

자율주행차 내부 편의장치 이동 시스템 개발 및 물리적 움직임 기반 알림 사용성 평가

김 주 성¹⁾ · 황 석 영²⁾ · 박 기 철³⁾

홍익대학교 국제디자인전문대학원 스마트디자인엔지니어링1) · 홍익대학교 국제디자인전문대학원 스마트디자인엔지니어링2)
· 홍익대학교 기계시스템디자인공학과*3)

Development of Movement System for In-Vehicle Devices in Autonomous Vehicles and Usability Evaluation of Physical Motion-Based Alerts

Juseong Kim¹⁾ · Seok Young Hwang²⁾ · Kicheol Pak^{*3)}

1)Master, Smart Design Engineering, Hongik University, Wowsan-ro 94, Seoul, Korea

2)Master, Smart Design Engineering, Hongik University, Wowsan-ro 94, Seoul, Korea

*3)Prof., Mechanical System Design and Engineering, Hongik University, Wowsan-ro 94, Seoul, Korea

(Received 3 March 2021 / Revised 20 March 2021 / Accepted 25 September 2021)

Abstract : This study proposes and evaluates a movement system for autonomous vehicle interior devices featuring lateral movement, rotation, and detachment capabilities. As Level 4-5 autonomous vehicles transition to passenger-centered living spaces, this system integrates in-vehicle devices with a rail-based mechanism for flexible spatial reconfiguration. Two experiments with 24 participants evaluated system usability and alert effectiveness. Study 1 obtained a SUS score of 76.04 (acceptable), with rotation receiving highest preference (75.0%). Study 2 compared physical motion versus color-based alerts through eye-tracking, revealing that motion alerts generated significantly more fixations ($M=4.17$ vs. 3.15 , $p=.001$), though objective effectiveness did not consistently align with subjective visibility, particularly in simpler movement scenarios. Findings suggest alert modality should be context-dependent, balancing unconscious attention capture with conscious user perception.

Key words : Autonomous Vehicle(자율주행차), In-Vehicle Device(내부 편의장치), Center Console(센터 콘솔), User Experience(사용자 경험), Usability Evaluation(사용성 평가)

1. 서론

1.1 연구 배경

자율주행차는 환경 인지와 내비게이션을 통해 운전자 개입 없이 스스로 주행할 수 있는 이동 수단으로, 인공지능(AI), 센서 융합, 제어 시스템 등의 핵심 기술을 기반으로 한다. SAE International에 따르면 자율주행은 Level 0 부터 Level 5까지 총 6단계로 구분되며 Level 4, 5는 시스템이 특정 조건 또는 모든 조건에서 완전한 주행을 수행하므로 사용자는 운전과 관련된 어떠한 역할이나 책임

으로부터 자유로워진다.¹⁾ 이에 따라 차량 내부 공간은 ‘운전자’의 개념이 없어 운전을 수행하기 위한 구성 요소들이 삭제되고, 그 외 활동을 지원할 수 있는 탑승자 중심의 공간으로 바뀌게 된다.

또한 전기차 기반의 스케이트보드 플랫폼과 같은 기술 발전이 이를 뒷받침하는데, 배터리를 하부에 배치하는 구조 덕분에 탑승 공간이 평평하게 유지할 수 있는 특징은 차량 내부 설계의 자유도를 크게 확장하였다.²⁾

여러 기업은 운전 행위에 구속되지 않는 다양한 차내 시나리오를 제시하며, 자동차를 단순한 이동 수단에서

*Corresponding author, E-mail: joe21cv@gmail.com

¹⁾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.

‘이동하는 생활공간’으로 개념을 확장하고 있다.^{12,15)} 예를 들어, 현대자동차는 ‘모바일 리빙 스페이스’, ‘액티브 하우스’, ‘PnD Module’ 등 다양한 컨셉 영상을 통해 생활공간과 차량의 융합, 탑승자 중심 활동이 가능한 미래 비전을 제시하였다.^{3,4,5)} 이러한 변화는 향후 미래 운송 수단의 디자인에서 내부 공간과 탑승자 경험이 핵심적 요인이 될 것임을 시사한다.⁶⁾ 그러나 제시된 다양한 활동 시나리오에도 불구하고, 이동 중 발생하는 활동 전환과 이에 따른 공간 재구성의 유연성을 실현할 수 있는 구체적 메커니즘에 대해서는 연구 공백이 존재한다.^{7,8,9,10)}

1.2 이론적 고찰

자율주행 기술의 발전으로 차량 내부 공간은 단순한 이동 수단을 넘어 다양한 활동이 가능한 생활공간으로 재정의되고 있다. 아래의 연구들은 자율주행차 내에서 이루어질 수 있는 활동 유형과 사용자 니즈를 파악하고, 이에 따른 공간 설계 방향을 제시하였다.

Table 1 Research of Autonomous Vehicle Interior

Author(s)	Key Findings
Song ¹¹⁾	Proposed space design reflecting activity-specific characteristics(leisure, work, and rest) and identified high demand for leisure activities such as tea time, music listening, and sleeping.
Koo ¹²⁾	Categorized PBV into Purpose Built (functional applications) and Preference Based (emotional needs). Analyzed design characteristics as platform-type and complete vehicle-type forms
Kwon & Joo ¹⁰⁾	Categorized the interior activities into four types: Work & Learning, Home Life & Personal Care, Rest, and Hobby & Social Activities
Lee & Park ¹³⁾	Identified 3 user groups: Active, Introverted, and Stable types. Proposed differentiated interior space design directions for each group

자율주행 환경에서는 차량 내부 편의장치는 탑승 경험의 핵심 요소로 부상하고 있다. 관련 문헌에서는 비운전 활동을 지원하는 편의장치의 특성과 디자인 요소를 분석하고, 사용자 경험 향상을 위한 방안을 제시하였다.

Table 2 Research of In-Vehicle Devices

Author(s)	Key Findings
Kun et al. ¹⁴⁾	Emphasized the importance of in-vehicle device user experience in autonomous vehicles. Proposed the need for interior space redesign and new user interface development
Hecht	Analyzed user requirements for Non-Driving

et al. ¹⁵⁾	Related Activities (NDRAs). Confirmed strong correlation between comfort factors such as table availability and laptop use, work activities, and eating/drinking
Park ¹⁶⁾	Defined interior convenience devices as 'Mobility Furniture'. Presented characteristics of convenience devices according to various activities
Pak & Pak ¹⁷⁾	Physical accessibility and intuitive interface identified as top priority elements for autonomous vehicle console design.
Cho et al. ¹⁸⁾	Classified FAV interior convenience devices into personalized, cleanliness-related, and sharing & storage types. Confirmed positive impact through Lo-Fi prototype evaluation

현재까지 공개된 컨셉 모빌리티 24개의 사례를 통해 자율주행차 내부 공간 형태와 편의장치 구성을 살펴본다. 조사된 차량 대부분은 평평한 바닥과 탑승석 중심의 입방체의 내부를 가졌으며, 자율주행 수준에 따라 주행 인프리가 완전히 삭제된 공간도 확인할 수 있다. 또한 시트의 움직임에 통해 마주 앉는 등 목적에 따라 유연하게 차내 공간 재구성이 가능하며, 가전, 전자제품 등 각종 편의장치를 탑재하여 운전 외 활동에 대응한다.

Table 3 Case Review of Future Mobility

No.	Image	Name	Interior Feature
1		ZOOX, Robotaxi ¹⁹⁾	Cup holder, Phone Charger, Control pad
2		Jaguar Land Rover, Project Vector ²⁰⁾	Seats Motion
3		LG electronics, Omnipod ²¹⁾	Seats Motion, Display, Styler, Shoe Care, Robot vacuum, Fridge
4		LG electronics, Able ²²⁾	Seats Motion, Display, Fridge, Concierge System
5		Hyundai Mobis, M.Vision To ²³⁾	Seats Motion
6		Hyundai Mobis, M.Vision HI ²⁴⁾	Seats Motion, Display
7		Hyundai Mobis, M.Vision X ²⁵⁾	Display, Center Console

8		Hyundai, Ioniq Seven ²⁶⁾	Seats Motion, Display, Desk, Side Table, Lamp
9		Audi, Urbansphere ²⁷⁾	Seats Motion, Display, Center Console, water dispenser
10		Kia, PBV ²⁸⁾	Seats Motion, Display, Center Console, Storage
11		Holon, Holon Mover ²⁹⁾	Display
12		Canoo, Lifestyle Vehicle ³⁰⁾	Storage, Side Panel
13		Toyota, e-palette ³¹⁾	Foldable Seats, Display
14		Bosch, IoT Shuttle ³²⁾	Display
15		YanFeng, XiM1 ⁷³³⁾	Seats Motion, Display, Moving Console, Storage, Side Table, Cooler
16		PIX, Robobus ³⁴⁾	Display
17		NIO, Eve ³⁵⁾	Seats Motion, Side Table, Storage
18		Volkswagen, ID Buzz Concept ³⁶⁾	Seats Motion, Display, Moving Console, Storage, Cup holder
19		Mercedes-Benz, F015 Luxury in Motion ³⁷⁾	Seats Motion, Display
20		Volvo, 360c ³⁸⁾	Convertible Seats, Desk, Storage, Display, hanger
21		Renault, EZ-Go ³⁹⁾	Phone Charger, hanger
22		Renault, EZ-Ultimo ⁴⁰⁾	Seats Motion, Side Table, Lamp
23		Cadillac SocialSpace ⁴¹⁾	Humidifier, Fridge, Water Dispenser, Cup Holder

24		Mercedes-Benz, Vision V ⁴²⁾	Convertible Seats, Side Table, Storage, Display, Projector
----	--	--	--

1.3 연구 목적

기존 연구들은 자율주행차 내부 활동 유형과 편의장치 배치 방안을 제시하였으나, 주로 디자인 컨셉 또는 개념적 제안에 국한되어 편의장치와 같은 차내 세부 요소에 대한 사용성 검증에는 한계를 보였다. 조사된 컨셉 모델리티 사례의 경우 대부분 시트의 움직임에 통한 공간 재구성이 중점적으로 구현되었으며, 테이블, 디스플레이 등의 편의장치는 특정 활동 시나리오에 최적화된 고정적 배치로 제한되었다. 향후 비운전 활동의 다양화에 따라 편의장치의 역할이 더욱 확대될 것으로 예상되나, 이러한 변화에 유연하게 대응할 수 있는 차량 내부 편의장치 시스템에 관한 연구가 충분히 이루어지지 않았다.

본 연구는 이러한 한계를 보완하고자, 편의장치가 차량 내부에서 측면 이동, 회전, 탈부착을 통해 다양한 활동 간 전환을 지원하고, 나아가 차량 외부로도 이동하여 사용될 수 있는 통합 시스템을 제안하였다. 선행연구를 통해 개발한 콘솔 편의장치⁴³⁾와 레일 기반 이동 브라켓 구조⁴⁴⁾를 통합하여, 활동 맥락에 따라 공간을 재구성할 수 있는 모듈형 시스템을 구현하였고, 이에 대한 실효성을 파악하기 위해 사용성 평가를 진행하고자 한다.

