

Design and Validation of Vehicle UX for Driving Comfort Enhancement

Jiwon Shin¹, Taehun Kim², Jongmyung Lee³, Dongseok Lee³, Myungbin Choi², Hongin Park¹, Hyunsik Seo¹, Huhn Kim^{4*}

¹Department of Mechanical Information Engineering, Master's Student, Seoul National University of Science Technology, Seoul, Korea

²Creative UX Team, Hyundai Mobis, Yongin, Korea

³Rainmaker Design & Consulting, Seoul, Korea

⁴Department of Mechanical System Design Engineering, Professor, Seoul National University of Science & Technology, Seoul, Korea

Abstract

Background The driver's psychological state while driving directly influences key aspects of driving performance, including attention, judgment, and reaction speed. Negative emotions such as anxiety, stress, and confusion can heighten the risk of accidents, while excessive relaxation may lead to dangers such as drowsy driving. In this context, supporting drivers in maintaining a state of psychological comfort while driving emerges as a critical factor closely tied to road safety. Accordingly, this study proposed five UX design concepts for driving comfort enhancement and verified their usefulness.

Methods This study was conducted in four stages. First, we derived the definition and structure of driving comfort through literature research. Second, we benchmarked existing vehicle comfort-related functions and identified requirements based on actual driving experiences through semi-structured interviews with experienced drivers. Third, based on a customer journey map, we brainstormed to generate multiple ideas and selected five core comfort-supporting user experience (UX) design concepts (Happy calm, Smart ambient light, Head-up display (HUD) lane-width guide, Smart room mirror, and Sliding sun visor). Fourth, we implemented the concepts in a unity-based simulator environment and experimentally verified the comfort effects through galvanic skin response (GSR) and subjective evaluations.

Results The experimental results showed that under conditions where the comfort-supporting UX design was applied, the arousal levels of the participants were significantly lower and more stable in terms of GSR and skin conductance response (SCR) indicators, and the stress recovery time was also shortened. In the subjective comfort evaluation, the scores were significantly higher when the UX design was applied. Notably, the sliding sun visor and HUD lane-width guide received the most positive responses in the user usefulness assessment.

Conclusions This study establishes the concept of driving comfort through literature review and empirically demonstrates the effectiveness of comfort support strategies that integrate various approaches such as emotion regulation, cognitive load reduction, and situational awareness support. Future research is needed to verify long-term effects in real road environments and to develop personalized UX strategies tailored to individual drivers.

Keywords Driving Comfort, Emotion Regulation, Emotion Maintenance, Bio Signals, Galvanic Skin Response

This research was supported by Hyundai Mobis and published based on master's thesis of the first author.

*Corresponding author : Huhn Kim (huhnkim@seoultech.ac.kr)

Citation: Shin, J., Kim, T., Lee, J., Lee, D., Choi, M., Park, H., Seo, H., & Kim, H. (2025). Design and Validation of Vehicle UX for Driving Comfort Enhancement. *Archives of Design Research*, 38(4), 191-211.

<http://dx.doi.org/10.15187/adr.2025.11.38.4.191>

Received : Sep. 23. 2025 ; **Reviewed :** Oct. 26. 2025 ; **Accepted :** Oct. 28. 2025

pISSN 1226-8046 **eISSN** 2288-2987

Copyright : 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 educational and non-commercial use, provided the original work is properly cited.

1. 서론

1. 1. 연구의 배경 및 목적

운전자의 심리 상태는 실제 운전 능력에 중대한 영향을 미친다. 불안하거나 긴장한 상태의 운전자는 차량 조작이 부자연스러워지고 판단력과 상황 인지가 저하되어 사고 위험이 커질 수 있다. 반대로 지나치게 이완되거나 지루한 상태 역시 졸음운전과 같은 또 다른 위험 요인으로 작용한다. 따라서 도로 환경에서 운전자가 최적의 심리 상태를 유지할 수 있도록 지원하는 것은 교통안전과 사고 예방의 핵심 과제이다. 이에 본 연구는 운전자의 심리적·생리적 상태를 반영한 ‘운전 안정감’의 개념을 정의하고, 사용자 경험 디자인의 방법론을 통해 운전 안정감 향상을 위한 차량 UX의 디자인 방향을 제시하고 이를 실증적으로 검증하였다.

1. 2. 연구 범위 및 방법

본 연구는 운전 안정감 향상을 위한 UX 디자인 안을 수립하고 이를 실험적으로 검증하는 체계적인 연구 과정을 수행하였다.

1단계에서는 운전 안정감의 개념을 명확히 정의하고 영향 인자들을 도출하기 위해 관련 문헌을 종합적으로 검토하였다. 또한 기존의 감정 분류 이론 및 운전자 상태 평가 모델을 분석하여 운전 안정감 개념의 이론적 틀을 정립하였다.

2단계에서는 문헌 조사, 벤치마킹, 운전자 인터뷰를 통해 운전 안정감 향상 방안을 다각적으로 탐색하였다. 문헌 분석을 통해 운전자 정서 관리와 스트레스 완화 기법에 대한 이론적 기반을 마련하고, 벤치마킹을 통해 기존 차량에 적용된 안정감 향상 기술 및 적용 맥락을 분석하였다. 아울러, 운전 경험이 풍부한 운전자를 대상으로 반구조화 인터뷰를 시행하여 운전 중에 발생하는 감정 변화 및 주의 분산 요인에 대한 정성적 데이터를 수집하였다.

3단계에서는 수집된 데이터를 바탕으로 운전 안정감 향상을 위한 고객 여정 지도(Customer journey map)를 작성하고, 구체적인 UX 디자인 아이디어를 도출하였다. 이 과정에서 운전자의 심리 상태를 조절·완화하는 다양한 디자인 방안을 제안하였으며, 이 중 운전자 안정감 지원에 핵심적인 다섯 가지의 차량 UX 디자인 안을 선정하였다.

마지막으로, 도출된 다섯 디자인 안을 운전 시뮬레이터 환경으로 구현하여 실험적으로 그 유용성을 검증하였다. 피부전도도(GSR, Galvanic skin response)를 측정하여 제안한 UX 디자인 안이 운전자의 심리적 안정감에 미치는 영향을 객관적으로 평가하였으며, 그 효과성을 확인하였다.

2. 운전 안정감 영향 요인

운전 중 경험하는 안정감은 다양한 요인에 의해 영향을 받으며, 이들은 운전자의 심리적 상태와 전체 주행 경험에 깊게 관여한다. 이러한 요인을 체계적으로 이해하는 것은 효과적인 운전 안정감 지원을 위한 UX 디자인에 필수적이다.

운전 중에 발생하는 정서적 반응의 70% 이상이 교통 상황(예. 교통 체증, 복잡한 교차로, 위험한 추월)과 타 운전자의 행동(예. 공격적 운전, 급격한 차선 변경, 과속)에 의해 유발된다(Braun et al., 2018). 또한, 약속 지각이나 목표 시간 내 도착 요구와 같은 시간 압박은 스트레스와 불안을 심화시키는 주요 요인으로

확인되었다. 날씨와 도로 조건(예. 폭우, 안개, 눈, 미끄러운 도로) 역시 시야 제한과 차량 제어의 불확실성을 높여 안정감을 저해하는 요인으로 작용한다. 브라운 등(Braun et al., 2021)은 이러한 요인을 크게 외부 환경적 요인, 차량 관련 요인, 운전자 내부 요인으로 분류하였다. 외부 환경적 요인에는 교통 체증, 공격적 운전자 행동, 악천후가 포함되며, 차량 관련 요인으로는 기술적 결함, 복잡한 인터페이스, 멀티태스킹 상황이 주요 원인으로 지적된다. 운전자 내부 요인에는 시간 압박, 개인적 스트레스, 운전 경험 부족, 자신감 결여 등이 포함되며, 이는 불안과 긴장을 유발한다.

제프 등(Zepf et al., 2019)은 실제 도로 주행 실험을 통해 운전 중 정서적 반응을 유발하는 요인들을 분석하였다. 운전자들은 주로 (1) 예측 불가능한 상황(예. 갑작스러운 보행자 출현, 예상치 못한 도로 장애물), (2) 시간 제약(예. 약속 지각, 교통 체증으로 인한 지연), (3) 제어 상실감(예. 미끄러운 도로, 차량 오작동), (4) 다중 작업 부담(예. 내비게이션 확인, 동승자와의 대화)에서 불안감과 스트레스를 경험하였다. 특히 이러한 요인들은 단독으로 작용하기보다 상호 복합적으로 작용하여 감정적 반응을 심화시켰다. 예를 들어, 시간 제약 상황에서 예측 불가능한 교통 상황과 맞닥뜨리면 스트레스 수준은 급격히 상승하는 경향이 있다.

이와 같은 영향 요인을 종합하여 운전 안정감 영향 모델을 Figure 1과 같이 도식화하였다. 운전자는 날씨, 시간, 도로 교통, 주변 객체, 동승자 등 다양한 요인으로부터 스트레스를 받을 수 있으며, 동시에 차량 운전, 시스템 조작, 차량 상태 확인 등의 작업도 수행해야 한다. 스트레스(Stress)는 운전자가 상황적 요구에 능동적으로 대응하지 못할 때 발생하는 심리적 반응으로, 지각, 인지, 주의, 기억 등에 부담을 주는 인지적 작업과 밀접한 관련이 있다. 반면, 작업 부하(Workload)는 운전 수행에 필요한 신체적 노력의 정도를 의미하며, 핸들 조작, 페달 조작, 내비게이션 조작 등 구체적인 신체 활동과 연관된다. 과도한 스트레스와 작업 부하는 운전자의 안정감을 저하시켜 사고 위험을 높일 수 있으므로, 다양한 상황에서 운전자가 경험할 수 있는 스트레스와 워크로드를 효과적인 UX 디자인을 통해 적절히 조절하여 안정감을 유지할 수 있도록 지원하는 것이 중요하다.

