning. In the overseas, widening lane line width is applied to consider traffic safety (i.g. sudden curve section, black spot) for convenient to recognize by elderly drivers. In Korea, the lane line width on expressway is designed as 10-15cm, but some countries have tried and operated wider lane line width for high risk areas. However, since the thickness of the lane line width can have various effects depending on the section characteristics, it must be appropriately used according to the situation. In this study, the effects of widening lane line width on different expressway facilities (i.e. straight sections, curved sections, and off-ramp) were evaluated to enhance traffic safety. Driving simulation experiments were conducted to analyze driving behaviour and performance based on changes of lane line width. Two groups of participants were formed based on age 50 to reflect the characteristics of the elderly drivers. The results showed that non-elderly drivers under 50 ages improved longitudinal safety in daytime in mainline straight sections. Also, semi-elderly drivers over 50 ages were found to be performing safety driving behaviour in off-ramp. The results derived from this study are expected to provide helpful insights to traffic engineers and policy makers to improve expressway safety.

Keywords: driving behaviour, driving simulator, expressway, traffic safety, wider lane line width

초록

차선폭원은 운전자에게 연속적인 주행 흐름에 대한 정보를 제공할 뿐만 아니라 도로 선형 정보 및 적정 차선 위치 등에 대해 사전에 파악할 수 있도록 도움을 제공하는 기능을 한다. 국외에서는 급격한 커브구간 또는 사고다발구간 등 교통안전을 고려하거나 고령운전자의 명확하고

J. Korean Soc. Transp.
Vol.39, No.2, pp.115-126, April 2021
<https://doi.org/10.7470/jkst.2021.39.2.115>

pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

ARTICLE HISTORY

Received: 26 October 2020

Revised: 13 November 2020

Accepted: 29 January 2021

Copyright ©
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

편리한 차선 인식을 위해 차선폭원을 넓혀 적용하고 있다. 국내 고속도로에서는 차선폭원을 10-15cm로 규정하여 운영하고 있으나 일부 해외 국가에서는 교통안전을 고려하여 위험구간에 대해 기존 차선폭원을 넓혀 운영하고 있다. 하지만 차선폭원 두께는 적용 구간 및 용도에 따라 다양한 효과를 나타낼 수 있기 때문에 상황에 맞게 적절히 사용해야 한다. 이에 따라 본 연구에서는 고속도로 기본구간인 본선구간(직선/곡선) 및 진출램프에 대하여 차선폭원 넓힘 대책의 심층 분석을 통해 국내 고속도로 도입 방안을 검토하였다. 차선폭원 변화에 따른 안전성 평가를 위해 주행 시뮬레이터를 활용하여 운전자 주행행태를 분석하였으며 고령운전자의 특성을 반영하기 위해 50세를 기준으로 준고령/비고령 운전자를 구분하여 결과를 비교하였다. 50세 미만의 비고령운전자는 주간 직선구간에서 종방향 안전성이 향상된 것으로 나타났으며 50세 이상 준고령운전자는 주간 램프구간에서 횡방향 및 종방향 주행 안전성이 향상된 것으로 도출되었다. 본 연구에서 도출된 주요 결과는 향후 도로 설계 시 도로 이용자를 만족시키기 위한 기초 자료로써 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

주요어: 운전자 주행행태, 주행 시뮬레이터, 고속도로, 교통안전, 차선폭원 두께변화

서론

국가에서는 교통안전을 위해 주의, 규제, 지시 등에 대한 내용을 노면에 표시하여 도로 이용자에게 알리는 기능을 한다(National Police Agency, 2020). 차선폭원은 운전자에게 연속적인 주행 흐름에 대한 정보를 제공할 뿐만 아니라 도로 선형 정보 및 적정 차선 위치 등에 대해 미리 파악할 수 있도록 도움을 제공한다(Park et al., 2012). 현재 국내 고속도로에서는 차선폭원을 10-15cm로 규정하여 운영하고 있다(National Police Agency, 2012). 반면 해외에서는 교통안전을 고려하여 위험구간 등을 나타내기 위해 일부 구간에 대해 차선폭원을 넓혀 운영하고 있는 실정이다. 하지만 차선폭원을 기존 폭원에 비해 확장시켜 도색했을 경우 오히려 안전 측면에서 역효과를 나타낼 수 있기 때문에 상황에 따라 다르게 적용되어야 한다(Evans, 1985; Bahar et al., 2004; Obeng-Boampong et al., 2009). 기존 연구결과에서는 차선폭원을 확장시켜 운영할 경우 가시성은 향상되었으나 직선구간에서는 운전자 주행행태 차이가 통계적으로 유의하게 도출되지 않았으며 곡선구간에서는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(Zwahlen and Schnell, 1995). 이처럼 구간 특성에 따라 운전자 주행행태 차이가 나타나기 때문에 실제 국내 고속도로 구간에서 차선폭원을 넓힐 경우 운전자에게 미치는 영향을 파악하기 위해 주행 시뮬레이터를 활용하여 운전자 주행행태를 분석하였다. 또한 차선폭원 변화에 따른 주관적 만족도를 평가하기 위해 피실험자를 대상으로 응답조사를 실시하여 국내 차선폭원 넓힘 대책의 적용성을 검토하였다.

기존문헌고찰

기존 선행 연구에서는 차선폭원 두께 변화에 따른 사고감소 효과 및 시인성과 관련된 효과를 분석한 다양한 연구가 진행되었다. 국내외 고속도로 차선폭원 넓힘 대책의 적용 방안을 검토하기 위해 차선폭원 변화에 따른 효과평가를 수행한 주요 연구를 중심으로 관련 문헌을 고찰하였다. 또한 주행 시뮬레이터를 이용하여 도로 기하구조 요소 및 도로 부속 시설물 등의 효과평가를 수행한 연구를 고찰하여 본 연구의 의의 및 필요성을 제시하였다.

