JESK J Ergon Soc Korea 2026; 45(4): 391-407
https://dx.doi.org/10.5143/JESK.2026.45.4.391
https://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Research Trends in User Experience (UX) for Occupational Safety and Health Signs and Markings: A Systematic Literature Review

Jaein Lee[1], Youngjae Im[2]

[1]Korea University of Technology and Education (KOREATECH), School of Future Technology, Cheonan, 31253
[2]Dong-Eui University, Department of Ergonomics Engineering, Busan, 47340

산업안전보건표지 및 표시에 관한 사용자 경험(UX) 연구 동향: 체계적 문헌고찰(SLR)을 중심으로

이재인[1], 임영재[2]

[1]한국기술교육대학교 미래융합학부
[2]동의대학교 인간공학과

Corresponding Author
Youngjae Im
Dong-Eui University, Department of Ergonomics Engineering, Busan, 47340
Email : ergoim@deu.ac.kr

Received : June 15, 2026
Revised : June 30, 2026
Accepted : July 13, 2026

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

Objective: The primary objective of this study is to systematically review and categorize existing UX-based research on industrial safety signage to establish a theoretical and practical framework for future user-centered safety design.

Background: Industrial safety signs and markings serve as critical visual safeguards in various environments. However, with shifting demographics—such as an aging workforce and an increase in foreign workers—and the advent of smart technologies, there is a growing need to evaluate these signs from a user-centric perspective. This study aims to analyze domestic research trends in the UX and ergonomics of safety signage to identify current achievements and future research gaps.

Method: A systematic literature review (SLR) was conducted following the PRISMA 2020 guidelines. Out of 518 initial records identified through the Research Information Sharing Service (RISS), 21 peer-reviewed papers were selected for final analysis. These documents were evaluated based on three research questions (RQs) regarding industrial domains, target user groups, and UX metrics categorized by the human information processing model (Perception, Cognition, and Behavior).

Results: The findings indicate that research has expanded from traditional industrial sites (28.6%) to mobility (33.3%) and public safety (38.1%). While studies on inclusive design for the elderly (33.3%) and disabled (19.0%) are increasing, research focused on multicultural or foreign workers remains significantly underrepresented (4.8%). In terms of UX metrics, cognitive indicators such as comprehensibility and cognition (57.1%) and perceptual indicators such as visibility and color contrast (33.3%) predominate. In contrast, behavioral metrics, including reaction time and compliance rates, account for only 9.6% of the studies.

Conclusion: This study identifies a paradigm shift from regulation-centered to user-experience-centered safety design. However, a significant gap exists in empirical research measuring real-time behavioral responses and biometric data. Future research should focus on bridging the digital divide for vulnerable groups in smart environments and establishing integrated UX guidelines for universal safety signage systems.

Application: The findings of this study can be applied to the development of standardized OSH design manuals that incorporate universal design principles. Furthermore, they provide a strategic basis for policy-makers to update safety regulations and for engineers to design intuitive safety interfaces in smart factory and autonomous environments.

Keywords: Industrial safety signs, User Experience (UX), Systematic Literature Review (SLR), Ergonomics, Universal Design (UD)

1. Introduction

1.1 Background and necessity

현대 산업 현장은 4차 산업혁명의 도래와 함께 스마트 팩토리, 지능형 모빌리티 등 첨단 기술이 급격히 도입되면서 잠재적 위험 요소가 다변화되고 복잡해지는 양상을 보이고 있다(Gorecky et al., 2014). 이러한 고도화된 기술 환경 속에서 산업안전보건표지 및 표시는 근로자에게 직관적이고 즉각적인 위험 정보를 전달하여 시각적 사고를 방지하는 최후의 보루이자 핵심 안전장치 역할을 수행한다.

특히 최근 스마트 신기술 환경의 도입은 안전표지에 대해 과거와는 완전히 다른 차원의 패러다임 변화를 요구하고 있다. 과거의 안전 사이니지가 오직 인간 근로자만을 향한 정보 전달 매체였다면, 현대의 자율주행 인프라나 지능형 공장 내 시스템은 인공지능 및 기계 센서(LiDAR, 카메라 등)와 인간 사용자가 동시에 실시간으로 정보를 오차 없이 수용해야 하는 이중 역할(Dual Role)을 강요받고 있다. 기계의 컴퓨터 비전 인식 알고리즘에 치중된 설계는 인간의 시인성을 저해할 수 있으며, 반대로 정적인 인간 중심 디자인은 기계 센서의 인지 오류를 유발할 수 있기 때문에, 최근 국내 학계에서도 인간과 시스템의 멀티 모달 인터랙션을 고려한 안전 디자인의 필요성이 대두되고 있다(Jeon et al., 2023).