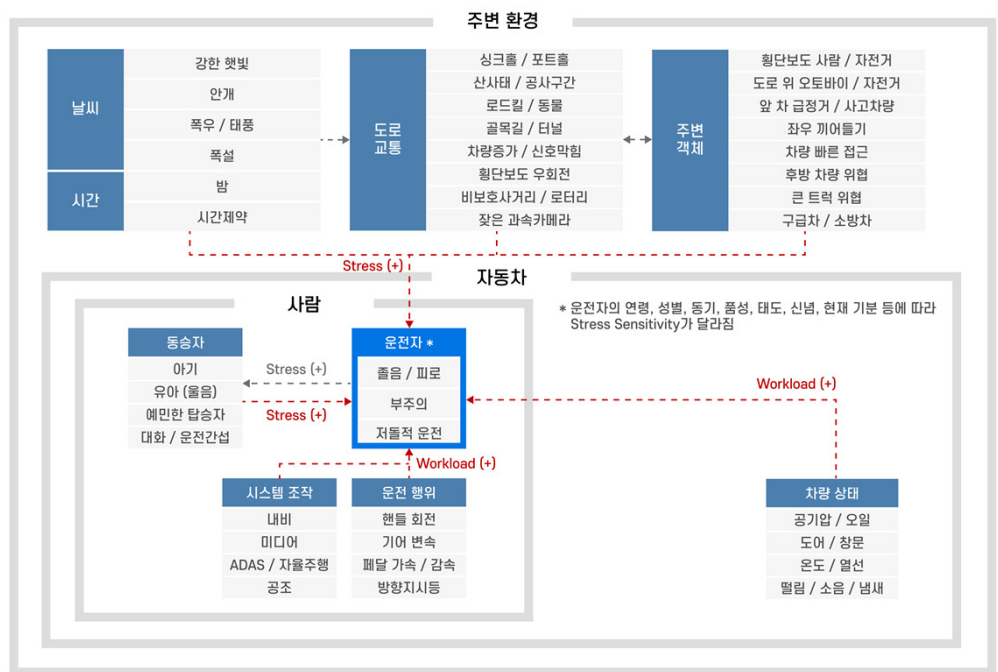


Figure 1 Model of factors influencing driving comfort

3. 운전 안정감의 정의

3. 1. 감정과 운전 행동의 관계

운전자의 감정 상태는 정보 처리, 상황 판단, 주의 분산, 위험 인지 등 안전 운전엔 필수적인 요소에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 감정과 운전 행동의 상호작용을 이해하는 것은 안정감 향상을 위한 UX 디자인의 핵심 기반이 된다.

부정적 감정을 가진 운전자는 위험 상황에서 브레이크를 밟는 반응 시간이 느려진다(Zhang et al., 2020). 이는 부정적 감정이 인지적 자원을 과도하게 소모하여 집중력을 저하시키기 때문으로 해석된다. 이때 부정적 감정의 세부 유형에 따라 그 영향도 다르게 나타난다. 분노 상태의 운전자는 오류 빈도가 높고 차선 유지와 교통 규칙 준수에 취약하나, 공포 상태의 운전자는 높은 작업 부하를 보이거나 방어적 운전 패턴으로 낮은 오류율을 나타낸다(Jeon et al., 2011). 슬픔 역시 부정적 감정의 한 유형으로, 분노와 유사하게 운전 능력 저하를 초래하지만, 운전자는 이러한 능력 저하를 인식하지 못하는 경향이 있다고 한다(Jeon, 2016). 또한, 전과 크로셰어(Jeon & Croschere, 2015)는 슬픔 상태의 운전자가 주행 시간이 증가하고 위험 대응 속도가 느려지는 경향이 있음을 보고하였다. 이는 슬픔이 인지 처리 속도를 저하시키고 주의력을 분산시켜, 운전자가 자각하지 못하는 사이 안전성을 해칠 수 있음을 시사한다.

긍정적 감정의 영향도 주목할 필요가 있다. 행복한 감정은 위험 상황에 대한 반응 시간을 다소 지연시키며(Zimasa et al., 2017), 주의력 분배와 이중 작업 수행 능력을 떨어뜨릴 가능성이 있다고 한다(Steinhauser et al., 2018). 이처럼 운전자의 감정은 그 유형과 강도에 따라 운전 행동에 상이한 영향을 미치며, 이는 안전 운전엔 있어 감정 조절 능력이 핵심 역량임을 시사한다.

3. 2. 안정감의 정의

운전 상황에서의 안정감은 단순히 부정적 감정이 없는 상태를 넘어서는 복합적인 심리적 상태를 의미한다. 이를 체계적으로 이해하기 위해서는 심리학적 감정 모델에 대한 고찰이 필요하다. 감정 연구 분야에서 널리 활용되는 러셀(Russell, 1980)의 정서-각성(Valence-Arousal) 모델은 Figure 2와 같이 감정 상태를 두 가지의 핵심 차원으로 구분하였다. 정서 차원은 감정의 긍·부정 정도를, 각성 차원은 생리적·심리적 각성 수준을 나타낸다. 이 두 차원의 조합을 통해 다양한 감정 상태를 2차원 좌표평면에 위치시킬 수 있으며, 이는 운전 맥락에서 감정 상태를 분석하는 데 유용한 분석 틀을 제공한다.

예르케스-도슨의 법칙(Yerkes & Dodson, 1908)에 따르면, 인간의 수행 능력은 각성(Arousal) 수준과 역U자 곡선의 관계에 있다. 적정 수준의 각성 상태에서 최적의 수행이 이루어지며, 각성이 지나치게 낮거나 높으면 성과가 저하된다. 이와 유사하게, 차이와 린(Cai & Lin, 2011)은 운전자의 감정 상태와 주행 성능 간의 관계를 실험적으로 분석하였는데, 중간 수준의 각성과 긍정적 정서가 결합한 상태에서 가장 우수한 성과가 나타남을 보고하였다. 또한, 브라운 등(Braun et al., 2021)은 기존 문헌을 종합적으로 분석하여, 안전 운전의 최적 조건으로 중간 수준의 각성과 다소 높은 긍정적 정서 감정의 결합 상태를 제시하였다.

이상의 연구 결과를 종합하면, 운전 맥락에서의 안정감은 정서-각성 모델상에서 중간 수준의 각성과 적절한 긍정적 감정이 결합된 상태이다. 본 연구에서는 이를 다음과 같이 정의하였다: 운전 안정감은 “운전자가 주행 중 다양한 스트레스와 작업 부하에 적절히 대응하며, 중간 수준의 각성과 긍정적 정서를 유지하여 최적의 운전 수행 능력을 달성하는 심리적 상태”를 의미한다. 이는 즐거움과 평온함이 조화를 이루는 상태인 해피칼름(Happy-calm; Gomez et al., 2004) 상태를 뜻하며, Figure 2에서 정서(Valence) 축의 긍정 영역과 각성(Arousal) 축의 중간 수준이 교차하는 지점에 해당한다.

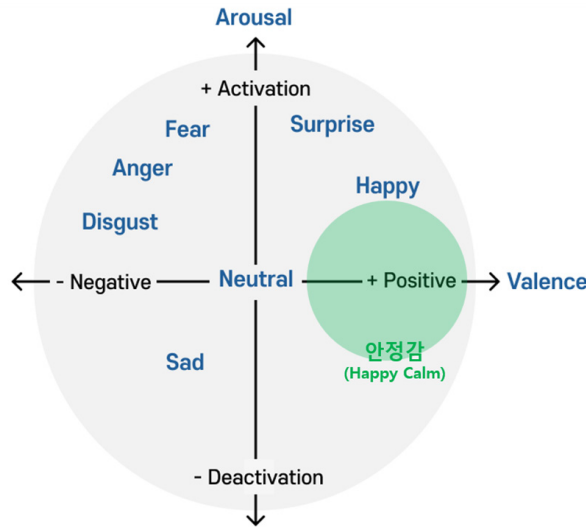


Figure 2 Emotional position of driving comfort in the Russell model

4. 운전 안정감 향상 방안

4. 1. 감정 유지 및 조절 전략

운전 안정감 향상을 위한 접근법은 크게 감정 유지(Emotion maintenance)와 감정 조절(Emotion regulation) 전략으로 구분된다(Schulz, 2021; Li et al., 2024). 감정 유지 전략은 운전자의 정서 상태가 해피감 수준에서 벗어나는 상황을 예방하여 안정된 감정 상태를 지속시키는 것을 목표로 한다. 예를 들어, 신호 대기 중 앞차가 출발하면 경고음을 통해 이를 알려주는 기능은 앞차 출발을 인지하지 못해 뒤차의 경적에 급히 출발해야 하는 운전자의 당혹스러운 상황을 방지할 수 있다. 또 다른 예로, 고속도로에서 후방 차량이 고속으로 접근해 룸미러에 갑자기 보일 경우 운전자는 깜짝 놀랄 수 있는데, 이때 후방 접근 차량을 룸미러에 미리 알려준다면 부정적 감정의 발생을 막을 수 있다. 이처럼 효과적인 감정 유지를 위해서는 다양한 운전 상황을 분석하고, 해피감 상태에서의 감정이탈 가능성을 사전에 차단할 수 있는 기능을 제공하는 것이 필요하다.

반면, 어떤 운전 상황은 사전 예측이 불가능하여 감정 유지 전략을 적용하기 어렵다. 예를 들어, 옆 차의 갑작스러운 끼어들기는 사전에 이벤트 발생을 막거나 대응할 수 없는 경우여서 사후적 개입만이 가능하다. 감정 조절 전략은 이벤트 발생 이후 운전자의 정서가 해피감 수준에서 벗어났을 때, 배경음악, 엠비언트 라이트, 공감형 음성 시스템, 호흡 중재 기법, 상태 피드백 시스템 등을 활용하여 운전자의 감정을 신속하게 안정시키는 것을 목표로 한다. 각 기법에 관한 기존 연구는 4.1.1~4.1.5절에서 상세히 다루었다.

4. 1. 1. 배경음악

파크르호세이니와 전(FakhrHosseini & Jeon, 2019)은 긍정적 정서를 유발하는 음악이 분노 상태의 운전자가 범할 수 있는 운전 오류를 유의하게 감소시킨다고 하였다. 또한, 개인적으로 더 선호하는 음악이 스트레스 완화에 효과적이라고 한다(Fakhrhosseini et al., 2014). 이러한 결과는 음악이 감정 조절을 위한 효과적인 도구가 될 수 있음을 시사한다.

