

초소형전기차의 안전식별등 시인성에 관한 연구

백성채* · 서임기** · 김정현*** · 박제진****

Baek, Seong Chae*, Seo, Im Ki**, Kim, Jeong Hyun***, Park, Je Jin****

Safety Identification Lamp Visibility of Micro Cars

ABSTRACT

Interest in micro cars is growing around the world, and policy support for micro cars has been increasing in Korea. It is important to meet minimum safety standards for the operation of micro cars on roads due to concerns around micro car safety and the limited driving range of micro cars. In this study, visibility experiments that included safety identification of micro cars were conducted to try and prevent a decrease in driver reaction time. Safety identification lights were installed to the rear of a micro car, and the visibility and discomfort of the vehicle were evaluated to determine whether the micro car was safe to drive on an expressway. As a result, the installation effect of Micro car which install safety identification lamp was found when joining the point at an acceleration lane of the grade separation intersection, and that light on/off could be effective when entering an expressway. If the micro car operation plan proposed in this study is applied, the safety of micro cars on expressways can be increased by improving the visibility of micro car.

Key words : Micro car, Safety identification lamp, Visibility, Micro car lighting devices

초 록

세계적으로 초소형전기차에 대한 관심이 증가하고 있는 추세로, 국내에서도 초소형전기차에 대한 정책적 지원이 확대되고 있다. 그러나 국내 법적 제한사항으로 인한 초소형전기차의 안전성 저하 및 주행 가능 범위의 제한으로, 초소형전기차의 자동차전용도로 운행을 위한 최소 안전 기준 충족이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 운전자 반응시간 저하 방지를 위한 초소형전기차 안전식별등 시인성 실험을 실시하였다. 초소형전기차의 차량 후방부에 안전식별등을 설치하였으며, 시인성 및 불쾌눈부심 평가를 통해 초소형전기차의 자동차전용도로 주행가능 여부를 파악하였다. 그 결과, 입체교차시설의 가속차로 지점 합류 시 초소형전기차 안전식별등 설치효과가 나타났으며, 안전식별등의 점등/소등 기능 적용과 관련하여 자동차전용도로 진입 시 점등 방안, 일반도로 주행 중 소등 방안이 효과적일 수 있음을 확인하였다. 본 연구에서 제시한 초소형전기차 운영방안을 적용할 경우 초소형전기차의 시인성을 증진시켜 초소형전기차가 자동차전용도로를 주행하는데 필요한 차량의 안전성을 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다.

검색어 : 초소형전기차, 안전식별등, 시인성, 초소형전기차 등화장치

* 전남대학교 건축토목공학과 석사과정 (Chonnam National University · seongchae97@gmail.com)

** 정회원 · 한국스마트이모빌리티협회 부장 (Korea Smart E-Mobility Association · seoimki79@kema.kr)

*** 중신회원 · 한국철도기술연구원 책임연구원 (Korean Railroad Research Institute · kimjh@krii.re.kr)

**** 정회원 · 교신저자 · 전남대학교 토목공학과 교수 (Corresponding Author · Chonnam National University · jinpark@jnu.ac.kr)

Received December 6, 2021/ revised January 3, 2022/ accepted March 8, 2022

1. 서론

최근 전 세계적으로 친환경자동차에 대한 관심이 증가함에 따라 전기구동시스템을 적용한 초소형전기차에 관한 관심이 증가되고 있는 실정이다. 초소형전기차는 유럽이나 중국 등 국외에서 큰 인기를 끌고 있다. 국내에서는 배달 및 공공업무 시장에서 초소형전기차 사용이 증가하고 있으며, 정부의 초소형전기차에 대한 정책적 지원이 확대되고 있는 추세이다.

국내에서 초소형전기차의 분류는“자동차관리법시행규칙” 제2조에 따라 경형(초소형)에 속하며(MOLIT, 2021), 2018년 7월 11일에 신설된“자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙” 제6조(차량중량등급) 제3항에 따라 승용자동차(총무게 600 kg 이하)와 화물자동차(총무게 750 kg 이하)로 분류된다(MOLIT, 2020). 이렇듯 초소형자동차는 일반 자동차와 구조적인 차이가 존재하므로 충돌기준 등 자동차 안전기준에 대해 예외를 두고 있으며, 도로교통법 제6조(통행의 금지 및 제한) 제1항에 따라 초소형전기차의 고속도로 및 자동차전용도로 진입을 금지하고 있는게 현실이다(KNPA, 2021).

초소형전기차의 자동차전용도로 운행을 위해서는 자동차 안전도 평가와 같은 최소한의 안전기준을 충족시켜야 한다. 이에 따라 한국교통안전공단 자동차안전연구원에서 일반 자동차들과 동일한 안전기준을 적용한 초소형전기차에 대해 신차안전도평가(KNCAP)를 진행하였다. 그 결과 초소형전기차는 충돌 안전성 항목(32점 만점)에서 50 %를 넘지 못하는 점수를 부여받았다. 이는 초소형전기차 차체 중량 및 차체 크기 제한으로 인해 초소형전기차 내부 안전장치 탑재가 어렵게 되어 차량의 안전성이 저하된 것으로 판단된다(KATRI, 2020).