이러한 기술적 패러다임 시프트와 함께, 국내 산업 현장은 초고령 사회 진입에 따른 고령 근로자의 급증과 생산 인구 감소를 메우기 위한 외국인 근로자의 유입 가속화라는 급격한 인구 구조적 대전환기 속에 놓여 있다. 실제로 국내 고령 근로자의 시각적, 인지적 노화 특성이 안전표지 지각 오류에 미치는 영향에 대해 세부 도메인별 실태 조사가 보고된 바 있으며(Kim and Seo, 2020), 외국인 근로자의 언어 장벽으로 인한 낮은 안내 이해도 문제 역시 심각한 산업적 현안으로 지적되어 왔다(Kim and Kim, 2018). 이와 같은 다세대, 다국적 근로 환경의 도래는 기존의 공급자 중심, 혹은 법적, 행정적 규격 중심의 정형화된 안전표지 체계가 신체적, 인지적 제약을 가진 개별 근로자에게 실질적인 유효성을 발휘하는지에 대한 근본적인 의문을 제기하게 만든다.

글로벌 학술 동향 및 연구의 역사적 흐름을 고찰해 보면, 일찍이 해외 선진국들은 ISO(국제표준화기구)의 ISO 7010 표준이나 미국의 ANSI Z535 연작 등을 기반으로 안전표지의 기호학적 명확성과 전 세계 근로자들을 대상으로 한 이해도 평가 실험을 제도화하고 지속적으로 개정해 왔다(ISO, 2019; ANSI, 2011; Wogalter et al., 2002). 반면, 국내의 산업안전표지 관련 연구와 실무는 전통적으로 산업안전보건법상의 기준 부합 여부, 표준 도안의 행정적 고시 등 법적 강제성을 준수하는 관리적, 규제 중심 측면에 오랜 기간 치중되어 온 역사적 한계를 지닌다. 국내 산업 현장을 대상으로 수행된 법적 안전표지 이행 실태 조사에서도 형식적인 법적 규격 준수율에 비해 근로자의 실제 기호 이해도와 구체성은 현저히 떨어진다는 점이 꾸준히 비판 받아 왔다(Lee, 2017).

궁극적인 안전 사고 예방과 제로 에러 환경을 달성하기 위해서는 단순히 안전표지의 법적 범주 내 존재 유무를 확인하는 소극적 차원을 넘어서야 한다. 다양한 특성을 지닌 근로자가 작업 중 표지를 얼마나 빠르고 직관적으로 지각하고, 정보의 위계를 명확히 인지하며, 그것이 실제 위험 회피 행동으로 온전히 이어지는지에 대한 사용자 경험(UX) 및 인간공학적 실증 데이터 확보가 필수적이다(Laughery and Wogalter, 2014). 따라서 현재까지 국내에 축적된 관련 선행 연구들을 체계적으로 분석하여 인간 정보처리 모델 관점에서의 학술적 성과와 공백을 면밀히 진단하는 것이 미래지향적이고 보편적인 인간 중심 안전 디자인 가이드라인 수립을 위해 필요하다.

1.2 Objective

본 연구는 국내 산업안전보건표지 및 표시와 관련된 선행 연구들을 체계적 문헌고찰(Systematic Literature Review, SLR) 방법론을 통해 분석하는 것을 목적으로 한다. 구체적인 연구 목적은 다음과 같다. 첫째, 지난 10여 년간 국내에서 수행된 안전표지, 표시 관련 연구의 동향을 파악한다. 둘째, 사용자 경험(UX) 및 인간공학적 평가지표(시인성, 가독성, 이해도, 반응 시간 등)를 기준으로 기존 연구의 질적 수준을 분석한다. 셋째, 분석 결과를 바탕으로 향후 산업 현장에 적용 가능한 인간 중심적 안전 디자인의 연구 방향 및 정책적 시사점을 제시한다.