4. 1. 2. 엠비언트 라이트(Ambient Light)

여러 연구에서 차량 내부 조명이 운전자의 정서 상태와 각성 수준에 상당한 영향을 미치는 것으로 보고되었다. 스피리돈과 페어클러프(Spiridon & Fairclough, 2017)는 청색광 자극이 분노를 감소시키고 혈압을

안정시키는 효과가 있음을 입증하였다. 파란색 조명은 낮은 각성을 유도하여 운전자에게 편안함을 제공하는 반면, 주황색 조명은 높은 각성을 유도하여 운전자가 자신의 주행 행동을 더 비판적으로 인지하도록 만든다고 한다(Hassib et al., 2019). 한편, 엘젠디와 메논(Elgendi & Menon, 2020)은 스트레스 수준에 따라 색채를 조절해 주는 맞춤형 조명 시스템을 제안하였다. 구체적으로, 스트레스 지수가 낮을 때는 녹색 조명을 사용하여 차분한 상태를 유지하게 하고, 높을 때는 붉은 조명과 차분한 음악을 병행하여 경고하며 차량 정차를 유도하는 방식을 제시하였다.

4. 1. 3. 공감 음성(Empathic Speech)

브라운 등(Braun et al., 2019)은 엠비언트 라이트, 시각적 알림, 일반 음성 도우미, 공감형 음성 도우미 등 네 가지의 상호작용 방식이 운전자 감정에 미치는 효과를 비교하였다. 그 결과, 운전자의 감정을 인식하고 이에 적합한 공감적 대화를 제공하는 음성 도우미가 부정적 감정을 개선하는 데 가장 효과적이며, 사용자 선호도 또한 가장 높았다. 유 등(Yoo et al., 2023)은 분노 상태의 운전자를 대상으로 인지적 대처 전략의 효과를 검증한 결과, 타 운전자의 행동을 함께 비난하는 공감 전략이 분노 완화에 가장 효과적임을 확인하였다. 이러한 결과는 에이전트가 운전자의 감정을 인정하고 공감하는 것이 감정적 유대감 형성에 핵심적임을 시사한다. 종합적으로, 이러한 연구들은 음성 인터페이스가 단순한 정보 전달을 넘어 운전자와의 감정적 교류를 통해 안전과 안정감 향상에 기여할 수 있음을 보여준다.

4. 1. 4. 호흡 기반 중재

호흡 패턴은 자율신경계와 밀접하게 연관되어 있어, 호흡 조절을 통해 운전자의 생리적 및 심리적 상태에 영향을 줄 수 있다. 느린 호흡은 교감신경계 활성화를 억제하여 스트레스 수준이 높은 운전자에게 진정 효과를 제공하며, 반대로 빠른 호흡은 각성을 높여 피로나 졸음 상태 운전자의 주의력을 증가시킨다. 따라서 다양한 호흡 기반의 안정감 향상 기법은 스트레스 경감에 효과적이라고 한다(Balters et al., 2020). 배경음, 송풍, 엠비언트 라이트 등을 활용한 다양한 호흡 조절 방식을 비교한 연구에 따르면(Lee et al., 2021), 운전자의 호흡 패턴과 동기화된 송풍 조절 방식이 가장 효과적이었다고 한다. 호흡 기반 중재 기법은 비침습적이고 자연스러운 방식으로 생리적·심리적 상태를 조절할 수 있다는 장점을 가지며, 다른 개입과 병행하면 시너지 효과를 기대할 수 있다.

4. 1. 5. 감정 및 생리 상태 시각화

운전자의 감정 및 생리 상태를 시각적으로 표현하는 상태 피드백 시스템은 자기 인식과 자기조절 능력을 강화하여 안정감 향상에 기여할 수 있다. 이 때, 부정적 감정 상태에 대한 일회성 경고보다는 지속적인 상태 표시가 더 선호되며, 연령, 운전 경험, 성격 특성에 따라 피드백 방식에 대한 선호가 달라 개인 맞춤형 설계가 필요하다(Braun, et al., 2019). 헤르난데스 등(Hernandez et al., 2014)은 차량 계기판의 색상 변화를 통해 운전자의 생리적 데이터를 시각화하는 시스템이 자기 인식을 높이고 자율 스트레스 조절을 촉진하는 데 효과적임을 보여주었다. 또한, 뵐켈 등(Völkel et al., 2018)은 피로 상태의 운전자를 대상으로, 생리적·감정적 상태를 시각화하는 피드백 시스템이 자기 인식을 높여 안전 운전을 지원하는 데 유효함을 확인하였다.

종합적으로, 운전 안정감 향상을 위한 UX 디자인은 다양한 감각 채널을 활용하고, 운전자의 상태와 특성에 최적화된 맞춤형 방식을 도입할 필요가 있다. 나아가, 여러 개입 전략을 상황에 따라 적절히 조합하는 통합적 접근이 더욱 높은 효과를 발휘할 수 있음을 시사한다.

4. 2. 안정감 지원 기능 벤치마킹

안정감 지원을 위한 상용 기술의 한계점을 파악하고, 안정감 지원 UX 디자인 안을 마련하기 위해 기존 차량에 대한 벤치마킹을 수행하였다. 벤치마킹 대상은 안정감 지원 기능을 많이 포함하고 있는 최고급 사양의 볼보 S90, 벤츠 S580, BMW i7 모델로 선정하였으며, 차량 사양서, 사용자 매뉴얼, 그리고 전문가 리뷰 내용을 분석하고 실차 시승을 통해 안정감 관련 기능을 조사하였다.

벤치마킹 결과, 모든 제조사가 충돌 방지 및 경고 시스템, 차선 이탈 방지, 차간 거리 유지, 사각지대 모니터링, 피로 감지 및 휴식 권고, 운전 패턴 학습 등 다양한 안전 기능을 갖추어 운전 안정감을 지원하고 있었다. 하지만, 운전 안정감 향상을 위한 UX 디자인은 단순한 안전 기능 제공을 넘어 운전자의 심리적·감성적 요구를 통합적으로 고려하는 접근이 필요함을 확인하였다. 주요 시사점은 다음과 같다. 첫째, 차량의 자동화 개입과 운전자의 자율성 간 균형이 핵심이다. 예를 들어, 볼보의 적극적 개입 방식은 높은 안정감을 제공하지만, 과도한 개입은 불편감이나 통제권 상실감을 초래할 수 있다. 반면, BMW의 맞춤형 환경 조성 옵션은 운전자의 자율성과 통제감을 강화한다. 둘째, 개인화와 맞춤형 경험은 안정감 확보에 중요한 요소다. 볼보의 개인화 루틴 설정과 BMW의 ‘My Modes’는 운전자가 자신의 선호에 맞게 주행 특성, 실내 분위기, 디스플레이 스타일 등의 환경을 조절해 심리적 안정감을 높여준다. 셋째, 직관적인 인터페이스와 다중 모달리티 접근은 조작 부담을 줄이고 안전성을 향상시킨다. BMW의 제스처 컨트롤과 양사의 고도화된 음성 인식 시스템이 이에 해당한다. 넷째, 동승자 경험의 고려 역시 운전 안정감에 간접적으로 기여할 수 있다. 예를 들어, BMW의 시어터 스크린은 동승자의 만족도를 높여 운전자의 간접적 스트레스를 완화한다.

4. 3. 운전자 반구조화 인터뷰 분석

운전 안정감에 관한 실제 운전자의 경험과 요구를 심층적으로 파악하기 위해 반구조화 인터뷰를 시행하였다. 인터뷰 대상자는 운전 경력 30년 이상의 전문 운전기사 2명과 25년 경력의 일반 운전자 1명으로, 모두 다양한 차종을 경험하였으며, 주로 벤츠, BMW, 포르쉐, 볼보 등 고급 외제차를 운전했거나 현재 운행 중이다.

인터뷰 결과, 도로 환경과 주행 조건은 운전 안정감에 직접적인 영향을 미쳤다. 예를 들어, 참여자 A는 좁은 골목길에서 갑작스럽게 등장한 아이로 인해 급정거한 경험을 언급하며, 예측 불가능한 상황이 불안감을 유발한다고 지적하였다. 또한, 날씨가 햇빛으로 인한 시야 제한도 안정감 저하 요인으로 나타났다. 차량 기능에 대한 신뢰도 역시 중요한 변수였다. 참여자 A는 차선 이탈 방지 기능이 도움 되었으나 불필요한 급정거로 인한 불편함도 경험했으며, 참여자 B는 일부 주행 보조 기능을 위험 요소로 인식해 비활성화하였다고 한다. 참여자 C는 볼보의 민감한 안전 시스템이 오히려 피로를 유발한다고 보고하였다.

운전자 특성과 동승자 태도 또한 안정감에 영향을 주었다. 전문 운전기사는 사전 경로 확인과 차량 점검 등 예방적 조치를 통해 안정감을 유지한다고 답했으나, 주로 가족과 동승하는 참여자 C는 주의 분산과 다중 작업 부담을 주요 저해 요인으로 꼽았다. 특히, 아이들의 소음과 요구로 집중력이 저하된다는 의견이 있었다. 차량 상태 인지도도 중요한 요인으로, 이상 진동이나 소음을 감지할 때 불안감이 증대되었다. 참여자 B는 이상 소음 발생 시 즉시 점검하는 습관이 있었고, 참여자 C는 풍절음이 심할 때 차량 상태에 대한 걱정이 커진다고 언급하였다. 이외에도, 상황별 안정감 저하 요인이 다양하게 제기되었다. 장거리 주행 시에는 신체적 피로와 졸음, 도심 주행에서는 예측 불가능한 교통 상황과 복잡한 도로 환경, 악천후 시에는 시야 제한과 차량 제어 어려움, 주차 시에는 공간 부족이나 차량 손상 우려가 주요 불안 요소로 나타났다.

종합적으로, 운전 안정감은 차량의 기술적 안전성뿐 아니라 운전자의 심리 상태, 동승자와의 관계, 그리고 차량과의 상호작용 경험이 복합적으로 작용한 결과임이 드러났다. 인터뷰로 도출된 안정감 향상 요구사항은 Table 1에 정리하였다.