하지만 현행 법령으로 인해 초소형전기차의 차체 중량 및 차체 크기 증가는 불가하다. 이에 초소형전기차의 중량에 영향을 주지 않는 방안의 검토가 필요하며, 안전식별등을 차량에 장착할 경우 야간 시인성 증가를 통해 안전성을 증진시킬 수 있을 것이라 판단하였다(Forbes, 1960). 또한 현재 안전식별등 관련 연구는 부족하나 차량용 경광등 및 차폭등, 후미등 등 자동차 등화장치의 색상이나 밝기 등이 운전자에게 미치는 영향 및 시인성 증진효과에 관한 연구는 국내·외에서 활발히 진행되고 있다. Choi et al.(2017)은 휘도측정실험 및 주시시간 측정실험 수행 결과, 농기계에 등화장치를 장착할 경우 등화장치와 가깝고, 상태가 양호할수록 휘도값과 총 주시시간이 증가하여 농기계에 대한 운전자의 야간 시인성이 향상되는 것으로 판단하였다. Cho et al.(2013)은 야간고속도로를 주행하는 화물자동차 후미 등화장치의 유형에 따른 시인성 증대방안을 분석하였으며 곡선구간 및 직선구간 모두에서 호박색의 인지거리가 가장 긴 것으로 나타났으며, 파란색의 인지거리가 가장

짧은 것으로 나타났다. Kim et al.(2020)는 안개 상황에서 후차량 후미등과 제동등 조건에 따른 광도 및 시인거리의 차이를 평가하였으며, 대부분의 차량의 등화는 차량의 안개 등에 따른 저시정 상황에서의 설계속도별 최소정지시거를 만족하는 요구 광도기준을 정립하였다.

따라서 본 연구에서는 초소형전기차의 시인성을 증가시켜 교통 안전사고를 예방할 수 있도록 설계한 안전식별등을 차량 후방에 설치하고, 초소형전기차 안전식별등 시인성 및 불쾌눈부심 평가를 통해 자동차전용도로 주행 가능 여부를 파악하고자 한다.

이때 사용한 평가지표 중 불쾌눈부심이란 망막의 시세포가 수용할 수 있는 이상의 빛의 강도로 인하여 시야의 불편함이 발생하는 눈부심을 말하는 것이다. 이를 위해 국내 여타 논문에서 적용하였던 드보어눈부심지수(De Boer and Schreuder, 1967)를 적용하여 평가하고자 한다(Kang and Kim, 2011; Lee et al., 2012).

2. 연구방법

2.1 연구방법 개요

본 연구에서는 (주)마스타자동차관리의 MASTA VAN 기종을 사용하였다. 안전식별등은 Fig. 1과 같이 초소형전기차의 후방 상단부에 차량중심선을 기준으로 좌우 대칭이 되게 2개를 설치하였으며, 등광색은 호박색으로 설정하였다. 또한, 연속 점등방식을 사용하여 후방 운전자의 눈의 피로감을 덜도록 설계하였다.

본 연구는 Fig. 2와 같이 두 가지 실험으로 구성하였다. 첫째,



Fig. 1. Location of Safety Identification Lamps on a Micro Car

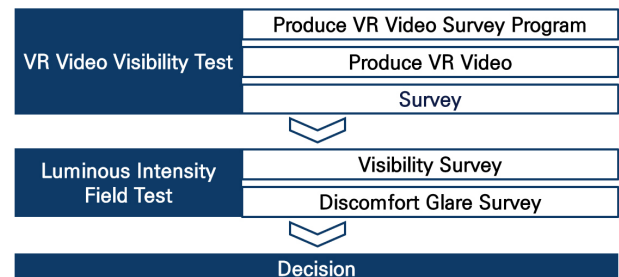


Fig. 2. Research Process Flow Chart

안전식별등을 부착한 초소형전기차를 3D 모델링으로 구현한 VR 영상을 제작하고, 이를 이용한 시인성 실험을 진행하였다. 둘째, 초소형전기차 후방에 안전식별등을 부착한 이후 현장 광도실험을 통해 시인성 및 불쾌눈부심 평가를 진행하였다.

2.2 VR 영상 시인성 실험

2.2.1 실험개요

본 실험에서는 다른 자동차의 운전자가 도로에서 주행하는 초소형전기차를 인지할 수 있는 거리를 파악하기 위해, 자동차전용도로(동부간선도로)와 도시지역 도로(전남대학교 정문 앞 도로) 합류부에서 진입하는 초소형전기차를 VR 영상으로 재현하였다.