2. Method

2.1 Strategy of literatures searching

본 연구는 산업안전표지 및 표시의 UX 관점 특성을 규명하기 위해 체계적 문헌고찰(SLR: Systematic Literature Review)을 수행하였다. 문헌 검색은 국내 최대 학술 DB인 학술연구정보서비스(RISS)를 활용하였으며, 검색어의 중의성으로 인한 누락을 방지하기 위해 다음의 키워드 조합을 사용하였다.

- 검색식: ("안전보건표지" OR "안전표지" OR "보건표지" OR "안전보건표시" OR "안전표시" OR "보건표시")
- 검색 범위: 최근 10년간(2016~2025) 학술지 논문
- 식별 결과: 최초 검색 결과 총 518편의 문헌이 식별되었다.

2.2 Inclusion and exclusion criteria

식별된 문헌 중 연구의 목적에 부합하는 문헌을 선별하기 위해 다음과 같은 선정 및 배제 기준을 수립하였다.

2.2.1 Inclusion criteria

- 산업 현장 내 안전표지 및 표시를 주요 연구 대상으로 한 문헌
- 시인성, 가독성, 이해도, 시선 추적, 반응 속도 등 사용자 경험(UX) 또는 인간공학적 측정 지표가 포함된 연구
- 근로자의 인지 특성(고령자, 외국인 등)에 따른 디자인 개선안을 제시한 연구

2.2.2 Exclusion criteria

- 도메인 불일치: 해상(항로표지), 도로(교통표지), 행정(비밀표시), 식품(성분표시) 등 산업 안전과 무관한 문헌
- 주제 및 방법론 불일치: UX 관점의 분석과 상관 없이 단순 법규 해설, 판례 분석, 또는 거시적 안전관리 체계만을 다룬 문헌

2.3 PRISMA flow

수집된 518편의 문헌은 PRISMA 흐름도에 따라 3단계의 스크리닝 과정을 거쳤다.

- 1단계(스크리닝): 검색어의 중의성으로 인해 포함된 도메인 불일치 문헌들을 제목 및 키워드 기반의 텍스트 스크리닝으로 배제하였다. 이 과정에서 '항로표지 사고 분석 및 사고 예방에 관한 연구(2022)', '실주행 영상 자료 기반의 교통안전표지 인식 거리 산출 연구(2022)', '공공기록물 비밀표시 제도 개선에 관한 연구(2018)' 등 총 155편의 문헌이 1차로 제외되었다.
- 2단계(적합성 평가): 남은 문헌들의 초록 및 본문을 정밀 검토하여 UX 분석 지표가 결여된 문헌들을 배제하였다. 대표적으로 '산업안전보건법상 안전보건표지 부착 의무에 관한 법적 고찰(2023)', '산업단지 안전관리 체계 강화 방안 연구(2022)', '중대재해처벌법 시행에 따른 사업장 안전관리 대응 전략(2022)'과 같이 법학 및 경영학 관점의 연구들이 제외되었다.

- 3단계: 단순 사례 연구 1건이 마지막으로 제외되었다.

위의 스크리닝 과정을 통해 최종적으로 본 연구의 분석 목적에 완벽히 부합하는 총 21편의 문헌이 확정되었다. 이 21편의 문헌은 2016년부터 2025년 사이에 발표된 학술지 논문들로 구성되었으며 사용자의 인지-지각-행동 반응을 정량적 또는 정성적으로 측정한 연구들로, 본문 분석을 통해 구체적인 UX 지표별 연구 동향을 도출하였다(Figure 1).