1. 차선폭원 두께변화 효과평가 연구

Mcknight et al.(1998)은 차선폭원과 명암비에 따른 차선유지능력을 평가하기 위해 시뮬레이션 분석을 실시하였다. 저명암비를 갖는 조건을 제외하고 차선폭원과 명암비에 따라 운전자의 차선유지능력에 미치는 영향이 미미한 것으로 나타났으나 반사 기능이 낮은 도로 사용 시 차선폭원이 감소할수록 차선유지편차가 크게 나타났다. AARP(The American Association of Retired Persons)에 따르면 18명의 피실험자를 대상으로 주간 및 야간 차선폭원 두께 변

화에 따른 실험을 수행한 결과, 4인치에 비해 8인치의 차선평폭원이 운전자가 차선을 유지하는 데 있어 효과적인 것으로 나타났다(Ward, 1985). Park et al.(2012)은 확장된 차선평폭원으로 도색된 도로와 기존 도로를 구분하고 전후 비교분석을 통해 사고감소효과를 추정하였다. 분석 결과, 일반 차선평폭원 대비 두꺼운 차선평폭원은 사고 감소에 영향을 미치는 것으로 도출되었으며 비교적 교통량이 적은 지방부 2차로 도로에 설치하는 것을 권장하였다. Hussein et al.(2020)은 차선평폭원 증가에 따른 안전성 평가를 위해 캐나다 3개 주를 대상으로 Full Bayes 분석을 수행하였다. 전후 비교 시 차선평폭원 증가 이후 전체 사고 및 도로 이탈사고가 각각 12.3%, 19% 감소하였다. Hamerslag et al.(1981)은 3가지 차선평폭원(4인치/6인치/8인치)에 따른 안전성 평가를 위해 차로편측위치를 분석하였다. 8인치 차선평폭원 적용 시 안전성이 향상되는 결과가 도출되었으나 6인치 차선평폭원은 기존 차선평폭원과 통계적인 차이가 없는 것으로 나타났다. Cottrell et al.(1986)는 4인치 및 8인치 차선평폭원 변화에 따른 효과분석을 위해 차로편측위치의 표준편차를 활용하였다. 4인치 폭원에서는 표준편차가 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으나 8인치 차선평폭원은 주야 모두 차로편측위치의 표준편차 값이 감소하여 안전성이 향상된 것으로 나타났다. Mohamed(2018)는 차선평폭원 넓힘 대책의 효과평가를 위해 Comparison Group 및 Empirical Bayes 기법을 적용하여 전후 비교분석을 수행하였다. 분석 결과, 두꺼운 차선평폭원은 도로 이탈사고 감소에 효과적인 것으로 나타났으며 특히 심각 및 부상 사고에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

2. 차선평폭원 두께 운영 현황

두꺼운 차선평폭원은 해외에서 교통안전 및 편리성을 고려하기 위해 사용되거나 고령운전자의 명확하고 편리한 차선 인식을 위해 많은 나라에서 적용하고 있다(Jeffrey et al., 2010). 미국 29개 주를 대상으로 차선평폭원 두께 사용에 대한 설문조사를 수행한 결과는 Figure 1에 나타냈으며 대부분의 나라에서 6인치 차선평폭원을 사용하고 있다. 두꺼운 차선평폭원은 교통안전정책 동향을 반영하거나 실험적 이유로 적용되고 있으며 기타 이유는 급격한 커브가 있는 주요 위험구간이나 사고다발구간 등에서 교통안전대책으로 적용되고 있다. 프랑스, 독일 등 일부 유럽 국가에서도 진출램프에서 일반차로 및 출구차로를 구분하기 위해 차선평폭원을 넓혀 운영하고 있다. 특히, 독일은 일반 차선의 점선 폭원을 15cm로 운영하고 있으나 갓길 실선, 램프구간 등 차로가 분류되는 구간에 대해 점선 두께를 30cm로 넓혀 운영하고 있다.

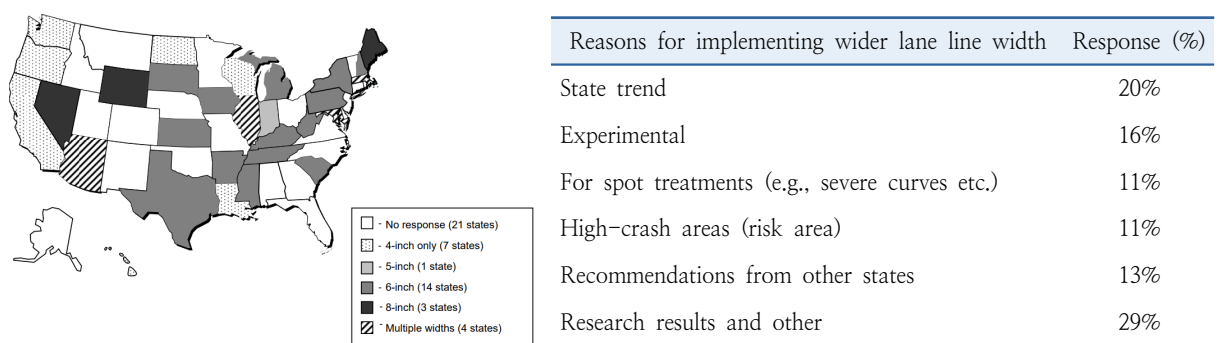


Figure 1. Usage of wider lane line width in the U.S.

source: Jeffrey et al. (2010), Evaluation of potential benefits of wider and brighter edge line pavement markings.

3. 주행 시뮬레이터 활용 연구

Ko et al.(2012)은 위험도 등급에 따라 도로 교통상황과 관련된 경고 정보를 델리네이터를 통해 제공받았을 때 운전자의 반응 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 평가를 위해 감속도, 가속소음을 활용하였으며 스마트 델리네이터

를 활용한 정보제공 방안이 운전자의 안전운행 유도에 효과적임을 밝혔다. Kim et al.(2012)은 주행 시뮬레이터를 통해 도심형 중앙분리대의 최소 이격거리 실험을 수행하였다. 안전성 측면에서 도심형 중앙분리대 설치 시 폭 1m 이상을 확보해야 시설물 파손 또는 차로 이탈 등을 방지할 수 있음을 제시하였다. Hong et al.(2012)은 감성공학 분석 기법을 적용하여 감속 유도를 위해 노면표시 종류에 따른 운전자 주행행태를 분석하고 최적 노면표시를 제시하였다. Park et al.(2017)은 고속도로 이동공사 구간에 대한 운전자 주행행태 분석을 통해 안전성을 제고시킬 수 있는 방안을 제시하였다. 안전성 평가를 위해 차로변경 시종점, 차로변경 수행거리, SDI(Safety Distance Index) 3가지 지표를 정의하였으며 고정공사보다 이동공사가 비교적 위험한 것으로 나타났다.