Table 1 Requirements for improving comfort in various situations

유형	안정감 저해 요인		요구사항
정보 제공	장거리 주행	피로, 졸음, 단조로움	신호등 변경 시간 정보(HUD 표시)
			적절한 휴식 알림, 졸음 감지
			날씨/도로 상태에 따른 안전 운전 지원
	도심 주행	예측 불가능한 상황, 복잡한 교통	주행 중 차량 상태 지속적 표시
			주변 오토바이 감지 및 알림
			주변 위험 요소 알림, 신호 정보 제공
차량 제어	악천후	시야 제한, 차량 제어 어려움	과도한 ADAS 개입 조절 기능
			상황에 맞는 지능적 주행 보조
			차량 소음 원인 진단 기능
			시야 개선 기능
동승자 관리	가족 탑승	주의 분산, 요청 처리 부담	동승자 편의 기능 자동화
			아이들 멀미 방지 기능
			동승자 엔터테인먼트 개인화
			동승자 요청 자동 처리 기능
주행 환경	주차	차량 손상 우려, 공간 부족	주차 지원 시스템, 주변 차량 감지
			주차 공간 확인 및 기억 기능

5. 고객 여정 지도 및 UX 디자인

문헌 조사, 벤치마킹, 운전자 인터뷰 결과를 바탕으로 운전자의 안정감 향상을 위한 고객 여정 지도를 작성하고, 이를 기반으로 브레인스토밍하여 다양한 안정감 지원 UX 디자인 아이디어를 도출하였다. Figure 3에 제시된 바와 같이 고객 여정 지도는 탑승 전부터 차량 관리까지 총 네 단계로 구분하였으며, 각 단계에서 발생할 수 있는 다양한 운전자와 동승자의 경험을 분석하여 안정감 관련 불편한 점(Pain points)을 도출하였다. 이를 통해 총 285개의 불안정감 유발 요인과 해당 요인을 해소하거나 안정감을 지원할 수 있는 아이디어를 도출하였다. 그리고 ‘불안정감 감소 효과’, ‘차별성’, ‘개선·확장 가능성’을 기준으로 연구자들이 5점 척도 평가를 시행하여 96개의 핵심 아이디어를 선별하였다. 그 후, 본 연구에서는 다섯 가지의 핵심적인 차량 안정감 지원 UX 디자인 안을 최종 선별하여 구체화했으며, 해당 내용은 Table 2에 정리하였다. 다섯 안 중 ‘해피감’만이 감정 조절 전략에 해당하며, 나머지 안들은 모두 감정 유지 전략에 해당한다.

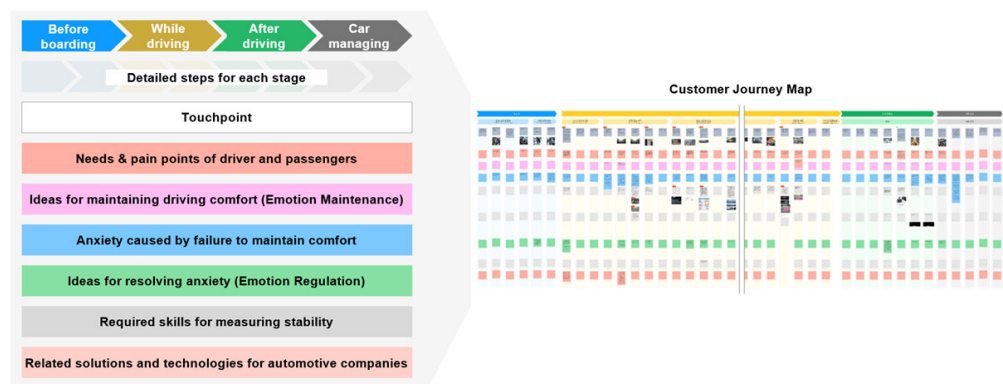


Figure 3 The process of deriving customer journey maps and generating comfort support ideas

6. 실험 및 결과

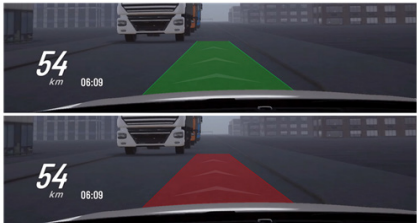
6. 1. 실험 목적

본 실험은 Table 2에 제시된 UX 디자인 안을 운전 시뮬레이터 환경으로 구현하고, 각 디자인이 운전자의 심리적 안정감에 미치는 영향을 객관적으로 검증하는 데 목적이 있다. 이를 위해 운전자의 심리적 안정감을 정량적으로 측정할 수 있는 생리적 지표인 피부전도도(GSR)를 주관적 평가 데이터와 함께 수집하였다.

6. 2. 실험 시스템

Table 2의 UX 디자인이 효과적으로 작동할 수 있도록, 운전자가 불안정감을 느낄 수 있는 9가지 유형의 상황(잔잔한 빗길, 과속 단속, 전방 저속 차량, 도로 장애물, 끼어들기, 교차로 우회전, 강한 햇빛, 후방 추격 차량, 좁은 도로)을 기반으로 16개의 주행 이벤트(E1~E16)가 포함된 Figure 4와 같은 가상 주행 경로를 구성하였다. 이벤트 간에는 생체 리듬 안정화를 위한 충분한 시간 간격이 확보되도록 도로를 구성하였다. Figure 4의 9가지 발생 시나리오에는 Table 2의 안정감 지원 UX 디자인 안들을 상황별로 Table 3과 같이 제공하였다. 예를 들어, 스마트 엠비언트 라이트는 과속 단속 및 교차로 상황에서 동작하며, 슬라이딩 선바이저, 스마트 룸미러, HUD 차폭 가이드는 각각 강한 햇빛, 후방 추격 차량, 좁은 도로 상황에서 동작한다. 그리고 행복감은 세찬 비, 전방 저속, 도로 장애물, 끼어들기 상황에서 동작하였는데, Table 3에는 시나리오별로 여러 요소(HUD, AVN, 공간 음성 등)가 어떻게 동작했는지도 설명되어 있다.

Table 2 Touch points and UX designs to support driving comfort

디자인 안	터치 포인트	아이디어 설명	분류
해피감	운전 중에 특정 감정이 크게 일어나서 나도 모르게 운전이 격해지거나 집중도가 떨어질 때가 있음	운전자의 감정을 실시간으로 인식하고, 감정 상태에 따라 배경음악, 공간 음성, 엠비언트라이트, 촉각피드백(예. 송풍), 감정 시각화 등을 통해 정서적 안정감을 유도	Emotion Regulation
스마트 엠비언트 라이트	장시간 운전, 큰 음악, 동승자 소음으로 인해 과속 단속 카메라 경고를 인지하지 못함	단속 카메라와 차량의 거리에 비례하여 엠비언트 라이트가 대시보드 중앙에서부터 붉은색으로 변함. 또한, 단속 카메라를 지난 후 단속되었는지를 음성과 엠비언트 라이트 컬러로 알려줌	Emotion Maintenance
	교차로에서 우회전 시에 보행자, 직진 차량, 신호 등 다중 요소 확인으로 인한 운전자 부담 가중	좌/우/전방의 상황을 카메라로 인식하여 이상이 없으면 엠비언트 라이트를 녹색으로 표시하고, 객체가 감지되면 해당 방향의 라이트를 빨간색으로 표시하여 우회전할 수 없음을 인지시킴	
		차폭감에 대한 시각 가이드를 HUD에 제공함. 내 차가 지나갈 수 있는 폭이면 차폭감 시각 정보를 녹색으로, 지나갈 수 없으면 빨간색 차폭 가이드를 청각적인 안내음과 함께 제공	
HUD 차폭 가이드	좁은 공간 통과 시 내 차가 통과할 수 있는지에 대한 차폭감 판단 어려움으로 불안감 발생(특히, 운전 초보자)		

