JESK J Ergon Soc Korea 2026; 45(3): 163-175
https://dx.doi.org/10.5143/JESK.2026.45.3.163
https://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Effects of Visual Motion Cues and Color Variation on Motion Sickness and Task Concentration in Public Transport

Gwangmin Kim, Minsu Park, Jewook Hwang, Yihun Jeong

Keimyung University, Department of Industrial Engineering, Daegu, 42601

대중교통 이용 시 시각적 모션 큐의 유무 및 색상 변화가 모바일 영상 시청 중 멀미 완화 및 과업 집중도에 미치는 영향

김광민, 박민수, 황제욱, 정이훈

계명대학교 산업공학과

Corresponding Author
Yihun Jeong
Keimyung University, Department of Industrial Engineering, Daegu, 42601
Email : yihunjeong@kmu.ac.kr

Received : January 30, 2026
Revised : May 05, 2026
Accepted : May 14, 2026

Copyright@2026 by The Human Factors & Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

Objective: This study investigates the effectiveness of visual motion cues displayed at the screen periphery in alleviating motion sickness during mobile device use in public transportation. Specifically, it examines how the presence of visual motion cues and their color variations—motion cue off, grayscale motion cue, and red motion cue—affect passengers' motion sickness severity and concentration performance. The findings aim to provide empirical evidence to support the design of motion sickness mitigation strategies for in-vehicle interface systems.

Background: Motion sickness frequently occurs in public transportation environments, particularly when passengers engage in non-driving tasks such as smartphone use, where external visual references are limited. Under such conditions, sensory conflict between vestibular signals and visual information intensifies, increasing susceptibility to motion sickness. Although visual motion cues have been shown to mitigate motion sickness in simulator-based and private vehicle studies, empirical evidence from real-world public transportation settings remains limited. Furthermore, the combined effects of visual motion cues and color have not been sufficiently explored, highlighting the need for systematic investigation.

Method: Thirty participants (15 males, 15 females) completed the Motion Sickness Susceptibility Questionnaire (MSSQ) prior to the experiment and were grouped according to susceptibility levels. Participants were balanced by sex across the three experimental conditions: motion cue off, grayscale motion cue, and red motion cue, with five males and five females assigned to each condition. Motion sickness severity was assessed using the Motion Sickness Assessment Questionnaire (MSAQ) before and after the experiment, while concentration performance was measured through a video-based concentration task.

Results: The presence of visual motion cues significantly reduced motion sickness severity compared to the motion cue off condition. However, differences between the grayscale motion cue and red motion cue conditions did not show a consistent effect on concentration performance across participants.

Conclusion: The results indicate that visual motion cues are effective in alleviating motion sickness during mobile device use in public transportation environments. While the use of a red motion cue did not yield uniform advantages over a grayscale motion cue in terms of concentration, the findings suggest that motion sickness mitigation interfaces can be designed to reduce discomfort without negatively affecting task performance.

Application: These findings provide foundational insights for the development of user-centered interface design guidelines and motion sickness prevention technologies applicable to real-world public transportation systems.

Keywords: Motion cues, Public transport, Motion sickness, Non-driving related task (NDRT), Concentration

1. Introduction

대중교통 이용 시 승객들이 경험하는 멀미는 매우 보편적이면서도 빈번하게 발생하는 문제 중 하나이다. 실제 조사에 따르면 자가용과 대중교통 중 멀미를 더 많이 느끼는 환경을 묻는 질문에 응답자의 64.96%가 대중교통을 선택하여, 자가용(18.98%)에 비해 약 3.4배 더 높은 빈도를 보였다(Kim and Kim, 2020). 이처럼 대중교통에서 멀미가 빈번한 이유는 시각, 전정 감각, 고유수용감각을 통해 입력되는 정보가 서로 일치하지 않을 때 중추신경계가 혼란을 겪으며 발생하는 '감각 불일치' 현상 때문이다(Reason and Brand, 1975). 대중교통은 자가용보다 차체가 크고 진동이 강하며, 급가속 및 급감속, 잦은 정차와 불규칙한 코너링 등 멀미 유발 가능성이 높은 환경적 특성을 지니고 있다(Diels and Bos, 2016). 특히 버스의 경우 엔진 진동과 배기가스 냄새가 복합적으로 작용하여 탑승객의 메스꺼움을 가중시키기도 한다(Jang et al., 2003). 본 연구에서 '대중교통'은 구체적으로 버스 환경을 지칭하며, 버스는 위와 같이 멀미 유발 가능성이 높은 환경적 특성을 복합적으로 갖추고 있어 본 연구의 실험 환경으로 선정하였다.

이러한 환경적 특성은 승객이 이동 시간을 효율적으로 활용하기 위해 스마트폰 사용, 영상 시청, 독서와 같은 비운전 과업(Non-Driving Related Task, NDRT)을 수행할 때 더욱 심화된다. NDRT 수행 시 탑승객의 시각적 주의는 차량 외부가 아닌 내부의 고정된 화면이나 텍스트에 집중되는데, 이때 전정기관은 차량의 역동적인 움직임을 감지하는 반면 눈은 정지된 정보를 전달함으로써 감각 간의 괴리가 극대화된다(Griffin and Newman, 2004). 이러한 극심한 감각 불일치는 어지러움, 졸음, 구역질 등을 초래하여 탑승자의 피로도를 높이고 전반적인 이동 경험의 질을 저하시키는 주요 원인이 된다(Li et al., 2024; Metzulat et al., 2024).

인구학적 특성 중 성별은 멀미 민감도에 영향을 미치는 핵심 요인으로 보고되어 왔다. 선행연구에 따르면, 여성은 자동차, 선박, 항공기 등 대부분의 운송수단 환경에서 남성보다 구토 및 메스꺼움과 같은 멀미 증상을 더 빈번하고 강하게 경험하며, 성인기 이후에도 노년기에 이르기 전까지 약 1.7배 높은 멀미 민감도를 지속적으로 보이는 것으로 나타났다(Golding, 2006; Turner and Griffin, 1999). 이러한 성별 차이는 아동·청소년 및 대학생을 포함한 다양한 연령대에서 일관되게 관찰되었으며, 신체 활동 수준이나 과거 멀미 경험과는 무관하게 나타나 생물학적 요인의 영향을 시사한다(Dobie et al., 2001). 실험 연구에서도 여성이 회전 자극에 대해 더 낮은 내성을 보이며, 감각 불일치를 보다 빠르게 위협 신호로 처리하는 신경학적 특성이 보고된 바 있다(Klosterhalfen et al., 2005). 더 나아가 멀미 민감도는 연령에 따라 변화하며, 특히 사춘기를 기점으로 성별 차이가 뚜렷해져 여성이 남성보다 지속적으로 높은 민감도를 보이는 경향이 확인되었다(Huppert et al., 2019; Golding, 2006). 따라서 성별이 멀미 민감도에 미치는 영향을 고려하는 것이 필요하다.