4. 기존 연구와의 차별성 및 의의

차선폭원 효과평가를 위한 선행 연구들은 주로 차선폭원 넓힘 대책이 시행된 구간에 대하여 사고감소 효과를 추정하는 연구가 다수 진행되었다. 하지만 주행 시뮬레이터를 활용하여 차선폭원 넓힘 대책의 안전성 평가를 수행한 연구는 미비하였다. 또한 대부분의 연구에서는 효과평가를 위해 가속도, 차로편측위치의 표준편차 등의 평가지표를 활용하고 있다는 점을 고려하여 본 연구에서는 속도, 가속도, 차로편측위치 표준편차, peak-to-peak jerk 등의 다양한 지표를 활용하였다.

국내 고속도로 진출램프에서는 차선폭원을 10-15cm로 규정하고 있으나 해외는 15-45cm로 다양하게 적용되고 있다. 독일 등 일부 유럽 국가에서는 교통안전을 고려하여 위험구간 또는 차로가 분류되는 구간 등에 대해 차선폭원을 넓혀 운영하고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 주행 시뮬레이터를 활용하여 도로설계 단계에서 안전성 증진 대책의 일환으로 차선폭원 넓힘 대책의 적용성을 평가하였다. 차선폭원 넓힘 대책을 고속도로 기본구간(직선/곡선)과 진출램프에 적용할 경우 운전자 주행행태에 미치는 영향을 분석하였으며 고령운전자의 특성을 반영하기 위해 연령대 수준에 따라 주행 특성을 비교하였다는 점에서 기존 연구와 차별성을 갖는다.

실험 방법 및 절차

1. 피실험자 개요

고령운전자는 일반 운전자에 비해 더 많은 지각시간과 반응시간이 필요하다(Olson and Sivak, 1986). 국내 고령자 고용촉진법에 따르면 고령자는 55세, 준고령자는 50세 이상인 사람으로 정의하고 있다. 본 논문에서는 65세 이상 고령의 피실험자를 모집하는 것이 원활하지 않아 관련 법령을 참조하여 50세 이상을 준고령자로 설정하였다. 운전자 연령에 따른 특성을 반영하기 위해 50세 기준을 토대로 2가지 연령대로 구분하여 50세 미만 연령대 피실험자 11명, 50세 이상 연령대는 11명을 대상으로 결과를 비교하였다.

피실험자는 20대부터 60대까지의 연령대로 분포되어 있으며 전체 22명의 피실험자를 토대로 분석을 수행하였다. 피실험자에 대한 연령대 구성 및 성별에 대한 내용을 Table 1에 제시하였다. 전체 22명의 피실험자는 남자 9명 여자 13명으로 구성되어 있으며 피실험자의 평균 연령은 50, 표준편차는 10.83인 것으로 나타났다.

Table 1. Classification of subjects

Age	Total	Men	Women
20's	1	0	1
30's	2	0	2
40's	8	1	7
50's	7	5	2
60's	4	2	2

2. 주행 시뮬레이터(Driving Simulator)

본 연구는 차선폭원 두께 변화에 따른 시나리오 구현을 위해 AVSimulation 사의 SCANeR studio 1.8을 활용하였으며 이는 모션시스템 기반으로 캐빈, 탑승교 등의 장비로 구성되어 있다. 가상주행 실험을 통해 운전자의 주행행태 변화를 분석하였으며 주행 특성 자료는 차량을 중심으로 3축 방향의 위치 좌표, 속도, 가·감속도, lane offset 등 다양한 자료가 수집되며 샘플링 레이트는 10Hz이다.

1) 실험 시나리오 및 환경

본 연구는 고속도로 본선구간의 증분대 및 램프 진출부 점선에 대해 차선폭원을 넓혔을 경우 운전자 주행행태 분석을 통해 교통안전 효과를 분석하고자 하였다. 실험 대상구간은 세종포천고속도로 전체 구간 중 커브구간 및 직선구간이 모두 포함된 제8공구 시점부터 북용인 나들목까지 약 2.4km 구간에 대해 분석을 수행하였다. 피실험자는 본선 1.2km 직선구간을 주행한 후 곡선반경이 2,050m인 곡선구간을 1차로에서 주행하였다. 마지막으로 1.6km 직선구간 내 1차로에서 3차로로 차로변경하여 진출램프로 진입할 수 있도록 하였다. 이때, 램프구간은 트럼펫형 연결로이며 본선은 3차로로 구성되어 있다. 주행 시뮬레이터를 통해 구현한 네트워크 및 실험 사진은 Figure 2에 나타났다.