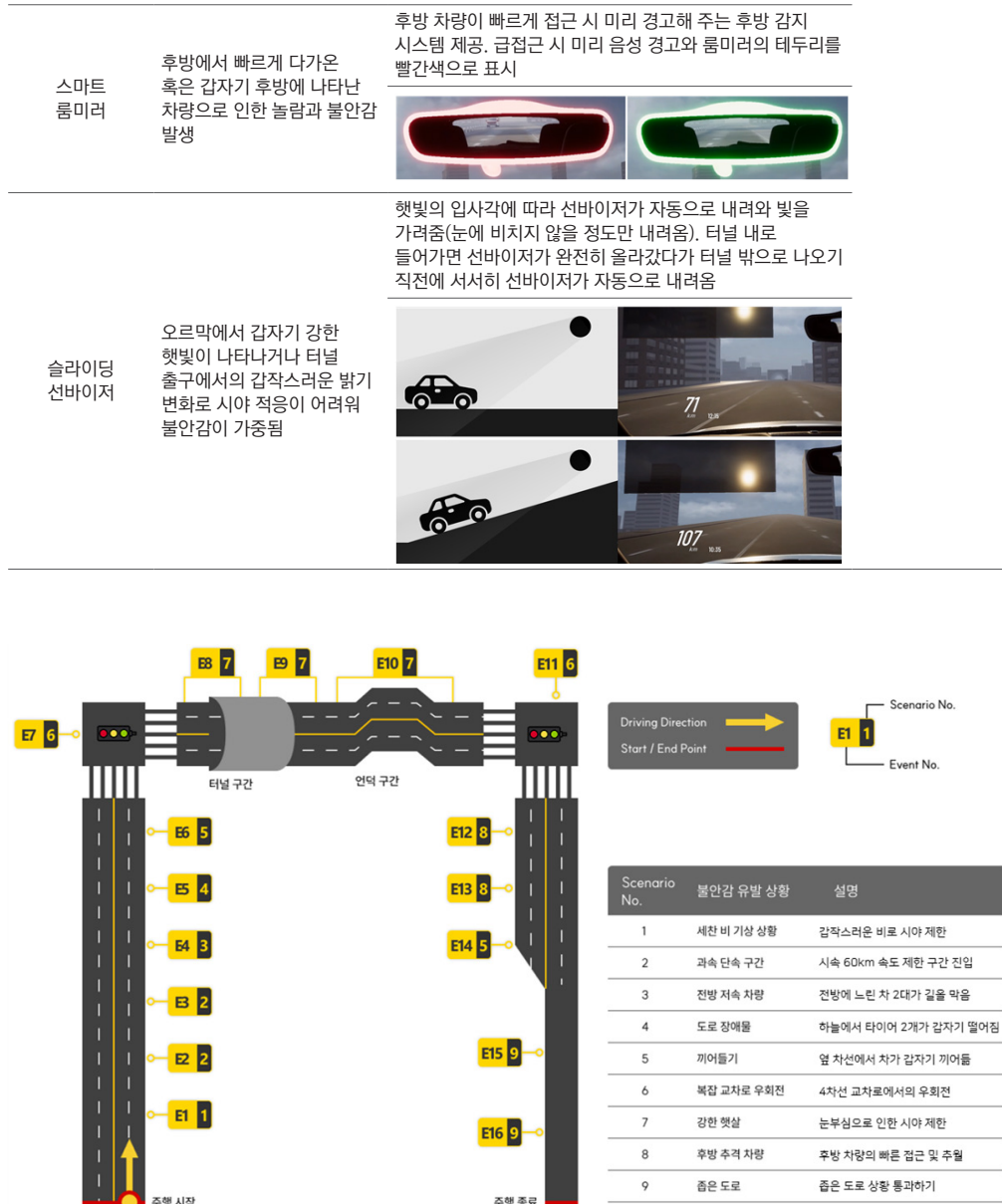


Figure 4 A virtual driving course with nine discomfort-inducing scenarios and 16 events.

Table 3 Driving comfort supports in Table 2 for each scenario in Figure 4

시나리오		해피캠						스마트 엠비언트 라이트	HUD 차폭 가이드	스마트 룸미러	슬라이딩 선바이저
		HUD	AVN	엠비언트 라이트	공감 음성	배경 음악	팬				
1	세찬비	감정 아이콘 표시	감정 아이콘 표시	주황색	“세찬 비가 오네요. 여유를 가지고 천천히 운전해보세요”	좌절/ 스트레스 저감 음악					
2	과속 단속 구간		경고/ 알림창 표시	카메라 위치 및 단속 여부 표시				카메라 위치 및 단속 여부 표시			
3	전방 저속 차량	감정 아이콘 표시	감정 아이콘 표시	주황색	“앞 차가 초보 운전자인 것 같아요. 마음의 여유를 가지고 천천히 가주세요”	좌절/ 스트레스 저감 음악					
4	도로 장애물	감정 아이콘 표시	감정 아이콘 표시	청색	“도로 위 장애물로 인해 놀라셨군요. 흥분은 운전에 방해되니 진정하세요”	놀람 저감 음악					
5	끼여 들기	감정 아이콘 표시	감정 아이콘 표시	주황색	“앞 차가 바쁜 일이 있나 봐요. 넓은 마음으로 이해해주세요”	화남/ 두려움 저감 음악	송풍				
6	교차로 우회전	우회전 아이콘	경고/ 알림창 표시	우회전 가능 여부 표시				우회전 가능 여부 표시			
7	강한 햇살		알림 표시								자동 슬라이딩
8	후방 추격 차량		경고 표시							룸미러에 경고	
9	좁은 도로	차폭감 시각 가이드							차폭감 시각 가이드		

운전 시뮬레이터는 Unity 기반의 2차선 가상 도로 환경으로 구현되었으며(Figure 4), 전체 시스템 구성은 Figure 5, 시뮬레이터 외관은 Figure 6에 제시되어 있다. K7 프리미어 차체와 로지텍(Logitech) G29 핸들 시스템, 중앙 75인치 및 좌우 32인치 보조 모니터를 통해 몰입형 주행 환경을 조성하였다. AVN은 13인치 태블릿으로 구현하였고, 엠비언트 라이트와 송풍 장치는 아두이노(Arduino)로 제어하였다. 주행음과 음성 메시지는 블루투스 헤드셋을 통해 송출하였으며, 룸미러와 선바이저는 중앙 모니터를 통해 시각적으로 구현하였다. 생체신호는 실험 참여자의 왼손에 착용한 Shimmer GSR+ 장비로, 안면 데이터는 대쉬보드 상단에 배치한 ABKO HD 웹캠(APC720)을 이용하여 수집하였으며, 두 대의 컴퓨터가 각각 시뮬레이터 구동과 생체신호 및 안면 데이터 수집을 담당하였다.

시뮬레이터 내부

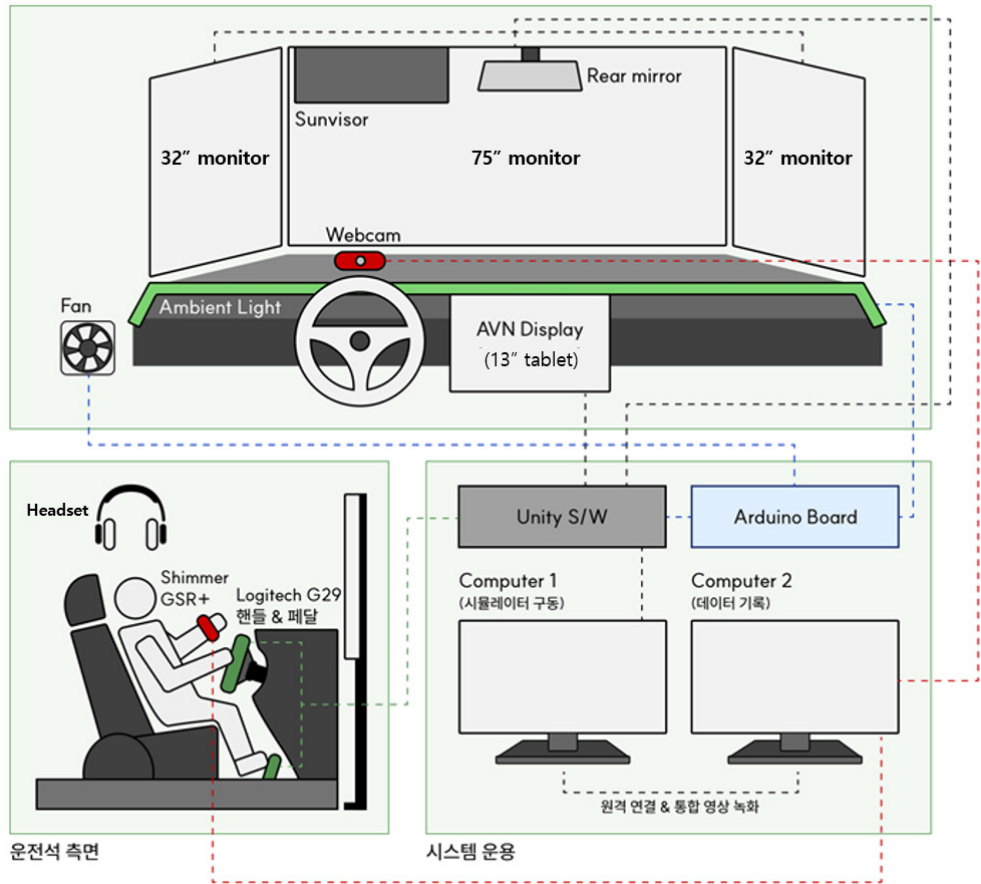


Figure 5 Overall system structure of the car simulator



Figure 6 Implemented car simulator

6. 3. 측정 및 분석 데이터

운전 안정감 평가를 위해 세 종류의 데이터를 수집하였다.

첫째, GSR 및 SCR 생체 데이터를 수집하고 주요 분석 지표를 도출하였다. GSR(Galvanic Skin Response, 또는 EDA)은 교감신경계 활성화에 따라 피부의 전기 전도도가 변화하는 생리 신호로, 이는 땀샘 활동을 반영하여 심리적 각성, 감정 반응, 스트레스 등에 민감하게 반응한다. GSR은 운전자의 스트레스 수준과 감정 상태를

객관적으로 평가하는 데 널리 사용되는 지표이다(Healey & Picard, 2005; Ooi et al., 2016; Lee et al., 2023). 일반적으로 GSR은 전체적인 교감신경 활성 수준을 반영하는 SCL(Skin Conductance Level)과 특정 자극에 대한 일시적 반응을 나타내는 SCR(Skin Conductance Response)로 구분된다. 특히 SCR은 심리적 반응의 강도와 직접적으로 연결되어 있어 운전자의 감정적 반응과 교통 상황에서의 불안정성을 더 신뢰성 있게 측정해 준다(Giannakakis et al., 2019). 따라서 본 연구에서는 GSR과 더불어 SCR 지표를 분석 대상으로 삼았다. 생체 데이터 측정에는 Shimmer GSR+ 장비를 사용하였는데, 실험 참여자의 왼손 검지와 중지 센서를 부착하여 5Hz의 샘플링 속도로 데이터를 기록하였다. 특히 움직임에 의한 노이즈를 줄이기 위해 손가락 보호대를 착용시켰고, 수집된 신호는 EMD(Empirical Mode Decomposition; Huang et al., 1998) 기법을 적용하여 정제한 후에 주요 분석 지표를 도출하였다.

추출된 주요 분석 지표는 다음과 같으며, 별도의 Python 프로그램으로 자동 계산하였다.

- GSR 및 SCR의 평균, 표준편차(SD): 전도도 크기와 변동성
- GSR 및 SCR의 피크(Peak) 개수: 정서 자극에 의한 급격한 반응
- GSR 반응 안정화 시간: 각성 이후 회복까지 걸리는 시간
- SCR 불안정 시간: 임계치를 초과한 불안정 시간의 누적값

둘째, 각 이벤트에 대한 주관적 안정감 평가를 실시하였다. 참여자는 주행이 끝날 때 마다 녹화된 주행 영상을 시청하며, 각 불안 유발 이벤트에 대해 7점 척도(1 = 매우 불안정, 7 = 매우 안정적)로 안정감을 사후 평가하였다. 이는 실시간 평가의 인지적 부담을 줄이고, 경험된 심리 상태를 명확히 환기하기 위한 회고적 자기평가 방식이다.