멀미 완화에 관한 선행연구를 살펴보면, 시각적 모션 큐가 멀미를 완화시키는데 긍정적인 효과가 있음을 확인하였다. Karjanto et al. (2018)은 자율주행 환경에서 조명을 활용한 주변 시각 피드포워드 시스템(Peripheral Visual Feedforward System, PVFS)이 멀미 증상을 완화하고 상황 인식을 향상시키는 효과를 확인하였다. Pöhlmann et al. (2022)는 차량 내에서 자신의 움직임을 지각하여 운동 방향과 움직임 등의 시각 정보를 제공하는 시각적 모션 큐가 멀미 완화에 효과적이며, 읽기나 업무와 같은 주요 작업에 대한 산만함은 감소하는 효과가 나타난다고 보고하였다. McGill et al. (2017)은 VR HMD 환경에서 시각적 모션 큐가 멀미와 몰입도에 미치는 영향을 분석함으로써, 시각적 정보 설계가 멀미 완화 인터페이스로 활용될 수 있음을 실험적으로 입증하였다. 이러한 선행연구들은 시각적 모션 큐의 유효성을 검증했다는 점에서 의미를 지니지만, 대부분 시뮬레이터 환경이나 일반 승용차를 중심으로 수행되어 실제 대중교통 이

용 환경의 불규칙한 움직임과 현실적인 사용 맥락을 충분히 반영하지 못했다는 한계가 있다.

색상 특성과 시각적 인지 간의 관계를 분석한 선행연구에 따르면, 채도와 밝기가 높은 고채도 색상은 시각적 주의와 시인성을 향상시킨다. Camgöz et al. (2004)는 채도와 밝기가 높은 색상은 시각적 주의와 시인성을 향상시킨다는 점을 확인하였으며, Wilms and Oberfeld (2018)은 채도와 밝기가 증가할수록, 관찰자의 각성(arousal) 수준이 높아지며, 특히 빨간색이 가장 높은 각성 반응을 유발하는 색상임을 제시하였다. 또한, Elliot and Maier (2014)는 디스플레이 환경에서 고채도 시각 단서는 흑백에 비해 인접한 정보 간의 대비가 높아져 인지적 부하를 줄여 주의성과 시인성이 높다는 점을 연구하였다. 위 선행연구를 바탕으로, 멀미로 인해 시각적 주의와 집중이 저하되는 상황에서 시각적 모션 큐에 색상 변화를 적용하는 것은 집중도 향상에 기여할 수 있다. 이는 멀미 유발 환경에서 탑승객이 어지러움과 피로로 인해 시각적 주의가 분산되고 집중력이 저하될 수 있으며(Li et al., 2024), 고채도 색상의 시각적 모션 큐가 주변시(peripheral vision)를 통한 모션 정보 지각 효율을 높일 수 있기 때문이다. 고채도 색상은 낮은 채도의 색상보다 시각적 현저성(visual saliency)이 높아 주의를 효과적으로 유인하며, 이는 중심 과업(예: 영상 시청)을 방해하지 않으면서도 주변시를 통해 차량 움직임 정보를 보다 효율적으로 전달하도록 한다. 또한, 빨간색과 같은 고채도 색상은 높은 각성(arousal) 유발 특성을 가지므로, 멀미로 인해 각성 수준이 저하된 상황에서 집중도 유지에 보조적인 역할을 할 것으로 기대된다.

이처럼 선행연구들을 통해 시각적 모션 큐가 차량 멀미 완화에 효과적인 기제로 보고되어 왔으나, 불규칙한 가감속과 진동이 빈번한 대중교통 환경의 특수한 주행 조건을 반영한 실증적 연구는 여전히 부족한 실정이다. 특히 대중교통 이용 중 가장 보편적인 활동인 모바일 기기 사용 시 발생하는 '감각 불일치' 요인을 제어하기 위해 시각적 모션 큐의 실제적 효용성을 검증할 필요가 있다. 이에 본 연구는 실제 버스 주행 노선을 실험 환경으로 설정하여, 시각적 모션 큐가 멀미 완화와 과업 집중도에 미치는 영향을 규명하고자 한다. 나아가, 시각적 주의성과 시인성을 향상시키는 것으로 알려진 고채도 색상 요소를 시각적 모션 큐에 적용함으로써, 색상 변화가 멀미 증상 완화와 과업 집중도에 미치는 효과를 심도 있게 분석하고자 한다.

본 연구의 목적은 차량 내 모션 큐의 제시 방법과 사용자의 성별이 멀미 및 인지 성능에 미치는 영향을 분석하는 것이다. 이를 위해 다음과 같은 5가지 가설을 설정하였다.

- H1: 모션 큐 조건에 따라 멀미 점수는 유의미한 차이가 있을 것이다.
- H2: 성별에 따라 멀미 점수는 유의미한 차이가 있을 것이며, 여성이 남성보다 높게 나타날 것이다.
- H3: 모션 큐 조건과 성별은 멀미 점수에 대해 교호작용 효과를 보일 것이다.
- H4: 모션 큐 조건에 따라 집중도 점수는 유의미한 차이가 있을 것이다.
- H5: 성별에 따라 집중도 점수는 유의미한 차이가 있을 것이다.

2. Method

2.1 Participants

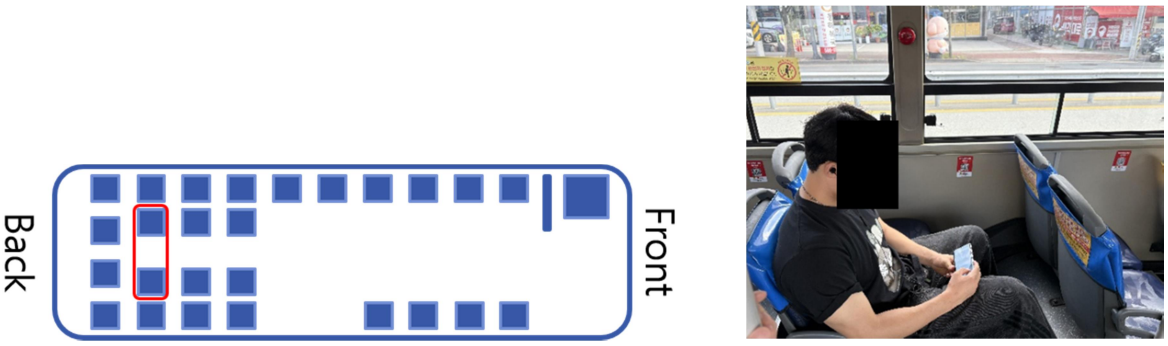
본 연구는 정상시력 또는 교정시력 1.0 이상을 보유하고 전정기관 질환이 없는 청년층(만 19세 이상, 39세 이하) 남녀 34명(남성: 17명, 여성: 17명)을 모집하였다. 본 실험 전, 평소 멀미 민감도가 실험 결과에 미치는 영향을 통제하기 위해 MSSQ-Short (Motion Sickness Susceptibility Questionnaire Short-form)를 통해 참여자의 멀미 민감도를 사전 측정하였다. MSSQ-Short는 만 12세 이전의 아동기 경험과 최근 10년 동안 성인기 경험을 각 9가지 문항으로 평가하며, 이를 바탕으로 멀미에 대한 개인의 민감도를 정량화 하는 도구이다 (Golding, 2006).