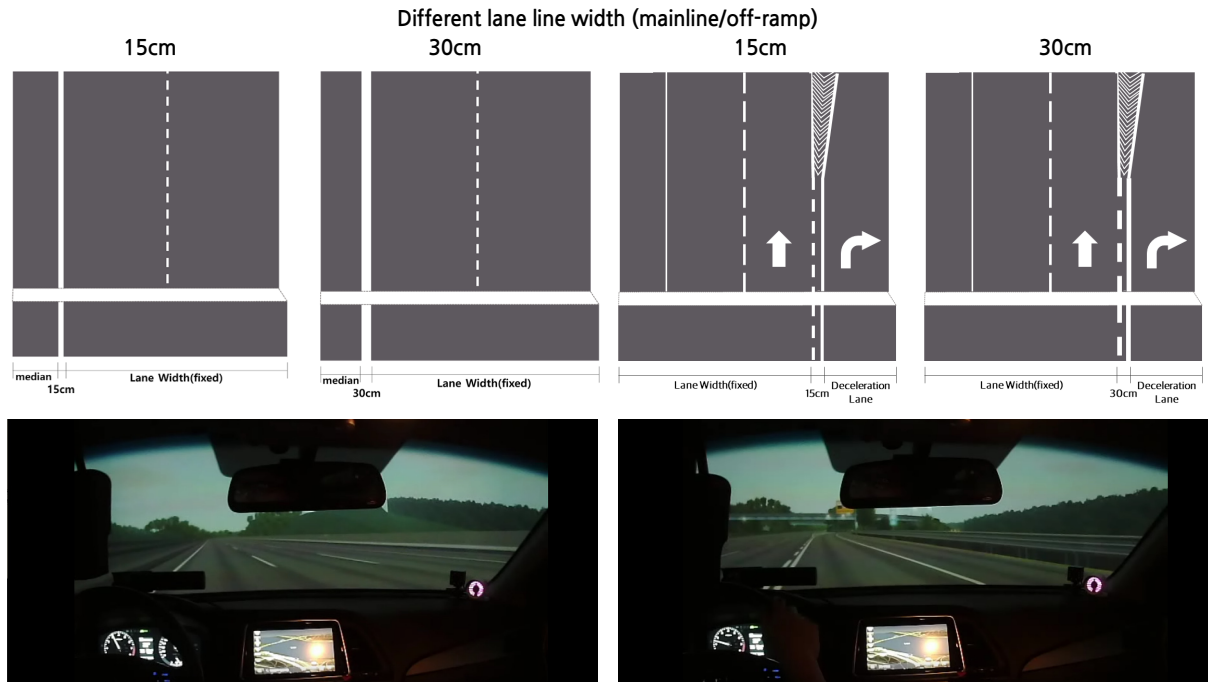


Figure 2. Scenarios for solid lane line width (mainline, off-ramp)

시나리오는 주야구분 및 차선폭원(15cm/30cm) 두께 변화에 따라 총 4가지의 시나리오로 구성되며 내용은 Table 2와 같다. 운전자는 고속도로 본선(직선/곡선) 구간을 주행한 후 진출램프를 진입하는 시나리오로, 1회씩 총 4개의 시나리오를 주행하여 1회당 2-3분의 시간이 소요되었다.

Table 2. Scenarios of driving simulation

Time	Section	Scenarios
Day/Night	Mainline (straight/curve section) and off-ramp	Median and off-ramp lane line width 15cm Median and off-ramp lane line width 30cm

2) 평가지표 설정

차량의 종방향 및 횡방향 주행행태 분석을 위해 6가지 평가지표를 설정하였으며 관련 내용은 Table 3에 제시하였다. 속도는 운전자의 평균 주행속도와 표준편차를 비교하였으며 1초 주기로 집계되어 나타난다. 평균 주행속도 및 표준편차가 작을수록 주행 안전성이 향상된 것으로 해석할 수 있다. 가속도는 차선평원 변화에 따른 감속 및 가속의 세기를 파악하기 위해 절댓값을 사용하였다. 해당 값은 단위 시간당 속도의 변화량을 나타내기 때문에 값이 클수록 주행 안전성이 저하되는 것으로 해석할 수 있다. 특히, 가속도의 표준편차는 운전자의 종방향 주행행태를 평가할 수 있는 지표로 해당 값이 클수록 잠재적인 위험성이 높은 것으로 해석할 수 있다(Jones and Potts, 1962). 차로편측위치는 차로의 중심을 기준으로 주행차량의 중심까지의 이격거리를 나타내는 지표로 절댓값이 증가할수록 한쪽 방향으로 치우쳐 주행하는 것을 의미한다. 본 논문에서는 차로편측위치의 표준편차 값을 활용하였으며 이는 운전자의 횡방향 주행 안전성을 평가할 수 있는 지표로 값이 증가할수록 주행 안전성이 저하되는 것으로 해석할 수 있다. 마지막으로 jerk는 단위 시간당 가속도의 변화량을 나타내며 가속도를 시간에 대해 미분하여 차량의 승차감을 나타내는 물리량이다. 이는 가·감속의 세기를 나타내며 값이 클수록 쏠림 현상이 발생하여 안전성이 저하된다. peak-to-peak jerk는 시나리오별 운전자의 jerk값을 이용하여 최대 jerk값과 최소 jerk 값의 차이를 나타내는 지표이다. 이는 운전자의 주행 안전성을 판단할 수 있는 물리량이며 선행 연구에서는 위험 상황을 판단하기 위한 임계값으로 $9.8m/s^3$ 을 제시하였다(Bagdadi and Várhelyi, 2013).

본 연구에서는 평가지표별 통계적 차이를 검정하기 위해 paired t-test를 적용하였다. paired t-test는 동일 샘플에 대해 전후를 비교하는 검정 방법으로 같은 피실험자를 대상으로 차선평원 전후 운전자 주행행태를 비교할 수 있다. 하지만 해당 방법론을 적용하기 위해서는 독립변수에 따른 종속변수가 정규분포를 만족해야 하는 기본 가정으로 인해 만약 정규성을 만족시키지 못할 경우 비모수적 방법인 wilcoxon signed rank test 검정이 필요하다. 따라서 정규성 만족 여부에 따라 paired t-test 및 wilcoxon signed rank test를 각각 다르게 적용하여 시나리오별 평가지표의 통계적 차이를 검정하였다.