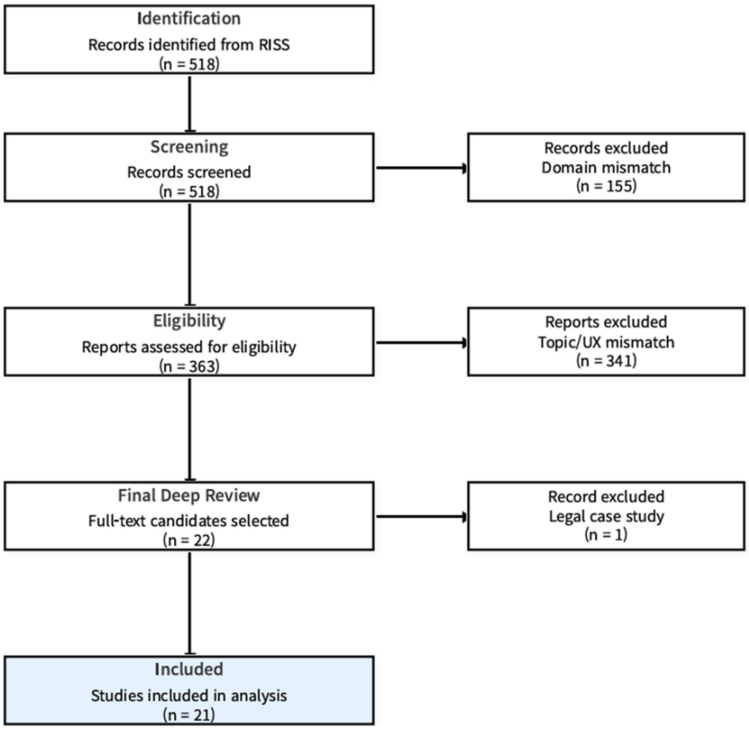

Figure 1. The literature selection process

2.4 Research questions

본 연구는 국내 산업안전표지 및 표시의 UX 연구 동향을 다각도로 진단하기 위해 선행 연구의 예비 검토 과정을 거쳐 다음과 같은 세 가지 핵심 연구 문제(RQ)를 설정하였다.

- RQ 1.(연구 영역 및 대상): 국내 연구는 주로 어떤 산업 도메인에 집중되어 있으며, 사용자 계층(일반, 고령자, 외국인 등)을 어떻게 정의하고 있는가?
- RQ 2.(연구 방법론 및 도구): UX 평가지표를 측정하기 위해 주로 사용된 연구 설계는 무엇이며, 인간공학적 측정 도구(Eye-tracker, VR 등)는 어떻게 활용되었는가?
- RQ 3.(UX 지표 및 보완 사항): 지각-인지-행동 단계 중 어떤 UX 평가지표에 치중되어 있으며, 향후 연구에서 보완이 필요한 내용은 무엇인가?

2.5 Analysis point

선정된 문헌으로부터 일관성 있는 데이터를 추출하기 위해 다음과 같은 분석 포인트를 정의하였다.

- 분야 분류: 분석 대상 도메인(제조, 건설, 모빌리티, 공공 등) 구분
- 대상 분류: 연구 대상자 특성 분류
- 방법론 및 도구 분류: 연구 유형(실험, 설문, 사례 분석)과 데이터 수집 도구를 범주화
- UX 지표 분류: 인간 정보처리 모델에 근거하여 시인성(지각), 이해도(인지), 반응 속도 및 준수율(행동) 지표를 분류

이 분석 포인트에 바탕하여 연구 질문(RQ)에 대한 분석을 하기 위해, 다음과 같이 4가지 분류 영역과 13개의 세부 분류 항목으로 구성된 분석 매트릭스를 수립하였다(Table 1). 이 중에서 UX 평가지표 분류는 Wickens and Carswell (2021)의 인간 정보처리 모델(Human Information Processing Model)에 근거하여, 시각 정보가 사용자에게 전달되어 최종 행동으로 이어지는 단계를 지각, 인지, 행동의 세 단계로 구조화한 것이다.

Table 1. Coding scheme for literature analysis

Main category	Subcategory	Related RQ
Industry domain	Industrial sites: Manufacturing, construction, power plants, etc.	RQ 1
	Traffic and Mobility: Autonomous driving, roads, smart mobility, etc.	
	Public facilities and Daily safety: Parks, traditional markets, school zones, etc.	
Research subject group	General workers, managers, citizens: Standard or professional person without specific constraints, Children.	RQ 1
	Elderly (Seniors): Older adults experiencing age-related decline.	
	People with disabilities and color vision deficiency: Hearing impaired, low vision, CUD targets.	
	Foreign and Multicultural workers: Non-native workers facing language barriers.	
Research methodology type	Surveys and Statistical analysis: Empirical studies using questionnaires, Kano-Timko model, IPA, etc.	RQ 2
	Experiments and Simulations: Lab/field tests measuring visibility distance, eye-tracking, VR, etc.	RQ 2
	Qualitative and Case studies: Living labs, expert evaluation, case reviews, FGIs, Field Survey, etc.	RQ 2
UX metrics	Cognition: Comprehensibility, information accessibility, safety knowledge, etc.	RQ 3
	Perception: Visibility, conspicuity, color contrast, sensor recognition, etc.	RQ 3
	Behavior and Service experience: Reaction time, compliance rate, mobility, process efficiency, etc.	RQ 3