시간대는 주간과 야간으로 구분하였고, 각각 안전식별등 점등/소등 상황을 설정하여 총 8개의 시뮬레이션 영상을 구축하였다. 마지막으로 피실험자가 영상에서 초소형전기차를 식별한 시간을 체크할 수 있는 동영상 설문조사 프로그램을 제작하였다.

2.2.2 주행영상 제작방법

MASTA VAN 카탈로그 및 사진을 참조하여 Fig. 3과 같이 초소형전기차 3D모델(3DS format)을 만들고 현장 사진촬영을 통해 3D모델 텍스처를 제작하였다.

연구자 소속 연구실에서 소장하고 있는 가상도로 생성 툴(UCwin/Road)을 이용하여 가상도로를 3D모델로 구성하였고, 초소형전기차가 연결로에서 본선으로 합류하는 시간을 설정하여 Table 1과 같이 주행시나리오를 완성하였다. 이후 Fig. 4와 같이 가상도로 생성

툴의 녹화기능을 이용하여 최종적인 차량주행 영상을 제작하였다.

2.2.3 동영상 설문조사 프로그램 실험방법

Fig. 5와 같이 동영상 설문조사 프로그램을 구성하였고, 인지시간을 확인하기 위해 원본 데이터 시간에서 피실험자가 자동차전용도로 및 도시지역 도로의 초소형전기차 합류 인식시간을 차감하였다.

이 경우 영상 반복으로 인한 피실험자의 학습효과 예방을 위해 8개의 영상 순서를 무작위로 할당하여 제시하였다. 최종적으로 각 영상별로 피실험자가 제출한 인지시간의 평균을 계산하여 결과값을 보정하였다.



(a)



(b)

Fig. 4. Vehicle Driving VR Video Stills: (a) Expressway, (b) Urban Road

Table 1. Simulation Video Procedure

Location	Time	Light on/off	Video Number
Expressway	Day	Light off	1
		Light on (continuous)	2
	Night	Light off	3
		Light on (continuous)	4
Urban road	Day	Light off	5
		Light on (continuous)	6
	Night	Light off	7
		Light on (continuous)	8



Fig. 3. Vehicle Model Side View and 3D Model Rendering Texture



Fig. 5. Video Survey Program

2.3 현장 광도실험

2.3.1 실험 개요

본 실험에서는 제3의 변수 통제와 안전문제를 고려하여 광주광역시 소재 대학교 교내 200 m 구간을 선정하였으며, 실험시간대는 주간/야간으로 설정하였다. 현재 초소형전기차 안전식별등의 눈부심에 대한 정량적인 기준이 명확하지 않아, 「자동차 및 자동차 부품의 성능과 기준에 관한 규칙」의 차폭등·후퇴등·끝단표시등·방향지시등 등의 광도기준을 적용하여 Fig. 6과 같이 안전식별등의 광도를 20 cd, 10 cd, 0 cd의 3가지로 설정하였다.

2.3.2 실험방법

본 연구에서는 고령운전자들의 광도에 대한 민감도 감소로 인해 과다추정이 이루어질 것으로 예측되었다. 대비감도가 높은 연령대인 20대를 대상으로 선정하였다. 대비감도(Contrast Sensitivity)란 서로 다른 밝기를 갖는 대상을 얼마나 잘 구별하는가를 검토하는 변수로, 이는 연령이 증가하면서 감소되는 특징을 가지고 있다(You

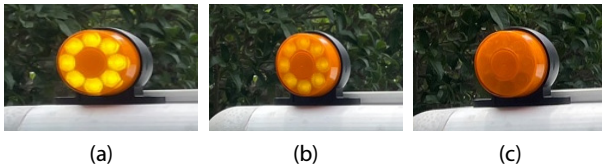


Fig. 6. Luminous Intensity of Safety Identification Lamp: (a) 20 cd, (b) 10 cd, (c) 0 cd

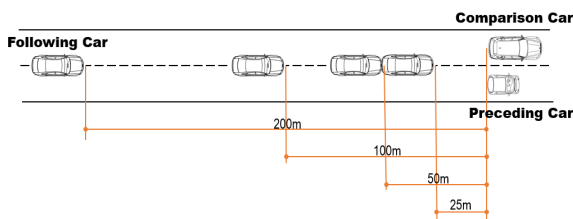


Fig. 7. Glare Evaluation Method

Table 2. De Boer Glare Index (de Boer and Schreuder, 1967)

G (glare)	Scale of discomfort glare
1	Unbearable
2	-
3	Disturbing
4	-
5	Just admissible
6	-
7	Satisfactory
8	-
9	Unnoticeable

et al., 2003). 따라서 실험은 시력측정기를 이용하여 교정시력 0.8 이상(운전면허 2종 기준)인 20대 20명의 피실험자를 대상으로 진행하였다.