셋째, 안정감 지원 UX 디자인 안에 대한 유용성 평가를 시행하였다. 실험 종료 직후, 참여자들은 HUD, AVN, 송풍기 등 해피감에 관련된 기본 구성 요소뿐 아니라, 스마트 엠비언트 라이트, HUD 차폭 가이드, 스마트 룸미러, 슬라이딩 선바이저 등 제안된 UX 디자인 안에 대해 7점 척도로 유용성을 평가하였다.

6. 4. 실험 참여자

실험에는 총 41명의 성인 운전자(남성 33명, 여성 8명)가 참여하였으며, 평균 연령은 27.8세, 평균 운전 경력은 6.7년이었다. 참여자의 운전 경력은 최소 2년 이상으로 제한하였다. 이는 초보 운전자의 경우 운전 자체에 대한 스트레스 지수가 높아, 실험 중 유도된 불안정 상황에서의 생리적·행동적 반응을 순수하게 평가하기 어려울 수 있기 때문이었다. 또한, 안정 착용자는 표정 인식의 정확도가 떨어져 실험에서 배제하였다.

6. 5. 실험 설계

실험은 피험자 내 설계(Within-subject design)로 구성하여, 모든 실험 참여자가 안정감 지원 여부에 따른 두 가지 조건을 경험하였다. 각 참여자마다의 실험 순서는 순서 효과를 통제하기 위해 절반의 참여자는 안정감 지원이 있는 조건을 먼저, 나머지 절반은 안정감 지원이 없는 조건을 먼저 수행하였다. 전체 실험 절차는 Figure 7에 제시하였다. 본 주행에 앞서 시뮬레이터 조작과 환경에 익숙해지도록, 각 참여자는 3분간의 사전 연습 주행을 수행하였다. 본 주행은 안정감 지원 제공과 미제공의 두 주행 시나리오로 구성되는데, 소극적인 주행 행동을 방지하고 현실감을 높이기 위해, 목적지까지의 도달시간 목표를 25분으로 설정하였고, 주행 중 화면에 남은 시간을 실시간으로 표시하여 시간적 압박감을 부여하였다.

참여자에게는 기본 실험 참가비로 만 원을 지급하였으며, 목표 시간 내 주행 완료 및 교통법규 준수 여부에 따라 추가 보상을 제공하였다. 이러한 성과 기반 보상 구조는 동기 부여를 통해 실제 운전 상황과 유사한 몰입감을 유도하기 위한 것이었다.

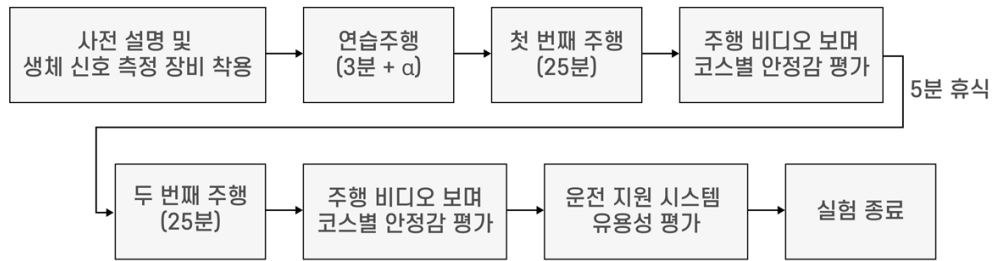


Figure 7 Experimental procedure

6. 6. 실험 결과

6. 6. 1. GSR과 SCR 생체 지표

41명의 참가자 중 1명의 데이터는 생체신호 장애로 데이터 누락이 발생해 분석에서 제외하였으며, 실험 중 사고 충돌이 발생한 구간에서의 모든 생체신호는 제외하여 정상 주행 중의 생리적 반응만 분석하였다. GSR 및 SCR 생체 데이터를 분석한 결과, 안정감 지원 기능의 효과가 통계적으로 유의미하게 나타났다.

GSR 지표들에 대한 분산분석(ANOVA) 결과(Table 4), 안정감 지원 기능의 유무에 따라 GSR의 표준편차($p < .01$) 및 피크 수($p < .05$)에서 유의한 차이가 확인되었다. 추가로 실시한 Tukey 사후검정 결과, 안정감 지원이 없는 조건에서 GSR의 표준편차와 피크 수가 유의하게 높게 나타났다(Figure 8). 이는 안정감 지원이 없는 상황에서 시간에 따른 GSR의 진폭 변화가 더 크고 불규칙했으며, 순간적인 스트레스 반응이 더 빈번하게 발생했음을 의미한다.

Table 4 F-statistics and p-values from ANOVA results for GSR data (** $p < .01$, * $p < .1$)

Factors	GSR				
	DF	Avg.	SD	#Peaks	Time to stabilize
Participant	39	260.72	23.65	7.66	4.00
		.000**	.000**	.000**	.000**
Support	1	0.95	8.42	4.57	0.13
		.330	.004**	.033*	.720
Event	15	9.82	22.20	69.71	19.68
		.000**	.000**	.000**	.000**
Driving Order	1	237.52	39.40	14.11	4.32
		.000**	.000**	.000**	.038*
Event × Order	15	2.34	2.07	–	–
		.003*	.009**	–	–
Total	1262				

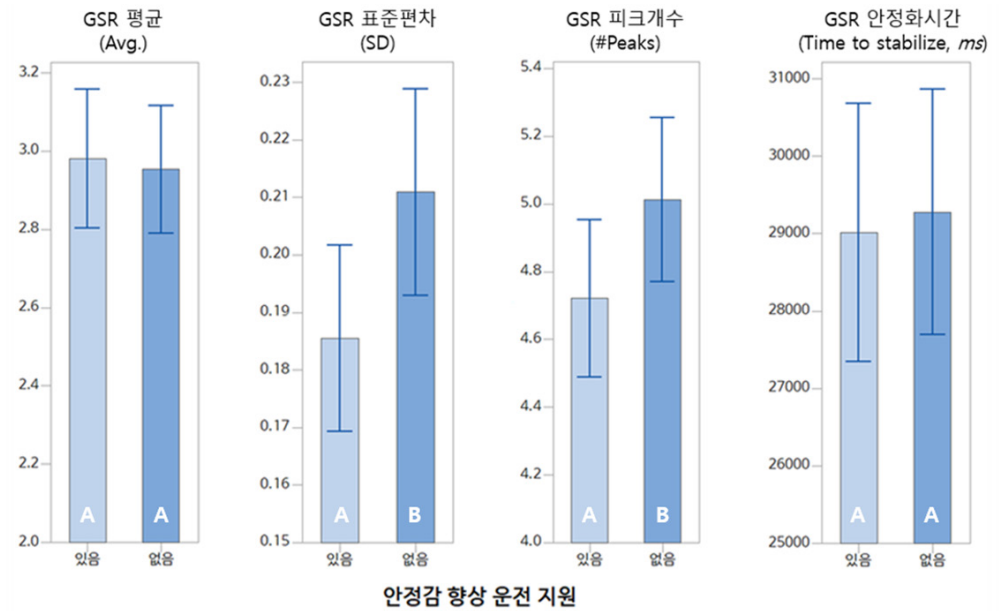


Figure 8 GSR average, standard deviation, peak count, and time to stabilize by presence or absence of driving comfort support. The same letters in the graph indicate no significant difference at $\alpha = 0.05$ according to Tukey's test.

SCR 지표 분석 결과(Table 5), 안정감 지원 기능의 유무에 따라 표준편차($p < .05$)와 불안정 시간($p < .10$)에서 유의미한 차이가 나타났다. 사후 분석 결과, 안정감 지원이 없는 조건에서 SCR의 표준편차와 불안정 시간이 유의하게 증가하였다(Figure 9). 이는 운전 지원 기능이 없을 때 SCR 신호의 변화 폭이 더 크며, 스트레스 자극에 대한 생리적 각성 수준이 불안정하고 회복 시간이 더 오래 걸림을 의미한다. 그리고 SCR 불안정 시간에 있어서는 이벤트 종류와 안정감 지원 간에 교호작용이 존재하였는데($p < .05$), Figure 10의 교호작용도를 보면 해피감이 지원된 E1(세찬비), E4(전방 저속 차량), E5(도로 장애물), E6와 E14(끼어들기), 그리고 스마트 엠비언트 라이트가 지원된 E2와 E3(과속 단속 구간)에서는 안정감 지원이 있는 경우 SCR 불안정 시간이 오히려 더 길거나 비슷하였다. 이러한 경향은 다른 지표의 교호작용도에서도 비슷하게 나타났는데, 이는 해피감과 과속 단속 상황에서의 안정감 지원은 상대적으로 그 효과가 떨어짐을 의미한다.

Table 5 F-statistics and p-values from ANOVA results for SCR data (** $p < .01$, * $p < .1$)

Factors	DF	GSR			
		Avg.	SD	#Peaks	Duration in unstable
Participant	39	0.91	26.88	21.75	1.86
		.624	.000**	.000**	.001**
Support	1	0.23	4.86	2.44	3.81
		.632	.026*	.119	.051*
Event	15	8.50	11.41	78.37	33.78
		.000**	.000**	.000**	.000**
Driving Order	1	2.32	35.48	0.39	7.47
		.128	.000**	.531	.006**
Event × Order	15	2.13	0.95	–	–
		.007**	.503	–	–
Event × Support	15	–	–	2.73	2.01
		–	–	.000**	.012**
Total	1262				