사전 측정 결과를 통해 MSSQ-Short 점수 상·하위 10%에 해당하는 연구 참여자를 제외하였다. 이는 멀미 민감도가 극단적으로 높거나 낮은 참여자가 포함될 경우, 조건 간 기저 수준의 차이가 통계적 해석을 왜곡할 수 있기 때문이다(Golding, 2006). 최종적으로 선별된 참여자는 총 30명(남성: 15명, 여성: 15명)이었으며, 평균 연령은 23.67세(SD = 1.27)였다. 참여자들에게는 실험 직전 멀미 예방 약물, 항히스타민제, 알코올 섭취를 금지하였으며, 실험 전 최소 1시간 동안 금식하도록 안내하였다.

2.2 Experimental environment

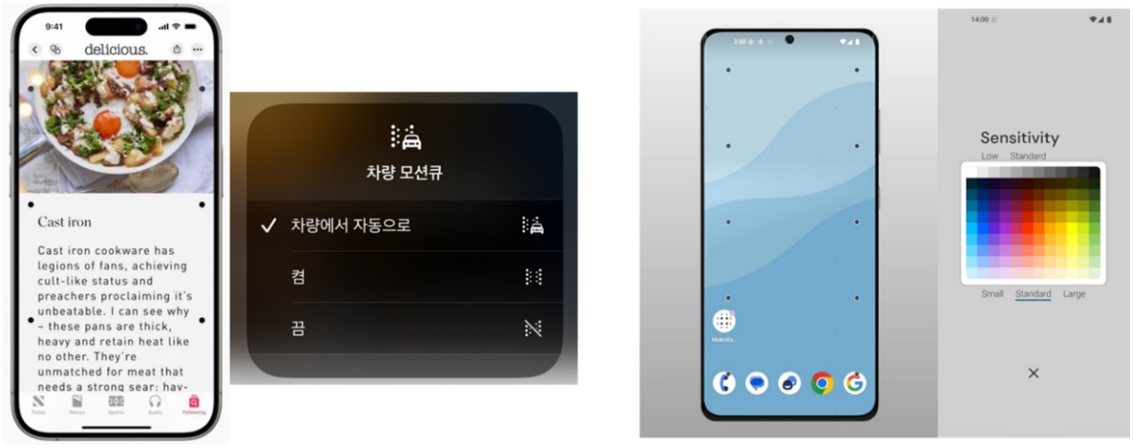
본 실험은 실제 버스 이용 상황을 모사하기 위해 동일 노선을 운행하는 버스 환경에서 진행하였으며, 좌석 위치에 따른 차량 운동 차이의 영향을 통제하기 위해 모든 참여자는 동일한 좌석에 탑승하였다(Figure 1). 본 연구의 실험 조건은 모션 큐 유무 및 색상에 따라, 모션 큐가 없는 조건, 흑백 모션 큐가 제공되는 조건 그리고 빨강 모션 큐가 제공되는 조건의 총 3가지로 구성하였다.

시각적 모션 큐(Visual Motion Cue, VMC)는 스마트폰 내장 가속도계(accelerometer) 및 자이로스코프(gyroscope) 센서를 통해 차량의 실시간 움직임(가속, 감속, 회전 등)을 감지하고, 이를 화면 주변부(peripheral area)에 움직이는 점(dot) 형태의 시각 피드백으로 변환하여 제공하는 기능이다. 탑승객의 중심시(central vision)가 화면 콘텐츠에 고정된 상황에서도, 주변시(peripheral vision)를 통해 전달되는 이 시각적 피드백이 전정기관의 감각 신호와 동기화됨으로써 감각 간 불일치를 완화하는 원리로 작동한다. iOS 기반 조건에서는 iPhone 15 Pro (Apple Inc.)의 차량 모션 큐 기능을 활용하여 모션 큐 없음과 모션 큐 흑백 조건을 구현하였다(Figure 2a). iOS의 차량 모션 큐 기능은 자체적인 색상 변화가 지원되지 않기에 색상 변화가 필요한 조건에서는 Android 기반의 Galaxy S23 (Samsung Electronics Co., Ltd.)에 Motion Ease – car sickness aid 어플리케이션(Innov App)을 설치하여 사용하였다(Figure 2b). Motion Ease – car



(a) (b)

Figure 1. (a) Experimental seat position in the bus (top view) and (b) Sitting posture during the experiment



(a) (b)

Figure 2. Motion cue conditions used in the experiment: (a) built-in iOS vehicle motion cue interface and (b) Motion Ease application on Android

sickness aid 어플리케이션(Innov App)은 사용자가 모션 큐의 색상과 감도를 자유롭게 변경할 수 있는 기능을 제공하여 색상 변화 조건 구현에 적합하였다.

두 기기 간의 화면 UI 구성, 디스플레이 밝기, 시스템 애니메이션 방식 등 모션 큐 이외 변수의 영향을 최소화하기 위해 다음과 같은 조치를 취하였다. 두 스마트폰 모두 6.1인치 동일 크기의 디스플레이를 사용하였으며, 화면 밝기, 음량, 영상 속도, 시청 영상은 모든 조건에서 동일하게 유지하였다. 또한 기기 고유의 시스템 알림, 배경 앱 동작 등이 실험에 영향을 주지 않도록 실험 전 불필요한 앱 및 알림을 모두 비활성화하였다. 실제 버스 주행 환경에서 발생할 수 있는 조건 간 차이를 최소화하기 위해, 모든 실험 세션은 동일한 버스 차량과 동일한 노선을 반복 운행하는 방식으로 진행하였다. 실험 시간대는 낮 12시부터 16시 사이로 통일하여 혼잡도와 교통 상황의 시간대별 차이를 줄이고자 하였다. 다만, 실제 교통 환경의 특성상 신호 대기, 차로 변경, 교통량 변동 등의 예측 불가능한 요인을 완전히 통제하는 것은 불가능하였다.

2.3 Experimental design

본 연구는 시각적 모션 큐의 유무 및 색상 변화가 모바일 멀미 완화에 미치는 영향을 분석하기 위해 실험을 설계하였다. 시각적 모션 큐는 모션 큐의 유무 및 색상 변화에 따른 차이를 비교하기 위해 총 세 가지 수준으로 설정하였으며, 시각적 모션 큐 없음(VMC_OFF), 흑백 시각적 모션 큐(VMC_Grayscale), 빨강 시각적 모션 큐(VMC_Red)로 구성하였다(Figure 3).