3. Results

본 연구의 최종 분석 대상인 21편의 문헌(Table 2)은 2016년부터 2025년까지 지난 10년간의 연구 성과를 포괄한다. 연도별 분포를 살펴보면 2016~2019년 사이에는 연간 1~2편에 머물렀으나, 2020년 이후 총 16편(76.2%)이 집중되어 산업안전표지에 UX 방법론을 접목하려는 시도가 최근 급격히 증가했음을 알 수 있다. 이는 고령 사회 진입에 따른 교통약자 보호 구역 확대와 자율주행 기술의 실증화 등 사회적 변화가 안전 시각 정보 체계의 개선 요구로 이어졌기 때문으로 분석된다.

그리고 문헌들이 전체적으로 인간공학, 디자인학, 공간디자인학, 교통공학 등 매우 다학제적인(Multi-disciplinary) 학문 분야에 걸쳐 넓게 분포해 있다. 이것은 과거 안전표지 연구가 산업안전공학이나 법학적 제도 검토에 국한되었던 것과 달리, 근래에는 사용자의 물

리적, 심리적 경험을 다각도로 포착하기 위해 학제 간 융합이 활발히 진행되고 있다는 점을 알 수 있다. 특히 최근 3년(2023~2025년) 사이에만 총 12편의 연구가 집중적으로 발표되었는데, 이는 스마트 팩토리나 초고령 사회 등 실무 현장의 패러다임 변화에 따른 것으로 분석할 수 있다. 또한 분석 문헌들은 단순히 아날로그적 표지의 시인성 개선에 머무르지 않고 디지털 사이니지, 서비스 여정, 범죄예방설계(CPTED) 등 융복합적 주제를 적극적으로 포괄하고 있어 연구의 질적 외연이 확장되었다고 분석할 수 있다.

Table 2. Final 21 papers for this study

Paper ID	Title	Author	Year
1	Proposal of Digital Platform for Production of Industrial Safety Signs	Son et al.	2023
2	Research on the Development of Color Arrangement Models for Color Blindness: Industrial Safety Signage from the Perspective of Color Universal Design	Son and Son	2016
3	Characteristics of Hearing-Impaired Persons in Recognizing Safety Signs: Picture Signs for Public Guidance	Son and Yi	2023
4	A Proposal for the Signal of Safety Color according to Space Usability in the Workplace	Kang et al.	2023
5	A Study on Guidelines for Improving the UX of Public Visual Media: Focused on Effective Visual Communication of Caution Signs	Kim	2021
6	A Study on the Safety Color Design System of Color Universal Design: Focusing on the Analysis of Application Cases in Facilities	Lee and Park	2025
7	A Cognitive-Semiotic Analysis of the Meaning Construction of Pictograms: Focusing on Per Aage Brandt's 'Semiotic Blending Model	Park	2025
8	A Study on Safety Signage System Design for Reduction of Industrial Accidents in Construction Sites: Considering the Work Environment of Multicultural Workers	Kim and Kim	2018
9	A Study on the Application of Universal Design Guide System: Focusing on Convenience Facilities for People with Low Vision and the Elderly	An and Lee	2024
10	Study on the Evaluation of the Visibility of Rear Safety Signs on Domestic Out-of-gauge Cargo-loading Trucks	Kang et al.	2024
11	An Improvement on Wayfinding which Considers Universal Design Concept	Lee and Kim	2016
12	Testing the Effectiveness of Safe Driving Education for Older Drivers	Kim et al.	2024
13	A Study on Verification Factors for Guidance and Information Design in Autonomous Bus Pilot Operations	Kim and Cha	2025
14	A Study on the Participation of Experience Design in Outdoor Sports Facilities for Senior Health Promotion	Choi and Kim	2025
15	A Study on the Analysis of Public Facilities for the Aged-friendly City: Focusing on the Elderly Protection Area in Incheon	Kim and Seo	2020
16	Deriving the Role of Sign Facilities Recognized by Autonomous Vehicles	Jeon et al.	2023
17	Factors to Improve the Multi-lane Hi-pass System Service Quality: Using Kano-Timko Model and PCSI Index	Cho et al.	2023
18	An Analysis of the Effectiveness of CPTED in Traditional Markets through the Pre- and Post-Project Survey	Kang et al.	2022