Table 3. Safety index

Index	Description	
Speed (mean, SD) [km/h]	Vehicle's speed	▲ Risk ▼ Safety
Acceleration (mean, SD) [m/s ²]	Vehicle's acceleration	▲ Risk ▼ Safety
Lane offset (SD) [m/s]	Vehicle's lane keeping performance	▲ Risk ▼ Safety
Peak-to-peak jerk [m/s ³]	Differences of maximum and minimum jerk	▲ Risk ▼ Safety

분석 결과

1. 차선평원 변화에 따른 운전자 주행행태 분석 결과

직선구간, 곡선구간, 램프구간 3개 구간에 대해 연령대 및 차선평원(15cm/30cm) 구분에 따른 평가지표 차이가 유의한지 판단하기 위해 paired t-test 분석을 수행하였다. 전체 피실험자를 대상으로 한 운전자 주행행태 분석 결과는 Table 4에 제시하였다. 구간은 직선구간 차선평원이 30cm일 경우 운전자의 가속도는 $1.03m/s^2$ 로 15cm의 가속도인 $1.26m/s^2$ 보다 $0.23m/s^2$ 감소한 것으로 나타났으나 곡선구간에서는 평균통행속도가 $9.07km/h$ 및 가속도가 $0.27m/s^2$ 증가하여 오히려 안전성이 저하된 것으로 나타났다. 또한 진출램프에서는 peak-to-peak jerk값이 $0.04m/s^3$ 감소하여 종방향 안전성이 향상된 것으로 나타났다.

야간은 차선폭원이 30cm일 경우 평균통행속도가 직선구간 7.94km/h, 곡선구간 11.69km/h, 진출램프 4.88km/h 각각 증가한 것으로 나타났다. 곡선구간에서는 가속도(평균)가 0.35m/s² 증가한 것으로 나타나 차선폭원을 넓힐 경우 종방향 안전성이 저하되는 것으로 나타났다.

전체 연령대를 기준으로 차선폭원 넓힘으로 인한 운전자 주행행태는 주간의 경우 본선 직선구간 및 진출램프에서 효과가 있는 것으로 나타났으나 야간의 경우 효과가 없거나 오히려 안전성이 저하되는 결과가 도출되었다.

Table 4. Driving performance change for lane line width

Time	Section	Lane line width	Speed (average) [km/h]	Speed (SD) [km/h]	Acceleration (average) [m/s ²]	Acceleration (SD) [m/s ²]	Peak-to-peak jerk [m/s ³]	Lane offset (SD) [m/s]
Day	Straight	15cm	92.36	20.72	2.53	1.26	2.38	0.14
		30cm	94.93	20.92	2.50	1.03	1.78	0.14
		Significant	0.47	0.93	0.86	0.05*	0.26	0.65
	Curve	15cm	119.72	8.24	2.25	0.70	1.30	0.13
		30cm	128.79	5.85	2.52	0.66	1.20	0.12
		Significant	0.05*	0.45	0.06**	0.55	0.16	0.47
	Off-ramp	15cm	75.16	9.77	3.67	2.34	3.17	0.42
		30cm	78.32	9.41	3.62	2.12	2.34	0.38
		Significant	0.30	0.82	0.89	0.37	0.05*	0.27
Night	Straight	15cm	81.47	22.98	2.08	1.22	16.51	0.28
		30cm	89.41	21.76	2.26	1.12	15.59	0.28
		Significant	0.00*	0.96	0.58	0.58	0.58	0.70
	Curve	15cm	107.18	25.49	1.93	0.94	13.29	0.27
		30cm	118.87	25.97	2.28	1.01	12.87	0.29
		Significant	0.00*	0.60	0.00*	0.51	0.98	0.62
	Off-ramp	15cm	73.33	19.59	2.73	2.01	20.94	0.55
		30cm	78.21	18.90	2.86	2.19	18.96	0.57
		Significant	0.01*	0.57	0.26	0.26	0.43	0.77

*significant at 95% confidence level, **significant at 90% confidence level.

2. 연령 기준에 따른 구간별 운전자 주행행태 분석

1) 50세 기준 구간별 운전자 주행행태 t-test 분석 결과

본 연구에서는 고령운전자 특성을 반영하기 위한 피실험자 수를 충분히 확보하지 못하여 준고령운전자인 50세를 기준으로 주행행태 차이가 통계적으로 유의한지 판단하기 위해 t-test 분석을 수행하였다. 주행행태 분석을 위해 직선구간, 곡선구간, 램프구간 3개 구간에 따른 평가지표 차이를 검증하였으며 분석 결과는 Table 5와 같다.

Table 5. Driving performance change according to age

Section	Lane line width	Speed (average) [km/h]	Speed (SD) [km/h]	Acceleration (average) [m/s ²]	Acceleration (SD) [m/s ²]	Peak-to-peak jerk [m/s ³]	Lane offset (SD) [m/s]
Straight	Under 50 age	95.31	19.88	2.62	1.21	2.17	0.13
	Over 50 age	86.08	18.61	2.17	0.97	1.56	0.14
	Significant	0.00*	0.32	0.00*	0.00*	0.03*	0.18
Curve	Under 50 age	127.57	7.28	2.56	0.76	1.45	0.13
	Over 50 age	114.04	5.49	2.06	0.59	1.13	0.12
	Significant	0.00*	0.24	0.00*	0.00*	0.00*	0.09*
Off-ramp	Under 50 age	85.11	8.44	3.70	2.12	2.18	0.39
	Over 50 age	69.83	7.53	2.88	1.80	2.57	0.37
	Significant	0.00*	0.45	0.01*	0.18	0.34	0.32

*significant at 90% confidence level.

본선 직선 및 곡선 구간에서는 대부분의 지표가 50세 연령대를 기준으로 통계적으로 유의한 차이가 도출되었으나 진출램프에서는 유의한 차이가 도출되지 않는 것으로 나타났다. 하지만 속도 및 가속도가 현저히 감소하여 이를 반영한 추가 분석이 필요할 것으로 판단된다. 이에 따라 본 연구에서는 50세 기준을 토대로 준고령/비고령 2가지의 운전자 집단으로 구분하여 분석을 수행하였다.

2) 50세 미만 운전자 주행행태 분석 결과

연령대에 따른 운전자 주행행태를 비교하기 위해 50세를 기준으로 피실험자 나이를 2가지 유형으로 구분하여 분석 결과를 도출하였다. 50세 미만 운전자의 주행행태 분석 결과는 Table 6에 나타났다.