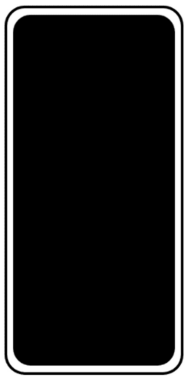
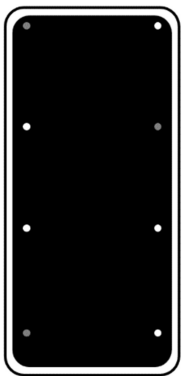
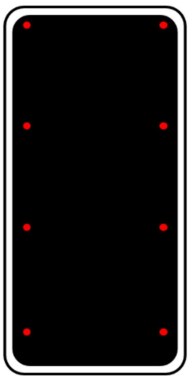
Variable		
VMC_OFF	VMC_Grayscale	VMC_Red
		

Figure 3. Visual Motion Cues (VMC) conditions

성별에 따라 멀미 민감도에 차이가 있을 수 있다는 선행연구를 고려하여, 실험 참여자 30명을 먼저 성별로 구분한 후 각 조건 별로 10명씩(남: 5명, 여: 5명) 배정하였다. 모션 큐 조건 간 멀미 민감도 차이를 최소화하기 위해, MSSQ-short 점수를 기반으로 각 조건 별 남녀 비율 및 MSSQ-short 점수 총합이 동일하도록 참여자를 배정하였다. 각 조건별 평균 연령은 VMC_OFF 조건 23.5세(SD = 0.85), VMC_Grayscale 조건 23.70세(SD = 1.57), VMC_Red 조건 23.8세(SD = 1.4)로, 조건 간 연령 분포에 통계적으로 유의한 차이는 없었다 ($F(2,27) = 0.14$, $p = 0.873$). 본 연구는 성별과 연령 분포가 조건 간 유사하도록 통제한 균형 설계를 적용하였으며, 각 참여자는 VMC_OFF, VMC_Grayscale, VMC_Red의 세 조건 중 오직 하나의 조건에만 참여하였다. 따라서 동일 참여자가 여러 조건에 반복 노출됨으로써 발생할 수 있는 순서 효과(order effect) 및 이월 효과(carryover effect)는 설계 단계에서 원천적으로 배제되었다.

실험 과업은 버스 탑승 상황에서 수행되는 15분 간의 영상 시청으로 구성하였다. 멀미 유발 실험은 일반적으로 15분 진행되며(McGill

et al., 2017), 영상 시청은 독서, 음악 감상, 문자 메세지 전송 등과 함께 대표적인 비운전 관련 과업(NDRT: No-Driving Related Task)에 해당된다. 특히, 대중교통 이용 시 청년층에서 가장 빈번하게 수행하는 행위가 영상 시청 행위이라는 점을 고려하여 본 연구의 실험 과업으로 선정하였다(Shin, 2014).

각 조건이 멀미 완화에 미치는 영향을 평가하기 위해 실험 전후에 MSAQ (Motion Sickness Assessment Questionnaire) 설문을 실시하여 참여자의 멀미 수준 변화를 측정하였다. MSAQ는 실제 교통 환경에서 경험할 수 있는 16가지 멀미 증상을 9점 Likert 척도(1: 전혀 아님, 9: 심함)로 평가하는 설문이다. 설문 문항은 소화기계 증상(Gastrointestinal), 중추신경계 증상(Central), 말초 신경계 증상(Peripheral), 졸림 및 피로 관련 증상(Sopite-related)의 네 개의 하위 영역으로 구성되며, 각 영역은 네 개의 문항으로 이루어져 있다(Gianaros et al., 2001). 멀미 수준은 $\text{Total Score} = \left(\frac{\text{총점}}{144}\right) \times 100$의 계산식을 통해 산출하였다. 또한, 참여자의 집중도를 평가하기 위해 시청한 영상과 관련된 10개의 객관식 문항으로 구성된 집중도 테스트를 실시하였으며, 각 참여자의 정답 개수를 산출하여 과업 수행 중 집중도 수준을 정량적으로 평가하였다. 집중도 평가 문항은 참여자가 시청한 YouTube 영상의 주요 내용(핵심 사건, 등장 인물, 수치 정보 등)을 바탕으로 연구진이 직접 구성하였으며, 영상 시청에 충분히 집중한 경우 정답을 맞힐 수 있는 수준으로 설계하였다. 모든 참여자가 동일한 영상을 시청하였으므로 조건 간 과업 자극의 동일성은 확보되었다. 다만, 문항의 난이도와 변별력에 대한 사전 파일럿 검증을 별도로 실시하진 못했으며, 향후 연구에서는 집중도 측정 도구의 타당도를 사전에 검증하는 절차가 필요하다.

2.4 Experimental procedure

본 연구는 사전 MSAQ 설문, 본 실험(영상 시청), 사후 MSAQ 설문 그리고 영상 집중도 테스트로 구성되었다. 모든 참여자는 실험 전 연구 목적과 절차를 충분히 안내 받았으며, 실험 과정은 다음과 같이 진행되었다.

실험 시작 전, 참여자의 현재 멀미 수준을 측정하기 위해 사전 MSAQ 설문을 실시하였다. 참여자에게 멀미 증상이 심화될 경우 언제든지 실험 중단 의사를 표현할 수 있음을 충분히 안내하였으며, 중단 요청 시 즉시 영상 시청을 종료하고 가장 가까운 정류장에서 하차하도록 절차를 마련하였다. 또한, 예기치 않은 급정거, 차로 변경 등의 교통 상황 발생 시 동행 연구자가 즉각 대응할 수 있도록 사전에 프로토콜을 수립하였다. 설문과 실험 안내가 완료된 후 참여자는 지정된 버스에 탑승하며 본 실험을 수행하였다. 참여자 안전을 위해 모든 실험은 동행 연구자 1인이 버스 내에 함께 탑승하여 참여자의 상태를 지속적으로 모니터링 하였다.

본 실험은 실제 버스 환경에서 15분간 영상을 시청하는 과업으로 구성되었다. 참여자는 실험 조건에 따라 설정된 시각적 모션 큐가 적용된 스마트폰과 이어폰을 제공받았으며, 참여자는 지정된 좌석에서 15분간 고정된 자세(Figure 1b)로 영상을 시청하였다. 영상 시청 종료 후, 지정된 정류장에서 하차하기 전까지 간단한 휴식을 취하였으며, 이때 참여자에게 창밖을 응시하는 행위를 제외한 기타 행위를 제한하였다.

버스 하차 후, 참여자는 사후 MSAQ 설문과 영상 집중도 테스트를 진행하였다. 사후 MSAQ 설문을 통해 실험 이후의 멀미 수준을 측정하였으며, 영상 집중도 테스트는 시청한 영상의 주요 내용을 바탕으로 구성된 10개의 객관식 문항으로 이루어졌다. 해당 테스트의 정답률을 기준으로 참여자의 집중 수준을 평가하였다.