차량 시인성 및 불쾌눈부심과 관련된 내용을 중점적으로 검토하기 위해 ‘초소형전기차의 인식’, ‘시간/거리/광도’로 구분하여 설문조사를 진행하였다. 관측차량은 설문조사 진행 전 Fig. 7과 같이 광원을 부착한 시험차량과 비교차량의 전방 200 m, 100 m, 50 m, 25 m 지점에 세워두었다.

설문조사는 5단 리커트 척도(‘전혀 보이지 않는다’ 0점 ~ ‘비교차량보다 잘 보인다’ 4점)를 활용하여 시간/거리/광도에 따른 비교차량의 시인성을 측정하였다. 또한 시간/거리/광도에 따라 눈부심의 정도를 판단하기 위해 Table 2와 같이 ‘드보어 눈부심 지수’를 활용하였다. 이 척도는 CIE(국제조명위원회) 기준과 BSI(영국표준협회) 코드를 참고하여 만들어졌다. 시각적 편안함의 수준을 나타내는 용어인 불쾌눈부심을 평가하는 감성평가 지표로 눈부심 정도를 9단계로 나누어 평가하는 지표이다. Table 3에 따르면 도시지역 도로에서 눈부심 허용한계는 5단계로, 이보다 작을 경우 눈부심이 커지고 이보다 클 경우 눈부심이 적음을 나타낸다. 해당 실험은 차량이 적게 운행하는 도시지역 도로에서 진행하여 눈부심 지수가 5 이상일 경우 적절할 것으로 판단하였다.

3. 실험 결과

3.1 VR 영상 시인성 실험

국내 6개 대학, 2개 연구기관의 도로교통 전문가를 대상으로 97개의 샘플을 취합하여 VR 영상 시인성 실험을 수행하였다. 수집한 데이터를 바탕으로 인지시간 및 평균차이를 확인하기 위해 Statistics SPSS 25.0 프로그램을 사용하여 표본평균 비교, 주효과 건별 평균 도출 및 독립변인 t검정을 실시하였다.

3.1.1 VR 영상 시인성 실험 표본평균 비교

Table 4에서 보듯이 표본평균 비교 결과, 자동차전용도로를 주간에 주행하는 경우, 소등했을 때 표본평균은 5.577초, 점등했을 때 표본평균은 6.001초로 점등했을 때 인지시간이 0.424초 증가하였다. 또한 자동차전용도로를 야간에 주행하는 경우, 표본평균은 5.332초, 점등했을 때 표본평균은 3.997초로 점등했을 때 인지시간이 1.335초 감소하였다. 도시지역 도로를 주간에 주행하는 경우, 소등했을 때 표본평균은 1.256초, 점등했을 때 표본평균은 1.317초로 점등했을 때 인지시간이 0.061초 증가하였으며 도시지역 도로를 야간에 주행하는 경우, 소등했을 때 표본평균은 1.375초, 점등했을 때 표본평균은 1.295초로 점등했을 때 인지시간이 0.080초 감소하였다.

Table 3. Suggestions for Recommendations for Limitation of Glare (de Boer and Schreuder, 1967)

Class of lighting installation	Road type		L (cd/m ²)	Uniformity	Glare
A1	expressway		2	very good	$G \geq 7$
A1	rural road	heavy traffic			
A2		considerable traffic	1	good	$G \geq 7$
-		light traffic	unlighted		
A1	urban road	throughways, by-pass	2	very good	$G \geq 5$
B1		principal local traffic routes	1	good	$G \geq 4$
B2		secondary roads with local traffic	0.5	satisfactory	$G \geq 4$

Table 4. Perception Time of Expressway and Urban Road Average Comparison Results

Expressway			Urban Road		
Time	Light on (s)	Light off (s)	Time	Light on (s)	Light off (s)
Night	3.997	5.332	Night	1.295	1.375
Day	6.001	5.577	Day	1.317	1.256

Table 5. Perception Time of Expressway and Urban Road Independent Variable t-test Results

Classification			N	M	sd	t	df	p	a.d.
1	a	LF	94	5.58	1.48	-1.86	189	0.064	-0.42
		LO	97	6.00	1.65				
	b	LF	95	5.33	1.63	5.13	189	0.000	1.34
		LO	96	4.00	1.95				
2	a	LF	97	1.26	0.65	-0.69	188.224	0.491	-0.06
		LO	97	1.32	0.57				
	b	LF	97	1.37	0.79	0.78	192	0.438	0.08
		LO	97	1.29	0.64				

1: Expressway, 2: Urban Road, a: Day, b: Night, LO: Light On, LF: Light Off

M: Mean, sd: Standard deviation, df: degree of freedom, p: probability value, a.d.: average difference, N: Number of samples, t: Student's t-value

3.1.2 독립변인 t검정 결과

표본평균 비교를 통해 계산된 평균값을 토대로 등화여부(소등/점등)에 따라 점등에서 소등을 뺀 시간을 a.d.(평균 차이)로 정의하였다. 산출된 소등/점등 시의 a.d.가 유의미한지 알아보기 위한 독립변인 t검정 분석 결과, “자동차전용도로 야간 주행 시”에서만 유의미한 평균차이가 나타났으며($t(189) = 5.13, p < .001$) 이를 Table 5에 제시하였다.