주간인 경우 차선평원을 30cm로 넓혔을 때 직선구간 가속도 표준편차가 0.47m/s² 감소하였으며 peak-to-peak jerk는 1.55m/s³ 감소한 것으로 나타나 종방향 주행 안전성이 향상된 것으로 나타났다. 곡선구간에서는 평균 가속도 및 속도 표준편차가 통계적으로 유의한 수준 내 차이가 있는 것으로 도출되었으나 평균 가속도는 0.48m/s² 증가하여 오히려 안전성이 저하된 것으로 판단된다. 하지만 평균 속도와 가속도를 제외한 나머지 지표가 감소한 것으로 나타나 안전성에 미치는 영향이 크지 않는 것으로 해석된다. 램프구간에서는 횡방향과 관련된 차로편측위치 표준편차 값이 0.03m/s 감소하였지만 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다.

야간의 경우 차선평원 30cm일 때, 직선구간에서는 통행속도가 8.82km/h 증가하였으나 가속도 표준편차는 0.13m/s² 증가한 것으로 나타났다. 전반적인 평가지표 값이 증가하는 경향을 나타내 오히려 안전성이 저하되는 것으로 나타났다. 곡선구간 및 진출램프에서는 평가지표들이 90% 통계적 수준 내 증가한 것으로 나타났다.

50세 미만 운전자의 주간 차선평원 두께 변화에 따라 직선구간에서는 전반적으로 종방향과 관련된 평가지표가 감소하여 안전성이 향상된 것으로 나타났다. 하지만 야간의 경우 횡방향 및 종방향 주행 안전성을 나타내는 평가지표들이 증가하는 경향을 보여 오히려 안전성이 저하되거나 유의한 차이가 없는 것으로 판단된다. 따라서 50세 미만 운전자의 주행행태는 주간인 경우 본선 직선구간에서 종방향 안전성이 향상된 것으로 나타났다.

Table 6. Driving performance change for lane line width under 50 ages

Time	Section	Lane line width	Speed (average) [km/h]	Speed (SD) [km/h]	Acceleration (average) [m/s ²]	Acceleration (SD) [m/s ²]	Peak-to-peak jerk [m/s ³]	Lane offset (SD) [m/s]
Day	Straight	15cm	93.98	23.05	2.78	1.50	3.31	0.12
		30cm	102.33	20.00	2.73	1.03	1.76	0.13
		Significant	0.03*	0.43	0.72	0.01*	0.01*	0.87
	Curve	15cm	119.77	11.64	2.33	0.77	1.56	0.15
		30cm	134.06	11.63	2.81	0.71	1.29	0.13
		Significant	0.08**	0.46	0.02*	0.55	0.32	0.33
	Off-ramp	15cm	79.87	9.09	3.59	2.16	2.54	0.40
		30cm	86.82	9.89	4.26	2.37	2.51	0.37
		Significant	0.26	0.79	0.45	0.60	0.98	0.46
Night	Straight	15cm	87.48	17.52	2.34	1.21	17.79	0.12
		30cm	96.30	17.55	2.53	1.08	18.12	0.13
		Significant	0.00*	0.82	0.18	0.09**	0.90	0.28
	Curve	15cm	116.08	5.07	2.15	0.71	12.86	0.15
		30cm	135.34	6.05	2.80	0.74	15.72	0.13
		Significant	0.00*	0.09**	0.00*	0.54	0.08**	0.81
	Off-ramp	15cm	83.53	6.48	3.21	1.82	18.08	0.40
		30cm	89.74	7.48	3.57	2.05	17.99	0.37
		Significant	0.02*	0.33	0.21	0.19	0.97	0.46

*significant at 95% confidence level, **significant at 90% confidence level.

3) 50세 이상 운전자 주행행태 분석 결과

고령자 고용측진법에 따라 50세 이상은 준고령운전자로 분류되고 있어 본 연구에서는 50세 이상인 운전자 11명을 준고령운전자의 주행행태라고 판단하여 추가 분석을 수행하였으며 분석 결과는 Table 7에 나타났다.

주간 램프구간에서는 차선평원 넓힘으로 인해 평균 가속도가 0.67m/s^2 감소하였으며 가속도의 표준편차가 0.56m/s^2 감소하여 종방향 주행 안전성이 향상된 것으로 나타났다. 또한 차로편측위치 표준편차가 0.06m/s 감소하여 횡방향 안전성이 향상된 것으로 나타났다. 통계적으로 유의한 차이가 도출되진 않았지만 램프구간에서는 본 연구에서 정의한 모든 평가지표가 감소하는 경향을 나타냈으며 이는 차선평원 넓힘 대책이 준고령운전자의 안전한 진출램프 진입에 효과적인 것으로 해석될 수 있다. 반면 야간은 모든 구간에서 평가지표들이 증가한 것으로 나타났다. 이는 야간의 경우 주간에 비해 차선의 두께보다 밝기에 의해 영향을 받아 시뮬레이터 상 야간 환경 구현에 대한 문제점 및 차선 휘도 반영 등으로 인해 나타난 결과로 예상된다.

Table 7. Driving performance over 50 ages

Time	Section	Lane line width	Speed (average) [km/h]	Speed (SD) [km/h]	Acceleration (average) [m/s ²]	Acceleration (SD) [m/s ²]	Peak-to-peak jerk [m/s ³]	Lane offset (SD) [m/s]
Day	Straight	15cm	91.02	18.77	2.31	1.07	1.60	0.16
		30cm	88.76	21.69	2.32	1.03	1.79	0.14
		Significant	0.69	0.29	0.97	0.78	0.74	0.61
	Curve	15cm	119.68	5.41	2.19	0.63	1.09	0.12
		30cm	124.39	5.36	2.29	0.62	1.13	0.11
		Significant	0.40	0.96	0.63	0.86	0.80	0.34
	Off-ramp	15cm	71.24	10.34	3.75	2.48	3.70	0.44
		30cm	71.23	9.01	3.08	1.92	2.20	0.38
		Significant	0.99	0.43	0.08**	0.04*	0.17	0.03*
Night	Straight	15cm	78.03	15.92	1.88	0.85	14.89	0.12
		30cm	86.52	17.45	2.15	0.91	13.65	0.13
		Significant	0.01*	0.29	0.09**	0.46	0.68	0.14
	Curve	15cm	101.27	5.13	1.75	0.51	11.26	0.12
		30cm	110.81	6.30	2.03	0.60	10.69	0.14
		Significant	0.02*	0.43	0.10**	0.08**	0.59	0.33
	Off-ramp	15cm	66.29	4.95	2.22	1.35	22.69	0.32
		30cm	70.57	5.81	2.48	1.45	21.06	0.36
		Significant	0.01*	0.58	0.39	0.61	0.42	0.02**

*significant at 95% confidence level, **significant at 90% confidence level.