평가는 총 두 가지의 실험으로 이루어지며, 먼저 실험 1은 본 연구가 제안하는 통합 시스템이 차량에 적용되었을 때, 유용성에 대한 사용자 경험(User Experience)이 어떠한지 파악하는 데에 목적이 있다. 실험 2는 시스템을 작동하는 데 있어 발생하는 특징인 물리적 움직임을 사전 알림을 위한 수단으로 활용할 때, 디스플레이를 활용한 색상 알림 대비 시인지적 정보전달 효과성을 파악하였다. 이를 통해 제안된 시스템에 대한 전반적인 사용성을 검증하고자 하였으며, 각 실험에 관한 내용은 5장에서 구체적으로 다루었다.

2. 선행연구 및 편의장치 시스템 제안

2.1 콘솔 편의장치 디자인

본 연구를 진행하기에 앞서 선행연구를 통해 콘솔 편의장치를 개발하였다.⁴³⁾ 문헌조사를 기반으로 사용자의 운전 외 활동 유형을 도출하였고, 완전 자율주행 환경에서 발생할 수 있는 탑승자 행위(업무, 휴식, 엔터테인먼트, 소셜 활동 등)를 분석하고 이를 목적-행위 중심으로 분류하였다. 또한 전문가 인터뷰를 통해 차량 내부 편의

장치 유형 및 고려사항을 파악하였고, 이후 각 활동 유형에 적합한 콘솔의 기능(업무용 테이블, 디스플레이 연동 시스템, 수납 및 충전 모듈)과 배치 고려 요소(좌석 간 거리, 회전 및 슬라이딩 구조, 공간 분할 방식) 도출 및 디자인 가이드라인을 정립하였고, 이를 반영한 콘솔 디자인을 제시하였다.

콘솔은 차량 내부 기능 제어를 위한 디스플레이, 컵홀더, 냉장고, 파티션이 적용되었으며, 높이 조절이 가능한 하부를 통해 편의장치의 탈부착이 가능하다. 외부 환경에서 원활한 움직임을 위해 손잡이와 바퀴를 적용하여 다양한 활동에 대응할 수 있고, 하부의 높이 변화를 통해 차량 내부에서 심리친화적인 디자인을 유지한다. 차량 내부에서는 주행 정보, 공조, 시트 등의 기능 제어 및 미디어 시청, 식사 등의 편의 요소를 제공하고, 외부에서는 캠핑, 피크닉 등 사용 맥락에 따라 야외 활동을 지원하는 가구 또는 가전 등의 독립적인 제품으로써의 사용 시나리오를 고려하였다.



Fig. 1 Image of In Vehicle Device(Console)

2.2 내/외부 이동 구조

편의장치와 더불어 레일 기반 브라켓 시스템을 개발하였다.⁴⁴⁾ 기존 차량에서는 안전상의 이유로 모든 내부 요소가 고정되어 있었으나, 자율주행 환경에서는 보다 유연한 공간 구성이 요구되는 만큼 자율주행차 내부 편의장치가 주행 중에도 안정적으로 선행 이동과 회전을 수행할 수 있도록 Fig. 2와 같이 설계하였다.

시스템은 차량 바닥 면에 설치된 (1)가이드 레일을 통해 편의장치의 이동 경로를 정의하고 평행도를 유지해 안정적인 이동을 지원한다. 레일 위에는 편의장치를 따라 움직이며 이탈을 방지하는 (2)가이드 블록이 장착되고, 그 상부에 결합된 (3)추가 블록은 제자리 회전 기능을 제공하여 사용자가 원하는 방향으로 가구를 전환할 수 있게 한다. (4)스위블 플레이트와 고정 장치가 회전 시 특정 각도를 유지하고 고정함으로써 주행 중에도 안정성을 확보하며, 구조체의 (5)상부 브라켓은 편의장치와 결합된다. 이 구조를 통해 본 시스템은 자율주행차 내

부 공간의 활용성을 극대화하며, 다양한 사용자 요구에 대응할 수 있다.

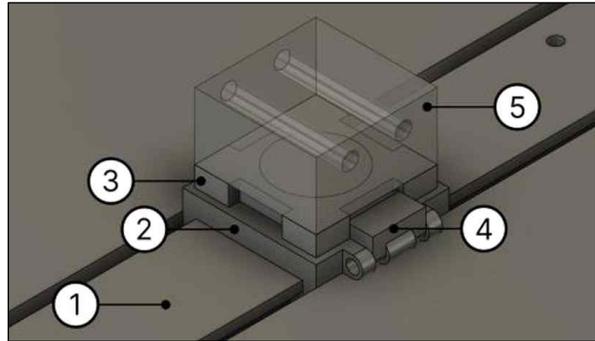


Fig. 2 Image of Moving Mechanism

2.3 편의장치 이동 시스템 제안

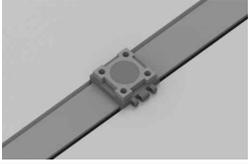
앞서 제시한 콘솔 편의장치와 내/외부 이동 구조를 통합하여, 본 연구에서는 차량의 활용 목적에 따라 탑승자가 유연하게 배치, 교체, 조합할 수 있는 시스템을 제안한다. 해당 시스템은 앞서 설명한 레일 기반 브라켓 시스템과 편의장치의 상하강 움직임을 결합된 형태로, 편의장치가 차량 내부에서는 레일을 통해 수평 이동 및 회전하고, 편의장치의 수직 상하강 움직임을 통해 레일 구조와 탈부착이 용이하도록 설계되었다.

시스템의 핵심은 편의장치의 차량 내/외부 연속적 활용을 통한 사용자 경험의 연속성을 제공에 있다. Sorensen 등⁴⁵⁾은 디지털 생태계에서의 상호작용 원칙으로 연속성, 일관성, 상보성, 협업의 4C 프레임워크를 제시하였는데, 그중 연속성은 사용자가 하나의 디바이스에서 시작한 작업을 다른 디바이스로 원활하게 이어갈 수 있도록 하는 핵심 요소이다. 이러한 디지털 경험 연속성의 원리는 물리적 이동 영역으로 확장되고 있다. MaaS(Mobility as a Service)는 통합된 계획, 결제, 티켓팅 인터페이스를 통해 멀티모달 교통 선택권을 제공하며, 환승 과정의 패널티를 최소화하여 여러 교통수단 간 전환 시에도 심리스(Seamless)한 여정을 제공하는 것을 목표로 한다.^{46,47,48)}

그러나 이러한 접근들은 모두 디지털 정보의 연속성에 초점을 맞추고 있어, 자율주행차 맥락에서 발생하는 물리적 단절 문제를 해결하지 못한다. 자율주행차는 제3의 생활공간으로 진화하며,⁴⁹⁾ 차량 내에서 형성된 물리적 개인화 환경과 활동이 도착 시 중단되는데, 이는 디지털 정보만으로는 해결할 수 없다. 본 연구가 제안하는 편의장치 시스템은 디지털 경험 연속성 원칙을 물리적 객체의 이동성으로 확장한다. 기존 연구가 정보와 서비스의 연속성을 구현한다면, 본 연구는 물리적 객체의 이동

을 통해 차량에서 제공되는 편의 경험이 목적지에서도 지속되도록 하여 공간 전환 시 실제 사용 환경의 연속성을 구현한다.

Table 4 System of Interior component

Image	Feature	Motion
	Interior Component (Console)	Detachment / Attachment
	Moving Mechanism	Lateral movement / Rotation

3. 연구 방법

본 연구는 자율주행차 편의장치 시스템의 종합적 사용성 평가를 위해 두 가지 실험을 진행하였다. 실험 1은 편의장치 시스템의 전반적 사용성과 사용자 수용성을 평가하고, 실험 2는 시선추적(Eye-tracking)을 통한 편의장치의 물리적 움직임을 활용한 정보전달의 인지 효과성을 검증하는 것을 목적으로 한다.

실험 1은 제안된 시스템에 대한 전반적인 평가로, 피실험자가 시스템이 작동하는 방식을 보고 느끼는 인식이 어떠한가에 대한 정도를 SUS(System Usability Scale) 설문⁵⁰⁾을 통해 점수로 도출하였고, 심층 인터뷰(In-Depth Interview, IDI)를 통해 기능 활용 시나리오에 대한 평가를 진행하였다.

실험 2은 시선추적을 통한 정보전달 평가이다. 편의장치의 이동, 회전, 탈부착 상황을 가정하고 사용자에게 사전 알림을 제공하는 방식 중 제안된 시스템의 (1)물리적 움직임과 (2)디스플레이의 색상정보 간 시인적 사용성을 비교하였다. 또한 사후 인터뷰 및 설문을 통해 측정된 결과와 사용자가 인지한 사전 알림 방식을 비교하고 그 이유를 물어보았고, 각 상황에서 선호하는 사전 알림 방식과 그에 대한 인사이트를 파악하였다.

두 실험 모두 동일한 참가자를 대상으로 실시하였다. 실험 참가자는 20~30대 대학생 남성 11명, 여성 13명 총 24명으로 구성되었다. 모든 참가자는 자발적 참여에 동의하였으며, 실험 전 연구 목적과 절차에 대한 충분한 설명을 제공하였다. 참가자들은 정상 시력 또는 교정시력을 보유하고 있으며, 아이트래킹 실험 참여에 영향을 줄

수 있는 시각적 문제가 없음을 확인하였다.

4. 실험 1: 편의장치 시스템 사용성 평가

4.1 실험 목적

실험 1은 편의장치 시스템에 대한 전반적인 사용성 평가로, 시스템에 대한 사용자의 인상을 파악하는 것을 목적으로 한다. 이를 통해 편의장치의 이동, 회전, 탈부착 기능에 대한 사용자의 수용도 및 차량 내/외부 시나리오에서의 대응력을 파악하고자 하였다.

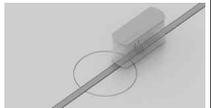
4.2 실험 자료 및 측정 도구

Table 5은 편의장치 시스템의 이해를 돕기 위해 구조 설명 및 동작 영상이며, Table 7은 이동, 회전, 탈부착 기능을 활용한 예상 시나리오 이미지이다. 측정 도구로는 SUS를 사용하였는데, 이는 10개 문항을 5점 리커트 척도로 평가하는 시스템 사용성 측정 도구로, 긍정 문항인 홀수 번호(1, 3, 5, 7, 9번)는 응답 값-1, 부정 문항인 짝수 번호(2, 4, 6, 8, 10번)는 5-응답 값으로 계산하여 총합에 2.5를 곱해 0~100점으로 변환하며, 68점 이상을 사용성이 양호한 것으로 판단한다. SUS는 사용성에 대한 주관적 평가를 종합적으로 파악할 수 있어 본 연구의 편의장치 시스템에 대한 전반적인 사용자 만족도를 측정하는 데 적합하다.⁵⁰⁾ 또한 사용자의 인상을 파악하기 위해 반구조화 인터뷰를 진행하였으며, 주요 질문 항목은 시스템의 각 기능의 활용성 대한 전반적인 인상(긍/부정 여부), 작동 방법(자동/수동 여부) 및 기타 개선점 등의 사용자 인사이트를 파악하고자 하였다.