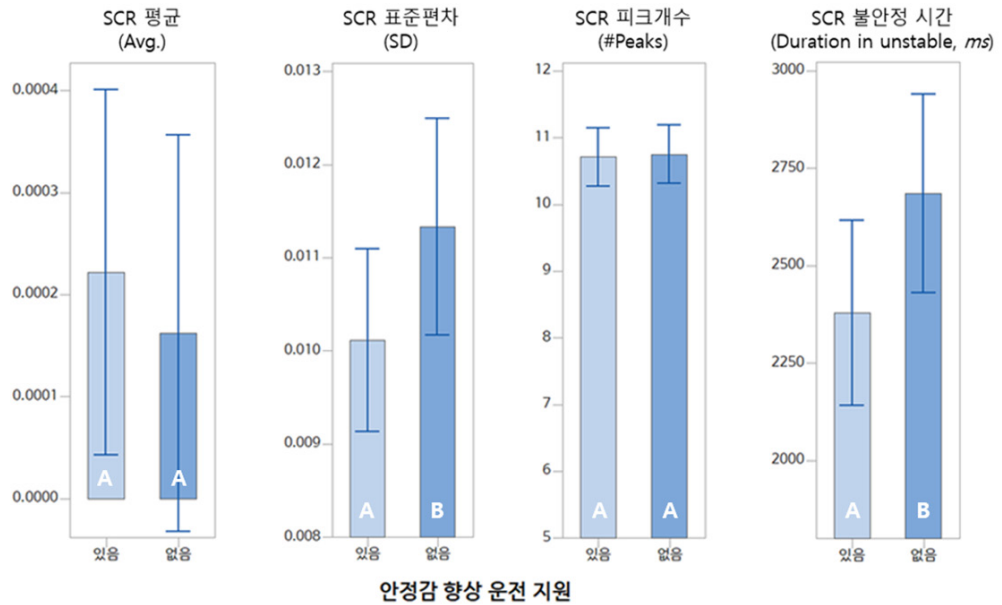


Figure 9 SCR average, standard deviation, peak count, and duration in unstable by presence or absence of driving comfort support

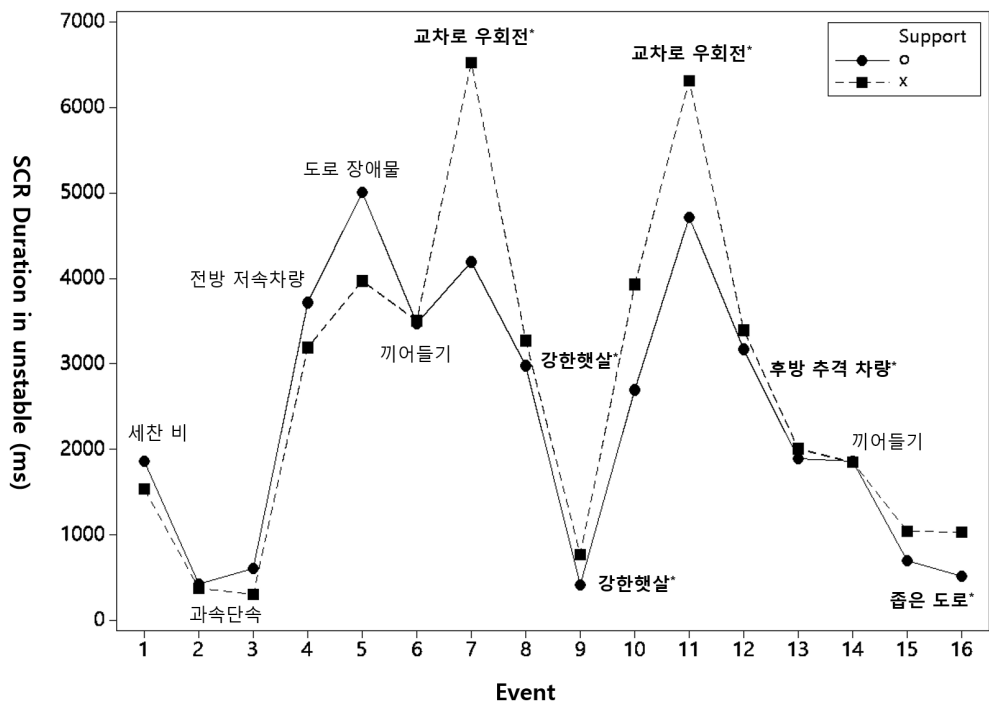


Figure 10 Interaction plot of SCR duration in unstable between support and event

6. 6. 2. 주관적 평가 결과

참여자의 주관적 안정감 평가에 대한 분산분석 결과(Table 6), 안정감 지원 기능 유무, 불안 유발 이벤트, 주행 횟수, 참여자 간에 따라 통계적으로 유의한 차이가 존재하였다($p = .000$). 사후 분석 결과, 안정감 지원이 있는 조건에서의 평균 안정감 점수가 안정감 지원이 없는 조건보다 유의하게 더 높았다(4.47점 vs. 4.00점).

특히 언덕 구간(E10)과 좁은 도로 구간(E15, E16)에서 안정감 지원 기능(슬라이딩 선바이저와 차폭 가이드)의 효과가 두드러지게 나타났다.

Table 6 ANOVA table of subjective comfort rating
(**p<.01, *p<.1)

	DF	AdjSS	AdjMS	F	p
Participant	40	795.74	19.894	12.05	.000**
Support	1	147.65	147.649	89.47	.000**
Event	15	1532.72	102.181	61.92	.000**
Driving Order	1	50.21	50.210	30.42	.000**
Error	1254	2069.51	1.650		
Total	1311	4591.74			

또한, 학습 효과에 의해 두 번째 주행에서의 안정감 점수가 더 높았으며, 터널 구간 이벤트(E8, E9)는 상대적으로 안정감이 높게 평가된 반면, 잔잔한 빗길(E1), 도로 장애물(E5), 끼어들기(E6) 구간은 안정감 점수가 낮게 평가되었다.

안정감 향상 지원 기능에 대한 주관적 유용성 평가 결과, 전체 평균 점수는 5점 이상의 긍정적인 반응을 보였다(Figure 11). 특히, 슬라이딩 선바이저와 HUD 차폭 가이드가 가장 높은 유용성 점수를 보였다. 반면, 송풍기(FAN)를 활용한 호흡 개입 기능은 작동 상황이 제한적(시나리오 5)이었고, 풍량이 약했다는 이유로 상대적으로 낮은 평가를 받았다.

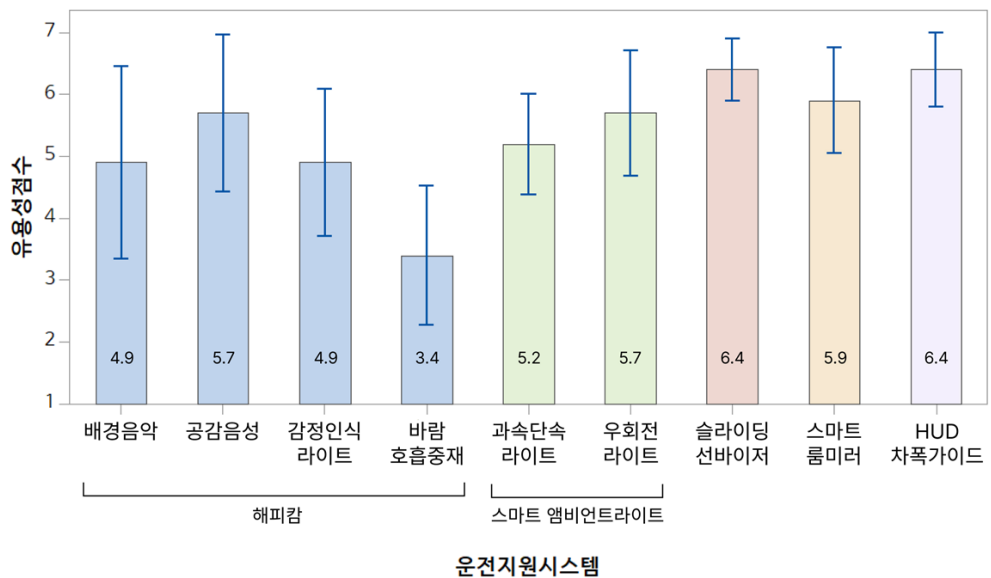


Figure 11 Usefulness of the driving comfort supports

7. 결론

본 연구는 운전자의 심리적 안정감에 대한 개념을 정의하고, 이에 영향을 미치는 요인을 분석하였으며, 안정감 향상을 위한 UX 디자인 방안을 도출하고 실험적으로 검증하였다. 본 연구에서 제시한 ‘운전 안정감’은 운전 중 다양한 스트레스와 작업 부하에 균형 있게 반응하며, 중간 수준의 각성과 긍정적 정서를 유지하여 최적의 주행 수행 능력을 발휘할 수 있는 심리적 상태로 정의된다. 이는 러셀(Russell, 1980)의 정서-각성 모델상의 즐거움과 평온함이 조화를 이루는 상태인 해피캄 영역에 해당하며, 교통 상황, 차량 기능, 운전자 내적 요인, 동승자 특성 등 다양한 요인에 의해 영향을 받는다.

문헌 조사, 벤치마킹, 운전자 인터뷰를 통해 운전 안정감 향상 방안을 다각도로 탐색하였고, 고객 여정 지도 기반의 브레인스토밍을 통해 도출한 다수의 아이디어 중 다섯 가지의 핵심 UX 디자인 안을 선정하였다. 그리고 선정된 디자인 안을 운전 시뮬레이터 환경에 구현하여 실험한 결과, 제한한 안정감 지원들이 실험 참여자들의 생리적 반응과 주관적 안정감에 긍정적인 영향을 미침이 확인되었다. 피부전도도(GSR) 및 전기 반응(SCR) 분석 결과, 참여자들의 각성 수준이 낮고 안정적으로 유지되었으며, 스트레스 상태로부터의 회복 시간 또한 단축되었다. 주관적 안정감 평가에서도 안정감 지원이 있는 조건에서 평균 점수가 유의하게 높았으며, 안정감 지원의 유용성에 대해서도 대체적으로 긍정적인 평가를 받았다.

다만, 본 연구는 시뮬레이터 기반의 단기 실험으로, 실제 도로 주행과의 차이 및 운전 몰입도 한계가 실험 결과에 영향을 미쳤을 가능성이 있다. 시뮬레이터는 환경 통제, 재현성, 안전성 측면에서 장점을 가지지만, 현실 주행에서의 위험 인식과 긴장감을 완전히 재현하기 어렵다. 따라서 향후 연구에서는 실제 주행 환경에서의 검증을 통해 연구 결과의 현실적 타당성과 신뢰성을 높일 필요가 있다. 또한, 개인 간 생리·행동적 반응 차이가 뚜렷하게 나타났음에도 불구하고, 본 연구는 연령, 성별, 운전 경험 등 다양한 운전자 특성을 충분히 반영하지 못했다는 한계가 있다. 운전자 특성에 따라 생리적 반응 양상이나 상황별 디자인 요소에 대한 선호도가 달라질 수 있으므로, 향후에는 운전자 특성 기반의 맞춤형 UX 디자인 및 감정 안정화 전략을 도출하기 위한 후속 연구가 필요하다.