3. 운전자 설문조사

운전자의 정성적 분석을 위해 차선평원 두께 차이 체감 여부, 체감속도가 더 빠르게 느껴지는 차선평원 등 주요 항목에 대한 설문조사를 실시한 결과를 Table 8에 나타났다. 50세 이상 운전자의 약 82%는 본선 직선구간 및 곡선구간에서 차선평원 두께 변화 차이를 느꼈다고 응답하였다. 반면 50세 미만 운전자의 약 64%가 모든 구간에서 차선평원 변화를 느끼지 못한 것으로 조사되었다.

차선평원 선호도 조사결과, 50세 이상 운전자 11명 모두 30cm 폭원을 선호하는 것으로 나타났으며 50세 미만 운전자는 특정 차선평원에 대한 선호도가 없거나 2가지 유형의 차선평원의 선호도가 비슷한 것으로 나타났다.

체감속도 측면에서는 50세 미만 운전자의 46%가 15cm 폭원의 체감속도가 더 빠르게 느껴지는 것으로 응답하였으나 50세 이상 운전자는 30cm 폭원일 때, 더 빠르게 느껴진다고 응답하여 설문조사 결과가 상이하게 도출되었다.

실제 운전자 주행행태 분석 결과, 50세 미만 운전자는 차선평원이 30cm일 경우 평균통행속도가 증가하는 것으로 나타났으며 50세 이상 운전자는 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 설문조사와 상응하는 결과로 차선평원을 30cm로

넓힐 경우 준고령운전자의 감속 유도에 효과가 있는 것으로 판단된다. 결과적으로 차선평원을 30cm로 넓혔을 경우 정석적 관점에서 준고령운전자는 비교적 인지성, 선호도, 체감속도 모두 높게 나타났다.

이에 따라 차선평원 넓힘 대책은 50세 이상 준고령운전자의 주의 환기 및 시선 유도에 효과가 있는 것으로 판단된다.

Table 8. Driver survey results

Section		Straight		Curve		Off-ramp	
		Under 50	Over 50	Under 50	Over 50	Under 50	Over 50
Feeling for difference of lane line width	Yes	4 (36%)	2 (18%)	4 (36%)	2 (18%)	4 (36%)	3 (27%)
	No	7 (64%)	9 (82%)	7 (64%)	9 (82%)	7 (64%)	8 (73%)
Preference for lane line width	15cm	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	3 (27%)	0 (0%)
	30cm	6 (54%)	11 (100%)	6 (54%)	11 (100%)	3 (27%)	11 (100%)
	No	5 (46%)	0 (0%)	5 (46%)	0 (0%)	5 (46%)	0 (0%)
Perceptual speed	15cm	5 (46%)	0 (0%)	5 (46%)	0 (0%)	6 (54%)	0 (0%)
	30cm	3 (27%)	11 (100%)	3 (27%)	6 (54%)	5 (46%)	11 (100%)
	No	3 (27%)	0 (0%)	3 (27%)	5 (46%)	0 (0%)	0 (0%)

결론

해외에서는 교통안전을 고려하여 사고다발구간 등 위험구간에 대해 차선평원을 넓혀 운영하고 있다. 본 연구에서는 고속도로 본선 및 램프구간의 차선평원을 넓힐 경우 운전자 주행행태에 미치는 영향을 파악하였다. 차선평원 변화에 따른 안전성 평가를 위해 주행 시뮬레이터를 활용하여 운전자의 주행 특성을 분석하였으며 실험 후 운전자의 응답조사를 통해 주관적인 만족도를 조사하였다. 또한 고령운전자 특성을 반영하기 위해 50세를 기준으로 준고령/비고령 운전자로 구분하여 주야 구분에 따른 주행행태를 비교하였다.

차선평원을 30cm로 넓힐 경우 50세 미만 운전자들의 주행행태는 본선 직선구간에서 종방향 안전성이 향상된 것으로 나타났다. 반면 50세 이상의 준고령운전자 주행행태는 램프구간에서 횡방향 및 종방향 주행 안전성이 향상된 것으로 나타났다. 하지만 야간의 경우 반복된 실험 등의 이유로 운전자의 시뮬레이터에 대한 적응도가 향상되어 모든 평가지표가 전반적으로 증가하는 경향을 나타내 유의한 결과가 도출되지 않는 것으로 판단된다. 본 연구는 차선평원 넓힘 대책의 적용성 검토를 위한 초기 단계의 연구로, 시뮬레이터를 활용하여 운전자들의 주행행태 변화 파악 및 이용자의 차선평원 만족도 등을 분석하는데 목적을 두고 있다. 차선평원 넓힘 대책은 본선 직선구간 및 진출램프에서 운전자의 주의 환기 및 시선 유도 기능을 강화하여 주행 안전성을 개선시키기 위해 적용될 수 있다. 이는 주로 고령운전자의 인지 기능 저하 등을 고려하여 향후 고속도로 설계 시 진출램프의 우선적 검토가 필요할 것으로 예상된다.