4.3 실험 절차

먼저 피실험자는 시스템의 구조 및 기능을 설명하는 영상을 시청하도록 하였다. 이후 영상을 통해 파악한 시스템의 사용방식에 대한 SUS 설문을 작성하도록 하였다. 설문 완료 후 각 기능을 통한 사용 시나리오 이미지 제시 및 설명하고, 인터뷰를 통해 이에 대한 인상을 물어보았다.

Table 5 Video for SUS

No.	Video	Function
1		Lateral movement

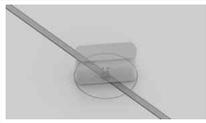
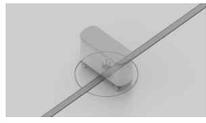
2		Rotation
3		Detachment / Attachment

Table 6 Questionnaire of SUS

Q1	I think that I would like to use this system frequently
Q2	I found the system unnecessarily complex
Q3	I thought the system was easy to use
Q4	I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system
Q5	I found the various functions in this system were well integrated
Q6	I thought there was too much inconsistency in this system
Q7	I would imagine that most people would learn to use this system very quickly
Q8	I found the system very cumbersome to use
Q9	I felt very confident using the system
Q10	I needed to learn a lot of things before I could get going with this system

Table 7 Image for IDI

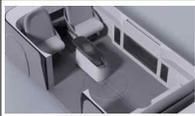
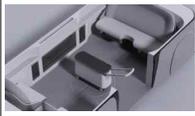
No.	Image	Function	Scenario
1		Lateral Movement	Passing an Item
2		Rotation	Using as Table
3		Detachment / Attachment	for Outdoor Usage

Table 8 Interview Questions

Factors	Questions
Lateral Movement	This feature enables passing or receiving items to/from passengers. What are your impressions of this feature? (Positive/Neutral/Negative)
	What led you to that conclusion?
	What other usage do you expect for this feature?

Rotation	This feature allows modification to facilitate light meal with passengers. What are your impressions of this feature? (Positive/Neutral/Negative)
	What led you to that conclusion?
	What other usage do you expect for this feature?
Detachment / Attachment	This feature enables to carry out for activities outside the vehicle, such as picnicking. What are your impressions of this feature? (Positive/Neutral/Negative)
	What led you to that conclusion?
	What other usage do you expect for this feature?
Operation Method	How do you think the three features should be operated?(Automatic/Manual /Hybrid)
	Which feature do you think would be most suitable for manual operation?
	What led you to that conclusion?
	When do you think the three functions should be available for use? (During safe driving conditions/Only when stationary/Regardless of driving state)
	What led you to that conclusion?
Additional Feedback	Please share any other thoughts or concerns you have about this system.

4.4 SUS(System Usability Scale) 분석

총 24명의 참가자를 대상으로 측정한 SUS 평균 점수는 76.04점으로 나타났다. 해당 점수는 Fig. 3에 명시된 SUS 점수표 기준 Acceptable Range로써는 양호한 수준이나, Grade Scale로 평가할 시에는 C등급으로 개선의 여지가 있다는 점을 알 수 있다.⁵¹⁾

문항별 분석 결과, 전체 평균 3.03점을 기준으로 긍정 문항인 Q3는 평균 4.33점으로 가장 높은 평가를 받았으며 전체 평균 대비 1.30점 높게 나타났다. 또한 부정 문항인 Q10은 평균 1.83점으로, 전체 평균 대비 1.20점 낮게 나타나 긍정적 평가를 받았다. 긍정 문항에서의 높은 점수와 부정 문항에서의 낮은 점수는 모두 사용자의 긍정적 평가를 의미하므로, 이는 제안된 편의장치 시스템이 직관적이고 사용이 용이하며, 특별한 학습 없이도 조작 가능함을 시사한다. 반면, 재사용 의도를 측정하는 Q1은 평균 3.92점으로 상대적으로 낮게 나타났으며, 이는 시스템의 사용성은 우수하나 지속적 사용 동기 측면에서는 추가적인 개선이 필요함을 의미한다.

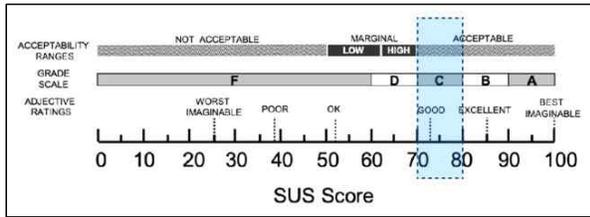


Fig. 3 Average Score of SUS

Table 9 Analysis Results of SUS Items

Item	Type	Mean	SD	Δ from Overall
Q1	Positive	3.92	0.88	+0.89
Q2	Negative	2.08	0.88	-0.95
Q3	Positive	4.33	0.56	+1.30
Q4	Negative	2.21	1.10	-0.82
Q5	Positive	4.13	0.54	+1.10
Q6	Negative	1.88	0.85	-1.15
Q7	Positive	4.00	0.88	+0.97
Q8	Negative	1.96	0.75	-1.07
Q9	Positive	4.00	0.83	+0.97
Q10	Negative	1.83	0.70	-1.20
Overall	-	3.03	-	-

4.5 각 기능별 선호 평가

인터뷰를 통해 각 기능에 대한 사용자 선호도를 파악한 결과, 긍정적 평가 비율은 회전 기능 75.0%, 이동 기능 54.2%, 탈부착 기능 45.8% 순으로 나타났으며, 각 기능별 긍정, 중립, 부정 평가의 전체 분포는 아래와 같다. 회전 기능은 테이블로서의 명확한 용도로 가장 높은 긍정 응답률을 보였으며, 응답자들은 “행위의 폭이 넓어진다” 등의 표현을 통해 해당 기능이 가져올 새로운 라이프스타일을 기대하였다. 그러나 차량 흔들림으로 인한 “음식물이 떨어질 것”이라는 실용성 문제와 디스플레이 위 식사에 대한 위생 우려가 반복적으로 지적되었다. 이동 기능은 차량 운행 중 탑승자의 물리적 이동 없이 물건을 전달할 수 있다는 안전성과 편리성으로 긍정 평가를 받았으나, “직접 전달이 더 빠를 것”이라는 필요성 의문도 제기되었다. 탈부착 기능은 피크닉, 캠핑 등 외부 활동 확장 가능성으로 긍정 평가를 받았으나, “외부 오염물을 차 안으로” 가져온다는 청결 문제가 가장 빈번하게 언급되었다. “왜 굳이 가지고 나가야 하는지”라는 실용성 의문은 실제 사용에서 현실적 장벽이 존재함을 시사한다.

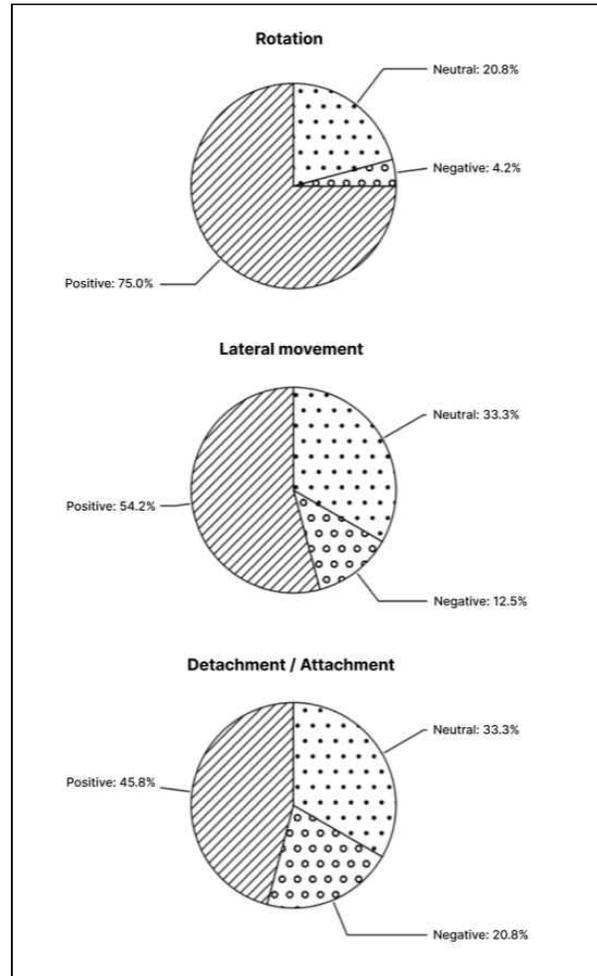


Fig. 4 Preference Ratio of Each Function

4.6 작동 방식별 선호 평가

작동 방식(자동, 수동, 복합)에 대한 선호를 조사한 결과 24명 중 17명이 복합 방식을 선택하여 가장 높은 비율을 차지하였으며, 이들 참가자에게 수동 작동이 적합한 기능을 추가로 질문한 결과 이동, 탈부착, 회전 순으로 응답이 나타났다. 정성적 응답을 분석한 결과, 이동 기능은 “자동으로 이동하면 탑승자가 불필요한 움직임을 느낄 수 있을 것”, “다리에 걸릴 수 있어 수동 조정이 유리하다”와 같은 의견에서 자동 이동 시 예기치 않은 움직임으로 인한 불편과 위험성 때문에 수동 조작이 선호되었다. 탈부착 기능은 “자동으로 작동시키는 건 부자연스럽다”, “원하는 곳으로 직접 이동시키거나 탈부착할 수 있는 자유도가 필요하다” 등의 응답을 통해 탈부착이 사용자의 의도가 직접 반영되어야 하는 작업으로 인식되는 것으로 나타났다. 회전 기능의 경우 “굳이 에너지를 써서 자동화할 필요는 없다”, “원하는 각도로 조절하려면 수동이 더 적합하다”와 같은 의견이 제시되며 동작이

단순하고 세밀한 조정이 필요한 특성상 수동 조작이 적합하다는 인식이 확인되었다. 이는 모든 기능을 획일적으로 자동화하기보다 각 기능의 특성과 사용자 요구에 따라 자동화 수준을 차별화해야 함을 시사한다.