2.5 Statistical analyses

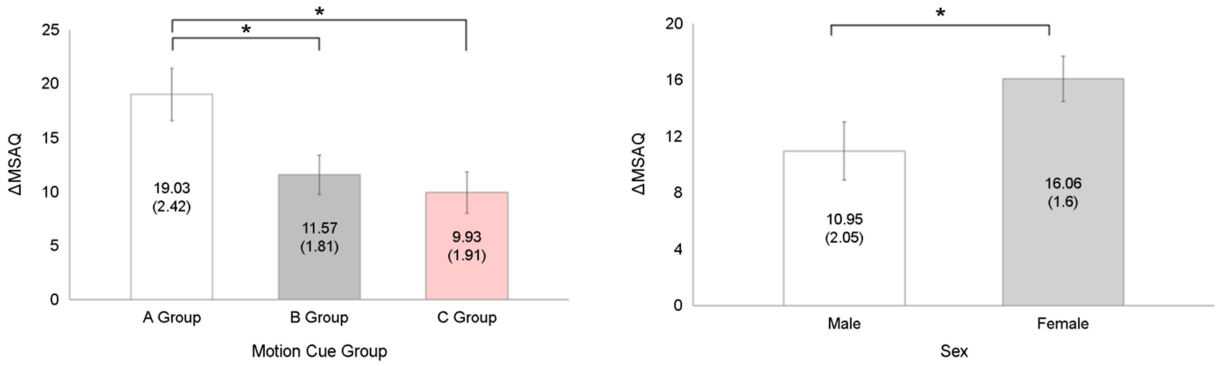
본 연구에서는 시각적 모션 큐 조건과 성별에 따른 멀미 수준 및 집중도의 차이를 분석하기 위해 이원 배치 분산분석(Two-way ANOVA)을 실시하였다. 독립변수는 시각적 모션 큐 조건(모션 큐 없음, 모션 큐 흑백, 모션 큐 빨강)과 성별(남성, 여성)로 설정하였으며, 종속변수는 멀미 점수 변화량(ΔMSAQ)과 집중도 점수로 설정하였다. 이원 배치 분산분석을 통해 시각적 모션 큐 조건과 성별이 멀미 점수 변화량과 집중도 점수에 미치는 주효과(main effect) 및 두 독립변수 간의 교호작용 효과(interaction effect)를 분석하고자 하였다. 멀미 점수 변화량(ΔMSAQ)은 실험 전후 MSAQ 점수의 차이를 산출하여 분석에 사용하였으며, 집중도 점수는 영상 시청 후 실시한 이해도 평가에서의 정답 개수를 기반으로 산출하였다. 이원 배치 분산분석 수행 후, 유의미한 차이가 발견된 요인에 대하여 본페로니(Bonferroni) 교정을 적용한 사후검정을 실시하였다. 모든 통계 분석은 SPSS Statistics 29 (IBM, USA)를 사용하여 수행하였으며, 유의수준(α)은 0.05로 설정하였다.

3. Results

3.1 ΔMSAQ

멀미 점수에 대한 이원배치 분산분석 결과, 시각적 모션 큐 조건과 성별 모두에서 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다. 시각적 모션 큐 조건의 주효과는 유의하였으며(F2, 24) = 5.968, p = 0.008, η_p^2 = 0.332), 성별의 주효과 또한 유의하였다(F1, 24) = 4.972, p = 0.035, η_p^2 = 0.170).

멀미에 대한 사후 분석 결과, VMC_OFF와 VMC_Grayscale 간(p = 0.041), VMC_OFF와 VMC_Red 간(p = 0.010)에서 유의한 차이가 확인되었다(Figure 4a). 반면, VMC_Grayscale과 VMC_Red 간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다(p > 0.05). 즉, 본 연구의 통계 결과는 '모션 큐의 존재(유무) 효과'를 검증한 것이며, '색상 변화(흑백 vs. 빨강)에 따른 효과'는 통계적으로 유의하게 검증되지 않았다. 멀미 점수에 대한 성별 효과를 분석한 결과, 여성 참여자가 남성에 비해 유의미하게 높은 멀미 점수를 보였다(Figure 4b).



(a) (b)

Figure 4. Mean (standard error) value of ΔMSAQ scores for each group and gender: (a) group, (b) sex, *p < 0.05, **p < 0.01, ***p < 0.001

시각적 모션 큐 조건과 성별 간의 교호작용 효과는 유의하게 나타나지 않았다(p = 0.906, Figure 5). 이는 성별에 관계없이 모션 큐 조건이 멀미에 미치는 영향의 패턴이 동일함을 의미한다.

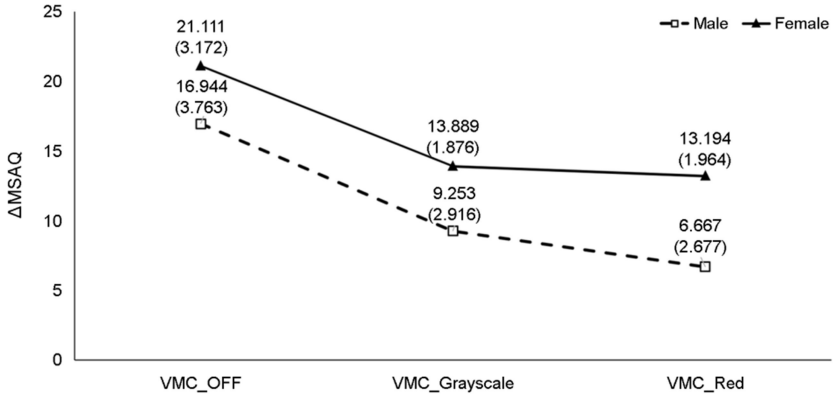
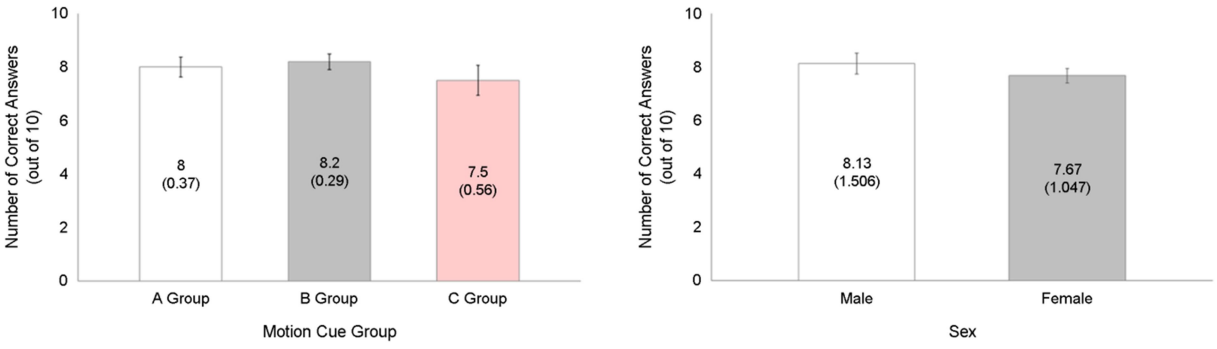


Figure 5. Interaction effect between motion cue group and sex (mean [standard error] value of ΔMSAQ scores)

3.2 Concentration

집중도 점수에 대한 이원배치 분산분석 결과, 시각적 모션 큐 조건에 따른 집중도 점수의 차이는 통계적으로 유의미하지 않았으며(F(2, 24) = 0.722, p = 0.496, Figure 6a), 성별 효과 또한 유의하지 않았다(F(1, 24) = 0.907, p = 0.350, Figure 6b). 시각적 모션 큐 조건과 성별 간의 교호작용 효과도 나타나지 않았다(F(2, 24) = 0.352, p = 0.707, Figure 7).