3.2 현장 광도실험

3.2.1 초소형전기차 안전식별등 초소형전기차 인식 설문조사 결과

현장 광도실험 시인성 설문조사 전 기초적인 자료수집을 위해 ‘성별’, ‘운전면허 유무’, ‘초소형전기차 운전경험 유무’, ‘초소형전

기차 인식경험 유무’, ‘주행(탑승) 시 초소형전기차 인식 유무’, ‘초소형전기차 위험성 여부’, ‘평소 초소형전기차 인식’에 대해서 조사하였고, Figs. 8(a)~(d)와 같이 차트로 나타났다.

설문조사의 참여자들은 남자가 80 % (남 = 16)이었고, 운전면허는 90 %가 있다고 답하였으며, 초소형전기차를 인식하고 있는지에 대해서는 65 %가 ‘인식하고 있다’라고 응답하였다. 차량을 타고 있을 때, 혹은 운전할 때 주변에 초소형전기차를 본 적이 있는지를 질문했을 때는 40 %가 ‘본 적이 있다’라고 답하였으며, 초소형전기차가 위험하다고 생각하는지 여부를 질문했을 때는 35 %가 ‘위험성이 있다’라고 응답하였다. 마지막으로 평소 초소형전기차에 대한 인식의 질문에서는 15 %가 ‘아주 좋다’, 50 %가 ‘좋다’, 25 %가 ‘보통이다’, 10 %가 ‘좋지 않다’라고 답했으며, ‘아주 좋지 않다’라고 답한 응답자는 없었다.

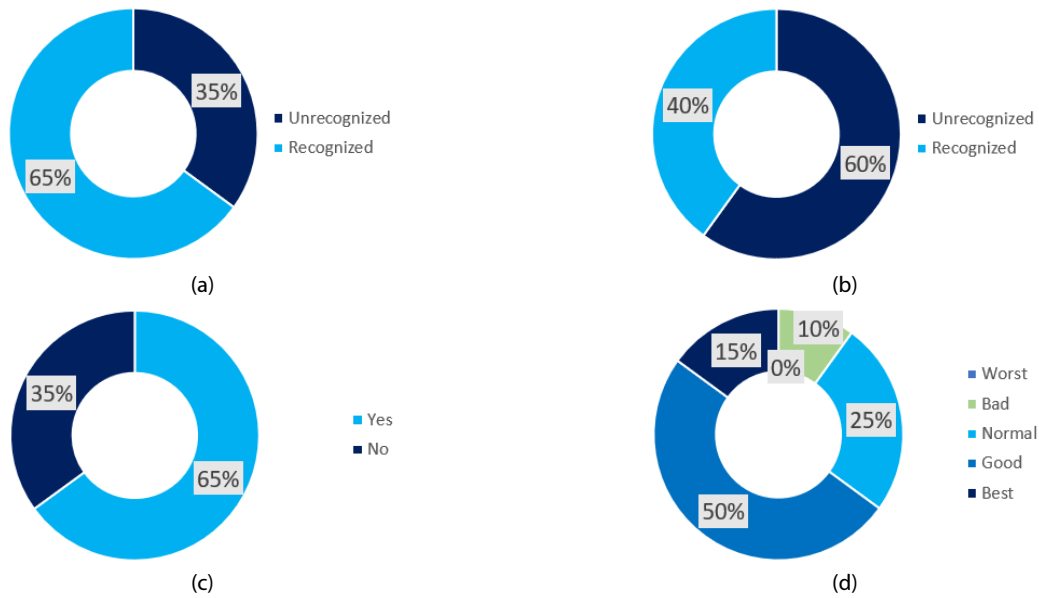


Fig. 8. Micro Car Awareness Pie Charts: (a) Recognition of Micro Car, (b) Recognition of Micro Car When Driving, (c) Is Micro Car Dangerous?, (d) Awareness of Micro Ca