5. 실험 2: 편의장치 정보전달 인지 효과성 평가

5.1 실험 목적

본 연구가 제안하는 편의장치 시스템은 이동, 회전, 탈부착 과정에서 물리적 움직임이 발생한다. 실험 1의 작동 방법에 대한 정성 응답에서 참가자들이 안전에 대한 우려를 언급한 바와 같이 차량 내 전동식 가동 부품의 예기치 않은 움직임은 탑승자 부상 사고로 이어질 수 있고, 미국 교통안전국(NHTSA)은 이러한 위험을 최소화하기 위한 안전 요구사항을 규정하고 있다.⁵²⁾ 따라서 탑승자 안전 확보를 위해 차량 내 물리적 움직임의 시작과 진행을 명확히 인지할 수 있도록 설계하는 것이 필요하며, 이에 실험 2에서는 물리적 움직임 자체를 편의장치 작동의 사전 알림 수단으로 활용하여 안전성을 확보할 수 있는지 탐구하였다.

비운전 활동(Non-Driving Related Activities, NDRAs)에 몰입한 탑승자의 시각적 주의를 차량 전방이 아닌 다른 영역에 집중되며,⁵³⁾ 이러한 상황에서 편의장치의 작동을 사전에 알리는 효과적인 사전 알림 방식은 탑승자의 주의를 차량 시스템으로 신속하게 전환시키는 데 중요한 역할을 할 수 있다.⁵⁴⁾ 기존의 차량 인터페이스 연구에서는 주로 디스플레이 색상 변화나 조명 점등과 같은 정적 시각 자극을 알림 수단으로 활용해왔다.^{55, 56, 57)} 본 연구에서는 이와 더불어 탑승자의 인지에 효과적인 알림 수단으로 물리적 움직임에 주목하였는데, 동적 자극은 주변 시야를 통해 감지되기 쉽고⁵⁸⁾ 정적 자극보다 주의를 더 효과적으로 포착할 수 있기 때문이다.⁵⁹⁾

이에 본 연구는 편의장치 시스템의 특징인 물리적 움직임(Motion)을 사전 알림의 새로운 모달리티(Modality)로 제안하고, 디스플레이 색상(Color) 알림과의 효과성을 아이트래킹(Eye-Tracking) 기법을 통해 비교 평가하고자 한다. 아이트래킹은 눈의 움직임과 시선 위치를 실시간으로 측정하여 시각적 주의 할당을 정량화하는 방법론이다. 사람의 눈은 고해상도 시야를 제공하는 중심와(Fovea)가 매우 작아, 관심 있는 대상을 명확히 보기 위해서는 눈을 그쪽으로 움직여야 한다. 이러한 눈의 움직임은 크게 고정(Fixation)과 도약(Saccade)으로 구분되는데, 고정은 특정 지점을 응시하며 시각 정보를 처리하는 기간이고, 도약은 한 고정점에서 다른 고정점으로 시선이

빠르게 이동하는 순간을 의미한다.⁶⁰⁾ 이처럼 눈의 움직임은 현재 처리 중인 정보를 반영하므로, 아이트래킹을 통해 탑승자의 주위가 어디에 언제 집중되는지를 객관적으로 측정할 수 있다.

5.2 연구 질문

본 연구는 편의장치의 물리적 움직임(Motion)과 디스플레이 색상 변화(Color)를 활용한 알림 방식의 효과를 비교하고, 이러한 효과가 시나리오에 따라 어떻게 달라지는지 파악하기 위해 다음의 연구 질문을 설정하였다.

RQ1은 알림 방식에 따라 사용자의 주의 반응에 차이가 있는지 확인하는 것이다. 구체적으로 Motion과 Color 알림이 사용자의 주의 포착 및 유지에 미치는 영향을 세 가지 종속변수에서 비교하고자 한다. 이를 위해 세 가지 가설을 설정하였다. 먼저 Interval Duration에서 차이가 있는지, 다음으로 Total Fixation Duration에서 차이가 있는지, 마지막으로 Fixation Count에서 차이를 보이는지 분석한다. 이를 통해 물리적 움직임과 시각적 색상 변화 중 어떤 알림 방식이 사용자의 주의를 더 효과적으로 포착하고 유지하는지 파악한다.

RQ2는 편의장치의 동작 시나리오에 따라 사용자의 주의 반응에 차이가 있는지 확인하는 것이다. 세 가지 시나리오(탑승자 방향 이동, 반대 방향 이동, 탈부착)에서 사용자의 주의 패턴이 Interval Duration, Total Fixation Duration, Fixation Count 각각에서 어떻게 다르게 나타나는지 검증하고자 한다. 이를 통해 편의장치의 동작 유형이 사용자의 주의 배분에 미치는 영향을 파악할 수 있으며, 시나리오 간 유의한 차이가 발견될 경우 사후검정을 통해 구체적인 차이를 확인하였다.

RQ3는 알림 방식의 효과가 시나리오에 따라 다르게 나타나는지, 즉 상호작용 효과가 존재하는지 검증하는 것이다. 이를 통해 Motion 알림이 모든 상황에서 효과적 인지 혹은 특정 시나리오에서만 효과적인지 파악하고자 한다. 상호작용 효과가 유의한 경우, 단순주효과 분석을 통해 각 시나리오에서 두 알림 방식 간 구체적인 차이를 확인한다. 이는 단순히 전체적인 차이를 넘어 어떤 상황에서 물리적 움직임의 효과가 극대화되는지에 대한 실질적 통찰을 제공할 수 있다.

RQ4는 객관적 시선추적 데이터와 주관적 인식 및 선호도 간의 관계를 파악하기 위해 설정되었으며, 구체적으로 세 가지 관계를 검증하고자 한다. 첫째, 객관적으로 측정된 주의 반응이 사용자가 주관적으로 먼저 인지했다고 보고한 알림과 일치하는지 확인한다. 둘째, 사용자가 선호하는 알림이 먼저 인지한 알림과 일치하는지 분석한다. 셋째, 사용자가 선호한 알림이 객관적으로 효과

적인지 검증한다. 이를 통해 객관적 효과성과 주관적 인식 및 선호 간의 일치성을 파악하고, 효과적인 알람 설계를 위한 실용적 지침을 도출할 수 있다.

Table 10 Research Questions and Statistical Methods

RQ	Focus	Hypothesis	Dependent Variables	Statistical Method
RQ 1	Main effect of cueing method	Motion and color cues will differ in attention responses	Interval Duration, Total Fixation Duration, Fixation Count	RM ANOVA (1-Way)
RQ 2	Main effect of Scenario	Attention responses will differ across scenarios	Total Fixation Duration, Fixation Count	RM ANOVA (1-Way)
RQ 3	Interaction effect of Cueing × Scenario	Cueing effect will vary by scenario	Total Fixation Duration, Fixation Count	RM ANOVA (2-Way)
RQ 4	Objective-Subjective relationship	Subjective visibility, preference will align with objective measures	Preference, Visibility	Binomial test

5.3 실험 설계 및 변수

실험은 2 × 3 피험자 내 설계로 구성하였다. 모든 참가자는 6개의 조건을 경험하였으며, 각 조건에서 시선추적 데이터와 주관적 평가를 수집하였다.

첫 번째 독립변수는 알람 방식(Cueing Method)으로, 편의장치의 작동을 사전에 알리는 두 가지 방식을 비교하였다. Motion 조건은 편의장치의 물리적 움직임 자체를 사전 알람으로 활용하는 방식으로, 화면 A에서는 탑승자 쪽으로 이동하기 전 상부가 100mm 하강하고(A_M), 화면 B에서는 반대쪽으로 이동하기 전 상부가 100mm 상승하며(B_M), 화면 C에서는 탈부착 시 하부가 100mm 상승하는(C_M) 예비 움직임이 발생한다. Color 조건은 편의장치 상부 디스플레이를 통해 동작 시작을 빨간색으로, 완료를 녹색으로 표시하는 방식으로 세 시나리오(A_C, B_C, C_C) 모두에서 동일하게 적용하였다.

두 번째 독립변수는 시나리오(Scenario)로, 편의장치의 세 가지 주요 기능에 따라 구성하였다. 화면 A는 반대편 편의장치가 탑승자 쪽으로 이동하는 상황(Movement toward user), 화면 B는 탑승자 쪽 편의장치가 반대편으로 이동하는 상황(Movement away from user), 화면 C는 편의장치를 탈부착하는 상황(Movement for detachment)이다. 세 시나리오는 모두 1인칭 시점에서 진행되며, 화

면 A, B는 차량에 착석하여 실내를 바라보는 시점, 화면 C는 차량 밖에서 차량을 바라보는 시점으로 설정하였다.

종속변수는 객관적 측정 지표 3가지와 주관적 평가 지표 2가지로 구성하였다. 객관적 지표 측정을 위해 시선추적 데이터 분석의 AOI(Area of Interest)와 Event 구간을 정의하였다. AOI는 각 화면 중앙에 위치한 편의장치 영역을 사각형으로 지정하였으며, 편의장치 본체와 알람이 표시되는 상부 디스플레이를 포함하도록 설정하였다. Event는 참가자의 주의 포착 시점을 측정하기 위한 시간 구간으로, 각 시행에서 응시점 소거 시점을 시작으로 하여 참가자의 시선이 편의장치 AOI 내부로 최초 고정되는 시점을 종료로 정의하였다.

첫 번째 객관적 지표인 Interval Duration은 Event의 시작부터 종료까지의 시간(ms)으로 알람 제시 후 편의장치로 주의가 포착되기까지 소요된 시간을 의미하며, 값이 작을수록 빠른 주의 포착을 나타낸다. 두 번째 지표인 Total Fixation Duration은 편의장치 AOI 내에서 참가자가 시선을 고정된 총 시간(ms)으로 지속적 주의를 반영하며, 값이 클수록 편의장치에 더 오래 주목했음을 의미한다. 세 번째 지표인 Fixation Count는 편의장치 AOI 내에서 발생한 시선 고정의 총횟수로 반복적 주의 포착 정도를 나타내며, 값이 클수록 편의장치로 시선이 더 자주 돌아왔음을 의미한다.

주관적 평가 지표는 시인성(Visibility)과 선호도(Preference)로 구성하였다. 시인성은 각 화면에서 어떤 알람을 먼저 인지했는지에 대한 응답이며, 선호도는 각 화면에서 선호하는 알람 방식에 대한 응답으로, 인터뷰를 통해 두 지표 모두 Motion 또는 Color 중 하나를 선택하고 그 이유를 답하도록 하였다.