(a) (b)

Figure 6. Mean (standard error) value of the number of correct answers (out of 10) for each group and gender: (a) group, (b) sex

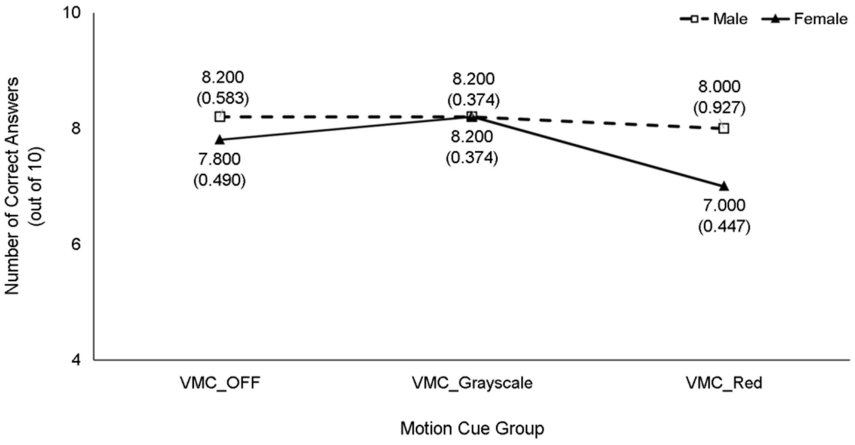


Figure 7. Interaction effect between motion cue group and sex (mean [standard error] on value of the number of correct answers (out of 10))

4. Discussion

본 연구는 대중교통 환경에서 시각적 모션 큐의 유무와 색상 변화가 모바일 멀미 완화 및 집중도에 미치는 영향을 확인하였다. 연구 결과를 살펴보면, 첫째, 시각적 모션 큐가 있을 경우 색상에 상관없이 멀미 점수 감소에 유의미한 효과를 보였다(Figure 4a). 둘째, 여성 참여자가 남성보다 멀미 민감도가 높게 나타났다(Figure 4b). 셋째, 모션 큐 조건과 성별 간의 멀미 점수 교호작용 효과는 없었다(Figure 5). 마지막으로 모션 큐 조건 및 성별에 따른 집중도 점수 차이는 없었다(Figures 6 and 7). 이러한 결과는 시각적 모션 큐가 실제 대중교통 환경에서도 멀미 완화에 긍정적인 영향을 미치지만, 집중도에는 영향을 미치지 않음을 나타낸다. 또한 색상 변화보다

는 시각적 모션 큐의 유무가 멀미 완화에 중요한 역할을 하고 있음을 확인할 수 있었다.

시각적 모션 큐의 유무에 따른 멀미 완화 효과는 통계적으로 유의미하게 나타났다(Figure 4a). 이러한 결과는 시뮬레이터 환경에서 시각적 모션 큐의 멀미 완화 효과를 검증한 Pöhlmann et al. (2022)과 McGill et al. (2017)의 연구 결과가 실제 대중교통 환경에서도 유효함을 보여주는 결과이다. 시각적 모션 큐는 멀미의 주요 원인 중 하나로 제시된 시각 정보와 전정 및 체감 감각 정보 간의 불일치(Reason, 1978)를 감소시켜 멀미를 경감시키는 역할을 하는 것으로 해석할 수 있다. 특히 탑승객이 스마트폰 사용과 같은 비운전 과업에 몰입하여 중심시(central vision)가 차량 내부의 정적인 화면에 고정된 상황에서도, 주변시(peripheral vision)를 통해 제공되는 실시간 차량 움직임 정보가 전정기관의 신호와 동기화됨으로써 감각 간 괴리를 완화한다(Sivak and Schoettle, 2015). 결과적으로 이러한 시각적 피드백은 탑승객이 차량의 물리적 움직임을 보다 정확하게 예측하고 수용하도록 도와 멀미를 효과적으로 감소시키는 것으로 판단된다.

성별에 따른 멀미 민감도 분석 결과, 여성 참여자가 남성에 비해 유의미하게 높은 멀미 점수를 보였다(Figure 4b). 이는 Golding (2006) 및 Turner and Griffin (1999)의 연구에서 보고된 여성의 높은 멀미 민감도와 일치하는 결과이다. 이러한 성별에 따른 멀미 민감도 차이는 생리적 요인 또는 감각 정보 처리 방식의 차이와 관련이 있는 것으로 해석할 수 있다. 선행연구에 따르면 여성은 남성에 비해 시각 정보에 대한 의존도가 상대적으로 높으며(Barnett-Cowan et al., 2010), 외부 자극에 반응하여 신체 균형을 유지하려는 자세 동요(postural sway)가 더 크게 나타나는 경향이 보고되어 왔다(Koslucher et al., 2016). 이에 따라 감각 간 불일치 상황에서 여성은 남성에 비해 생리적 스트레스를 보다 민감하게 경험할 가능성이 있으며(Mittelstaedt, 2020), 이러한 특성이 더 높은 멀미 민감도로 이어질 수 있다.

시각적 모션 큐 유무에 따른 멀미 완화 효과는 통계적으로 유의미하게 나타났으나, 모션 큐의 색상 변화(흑백 vs. 빨강) 간에는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다(Figure 4a). 이는 멀미 완화의 핵심 기제가 색채와 같은 보조적 시각 요소가 아니라, 시각적 모션 큐가 전달하는 감각 동기화 정보 자체에 있음을 시사한다. 다만, 본 연구는 흑백과 빨강의 두 가지 색상만을 비교하였으므로, 다양한 색상 및 채도 수준을 체계적으로 비교하는 후속 연구를 통해 색상 변화의 추가적 효과를 보다 면밀히 검토할 필요가 있다.