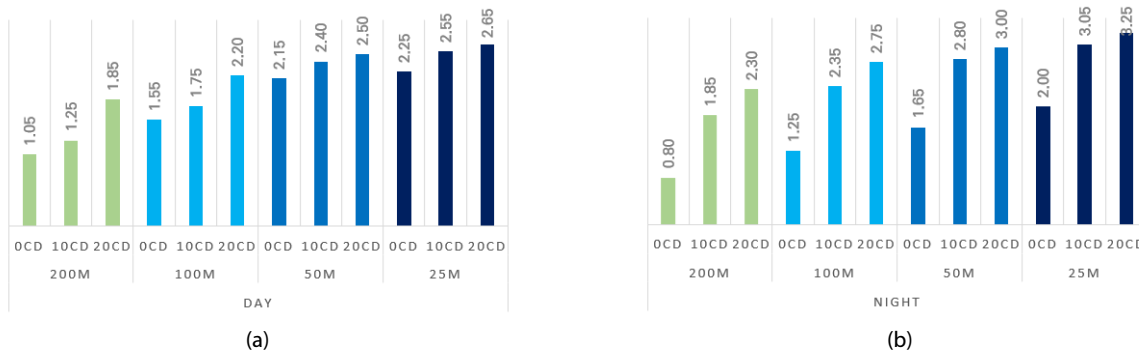


Fig. 9. Visibility of Safety Identification Lamp Average Comparison: (a) Day, (b) Night

3.2.2 초소형전기차 안전식별등 시인성 설문조사 결과

수집한 데이터를 바탕으로 안전식별등 시인성의 평균 차이 및 유의성을 확인하기 위해 Microsoft Excel 프로그램과 Statistics SPSS 25.0 프로그램을 사용하여 표본평균 비교와 일원배치분산분석(One Way ANOVA)을 실시하였다.

Fig. 9에서 보듯이 초소형전기차 안전식별등 시인성 설문조사의 표본평균 비교 결과를 제시하였으며, 이 때, 주간야간 모두 안전식별등이 없는 경우인 0 cd보다 안전식별등을 장착했을 경우인 10 cd, 20 cd 모두 비교차량과의 시인성 차이가 개선된 점을 확인하였다. 주간의 경우 안전식별등이 없는 경우인 0 cd일 때와 안전식별등을 장착했을 때인 20 cd와 비교하였을 때 거리에 따라 0.1 ~ 0.8 정도 시인성 차이가 나타나 안전식별등 유무에 따라 시인성의 차이가 크게 나지 않았다. 그러나 야간의 경우 안전식별등 장착 여부에

따라 1.25 ~ 1.5 정도 시인성 차이가 나타나 안전식별등의 유무에 따라 시인성의 차이가 크게 나타남을 확인할 수 있었다.

일원배치분산분석 결과, 주간의 경우 200 m ($F(2, 57) = 8.50, p < .001$), 100 m ($F(2, 57) = 1.20, p < .05$)의 조건에서만 유의미한 평균차이가 나타났으며 야간의 경우 모든 조건에서 유의미한 평균차이가 나타났으며 이는 Table 6에 나타났다.

3.2.3 초소형전기차 안전식별등 불쾌눈부심 설문조사 결과

시간/거리/조도에 따라 얼마나 불쾌눈부심을 느끼는지 판단하기 위해 Microsoft Excel 프로그램과 statistics SPSS 25.0 프로그램을 사용하여 평균비교 및 독립변인 t검정을 실시하였다.

Fig. 10과 같이 불쾌눈부심 평균비교 결과를 표현하였으며, 주간에는 모든 거리에서 10 cd, 20 cd 모두 눈부심 허용한계로 설정

Table 6. Visibility of Safety Identification Lamp One-way ANOVA Result

Classification			<i>df</i>	<i>MSE</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Day	200M	between group	2	3.47	8.50	0.001
		within group	57	0.41		
	100M	between group	2	2.22	3.96	0.025
		within group	57	0.56		
	50M	between group	2	0.65	1.02	0.367
		within group	57	0.64		
	25M	between group	2	0.87	1.20	0.309
		within group	57	0.72		
Night	200M	between group	2	11.85	13.00	0.000
		within group	57	0.91		
	100M	between group	2	12.07	12.27	0.000
		within group	57	0.98		
	50M	between group	2	10.62	11.69	0.000
		within group	57	0.91		
	25M	between group	2	9.02	9.75	0.000
		within group	57	0.92		

MSE: Mean square error, *df*: Degree of freedom, *F*: F-value, *p*: probability value

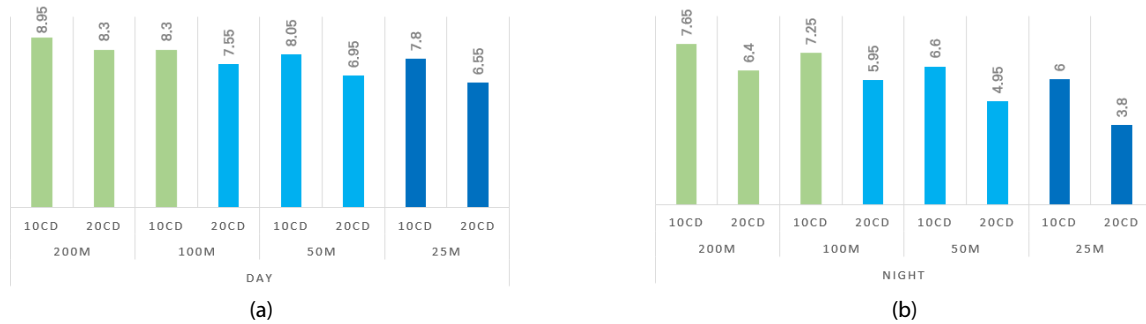


Fig. 10. Glare of Safety Identification Lamp Average Comparison: (a) Day, (b) Night