Table 11 Experimental Variables

Type	Variable	Levels / Description
Independent	Cueing Method	Motion
		Color
	Scenario	Movement toward user (Screen A)
		Movement away from user (Screen B)
Movement for detachment (Screen C)		
Dependent	Objective	Interval Duration (ms)
		Total Fixation Duration (ms)
	Fixation	Number of fixations within

		Count	AOI
Subjective	Visibility		First noticed cueing method
	Preference		Preferred cueing method

Table 12 Stimulus of Each Variables

Screen	Scenario	Cueing Method
A 	Movement toward user	Motion(A_M)
		Color(A_C)
B 	Movement away from user	Motion(B_M)
		Color(B_C)
C 	Movement for detachment	Motion(C_M)
		Color(C_C)

Table 13 AOI and Event Setting

Image	Factors
	Fixation Point (Center of Screen)
	AOI (Whole Area of Interior Component)
	Event (Fixation Point to First Fixation)

5.4 실험 환경 및 절차

실험은 모니터 화면 이외의 시선이 차단된 환경에서 진행되었다. 시선 추적을 위해 Tobii Pro Spark 아이트래커를 사용하였으며, 데이터 분석은 Tobii Pro Lab 소프트웨어를 활용하였다. 참가자는 24인치 모니터로부터 60cm 거리에 착석하였다. 각 참가자는 개별 캘리브레이션 후 화면 중앙 응시점을 2초간 주시하고, 응시점 소거 1초 후 자극이 5초간 제시되는 과정을 거쳤다. 총 6개 영상인 2조건×3시점을 시청하였으며, 영상 간 5초 휴식을

취하였다. 참가자에게는 "응시점 소거 후 자유롭게 화면을 시청하라"는 최소한의 지시만 제공하여 자연스러운 시선 움직임을 유도하였다.

5.5 사후 인터뷰

아이트래커은 사용자의 시선 움직임을 정량적으로 측정할 수 있지만, 시선 경로가 발생한 이유나 사용자의 주관적 인식을 설명하는 데 한계가 있다.⁶¹⁾ 선행연구에 따르면 본능적인 시선 이동과 사용자가 의식적으로 기억하는 인지 과정 간에는 차이가 존재할 수 있다.⁶²⁾ 따라서 아이트래커 실험 직후 인터뷰를 실시하여 정성적 데이터를 수집하고 시선추적 결과를 보완하고자 하였다.⁶³⁾ 인터뷰는 참가자 1인당 약 20분 소요되었으며, 구조화된 질문지를 기반으로 진행되었다. 질문은 크게 시인성(Visibility)과 선호도(Preference) 두 가지 요인으로 구성하였다. 시인성은 객관적인 인지 순서를 파악하기 위한 것으로, 각 시점에서 두 사전 알림 방식(pre-warning signal) 중 어느 것을 먼저 인지했는지와 그 이유를 질문하였다. 선호도는 주관적인 평가로, 각 시점에서 어떤 알림 신호를 선호하는지와 그 근거를 파악하였다.

Table 14 Interview Questions

Factors	Questions
Visibility	Which signal was more noticeable on the screen A?
	What led you to that conclusion?
	Which signal was more noticeable on the screen B?
	What led you to that conclusion?
	Which signal was more noticeable on the screen C?
	What led you to that conclusion?
Preference	Which signal was more noticeable on the screen A?
	What led you to that conclusion?
	Which signal was more noticeable on the screen B?
	What led you to that conclusion?
	Which signal was more noticeable on the screen C?
	What led you to that conclusion?

5.6 실험 2 분석 개요

본 연구는 편의장치 알림 방식(Motion, Color)과 동작 시나리오(A, B, C)에 따른 사용자 주의 반응을 세 가지 종속변수(Interval Duration, Total Fixation Duration, Fixation Count)를 통해 분석하였다. 분석에는 반복측정 분산분석(Repeated Measures ANOVA)을 사용하였으며, 구형성 가정 위배 시 Greenhouse-Geisser 수정값을 적용

하였다. 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였고, 사후검정은 Bonferroni 수정을 통해 실시하였다.

5.7 RQ1: 알림 방식에 따른 주의 반응 차이

알림 방식의 주효과를 검증하기 위해 세 가지 종속변수에 대해 One-way Repeated Measures ANOVA 분석을 진행하였다. 분석 결과, Fixation Count에서만 알림 방식의 유의한 주효과가 나타났다($F(1, 23) = 14.469, p = .001, \eta^2 = .386$). Motion 알림($M = 4.17, SD = 1.86$)이 Color 알림($M = 3.15, SD = 1.80$)에 비해 유의하게 더 많은 시선 고정 횟수를 유발하였으며, 평균 차이는 1.014회였다($p = .001$). 효과 크기는 큰 것으로 나타나($\eta^2 = .386$), Motion 알림이 사용자의 반복적 주의 포착에 실질적으로 더 효과적임을 보여준다.

반면, Interval Duration과 Total Fixation Duration에서는 알림 방식의 유의한 효과가 발견되지 않았다. Interval Duration의 경우 Motion 알림($M = 0.061$ 초)과 Color 알림($M = 0.049$ 초) 간 차이가 통계적으로 유의하지 않았으며($F(1, 23) = 1.776, p = .196$), 두 알림 모두 약 40~60ms의 매우 빠른 주의 포착 속도를 보였다. Total Fixation Duration 역시 Motion 알림($M = 2.11$ 초)과 Color 알림($M = 2.01$ 초) 간 유의한 차이가 없었다($F(1, 23) = 1.452, p = .240$). 이는 두 알림 방식이 초기 주의 포착 속도와 총 주의 지속 시간에서는 유사한 효과를 보이지만, 반복적 주의 포착 패턴에서는 차별화된다는 것을 의미한다.

Table 15 RM ANOVA Results by Cueing Method

Dependent Variable	F	df	p	Partial η^2	Result
Interval Duration	1.776	(1, 23)	.196	.072	ns
Total Fixation Duration	1.452	(1, 23)	.240	.059	ns
Fixation Count	14.469	(1, 23)	.001*	.386	*

Note. * $p < .001$, ns = not significant

Table 16 Descriptive Statistics by Cueing Method

Cueing Method	Interval Duration (ms)	Total Fixation Duration (ms)	Fixation Count
	M (SD)	M (SD)	M (SD)
Color	49.00 (18.26)	2013.9 (548.14)	3.15 (1.798)
Motion	61.11 (51.93)	2105.6 (528.51)	4.17 (1.861)

5.8 RQ2: 시나리오에 따른 주의 반응 차이

시나리오의 주효과를 검증하기 위해 Total Fixation Duration과 Fixation Count에 대해 One-way Repeated Measures ANOVA 분석을 진행하였다. RQ2는 편의장치의 동작 시나리오에 따른 지속적 주의 패턴의 차이를 파악하는 것을 목적으로 하므로, 순간적 반응 지표인 Interval Duration은 분석에서 제외하였다. 분석 결과, Fixation Count에서 시나리오의 유의한 주효과가 나타났다($F(2, 46) = 7.743, p = .001, \eta^2 = .252$). 사후검정 결과, 시나리오 C(탈부착, $M = 4.21$ 회)가 시나리오 A(탑승자 방향 이동, $M = 2.88$ 회)에 비해 유의하게 더 많은 시선 고정 횟수를 보였으며($p = .012$), 시나리오 B(반대 방향 이동, $M = 3.90$ 회) 역시 시나리오 A보다 유의하게 높았다($p = .028$). 시나리오 B와 C 간에는 유의한 차이가 없었다($p = .780$). 이는 편의장치의 탈부착 동작이 다른 동작 유형에 비해 사용자의 반복적 주의 확인을 더 많이 요구함을 의미한다.

반면, Total Fixation Duration에서는 시나리오의 유의한 효과가 발견되지 않았다($F(1.579, 36.306) = 0.466, p = .586, \eta^2 = .020$). 세 시나리오 모두 약 2000ms 정도의 주의 지속 시간을 보였으며, 시나리오 간 차이는 통계적으로 유의하지 않았다. 이는 동작 유형과 관계없이 사용자가 편의장치에 할당하는 총 주의 시간은 일정하게 유지됨을 시사한다.

Table 17 RM ANOVA Results by Scenario

Dependent Variable	F	df	p	Partial η^2	Result
Total Fixation Duration	0.466	(1.579, 36.306)	.586	.020	ns
Fixation Count	7.743	(2, 46)	.001*	.252	*

Note. aGreenhouse-Geisser correction applied. * $p < .001$, ns = not significant

Table 18 Descriptive Statistics by Scenario

Scenario	Total Fixation Duration (ms)	Fixation Count
	M (SD)	M (SD)
A (Movement toward user)	2062.8 (619.98)	2.88 (1.812)
B (Movement away from user)	2013.7 (475.73)	3.90 (1.806)
C (Movement for detachment)	2102.7 (537.29)	4.21 (2.069)

Table 19 Post-hoc for Scenario (Bonferroni correction)

Dependent Variable	Comparison	Mean Difference	SE	p	Result
Fixation Count	A vs. B	-1.021	0.361	.028*	*
	A vs. C	-1.333	0.417	.012*	*
	B vs. C	-0.313	0.271	.780	ns

Note. *p < .05

5.9 RQ3: 알림 방식과 시나리오의 상호작용 효과

알림 방식과 시나리오의 상호작용 효과를 검증하기 위해 Total Fixation Duration과 Fixation Count에 대해 Two-way Repeated Measures ANOVA 분석을 진행하였다. RQ3는 각 요인의 독립적 영향(주효과)만을 분석 대상으로 하므로 RQ2와 마찬가지로 Interval Duration은 분석에서 제외하였다. 분석 결과, Total Fixation Duration(F(2, 46) = 3.039, p = .058)과 Fixation Count(F(2, 46) = 3.077, p = .056) 모두에서 상호작용 효과가 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 다만, 두 종속변수 모두 p값이 .05에 매우 근접한 경계선 수준(p = .056~.058)을 보여 경향성은 존재하는 것으로 판단된다. 효과 크기는 중간 수준으로 나타났다($\eta^2 = .117\sim.118$).

상호작용 효과가 통계적으로 유의하지 않았으므로, 알림 방식의 효과는 시나리오와 관계없이 일관되게 나타난다고 해석할 수 있다. 즉, Motion 알림의 효과성(Fixation Count 기준)은 모든 시나리오에서 안정적으로 유지되며, 특정 시나리오에서만 효과적인 것이 아님을 시사한다. 표 12는 알림 방식과 시나리오의 조합별 기술 통계량을 제시한 것이다.