Table 2. Final 21 papers for this study (Continued)

Paper ID	Title	Author	Year
19	A Survey on the Pedestrian Environment and Internal Environment for Oral Health Education in Senior Citizen Centers: Focused on Seo-gu, Daejeon	Go and Oh	2023
20	A Study on the Improvement of Public Facilities in Seoul Children's Grand Park from the Perspective of Universal Design	Yang and Kim	2021
21	A Study on the Application of Crime Prevention Through Environmental Design: Focused on Jangchung Elementary School in Jung-gu, Seoul	Park and Cho	2021

3.1 Analysis on each research question

3개의 연구 질문별로 21개 문헌에 대한 특성과 핵심 내용 요약을 Table 3에 정리하였다. 이 과정은 다음과 같이 설명된다. 각 문헌의 서지 정보와 연구 초록 및 본문 내용을 분석하여 연구의 산업적 도메인 환경 및 타겟 사용자 계층(RQ 1), 적용된 연구 방법론 유형 및 세부 측정 도구(RQ 2), 그리고 인간 정보처리 모델 관점에서의 핵심 UX 평가지표(RQ 3)를 추출하였다. 추출된 개별 데이터들은 연구 변수 간의 유기적인 관계성과 각 연구가 학계 및 실무 현장에 기여하는 핵심 시사점을 확인할 수 있도록 하였으며 그 분석 결과가 Table 3으로 정리된 것이다.

Table 3에 나타난 개별 문헌의 코딩 데이터를 연구 질문별 영역에 따라 교차 분석해 보면 몇 가지 학술적 경향 성과 흐름으로 분석된다. 첫째, RQ 1(연구 영역 및 대상) 차원에서는 과거 제조업 중심의 정형화된 작업 현장(ID 2, 4)에서 벗어나 자율주행 버스(ID 13) 및 AV 센서 인지 인프라(ID 16), 다차로 하이패스(ID 17)와 같은 첨단 모빌리티 도메인으로의 확장이 가시화되고 있으며, 고령자(ID 12, 15, 19)와 장애인(ID 2, 3, 6)을 포함한 약자 중심의 포용적 디자인(Universal Design) 연구가 큰 축을 형성하고 있음을 볼 수 있다. 둘째, RQ 2(연구 방법론 유형) 측면에서는 설문조사를 기반으로 대면 비교나 Kano 모형, IPA 분석을 수행한 실증 연구(ID 11, 12, 17, 18)가 전체의 절반 가까이 차지하며 강세를 보였으나, 이에 그치지 않고 야간 인식 거리를 물리적으로 측정하는 실험 연구(ID 10)나 브랜트의 모델을 적용한 기호학적 분석(ID 7), 리빙랩(ID 14) 등 정량, 정성적 방법론이 다채롭게 분산되어 방법론적 외연을 넓히고 있다. 셋째, RQ 3(핵심 UX 지표) 단계에서는 Wickens and Carswell (2021)의 이론적 모델에 근거하여 시인성 및 색채 대비를 평가하는 지각(Perception) 지표 연구(ID 2, 6, 10, 16)와 의미 이해도 및 정보 접근성을 다룬 인지(Cognition) 지표 연구(ID 3, 5, 8, 11)가 압도적인 비중으로 집약되어 있었다. 반면 실제 위험 상황에서의 즉각적인 회피 행동 반응 속도나 대피 프로세스 효율성을 직접 측정한 행동 및 서비스 경험(Behavior) 지표 연구(ID 1, 19)는 전체 문헌 중 단 2편에 불과하여, 향후 실무적 안전 행동 유발 효과를 정량적으로 검증하기 위해 연구가 더 진행되어야 할 분야로 분석할 수 있다.