References

1. Balters, S., Mauriello, M. L., Park, S. Y., Landay, J. A., & Paredes, P. E. (2020). Calm commute: Guided slow breathing for daily stress management in drivers. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, 4(1), 1–19.
2. Braun, M., Chadowitz, R., & Alt, F. (2019, August). User experience of driver state visualizations: A look at demographics and personalities. In *IFIP Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 158–176). Cham: Springer International Publishing.
3. Braun, M., Pfleging, B., & Alt, F. (2018). A survey to understand emotional situations on the road and what they mean for affective automotive UIs. *Multimodal Technologies and Interaction*, 2(4), 75.
4. Braun, M., Schubert, J., Pfleging, B., & Alt, F. (2019). Improving driver emotions with affective strategies. *Multimodal Technologies and Interaction*, 3(1), 21.
5. Braun, M., Weber, F., & Alt, F. (2021). Affective automotive user interfaces—reviewing the state of driver affect research and emotion regulation in the car. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 54(7), 1–26.
6. Cai, H., & Lin, Y. (2011). Modeling of operators' emotion and task performance in a virtual driving environment. *International Journal of Human-Computer Studies*, 69(9), 571–586.
7. Elgendi, M., & Menon, C. (2020). Machine learning ranks ECG as an optimal wearable biosignal for assessing driving stress. *IEEE access*, 8, 34362–34374.

8. FakhrHosseini, S. M., & Jeon, M. (2019). How do angry drivers respond to emotional music? A comprehensive perspective on assessing emotion. *Journal on multimodal user interfaces*, 13(2), 137–150.
9. Fakhrhosseini, S. M., Landry, S., Tan, Y. Y., Bhattarai, S., & Jeon, M. (2014, September). If you're angry, turn the music on: Music can mitigate anger effects on driving performance. In *Proceedings of the 6th International conference on automotive user interfaces and interactive vehicular applications* (pp. 1–7).
10. Giannakakis, G., Grigoriadis, D., Giannakaki, K., Simantiraki, O., Roniotis, A., & Tsiknakis, M. (2019). Review on psychological stress detection using biosignals. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 13(1), 440–460.
11. Gomez, R., Popovic, V., & Bucolo, S. (2004). Driving: The emotional experience and automotive design. In *Fourth International Conference on Design and Emotion* (pp. 1–16). <http://www.designandemotion.org/knowledgebase.php>.
12. Hassib, M., Braun, M., Pfleging, B., & Alt, F. (2019, August). Detecting and influencing driver emotions using psycho-physiological sensors and ambient light. In *IFIP Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 721–742). Cham: Springer International Publishing.
13. Healey, J. A., & Picard, R. W. (2005). Detecting stress during real-world driving tasks using physiological sensors. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, 6(2), 156–166.
14. Hernandez, J., McDuff, D., Benavides, X., Amores, J., Maes, P., & Picard, R. (2014). AutoEmotive: bringing empathy to the driving experience to manage stress. In *Proceedings of the 2014 companion publication on Designing interactive systems* (pp. 53–56).
15. Huang, N. E., Shen, Z., Long, S. R., Wu, M. C., Shih, H. H., Zheng, Q., Yen, N.-C., Tung, C. C., & Liu, H. H. (1998). The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: mathematical, physical and engineering sciences*, 454(1971), 903–995.
16. Jeon, M. (2016). Don't cry while you're driving: Sad driving is as bad as angry driving. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 32(10), 777–790.
17. Jeon, M., & Croschere, J. (2015, July). Sorry, I'm late: I'm not in the mood: Negative emotions lengthen driving time. In *International Conference on Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics* (pp. 237–244). Cham: Springer International Publishing.
18. Jeon, M., Yim, J. B., & Walker, B. N. (2011, November). An angry driver is not the same as a fearful driver: effects of specific negative emotions on risk perception, driving performance, and workload. In *Proceedings of the 3rd international conference on automotive user interfaces and interactive vehicular applications* (pp. 137–142).
19. Lee, J., Elhaouij, N., & Picard, R. (2021). AmbientBreath: Unobtrusive just-in-time breathing intervention using multi-sensory stimulation and its evaluation in a car simulator. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, 5(2), 1–30.
20. Lee, M., Lee, S., Hwang, S., Lim, S., & Yang, J. H. (2023). Effect of emotion on galvanic skin response and vehicle control data during simulated driving. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 93, 90–105.
21. Li, W., Li, G., Tan, R., Wang, C., Sun, Z., Li, Y., Guo, G., Cao, D., & Li, K. (2024). Review and Perspectives on Human Emotion for Connected Automated Vehicles. *Automotive Innovation*, 1–41.
22. Ooi, J. S. K., Ahmad, S. A., Chong, Y. Z., Ali, S. H. M., Ai, G., & Wagatsuma, H. (2016, December). Driver emotion recognition framework based on electrodermal activity measurements during simulated driving conditions. In *2016 IEEE EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences (IECBES)* (pp. 365–369). IEEE.
23. Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of personality and social psychology*, 39(6), 1161.
24. Schulz, F. K. (2021). Patterns of in-car interaction based on emotion recognition. *Tagungsband*, 13.
25. Spiridon, E., & Fairclough, S. (2017). The effects of ambient blue light on anger levels: Applications in the design of unmanned aircraft GCS. *International Journal of Unmanned Systems Engineering*, 5(3), 53–69.

26. Steinhauser, K., Leist, F., Maier, K., Michel, V., Pärsch, N., Rigley, P., Wurm, F., & Steinhauser, M. (2018). Effects of emotions on driving behavior. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 59(A), 150–163.
27. Völkel, S. T., Graefe, J., Schödel, R., Häuslschmid, R., Stachl, C., Au, Q., & Hussmann, H. (2018, September). I Drive My Car and My States Drive Me: Visualizing Driver's Emotional and Physical States. In *Adjunct Proceedings of the 10th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (pp. 198–203).
28. Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of comparative neurology and psychology*, 18(5), 459–482.
29. Yoo, Y., Lee, J., Kim, N., Yang, M. Y., Lee, S., & Kim, J. (2023). An empirical study on the effect of a driving companion bot on anger coping behaviors. *Behaviour & Information Technology*, 42(4), 329–344.
30. Zepf, S., Dittrich, M., Hernandez, J., & Schmitt, A. (2019, May). Towards empathetic car interfaces: Emotional triggers while driving. In *Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1–6).
31. Zhang, Q., Qu, W., Ge, Y., Sun, X., & Zhang, K. (2020). The effect of the emotional state on driving performance in a simulated car-following task. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 69, 349–361.
32. Zimasa, T., Jamson, S., & Henson, B. (2017). Are happy drivers safer drivers? Evidence from hazard response times and eye tracking data. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 46, 14–23.

운전 안정감 향상을 위한 차량 UX 디자인 및 검증

신지원¹, 김태훈², 이종명³, 이동석³, 최명빈², 박홍인¹, 서현식¹, 김현^{4*}

¹서울과학기술대학교 기계정보공학과, 석사 과정, 서울, 대한민국

²현대모비스 크리에이티브 UX팀, 용인, 대한민국

³레인메이커디자인&컨설팅, 서울, 대한민국

⁴서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과, 교수, 서울, 대한민국

초록

연구배경 운전 중 운전자의 심리적 상태는 주의력, 판단력, 반응 속도 등 실제 운전 수행에 직접적인 영향을 미친다. 특히 불안, 스트레스, 혼란 같은 부정적 정서는 사고 위험을 높이며, 과도한 이완 상태 역시 졸음운전과 같은 위험을 유발할 수 있다. 이러한 맥락에서 운전자가 주행 중 ‘심리적 안정감’을 유지하도록 지원하는 것은 교통안전과 직결된 중요한 과제이다. 이에 본 연구에서는 안정감 지원을 위한 다섯 개의 차량 UX 디자인 안을 제안하고 그 유용성을 검증하였다.

연구방법 본 연구는 총 네 단계로 진행하였다. 첫째, 문헌 조사를 통해 운전 안정감의 정의와 구성 요인을 도출하였다. 둘째, 기존 차량의 안정감 관련 기능을 벤치마킹하고, 경험이 풍부한 운전자를 대상으로 한 반구조화 인터뷰를 통해 실제 운전 경험 기반의 요구사항을 파악하였다. 셋째, 고객 여정 지도를 바탕으로 브레인스토밍하여 다수의 아이디어를 도출하고, 이 중 5개의 핵심 안정감 지원 UX 디자인 안(해피감, 스마트 앰비언트 라이트, HUD 차폭 가이드, 스마트 룸미러, 슬라이딩 바이저)을 선정하였다. 넷째, 이를 Unity 기반 시뮬레이터 환경에 구현하여 피부전도도(GSR)와 주관적 평가를 통해 실험적으로 안정감 효과를 검증하였다.

연구결과 실험 결과, 안정감 지원 UX 디자인 안이 적용된 조건에서는 실험 참여자의 피부전도도(GSR) 및 피부반응(SCR) 지표에서 각성 수준이 유의하게 낮고 안정적이었으며, 스트레스 회복 시간도 단축되었다. 주관적 안정감 평가에서도 UX 디자인 안 적용 시 점수가 유의하게 높게 나타났다. 특히 슬라이딩 선바이저와 HUD 차폭 가이드는 사용자 유용성 평가에서 가장 긍정적인 반응을 얻었다.

결론 본 연구는 문헌 조사를 통해 운전 안정감의 개념을 정립하였고, 감정 조절, 인지 부하 완화, 상황 인식 지원 등 다양한 전략을 통합한 안정감 지원 안들의 효과를 실증적으로 입증하였다. 향후 실제 도로 환경에서의 장기적 효과 검증과 개인화된 UX 전략 연구가 필요하다.

주제어 운전 안정감, 감정 조절, 감정 유지, 생체신호, 피부 전기 반응

*교신저자 : 김현 (huhnkim@seoultech.ac.kr)