Table 20 Interaction Effects of Cueing Method × Scenario

Dependent Variable	F	df	p	Partial η^2	Result
Total Fixation Duration	3.039	(2, 46)	.058	.117	ns
Fixation Count	3.077	(2, 46)	.056	.118	ns

Note. ns = not significant

Table 21 Descriptive Statistics by Cueing Method × Scenario

Scenario	Cueing Method	Interval Duration (ms)	Total Fixation Duration (ms)	Fixation Count
		M (SD)	M (SD)	M (SD)

A	Color	39.2 (28.88)	2021.3 (631.38)	2.67 (1.761)
	Motion	42.9 (40.80)	2104.2 (609.38)	3.08 (1.863)
B	Color	60.0 (14.74)	2065.4 (423.10)	3.54 (1.719)
	Motion	82.1 (83.98)	1962.1 (521.75)	4.25 (1.894)
C	Color	47.9 (11.79)	1955.0 (570.39)	3.25 (2.069)
	Motion	58.3 (39.08)	2250.4 (457.42)	5.17 (1.993)

5.10 RQ4: 객관적 측정치와 주관적 인식 및 선호도 간의 관계

첫 번째 분석은 객관적 측정치(Fixation Count 기준)와 주관적으로 보고된 시인성(Visibility) 간의 일치도 검증이다. RQ1의 분석 결과, Motion 알림이 Color 알림에 비해 유의하게 더 많은 시선 고정 횟수를 유발하여(p = .001, $\eta^2 = .386$) 객관적으로 더 효과적인 주의 포착 능력을 보였다. 이러한 객관적 효과성이 사용자의 주관적 인식과 일치하는지 확인하기 위해 각 시나리오별로 이항 검정을 실시하였다. 분석 결과, 시나리오에 따라 주관적 시인성이 상이한 패턴을 보였다. 시나리오 A에서는 오히려 Color 알림(63%)을 먼저 인지했다고 보고한 참가자가 Motion 알림(38%)보다 많았으나, 차이가 통계적으로 유의하지 않았다(p = .307). 시나리오 B에서는 Motion 알림(58%)을 먼저 인지한 참가자가 다소 많았으나 역시 유의하지 않았다(p = .541). 시나리오 C에서만 Motion 알림(75%)이 Color 알림(25%)보다 유의하게 더 높은 시인성을 보였다(p = .023).

이러한 결과는 RQ1의 객관적 측정 결과와 부분적으로만 일치한다. 객관적으로는 Motion 알림이 모든 시나리오에서 일관되게 더 많은 Fixation Count를 기록했으나(전체 평균: Motion 4.17회 vs. Color 3.15회, p = .001), 주관적 시인성에서는 시나리오 C에서만 이러한 차이가 인식되었다. 특히 시나리오 A에서는 객관적 측정(Motion 3.08회 vs. Color 2.67회)과 주관적 인식(Motion 38% vs. Color 63%)이 정반대 방향을 보여, 객관적 효과성이 반드시 주관적 시인성으로 전환되지 않음을 시사한다. 시나리오별 차이는 동작의 복잡도와 관련이 있는 것으로 해석된다. 시나리오 A(탑승자 방향 이동)는 직관적이고 단순한 동작으로 Color 알림의 명확한 색상 변화가 더 두드러지게 인식되었을 가능성이 있다. 시나리오 C(탈부착)는 가장 복잡하고 비일상적인 동작으로, Motion 알림의 물리적 움직임이 주관적으로도 더욱 뚜렷하게 감지

되었다. RQ2에서 시나리오 C가 가장 많은 Fixation Count를 기록한 것(M=4.21회)과 일치하는 패턴이다.

Table 22 Visibility by Scenario

Scenario	Motion	Color	p	Result
A	9 (38%)	15 (63%)	.307	ns
B	14 (58%)	10 (42%)	.541	ns
C	18 (75%)	6 (25%)	.023*	*

Note. N = 24. *p < .05, ns = not significant.

두 번째 분석은 사용자가 어떤 알림을 선호하며, 이러한 선호가 먼저 인지한 알림과 일치하는지 검증하였다. 먼저 각 시나리오별로 선호도 분포를 확인한 후, 선호한 알림과 먼저 인지한 알림이 일치하는 참가자 수를 분석하였다. 분석 결과, 모든 시나리오에서 통계적으로 유의한 선호도 차이가 나타나지 않았다. 시나리오 A에서는 Motion 알림(58%)이 다소 높은 선호도를 보였으나 유의하지 않았고(p = .541), 시나리오 B에서는 오히려 Color 알림(58%)의 선호도가 다소 높았으나 역시 유의하지 않았다(p = .541). 시나리오 C에서는 Motion 알림(71%)이 가장 높은 선호도를 보였으며 경계선 수준의 유의성을 나타냈으나(p = .064), 유의수준 기준($\alpha = .05$)을 충족하지는 못하였다. 선호도 분포는 시인성 분포(Table 14)와 유사한 패턴을 보인다. 시나리오 A(선호: Motion 58% vs. 인지: Motion 38%), 시나리오 B(선호: Motion 42% vs. 인지: Motion 58%), 시나리오 C(선호: Motion 71% vs. 인지: Motion 75%)로, 선호도와 시인성이 대체로 유사한 방향성을 나타냈다.

선호도와 시인성의 일치도를 분석한 결과, 모든 시나리오에서 매우 높은 일치도를 보였다(p < .001). 전체적으로 72개 응답(24명 × 3시나리오) 중 67개(93%)에서 먼저 인지한 알림을 선호한다고 응답하였다. 시나리오별로는 시나리오 A에서 88%(21/24), 시나리오 B에서 100%(24/24), 시나리오 C에서 92%(22/24)의 일치율을 보여, 모든 조건에서 통계적으로 유의하였다. 이는 반대 방향으로의 이동이라는 명확한 동작 맥락에서 시인성이 선호도를 결정하는 가장 강력한 요인으로 작용함을 의미한다. 시나리오 A와 C에서도 88~92%의 매우 높은 일치율을 보여, 사용자는 자신이 먼저 인지한 알림을 신뢰하고 선호하는 경향이 일관되게 나타났다. 불일치한 5개 응답(7%)을 정성적으로 분석한 결과, 시인성 외의 다른 요인을 선호도 판단 기준으로 삼은 것으로 나타났다. 예를 들어, Motion 알림을 먼저 인지했지만 "색상 변화가 더 직관적"이라는 이유로 Color 알림을 선호하거나,

Color 알림을 먼저 인지했지만 "움직임이 더 자연스럽다"는 이유로 Motion 알림을 선호한 경우였다. 그러나 이러한 사례는 전체의 7%에 불과하여, 시인성이 선호도의 주요 결정 요인임을 확인하였다.

Table 23 Preference by Scenario

Scenario	Motion	Color	p	Result
A	14 (58%)	10 (42%)	.541	ns
B	10 (42%)	14 (58%)	.541	ns
C	17 (71%)	7 (29%)	.064	ns

Note. N = 24. ns = not significant.

Table 24 Alignment between Preference and Visibility

Scenario	Matched	Mismatched	Matched Rate	p	Result
A	21 (88%)	3 (13%)	88%	<.001*	*
B	24 (100%)	0 (0%)	100%	<.001*	*
C	22 (92%)	2 (8%)	92%	<.001*	*
Overall	67 (93%)	5 (7%)	93%	<.001*	*

Note. N = 24. *p < .001

세 번째 분석은 사용자가 선호한 알림이 객관적으로 효과적인지 검증하였다. RQ1에서 Motion 알림이 Fixation Count에서 유의하게 우월함이 확인되었으므로(p = .001, $\eta^2 = .386$), 사용자 선호도가 이러한 객관적 효과성과 일치하는지 분석하였다. 각 시나리오별 선호도 분포(Table 15)와 객관적 측정 결과를 비교하여 일치성을 평가하였다. 시나리오별로 선호도와 객관적 효과성의 관계를 살펴보면, 시나리오 A에서는 Motion 알림(58%)이 다소 높은 선호도를 보였으나 통계적으로 유의하지 않았다(p = .541). 객관적으로는 Motion 알림이 더 많은 Fixation Count를 기록했지만(Motion 3.08회 vs. Color 2.67회), 이러한 차이가 뚜렷한 선호로 이어지지 않았다. 시나리오 B에서는 오히려 Color 알림(58%)의 선호도가 다소 높았으나 역시 유의하지 않았다(p = .541). 이는 객관적 측정 결과와 정반대 방향이다. 객관적으로는 Motion 알림이 더 많은 Fixation Count를 기록했지만(Motion 4.25회 vs. Color 3.54회), 사용자는 Color 알림을 더 선호하는 경향을 보였다. 이는 높은 Fixation Count가 반드시 선호로 이어지지 않으며, 맥락에 따라 다르게 해석될 수 있음을 시사한다. 시나리오 C에서는 Motion 알림(71%)이 가장 높은 선호도를 보였으며 경계선 수준의 유의성을 나타냈다(p = .064). 이는 객관적 측정 결과와

일치하는 방향으로, Motion 알림이 가장 많은 Fixation Count를 기록한 시나리오(Motion 5.17회 vs. Color 3.25회)에서 주관적 선호도 또한 가장 높았다. 그러나 유의수준 기준($\alpha = .05$)을 충족하지는 못하여, 통계적으로 확정적인 결론을 내리기는 어렵다. 전체적으로, 사용자 선호도는 객관적 효과성과 부분적으로만 일치하였다. Motion 알림이 모든 시나리오에서 일관되게 더 높은 Fixation Count를 기록했지만(전체 평균: Motion 4.17회 vs. Color 3.15회, $p = .001$), 사용자 선호는 시나리오에 따라 상이한 패턴을 보였다. 특히 시나리오 B에서는 객관적 측정과 주관적 선호가 정반대 방향을 나타내어, 객관적 효과성이 반드시 사용자 선호로 전환되지 않음을 확인하였다.

추가로 인터뷰 응답을 정성적으로 분석한 결과, Motion 알림을 선호한 41개 응답에서 가장 빈번하게 언급된 이유는 "눈에 잘 뵈em/잘 보임"(22회)이었으며, "먼 거리에서 효과적"(14회), "다른 행동 중에도 감지됨"(4회), "자연스럽고 직관적"(3회) 순으로 나타났다. 반면, Color 알림을 선호한 31개 응답에서는 "색상/화면 변화가 명확함"(21회)이 가장 많이 언급되었으며, "알림 표현으로 적함/효율적"(8회), "가까운 거리에서 효과적"(7회), "덜 산만함/조용하게 알림"(2회)이 뒤따랐다. 특히 "색상 변화가 직관적"이라는 이유는 시나리오 A와 B에서 Color 알림을 선호한 참가자들이 주로 언급하였다. 이는 단순하고 예측 가능한 동작 상황에서는 명확한 시각적 신호가 더 선호될 수 있음을 시사한다. 반면, "다른 행동 중에도 감지됨"은 시나리오에서 Motion 알림을 선호한 참가자들이 언급하였으며, 구체적으로 "휴대폰이나 다른 행동을 하는 경우 물리적인 움직임은 인기척이 느껴진다", "다른 곳(창밖)을 보고 있으면 물리적 움직임이 더 잘 느껴질 듯" 등의 응답이 있었다. 또한 "먼 거리에서 효과적"이라는 이유는 시나리오 C에서 Motion 알림을 선호한 참가자들이 주로 언급하여, 복잡한 동작과 먼 거리에서 Motion 알림의 장점이 부각됨을 확인하였다.