Table 7. Glare of Safety Identification Lamp Independent Variable t-test Result

Classification			M	sd	t	df	p	$a.d.$
Time	Distance	cd						
Day	200M	10	8.95	0.22	-2.63	38	0.012	-0.65
		20	8.30	1.08				
	100M	10	8.30	0.86	-2.13		0.040	-0.75
		20	6.55	1.32				
	50M	10	8.05	1.05	-2.98		0.005	-1.10
		20	6.95	1.28				
	25M	10	7.8	1.32	-3.04		0.004	-1.25
		20	6.55	1.28				
Night	200M	10	7.65	1.09	-3.28	38	0.002	-1.25
		20	6.4	1.31				
	100M	10	7.25	0.97	-3.63		0.001	-1.30
		20	5.95	1.28				
	50M	10	6.60	1.14	-4.03		0.000	-1.65
		20	4.95	1.43				
	25M	10	6.00	1.45	-5.31		0.000	-2.20
		20	3.80	1.15				

한 드보어눈부심지수 5를 넘었다. 야간에는 10 cd의 경우 모든 거리에서 불쾌눈부심이 드보어눈부심지수 5를 초과하였으나, 20 cd의 경우 50 m, 25 m 지점에서 드보어눈부심지수가 5 미만으로 나왔다. 독립변인 t-검정 결과, 모든 조건에서 유의미한 평균차이가 나타났으며 이는 Table 7에 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 초소형전기차의 시인성 증진을 위해, 차량 후방에 안전식별등을 장착하여 광원에 따라 시인성 및 불쾌눈부심을 측정하는 실험을 수행하였다. VR 영상 시인성 실험 결과, 자동차전용도로 합류지점은 초소형전기차가 예각으로 합류하는 형태이므로 상대적으로 빛이 빠르게 후행차량의 시야에 들어오게 되어 야간상황에서 확연하게 인지시간이 짧아지는 점을 확인, 안전식별등의 설치효과를 검증할 수 있었다. 하지만 도시지역 도로 교차로는 초소형전기차가 직각으로 합류하는 형태이므로 후행차량이 교차로에 진입하는 초소형전기차의 전방부터 보게 되어 주간/야간, 소등/점등에 의한 인지시간의 차이가 나타나지 않았다고 해석할 수 있다.

현장 광도실험을 통해 설문조사를 진행한 결과, 차량 시인성 판단 시에 주간에 거리가 50 m 이하일 때 안전식별등 밝기에 따라 시인성이 달라지지 않았으며, 야간에는 주간과 달리 작은 밝기차이에도 시인성이 달라진다고 판단할 수 있었다. 또한, 거리가 50 m 이하일 때 비교차량에 비해 시인성이 뛰어난 것을 확인할 수 있었다.

불쾌눈부심 판단 시 평균비교 결과, 주간에는 모든 상황에서 눈부심의 허용한계점으로 설정한 드보어눈부심지수 5 이상의 수치가 나와 후행차량에게 크게 영향을 미치지 않았지만, 야간 20 cd의 경우 거리가 50 m 이하일 때 드보어눈부심지수가 5 미만의 수치가 나와 도시지역 도로에서 후행차량에게 불쾌감을 줄 수 있는 점을 확인할 수 있었다.

초소형전기차 시인성 증진 관련한 실험 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다. 첫째, 야간에 자동차전용도로로 진입할 경우 유의미한 인지시간의 변동효과가 나타났다. 둘째, 도시지역 도로에서는 차간 거리가 짧아 인지시간의 변동효과가 미미하였고, 후방 운전자에게 밝은 불빛을 지속적으로 비추므로 오히려 주행안전성에 문제를 발생시킬 수 있었다. 셋째, 눈부심 측정 결과, 주간에는 20 cd가 가장 적정하며, 야간에는 10 cd가 가장 적정한 것으로 나타났다. 넷째, 초소형전기차 안전식별등에 점등/소등 기능을 적용하여 자동차전용도로로 진입 시에만 사용하고 일반도로 주행 중에는 소등하는 방안이 효과적일 수 있음을 확인하였다.