본 연구의 한계점 및 향후 연구과제는 다음과 같다. 첫째, 고령운전자의 주행행태 비교를 위해 보다 높은 연령대 기준의 설정을 통한 분석이 필요할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 65세 이상 고령의 피실험자를 모집하는 것이 원활하지 않아 관련 법령을 참조하여 50세 이상을 준고령자로 설정하였다. 하지만 사회 전반적인 고령자 기준을 65세 이상으로 설정하고 있어 차선평원 넓힘 대책이 고령운전자에게 미치는 영향을 보다 면밀히 분석하기 위해서는 65세 이상 충분한 피실험자 수 확보 및 고령운전자의 주행행태를 평가하기 위한 지표 등을 고려한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

둘째, 본 연구에서는 야간 환경에 대해서도 실험을 진행하였으나 평가지표별 유의한 결과가 도출되지 않거나 값이 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 피실험자의 시뮬레이터에 대한 적응도 향상으로 인해 나타난 결과로 예상된다. 이와 더불어 시뮬레이션 상 야간의 차선 휘도 등이 반영되지 않아 시인성 저하로 인해 결과가 유의하지 않게 도출된 것으로 판단된다. 이를 보완하기 위해 향후 야간 환경을 반영하기 위한 요소를 고려해야 하며 반복실험을 고려한 실험 설계 등의 추가 실험 및 분석이 필요할 것으로 판단된다.

셋째, 본 연구는 국내 고속도로 차선폭원 넓힘 대책의 적용을 위한 초기 단계의 연구로, 실제 대책 적용을 통해 현장실험을 동반한 안전성 평가가 병행될 때 유의한 의미를 찾을 수 있을 것으로 예상된다. 향후 테스트베드에서의 실험과 본 연구에서 제시한 연구결과를 활용하여 종합적 판단 및 평가가 필요하다.


Funding

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIP)(No. NRF-2019R1G1A1010209).


알림


본 논문은 대한교통학회 제82회 학술발표회(2020.06.26)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

ORCID

KWON, Kyeongjoo  <http://orcid.org/0000-0003-4650-8793>

PARK, Juneyoung  <http://orcid.org/0000-0002-1598-3367>

LEE, Hyunsuk  <http://orcid.org/0000-0002-6839-6748>

KWAK, Hyunjun  <http://orcid.org/0000-0003-1598-6522>

References

- Bagdadi O., Várhelyi A. (2013), Development of a Method for Detecting Jerks in Safety Critical Events, *Accident Analysis & Prevention*, 50, 83-91.
- Bahar G., Mollett C., Persaud B., Lyon C., Smiley A., Smahel T., McGee H. (2004), Safety Evaluation of Permanent Raised Pavement Markers, NCHRP Report 518, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Cottrell B. H. (1986), The Effects of Wide Edge Lines on Lateral Placement and Speed on Two-Lane Rural Roads, In *Transportation Research Record No.1069*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1-6.
- Evans L. (1985), Human Behavior Feedback and Traffic Safety, *Human Factors*, The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society 27 (October (5)), 555-576.
- Hammerslag R., Roos J. P., Kwakernaak M. (1981), Analysis of Accidents in Traffic Situations by Means of Multiproportional Weighted Poisson Model, *Transp. Res*, 847, 29-36.
- Hong S. M., Oh C., Jang J. Y., Kim G. H., Park J. W., Chang M. S. (2012), Designing Pavement Marking for Hi-pass Lane Based on Kansei Engineering, *International Journal of Highway Engineering*, 14(1), Korean Society of Road.
- Hussein M., Sayed T., El-Basyouny K., de Leur P. (2020), Investigating safety effects of wider longitudinal pavement markings, *Accident Analysis & Prevention*, 142, 105527.
- Jeffrey D. Miles, Paul J. Carlson, Ryan Eurek, Joh Re, Eun Sug Park (2010), Evaluation of Potential Benefits of Wider and Brighter Edge Line Pavement Markings, Technical Report FHWA/TX-10/0-5862-1.

- Jones T. R., Potts R. B. (1962), The Measurement of Acceleration Noise-a Traffic Parameter, *Oper. Res.* 10(6), 745-763.
- Kim J. M., Kim J. W., Noh K. S., Kim K. T. (2012), A Study on Design Standards of a median strip in City considering Traffic Safety, *International Journal of Highway Engineering*, 14(1), Korean Society of Road Engineers, 35-44.
- Ko H. G., Kim J. H., Seong M. J., Lee J. S. (2012), Safe Driving Inducement Effect Analysis of Smart Delineator through Driving Simulation Evaluation, *J. Korean Soc. Transp.*, 30(4), Korean Society of Transportation, 43-59.
- McKnight A. S., McKnight A. J., Tippetts A. S. (1998), The Effect of Lane Line Width and Contrast Upon Lanekeeping, *Accident Analysis & Prevention*, 30(5), 617-624.
- Mohamed M. (2018), Safety Impact of Wider Pavement Edge Line Markings, Dissertation, University of Idaho.
- National Police Agency (2012), Traffic Road Marking Installation Management Manual.
- National Police Agency (2020), Enforcement Rule of the Road Traffic Act.
- Obeng-Boampong K., Miles J., Pike A., Carlson P. (2009), Use of Wider Pavement Markings: Survey of State Transportation Agencies, Paper No. 09-1113, Submitted to TRB's 88th Annual Meeting, Washington, D.C.
- Olson P., Sivak M. (1986), Perception-response Time to Unexpected Roadway Hazards, *Human Factors*, 28(1), 91-96.
- Park E. S., Carlson P. J., Porter R. J., Andersen C. K. (2012), Safety Effects of Wider Edge Lines on Rural, Two-lane Highways, *Accident Analysis & Prevention*, 48, 317-325.
- Park H., Oh C., Moon J. (2017), Evaluation of Freeway Mobile Work Zone Safety Using Driving Simulations, *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, 16(6), 124-140.
- Ward A. M. (1985), Sighting Safety, In Effectiveness of Highway Safety Improvements, Proceedings of the conference, American Society of Civil Engineers, New York.
- Zwahlen H. T., Schnell T. (1995), Visibility of New Pavement Markings at Night Under Low Beam Illumination, *Transportation Research Record 1495*, National Research Council, Washington, DC.