Table 25 Reasons for Preference by Cueing Method

Cueing Method	Primary Reasons	Frequency
Motion	Highly noticeable/visible	22
	Effective at far distances	14
	Detectable during other activities	4
	Less straining	3
Color	Color changes are clear	21
	Appropriate for information delivery/use	8

Effective at close distances	7
Less distracting/disruptive to recognize	2

Note. Multiple responses possible ($N = 24 \times 3$ scenarios = 72 total responses; Motion preference = 41, Color preference = 31)

6. 논의 및 시사점

6.1 실험 1

SUS 평가 결과 평균 76.04점으로 양호한 사용성을 보였으며, 특히 사용 용이성(Q3, 4.33점)과 학습 용이성(Q10, 1.83점)에서 높은 평가를 받아 시스템이 직관적이고 학습 부담이 적음을 확인할 수 있었다. 그러나 재사용 의도(Q1, 3.92점)는 상대적으로 낮게 나타나, 기술적으로 "사용 가능한" 시스템을 넘어 사용자가 실제로 "사용하고 싶은" 시스템으로의 전환이 필요함을 시사한다. 기능별 선호도 분석에서는 회전 기능이 75.0%의 긍정 응답을 얻어 "테이블"이라는 익숙한 메타포를 통해 높은 평가를 받은 반면, 탈부착 기능은 45.8%의 긍정 응답에 그쳤으며 이는 주로 "외부 오염물 유입"에 대한 우려에서 비롯된 것으로 나타났다. 이러한 결과는 사용자가 기존 차량 사용 문화와 조화를 이루는 기능에 더 높은 수용도를 보인다는 것을 의미하며, 따라서 향후 설계 과정에서는 기술적 혁신성을 강조하기보다 구체적이고 매력적인 사용 시나리오를 제시하는 데 초점을 맞출 필요가 있다.

6.2 실험 2

아이트래킹 분석 결과, Motion 알림이 Color 알림 대비 Fixation Count에서 유의하게 높은 값을 보여($M = 4.17$ 회 vs. 3.15회, $p = .001$, $\eta^2 = .386$) 반복적 주의 포착에 더 효과적임을 확인할 수 있었다. 그러나 Interval Duration과 Total Fixation Duration에서는 유의한 차이가 나타나지 않아, 초기 주의 포착 속도와 총 주의 지속 시간 측면에서는 두 알림 방식이 유사한 효과를 보이는 것으로 나타났다. 흥미롭게도 객관적 측정치와 주관적 인식 간의 불일치가 관찰되었는데, 시나리오 A에서 Motion 알림이 객관적으로 더 많은 시선 고정을 유발했음에도 불구하고 사용자는 오히려 Color 알림(63%)을 먼저 인지했다고 보고하였으며, 이는 무의식적 주의와 의식적 인지 간의 괴리를 보여준다. 이러한 현상은 설계 측면에서 중요한 시사점을 제공하는데, 물리적 움직임은 사용자가 의식하지 못하는 사이에도 지속적으로 주의를 끌어 비의도적 주의 분산을 야기할 수 있는 반면, Color 알림은 의식

적으로 명확하게 인지되어 사용자가 주의 할당을 능동적으로 제어할 수 있다는 점에서 차이를 보인다. 따라서 긴급 상황에서는 Motion 알림의 강제적 주의 포착 특성이, 정보성 알림에서는 Color 알림의 명확한 인지 특성이 더 적합할 것으로 판단된다.

시나리오별 분석에서는 탈부착 시나리오(C)가 가장 많은 Fixation Count를 기록하였으며($M = 4.21$ 회, $p = .001$), 이 시나리오에서만 Motion 알림의 객관적 효과성이 주관적 시인성으로도 인식되었다(75% , $p = .023$). 탈부착은 가장 복잡하고 비일상적인 동작으로, 이러한 낯선 상황에서 사용자는 물리적 움직임이라는 명백한 단서에 더 의존하는 경향을 보인 반면, 친숙하고 예측 가능한 동작(시나리오 A)에서는 디스플레이의 명시적 색상 변화를 더 신뢰하는 것으로 나타났다. 이는 익숙함과 낯섦의 스펙트럼에 따라 효과적인 알림 방식이 달라질 수 있음을 의미한다.

시인성과 선호도 간에는 매우 높은 일치율(93%)이 나타나, 사용자가 먼저 인지한 알림을 선호하는 경향이 일관되게 확인되었다. 이는 알림 설계에서 "첫인상"의 중요성을 시사하며, 객관적 효과성뿐만 아니라 사용자의 주관적 인지 경험을 함께 고려해야 함을 보여준다. 인터뷰 분석 결과 Motion 알림 선호 이유로 "눈에 잘 띄움"(22회), "먼 거리에서 효과적"(14회)이 주로 언급된 반면, Color 알림 선호 이유로는 "색상 변화가 명확함"(21회), "가까운 거리에서 효과적"(7회)이 주로 언급되어, 거리와 명확성이 알림 선호에 영향을 미치는 주요 요인임을 확인할 수 있었다.

6.3 편의장치 개발 고려사항

앞선 두 실험의 결과를 바탕으로 편의장치 개발 고려사항을 정리하였다. 먼저, 기능별 개발은 단계적 접근이 필요하다. 회전 기능은 "테이블"이라는 익숙한 메타포로 높은 수용도를 보였으므로 초기 개발 단계에서 우선 적용되, 실용성 문제(음식물 낙하, 위생)에 대한 해결 방안을 병행 개발해야 한다. 이동 기능은 안전성과 편리성을 인정받았으나 명확한 사용 시나리오를 통해 효용성을 입증할 필요가 있으며, 탈부착 기능은 청결 문제 해결을 위한 보완 기술 개발이 선행되어야 한다.

작동 방식은 기능별 특성에 따른 차별화가 요구된다. 복합 작동 방식에 대한 높은 선호도는 획일적 자동화보다 기능 특성에 따른 맞춤형 자동화가 필요함을 시사한다. 이동과 탈부착 기능은 사용자의 명확한 의도 확인과 안전성 확보를 위해 수동 조작이 적절하며, 회전 기능은 기본 각도는 자동 설정되 미세 조정은 수동으로 허용하는 반자동 방식이 효과적이다.

알림 방식은 동작 복잡도와 거리를 고려하여 설계해야 한다. 단순하고 예측 가능한 동작에서는 Color 알림이 명시적 정보 전달에 효과적이거나, 복잡하고 비일상적인 동작에서는 Motion 알림이 주의 포착과 시인성 모두에서 우수한 것으로 나타났다. 또한 Motion 알림은 원거리에서, Color 알림은 근거리에서 효과적이므로 편의장치의 배치 위치에 따라 알림 방식을 선택해야 한다. 특히 안전이 중요한 긴급 알림에서는 무의식적 주의 포착이 가능한 Motion 알림을, 정보 전달이 목적인 일반 알림에서는 사용자가 명확하게 인지하는 Color 알림을 사용하는 것이 적절하다.

종합하면, 자율주행차 내부 편의장치 개발은 맥락 의존적 접근이 필수적이다. 동작의 복잡도, 거리, 긴급도에 따라 알림 방식을 차별화하고, 사용자 수용도가 높은 기능부터 단계적으로 개발하며, 안전과 직결된 기능은 사용자의 명시적 조작을 요구하고, 기존 사용 문화와 조화를 이루는 기능을 우선시하는 설계 원칙이 요구된다. 이러한 원칙들은 편의장치가 기술적 구현 가능성을 넘어 사용자에게 실질적 가치를 제공하고 안전성을 확보하는데 기여할 수 있다.

7. 결론 및 한계점

7.1 결론

본 연구는 자율주행차 내부 편의장치의 이동, 회전, 탈부착 기능을 통합한 시스템을 제안하고, 두 가지 실험을 통해 전반적 사용성과 물리적 움직임 기반 알림의 효과성을 검증하였다. 실험 1을 통해 자율주행차 내부 편의장치의 물리적 이동성이 기술적으로 구현 가능하고 양호한 사용성을 확보할 수 있음을 확인하였고, 실험 2에서는 물리적 움직임은 반복적 주의 포착에 효과적이거나, 시나리오와 사용자 인식에 따라 선호도가 달라지므로 상황별 적절한 알림 방식 선택이 필요하다는 인사이트를 도출하였다.

두 실험을 통해 본 연구는 향후 자율주행차 내 편의장치를 개발함에 있어 기술적 완성도와 더불어 사용자로 하여금 명확한 가치를 제안하는 것 역시 중요하다는 점을 파악할 수 있었다. 자율주행차 내부 공간은 사용자의 기존 차량 사용 경험과 문화적 관습이 투영되는 사회-기술적 공간이므로, 기능의 나열이 아닌 의미 있는 사용 시나리오를 중심으로 사용자의 일상에 자연스럽게 통합될 수 있는 설계가 요구된다. 따라서 후속 연구에서는 운전 외 활동의 구체적 사용 맥락을 파악하고, 이에 부합하는 편의장치 유형을 중심으로 개발할 필요가 있다.

본 연구는 자율주행차 내부 편의장치에 물리적 이동성이라는 개념을 적용하고 이를 실증적으로 검증하였으며, 특히 물리적 움직임을 알람 모달리티로 활용하는 시도를 통해 객관적 효과성과 주관적 인식 간 괴리를 확인하였다는 점에서 의의가 있다. 본 연구 결과가 향후 자율주행차 내부 공간 설계 및 인터페이스 개발 과정에서 사용자 경험 중심의 접근을 강화하는 데 기초 자료로 활용될 수 있기를 기대한다.

7.2 한계점

본 연구는 세 가지 측면에서 한계를 지닌다. 먼저 20~30대 대학생 24명만을 대상으로 진행되어 연령, 직업, 라이프스타일의 다양성을 반영하지 못하였고, 제한된 표본 크기로 인해 통계적 검정력이 제약되었다. 더불어 실험실 환경에서 영상 자극을 통해 진행됨에 따라 실제 주행 환경에서 경험하게 될 진동, 소음, 멀미 등의 요인들을 반영하지 못했다는 점에서 한계가 있다.

또한 본 연구에서 제시한 세 가지 시나리오는 사용자가 이동 중 수행할 수 있는 다양한 비운전 활동을 충분히 포괄하지 못했으며, 각 시나리오의 구체적인 사용 맥락과 필요성에 대한 심층적 탐색이 부족하였다. 따라서 향후 연구에서는 실제 일상에서 도출된 구체적이고 현실적인 시나리오를 개발하고 이를 기반으로 평가를 진행할 필요가 있다.

마지막으로 Motion과 Color라는 두 가지 알람 방식을 비교하였으나, 이들을 조합한 하이브리드 접근이나 청각, 촉각 등 다른 감각 양식과의 통합 가능성을 탐구하지 못했다는 한계를 지닌다.