본 연구의 결과는 대중교통 환경에서 모바일 기기를 사용하는 승객의 멀미를 줄이고 전반적인 사용자 경험의 질을 향상시키는 데 시각적 모션 큐가 중요한 역할을 할 수 있음을 보여준다. 특히, 시각적 모션 큐는 멀미를 완화하면서도 비운전 과업 수행을 방해하지 않는 것으로 나타났으며, 집중도 점수에서 조건 간 유의한 차이가 나타나지 않은 결과는 다음과 같이 해석할 수 있다. 첫째, 영상 시청은 독서나 게임에 비해 인지 부하가 상대적으로 낮은 과업으로(Müller et al., 2021), 멀미가 유발되는 상황에서도 과업 수행 능력이 크게 저하되지 않았을 가능성이 있다. 둘째, 시각적 모션 큐는 화면의 주변부(peripheral area)에 제공되도록 설계되어 있어, 중심시가 집중하는 영상 콘텐츠에 대한 간섭이 최소화되었을 수 있다. 이러한 설계적 특성이 모션 큐가 집중도를 방해하지 않으면서 동시에 향상시키지도 않는 결과로 이어졌을 수 있다. 셋째, 10문항의 객관식 테스트가 집중도 수준의 미세한 차이를 변별하기에 충분한 민감도를 갖추지 못하였을 가능성도 배제할 수 없다. 향후 연구에서는 시선 추적, 반응 시간 등 행동적·생리적 지표를 함께 활용하여 모션 큐가 과업 집중도에 미치는 영향을 더 정밀하게 분석할 필요가 있다.

본 연구는 기존 연구들이 주로 시뮬레이터나 통제된 실험 환경에 의존해 왔던 한계를 넘어 실제 버스 주행 환경에서 그 효과를 검증했다는 점에서 의의가 크다. 또한 동일 노선과 동일 좌석 조건을 유지한 상태에서 실제 교통 상황의 변동성을 반영함으로써, 시각적 모션 큐가 현실적인 대중교통 이용 맥락에서도 적용 가능하고 안정적으로 작동할 수 있음을 확인하였다. 이는 향후 대중교통 인포테인먼트 시스템 설계 및 멀미 예방 기술 개발의 중요한 기반이 될 수 있으며, 사용자의 불편을 줄이고 이동 중 생산성 및 여가 활동의 질을 높이는 데 기여할 수 있다. 추가적으로, 향후 레벨 4 이상의 자율주행 차량이 보편화될 미래 모빌리티 환경에서 비운전 과업의 수행은 더욱 보편화될 것이며(Kyriakidis et al., 2015; Müller et al., 2021; Tang et al., 2020), 이는 과거 운전자였던 탑승객들에게도 심각한 멀미 증상을 야기할 수 있다. 따라서 대중교통 환경에서 확인된 멀미 완화 기술이나, 차량의 움직임을 미리 인지시키는 시각적 단서 제공 방식은 미래 자율주행차의 수용성을 높이기 위한 기술적 기반이 될 것이다.

본 연구는 대중교통 환경에서 시각적 모션 큐가 멀미 완화에 미치는 영향을 실제 버스 주행 환경에서 확인하였다. 그럼에도 불구하고 몇 가지 한계점이 존재한다. 첫째, 본 연구에서는 VMC_Grayscale 조건(iOS, iPhone 15 Pro)과 VMC_Red 조건(Android, Galaxy S23)의

구현을 위해 서로 다른 운영체제 및 소프트웨어 플랫폼을 사용하였다. 두 플랫폼 간에는 운영체제, 앱 구현 방식, 모션 큐 렌더링 방식 등에서 차이가 존재할 수 있으며, 이러한 요인이 색상 조건 비교 결과에 부분적으로 영향을 미쳤을 가능성을 완전히 배제하기 어렵다. 향후 연구에서는 동일 플랫폼 또는 통일된 커스텀 앱 환경에서 색상 변화 조건만을 독립적으로 조작하여 재검증하는 것이 바람직하다. 둘째, 본 연구는 실험 과업을 모바일 영상 시청으로 제한하였다는 점이다. 멀미 반응은 과업 유형이나 난이도에 따라 달라질 수 있으므로, 향후 연구에서는 텍스트 읽기, 게임, 상호작용 과업 등 다양한 비운전 과업 유형에서 시각적 모션 큐의 효과를 검증할 필요가 있다. 셋째, 실제 대중교통 환경에서 실험을 수행했지만, 교통 상황의 급작스러운 변동(급정거, 차로 변경, 교통 체증 등)을 완전히 통제하지 못했다. 이러한 요인은 멀미 발생에 영향을 줄 수 있으므로, 후속 연구에서는 보다 다양한 주행 조건을 반영하거나 시뮬레이션과 결합한 혼합 연구 설계를 고려할 필요가 있다. 넷째, 연구 참여자가 특정 연령대와 경험층으로 제한되어 있어, 연구 결과를 모든 대중교통 이용자에게 일반화하는 데 한계가 있다. 연령, 성별, 대중교통 이용 경험 등에 따른 멀미 민감도의 차이를 고려한 후속 연구가 필요하다. 다섯째, 멀미와 집중도 평가는 주로 주관적 설문 지표에 의존하였다. 향후 연구에서는 심박수, 피부전도, 시선 추적 등 생리적 및 행동적 지표를 함께 활용하여 시각적 모션 큐의 효과와 기전을 보다 객관적으로 분석할 필요가 있다. 마지막으로 본 연구는 단기 노출 실험을 기반으로 하였기 때문에, 시각적 모션 큐를 장시간 사용했을 때의 적응 효과나 피로 누적 가능성에 대해서는 충분히 검토하지 못하였다. 장시간 이용 조건에서의 효과 지속성과 사용자 수용성 검증이 필요하다.

5. Conclusion

본 연구는 대중교통 환경에서 시각적 모션 큐가 승객의 멀미 완화와 비운전 과업 수행에 미치는 영향을 실제 버스 주행 환경에서 검증하였다. 실험 결과, 시각적 모션 큐가 제공되는 조건에서 참여자의 평균 멀미 점수가 유의하게 감소하였으며, 흑백과 빨강 색상 조건을 비교한 결과에서는 빨강 조건이 다소 낮은 멀미 점수를 나타냈으나 통계적 유의성은 확보되지 않았다. 또한, 시각적 모션 큐는 모바일 영상 시청 과업 수행 시 주의 집중을 방해하지 않아, 승객이 이동 중에도 과업 수행과 멀미 완화를 동시에 경험할 수 있음을 확인하였다.

이러한 결과는 시각적 모션 큐가 실제 대중교통 이용 상황에서도 승객의 시각·체감 정보 간 불일치를 줄임으로써 감각 충돌을 완화하고, 멀미를 효과적으로 줄일 수 있음을 보여준다. 특히, 본 연구는 동일 노선과 동일 좌석 조건을 유지한 상태에서 실제 교통 상황의 변동성을 반영하여 실험을 수행하였다는 점에서, 기존 시뮬레이터 기반 연구를 보완한다. 이를 통해 시각적 모션 큐가 현실적인 대중교통 이용 환경에서도 안정적으로 작동할 수 있음을 확인하였다.

본 연구의 결과는 시각적 모션 큐가 대중교통 인포테인먼트 시스템 설계 및 멀미 예방 기술 개발에 적용될 수 있음을 시사하며, 승객의 불편을 줄이고 이동 중 생산성 및 여가 활동의 질을 향상시키는 데 기여할 수 있다. 아울러, 본 연구에서 확인된 색상 변화의 제한적 효과는 멀미 완화의 핵심 요인이 시각적 단서 자체임을 보여주며, 향후 기술 설계 시 부차적 요소보다는 감각 충돌 완화 기능에 중점을 두어야 함을 제시한다.