향후 연구에서는 VR 영상 실험 시 주변 차량의 차로변경, 운전자의 부주의한 행동, 본선-합류 지점의 곡률 등을 충분히 고려하여

추가적인 도로주행 시뮬레이터 실험에 반영해야 할 것이다. 또한, 안전식별등의 광도·크기·종류, 비교차량, 점등/소등 등 기본 변수를 이용한 실험조건을 다양화하여 수행해야 할 것이다. 본 연구에서 사용한 초소형전기차 안전식별등은 현재는 수동으로 점등/소등으로 운영되도록 하고 있지만, IT 및 IoT 기술발전 양상을 고려하여 자동차전용도로 진입구간에 자동으로 점등되는 시스템의 구축이 필요할 것이다. 해당 연구는 VR영상 실험, 현장실험 시에 제한된 상황에서 실험을 수행하였으므로 안전식별등 유무에 대한 실차실험이나 통제된 환경에서의 시뮬레이터 실험 간 비교검증을 실시하여, 안전식별등의 실제 성능 및 효과에 대해서 검증해야 한다. 또한 단순 진입 상황뿐만 아니라 정체, 소통상태, 돌발상황 등과 주행환경의 변화를 충분히 고려할 수 있는 시나리오를 추가하여 다양한 상황에서의 안전식별등 효과를 검증·비교·분석을 실시해야 할 것이다.

마지막으로 운전자의 시인성은 신체적 특성 성별, 운전경력, 연령대 등의 개인적 요인과 도로기하구조, 주변환경 등에 의한 환경적 요인에 의해 차이가 발생하며, 이를 객관화하기 위해 개인적 요인을 다양화한 실험군을 동원한 데이터 분석이 필요하므로, 향후 연구에서 다양한 운전자 집단을 대상으로 수행하고자 한다.

본 연구에서 제시한 초소형전기차 운영방안을 적용할 경우 초소형전기차의 야간 시인성을 증진시켜 초소형전기차가 자동차전용도로를 주행하는데 필요한 차량의 안전성 증진방안 중 하나가 될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 “중소벤처기업부: (R&D)규제자유특구 혁신사업육성, 자동차전용도로 주행을 위한 고안전 초소형전기차 개발 실증(P0011361)” 사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

본 논문은 2021 CONVENTION 논문을 수정·보완하여 작성되었습니다.

References

- Cho, S. J., Lee, C. H. and Kum, K. J. (2013). “Legibility change of commercial vehicles equipped with the rear lighting system.” *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 15, No. 5, pp. 111-122, DOI: <https://doi.org/10.7855/IJHE.2013.15.5.111> (in Korean).
- Choi, S. H., Lee, S. Y., Jang, T. Y. and Do, M. S. (2017). “Effect of agricultural machine lighting systems on drivers night visibility.” *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, Vol. 16, No. 4, pp. 25-35, DOI: <https://doi.org/10.12815/kits.2017.16.4.25> (in Korean).

- De Boer, J. B. and Schreuder, D. A. (1967). "Glare as a criterion for quality in street lighting." *Lighting Research and Technology*, Vol. 32, No. 2, pp. 117-135.
- Forbes, T. W. (1960). "Some factors affecting driver efficiency at night." *Highway Research Board Bulletin*, Vol. 255, pp. 61-71.
- Kang, B. D. and Kim, H. G. (2011). "Evaluation of glare and forward visibility of headlamp for elder friendly vehicle." *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol. 25, No. 4, pp. 1-6, DOI: 10.5207/JIEIE.2011.25.4.001 (in Korean).
- Kim, K. S., Lee, S. K., Jin, M. S., Park, W. I., Kim, H. S., Jeong, J. W. and Kim, Y. S. (2020). "Relationship between the optical properties of taillights and visibility distance under foggy conditions." *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 22 No. 6, pp. 157-164, DOI: <https://doi.org/10.7855/IJHE.2020.22.6.157> (in Korean).
- Korea Automobile Testing & Research Institute (KATRI) (2020). *Korean new car assessment program (KNCAP) Collision safety evaluation of micro cars*, Available at: <http://www.kncap.org/indexNew.jsp>. (Accessed: December 1, 2021) (in Korean).
- Korean National Police Agency (KNPA) (2021). *Road traffic act*, Available at: <https://www.law.go.kr/법령/도로교통법> (Accessed: October 21, 2021) (in Korean).
- Lee, H. S., Lee, H. M., Bang, M. G., Ahn, B. S. and Park, I. H. (2012). "Headlamp system based on adaptive beam patterns for improving the visibility of drivers." *The Korean Society of Automotive Engineers 2012 Fall Conference*, pp. 1580-1591 (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) (2020). *Korea motor vehicle safety standards*, Available at: <https://www.law.go.kr/법령/자동차및자동차부품의성능과기준에관한규칙> (Accessed: December 24, 2020) (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) (2021). *Motor vehicle control act enforcement regulation*, Available at: <https://www.law.go.kr/법령/자동차관리법시행규칙> (Accessed: February 5, 2021) (in Korean).
- You, Y. C., Choi, T. H. and Lee, H. B. (2003). "Normal contrast sensitivity for various ages." *Journal of The Korean Ophthalmological Society*, Vol. 44, No. 1, pp. 150-156 (in Korean).