후 기

이 연구는 2025년도 산업통상자원부 및 한국산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(20015218)

References

- 1) SAE International, "Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles," SAE J3016_202104, 2021.
- 2) K. Koo, "A Study on Design Factors of Purpose Built Vehicle (PBV) in Mobility Service System," Transactions of KSAE, Vol.28, No.12, pp.865-874, 2020.
- 3) Hyundai Motor Company, Mobile Living Space, <https://www.youtube.com/watch?v=HYGhruNONH>, 2023.
- 4) Hyundai Motor Company, Active House, <https://www.youtube.com/watch?v=-21GkrqBLAo>, 2020.
- 5) Hyundai Motor Company, PnD Module, <https://www.youtube.com/watch?v=qw4WoSDbXDQ>, 2022.
- 6) M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz and H. Winner, "Effects of Autonomous Driving on the Vehicle Concept," Autonomous Driving, pp.213-232, Springer, 2016.
- 7) T. Kim, G. Lee, J. Hong and H. J. Suk, "Affective Role of the Future Autonomous Vehicle Interior," Adjunct Proceedings of the 15th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, pp.7-12, 2023.
- 8) K. C. Pak and E. C. Jeong, "A Study on the Direction of Driver Experience Design in the Autonomous Vehicle Environment in 2030," Proceedings of HCI Korea, pp.376-379, 2017.
- 9) J. Wu, S. Clark, A. Kennard, K. D. Hesseldahl and C. Diels, "Design for Shared Driverless Vehicles of the Future," The Design Journal, Vol.28, No.2, pp.257-278, 2025.
- 10) J. Y. Kwon and D. Y. Joo, "Analysis and Categorization of Interior Activities for Interior Space Design of Fully Autonomous Vehicle Based on Literature Review," Journal of HCI Society of Korea, Vol.13, No.2, pp.5-20, 2018.
- 11) K. H. Song, "A Study on the Direction of Smart Mobility Interior Space," Journal of the Korea Institute of Spatial Design, pp.303-312, 2021.
- 12) K. Koo, "A Study on Design Characteristic Elements of Purpose Built Vehicle (PBV) and Preference Based Vehicle (PBV)," Transactions of KSAE, Vol.30, No.5, pp.379-390, 2022.
- 13) J. H. Lee and T. W. Park, "Sociocultural Factors Affecting Interior Space Design of Fully Autonomous Vehicles and Perception of Non-driving Activities," Journal of Basic Design & Art, Vol.24, No.1, pp.259-276, 2023.
- 14) A. L. Kun, S. Boll and A. Schmidt, "Shifting Gears: User Interfaces in the Age of Autonomous Driving," IEEE Pervasive Computing, Vol.15, No.1, pp.32-38, 2016.
- 15) T. Hecht, E. Darlagiannis and K. Bengler, "Non-driving Related Activities in Automated Driving—An Online Survey Investigating User Needs," International Conference on Human Systems Engineering and Design: Future Trends

- and Applications, pp.182-188, 2019.
- 16) Y. S. Park, "A Study on Mobility Furniture Configuration for Proposing Segment Model of Autonomous Vehicle," Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol.23, No.4, pp.370-376, 2022.
 - 17) H. S. Pak and K. C. Pak, "Proposal of Design Elements for Autonomous Driving Mobility Console Convenience Device Using AHP Analysis," Journal of Basic Design & Art, Vol.25, No.6, pp.245-256, 2024.
 - 18) K. H. Cho, J. Y. Lee, Y. K. Kim, J. S. Kim and K. C. Park, "Development and Usability Evaluation of PBV (Purpose Built Vehicle) Convenience Device through Low-fidelity Prototype," Archives of Design Research, Vol.17, No.4, pp.43-54, 2023.
 - 19) ZOOX, Robotaxi, <https://www.youtube.com/watch?v=pQVpjuh6tZY>, 2020.
 - 20) Jaguar Land Rover, Project Vector, https://www.youtube.com/watch?v=GDfAC_nqiiY, 2020.
 - 21) LG Electronics, LG Omnipod Concept, <https://live.lge.co.kr/2204-lg-omnipod/>, 2022.
 - 22) LG Electronics, LG Alphable Concept, <https://live.lge.co.kr/2401-lg-alphable/>, 2024.
 - 23) Hyundai Mobis, M.Vision TO, <https://www.youtube.com/watch?v=CscyQKzV7A8>, 2023.
 - 24) Hyundai Mobis, M.Vision HI, <https://www.youtube.com/watch?v=obDv0fRLg9A>, 2023.
 - 25) Hyundai Mobis, M.Vision X, <https://www.youtube.com/watch?v=xN85Oz3c3yQ>, 2021.
 - 26) Hyundai Motors, IONIQ Concept SEVEN, <https://www.youtube.com/watch?v=0ZInaADDJuM>, 2021.
 - 27) Audi, Urbansphere, <https://www.youtube.com/watch?v=sogwldbjW5I&t=518s>, 2022.
 - 28) Kia, PBV, https://www.youtube.com/watch?v=jvKj_EH1wvo, 2024.
 - 29) Holon, Holon Mover, <https://www.youtube.com/watch?v=nkSLeCJf2ES>, 2023.
 - 30) Canoo, Lifestyle Vehicle, <https://www.behance.net/gallery/179749955/Canoo-Lifestyle-Vehicle>, 2023.
 - 31) Toyota Motor Corporation, e-Palette Concept, <https://toyotatimes.jp/en/spotlights/1057.html>, 2024.
 - 32) Bosch, IoT Shuttle, <https://www.youtube.com/watch?v=nTVqZu6YD5k>, 2019.
 - 33) Yanfeng, XiM17, <https://www.youtube.com/watch?v=56Ow8cw1m6o>, 2017.
 - 34) PIX, Robobus, <https://www.youtube.com/watch?v=iTp0Czgu3gg>, 2022.
 - 35) NIO, Eve, <https://www.youtube.com/watch?v=FzDv3Cq872Q>, 2017.
 - 36) Volkswagen, I.D. BUZZ Concept, <https://www.youtube.com/watch?v=Chn4zNIH7eQ>, 2017.
 - 37) Mercedes-Benz, F 015 Luxury in Motion, <https://www.youtube.com/watch?v=4aBxLMD8Qg>, 2017.
 - 38) Volvo, 360c Autonomous Concept, <https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/press-releases/237020/volvo-cars-new-360c-autonomous-concept-reimagining-the-work-life-balance-and-the-future-of-cities>, 2018.
 - 39) Renault Group, EZ-GO Concept, <https://www.press.renault.co.uk/models/concept-ez-go-2018>, 2018.
 - 40) Renault Group, EZ-Ultimo Concept, <https://www.youtube.com/watch?v=otmdZtBr17c>, 2021.
 - 41) Cadillac, SocialSpace, <https://www.youtube.com/watch?v=VG3v1cj8tiI>, 2022.
 - 42) Mercedes-Benz, Vision V, <https://www.youtube.com/watch?v=peuPOPIhAi4>, 2025.
 - 43) J. S. Kim, S. I. Shin, H. S. Park and K. C. Park, "Design Proposal of Portable Console for Extending User Experience Inside and Outside Fully Autonomous Vehicles," Proceedings of Korean Society of Design Science Conference, pp.14-15, 2024.
 - 44) J. H. Cha, S. Y. Hwang, H. S. Park and K. C. Park, "Design Proposal of Rail System for Variable Arrangement of Interior Convenience Devices and Furniture in Autonomous Vehicles," KSAE Annual Conference Proceedings, pp.2584-2586, 2024.

- 45) H. Sørensen, D. Raptis, J. Kjeldskov and M. B. Skov, "The 4C Framework: Principles of Interaction in Digital Ecosystems," Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, pp.87-97, 2014.
- 46) M. Kamargianni and M. Matyas, "The Business Ecosystem of Mobility-as-a-Service," Transportation Research Board, Vol.96, 2017.
- 47) IET(Institution of Engineering and Technology), Could Mobility as a Service Solve Our Transport Problems?, <https://www.theiet.org/media/10451/could-mobility-as-a-service-solve-our-transport-problems.pdf>, 2019.
- 48) G. Lyons, P. Hammond and K. Mackay, "The Importance of User Perspective in the Evolution of MaaS," Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol.121, pp.22-36, 2019.
- 49) Bosch, The Car as 3rd living space, <https://www.bosch.com/stories/the-car-as-3rd-living-space/>, 2016.
- 50) J. Brooke, "SUS-A Quick and Dirty Usability Scale," Usability Evaluation in Industry, Vol.189, No.194, pp.4-7, 1996.
- 51) J. Brooke, "SUS: A Retrospective," Journal of Usability Studies, Vol.8, No.2, 2013.
- 52) National Highway Traffic Safety Administration, Federal Motor Vehicle Safety Standards; Power-Operated Window, Partition, and Roof Panel System, <https://www.federalregister.gov/d/04-20714>, 2004.
- 53) R. E. Llaneras, J. Salinger and C. A. Green, "Human Factors Issues Associated with Limited Ability Autonomous Driving Systems: Drivers' Allocation of Visual Attention to the Forward Roadway," Driving Assessment Conference, Vol.7, No.2013, University of Iowa, 2013.
- 54) G. Huang, C. Steele, X. Zhang and B. J. Pitts, "Multimodal Cue Combinations: A Possible Approach to Designing In-vehicle Takeover Requests for Semi-autonomous Driving," Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, Vol.63, No.1, pp.1739-1743, 2019.
- 55) A. Löcken, A. K. Frison, V. Fahn, D. Kreppold, M. Götz and A. Riener, "Increasing User Experience and Trust in Automated Vehicles via an Ambient Light Display," 22nd International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services, pp.1-10, 2020.
- 56) R. Hainich, U. Drewitz, K. Ihme, J. Lauermann, M. Niedling and M. Oehl, "Evaluation of a Human-Machine Interface for Motion Sickness Mitigation Utilizing Anticipatory Ambient Light Cues in a Realistic Automated Driving Setting," Information, Vol.12, No.4, p.176, 2021.
- 57) A. El Jouhri, A. El Sharkawy, H. Paksoy, O. Youssif, X. He, S. Kim and R. Happee, "The Influence of a Color Themed HMI on Trust and Take-over Performance in Automated Vehicles," Frontiers in Psychology, Vol.14, p.1128285, 2023.
- 58) C. Vater, "How Selective Attention Affects the Detection of Motion Changes with Peripheral Vision in MOT," Heliyon, Vol.5, No.8, 2019.
- 59) J. D. Cosman and S. P. Vecera, "Attentional Capture by Motion Onsets is Modulated by Perceptual Load," Attention, Perception, & Psychophysics, Vol.72, No.8, pp.2096-2105, 2010.
- 60) B. T. Carter and S. G. Luke, "Best Practices in Eye Tracking Research," International Journal of Psychophysiology, Vol.155, pp.49-62, 2020.
- 61) T. Andry, "The Qualitative Analysis in Eye Tracking Studies: Including Subjective Data Collection in an Experimental Protocol," International Conference on Human-Computer Interaction, pp.335-346, 2019.
- 62) M. M. Ramey, A. P. Yonelinas and J. M. Henderson, "Conscious and Unconscious Memory Differentially Impact Attention: Eye Movements, Visual Search, and Recognition Processes," Cognition, Vol.185, pp.71-82, 2019.
- 63) Z. Guan, S. Lee, E. Cuddihy and J. Ramey, "The Validity of the Stimulated Retrospective Think-aloud Method as Measured by Eye Tracking," Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.1253-1262, 2006.