향후 연구에서는 다양한 비운전 과업 유형, 장시간 이용 조건, 연령·성별·대중교통 이용 경험을 반영하여 시각적 모션 큐의 효과를 보다 포괄적으로 검증할 필요가 있다. 또한, 주관적 평가뿐 아니라 심박수, 피부전도, 시선 추적 등 생리적 및 행동적 지표를 함께 활용하여, 시각적 모션 큐의 멀미 완화 기전과 적용 가능성을 보다 객관적으로 분석하는 것이 요구된다.

References

Barnett-Cowan, M., Dyde, R., Thompson, C. and Harris, L., Multisensory determinants of orientation perception: task-specific sex differences. *European Journal of Neuroscience*, 31(10), 1899-1907, 2010.

Camgöz, N., Yener, C. and Güvenç, D., Effects of hue, saturation, and brightness: Part 2: Attention. *Color Research and Application*, 29(1), 20-28, 2004.

Diels, C. and Bos, J.E., Self-driving carsickness. *Applied Ergonomics*, 53(Part B), 374-382, 2016.

Dobie, T.G., McBride, D.K., Dobie, T.G. Jr, and May, J.G., The effects of age and sex on susceptibility to motion sickness. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 72(1), 13-20, 2001.

Elliot, A.J. and Maier, M.A., Color Psychology: Effects of Perceiving Color on Psychological Functioning in Humans. *Annual Review of Psychology*, 65, 95-120, 2014.

Gianaros, P.J., Muth, E.R., Mordkoff, J.T., Levine, M.E. and Stern, R.M., A questionnaire for the assessment of the multiple dimensions of motion sickness. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 72(2), 115-119, 2001.

Golding, J.F., Predicting individual differences in motion sickness susceptibility by questionnaire. *Personality and Individual Differences*, 41(2), 237-248, 2006.

Griffin, M.J. and Newman, M.M., Visual field effects on motion sickness in cars. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 75(9), 739-748, 2004.

Huppert, D., Grill, E. and Brandt, T., Survey of motion sickness susceptibility in children and adolescents aged 3 months to 18 years. *Journal of Neurology*, 266(Suppl 1), 1-9, 2019.

Jang, H.K., Kim, S.H., Song, C.M., Kim, S.H. and Hong, S.I., Study on the Motion Sickness Dose Values in Express Buses. *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, 13(7), 548-554, 2003.

Karjanto, J., Yusof, N.M., Wang, C., Terken, J., Delbressine, F. and Rauterberg, M., The effect of peripheral visual feedforward system in enhancing situation awareness and mitigating motion sickness in fully automated driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 58, 678-692, 2018.

Kim, S.H. and Kim, J.Y., The Study of Interaction Design for Preventing and Reducing of Carsickness of Passengers in an Autonomous Mobility. *Journal of Digital Convergence*, 18(8), 447-457, 2020.

Klosterhalfen, S., Kellermann, S., Pan, F., Stockhorst, U., Hall, G. and Enck, P., Effects of ethnicity and gender on motion sickness susceptibility. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 76(11), 1051-1057, 2005.

Koslucher, F., Haaland, E. and Stoffregen, T.A., Sex differences in visual performance and postural sway precede sex differences in visually induced motion sickness. *Experimental Brain Research*, 234(1), 313-322, 2016.

Kyriakidis, M., Happee, R. and de Winter, J.C.F., Public opinion on automated driving: Results of an international questionnaire among 5000 respondents. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 32, 127-140, 2015.

Li, D., Tang, B., Yu, T., Chen, L., Zhou, K., Qie, N., Shi, Y., Lu, C. and Zhang, H., Can we use smart phone on a moving vehicle without worrying about carsickness? Developing an effective motion cue APP with driving simulator and real vehicle experiments. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 41(12), 1-15, 2024.

McGill, M., Ng, A. and Brewster, S., I am the passenger: How visual motion cues can influence sickness for in-car VR. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 3010-3021, 2017.

Metzulat, M., Metz, B., Landau, A., Neukum, A. and Kunde, W., Does the visual input matter? Influence of non-driving related

tasks on car sickness in an open road setting. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 104, 234-248, 2024.

Mittelstaedt, J., Individual predictors of the susceptibility for motion-related sickness: a systematic review. *Journal of Vestibular Research*, 30(2), 99-122, 2020.

Müller, A.L., Fernandes-Estrela, N., Hetfleisch, R., Zecha, L. and Abendroth, B., Effects of non-driving related tasks on mental workload and take-over times during conditional automated driving. *European Transport Research Review*, 13(16), 1-13, 2021.

Pöhlmann, K.M.T., Auf Der Heyde, M.S.K., Li, G., Verstraten, F., Brewster, S.A. and McGill, M., Can visual motion presented in a VR headset reduce motion sickness for vehicle passengers? In *Adjunct Proceedings of the 14th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI '22)*, 11-16, 2022.

Reason, J.T. and Brand, J.J., *Motion Sickness*. Academic Press, 1975.

Reason, J.T., Motion Sickness Adaptation: A Neural Mismatch Model 1. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 71(11), 819-829, 1978.

Shin, J.H., *Current Status of Video Content Use while Using Public Transportation*, KISDI STAT Report, 14-03-01, Korea Information Society Development Institute, 2014.

Sivak, M. and Schoettle, B., *Motion sickness in self-driving cars* (Report No. UMTRI-2015-12). University of Michigan Transportation Research Institute, 2015.

Tang, P., Sun, X. and Cao, S., Investigating user activities and the corresponding requirements for information and functions in autonomous vehicles of the future. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 80, 103044, 2020.

Turner, M. and Griffin, M.J., Motion sickness in public road transport: passenger behaviour and susceptibility. *Ergonomics*, 42(3), 444-461, 1999.

Wilms, L. and Oberfeld, D., Color and emotion: Effects of hue, saturation, and brightness. *Psychological Research*, 82(5), 896-914, 2018.

Author listings

Gwangmin Kim: kimgwangmin48@gmail.com.
Highest degree: Undergraduate student, Department of Industrial Engineering, Keimyung University
Position title: Student, Department of Industrial Engineering, Keimyung University
Areas of interest: User-centered design

Minsu Park: md113203@naver.com
Highest degree: Undergraduate student, Department of Industrial Engineering, Keimyung University
Position title: Student, Department of Industrial Engineering, Keimyung University

Areas of interest: Safety, User Experience (UX), Autonomous Driving, Big Data

Jewook Hwang: dindim02@naver.com
Highest degree: Undergraduate student, Department of Industrial Engineering, Keimyung University
Position title: Student, Department of Industrial Engineering, Keimyung University
Areas of interest: User Experience (UX), Universal Design

Yihun Jeong: yihunjeong@kmu.ac.kr
Highest degree: Ph.D., Department of Industrial Engineering, Seoul National University
Position title: Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Keimyung University
Areas of interest: Cognitive Ergonomics, Usability Evaluation, Vehicle Ergonomics, Safety