Table 3. Analysis matrix of the selected literature (n=21)

ID	RQ 1. Domain / Subject	RQ 2. Methodology type	RQ 3. UX metrics	Key findings & implications
1	Manufacturing / Managers	Qualitative / Interviews, Observation	Service Experience (Efficiency)	Proposed the necessity of a standardized digital platform for sign production.
2	Manufacturing / Color Blind	Experimental / Simulation, Luminance	Perception (Visibility, Contrast)	Proposed a color arrangement model to enhance contrast for the color-blind.
3	Public facilities / Hearing Impaired	Survey / Face-to-face, Comparison	Cognition (Comprehensibility)	Identified the need for concrete symbols to bridge the recognition gap.

Table 3. Analysis matrix of the selected literature (n=21) (Continued)

ID	RQ 1. Domain / Subject	RQ 2. Methodology type	RQ 3. UX metrics	Key findings & implications
4	Nuclear power plant / Workers	Experimental & Survey / Cognitive Eval, Interview	Cognition (Consistency), Perception	Optimized safety color models based on space usability; emphasized color differentiation.
5	Road Traffic / Citizens	Empirical / Survey, Case Study	Cognition (Recognition Rate), Perception	Found that clear, though complex, forms have higher cognitive efficiency.
6	Public facilities & Industry / Disabled, Elderly	Survey / Case Study	Perception (Visibility), Satisfaction	Proved that Color Universal Design (CUD) significantly improves evacuation efficiency.
7	Public safety / All Users	Case Study	Cognition (Mental Model, Meaning)	Theoretically clarified how context and culture are internalized in pictogram recognition.
8	Construction Site / Multicultural Workers	Qualitative / Case study	Cognition (Language Barrier), Accessibility	Suggested multi-language digital signage to overcome the limits of analog signs.
9	Public / Low Vision, Disabled	Survey / Case Study	Cognition (Accessibility), Perception	Derived UD guidance system guidelines and specific improvement items for mobility.
10	Mobility / Workers	Experiment	Perception (Visibility, Recognition)	Fluorescent and retroreflective materials showed best visibility in all weather conditions.
11	Traffic / Citizens	Survey	Cognition (Hierarchy), Perception	Pointed out information fatigue in Seoul subways; emphasized UD for consistency.
12	Mobility / Elderly	Survey	Cognition (Sign Knowledge), Capability	Statistically verified that education improves older drivers' sign recognition and confidence.
13	Mobility / Citizens	Case Study	Cognition (Trust, Anxiety Relief)	Proposed proactive design verification items to build trust in driverless environments.
14	Public facilities / Elderly	Living Lab / Survey	Cognition (Accessibility), Motivation	Addressed information ambiguity in outdoor gear; proposed QR-based video guides.
15	Public / Elderly	Field Survey	Perception (Ease of Recognition)	Pointed out the lack of elderly-friendly street furniture in Senior Protection Areas.
16	Mobility / Citizens	Survey	Perception	Derived the role of physical sign facilities designed specifically for autonomous sensors.
17	Traffic / Citizens	Survey	Perception (Night Visibility), Quality	Identified 'night visibility' and 'merging safety' as key factors for user satisfaction.
18	Public facilities / Citizens	Survey	Cognition (Safety Perception, Satisfaction)	CPTED significantly reduced the fear of crime (28%→5%) through improved legibility.

Table 3. Analysis matrix of the selected literature (n=21) (Continued)

ID	RQ 1. Domain / Subject	RQ 2. Methodology type	RQ 3. UX metrics	Key findings & implications
19	Public facilities / Elderly	Survey	Perception (Mobility), Accessibility	Identified walking obstacles near centers as barriers to seniors' health program participation.
20	Public facilities / Children	Qualitative / Case Study	Cognition (Ease of Use), Safety	Proposed redesigning play and walking spaces from a UD perspective for all generations.
21	Public facilities / Children	Qualitative / Case Study	Perception	Suggested LED murals and floor markings to enhance territoriality and natural surveillance.

3.2 Detailed characteristics on each domain

앞서 3.2에서 분석한 연구 질문별 특성 결과를 바탕으로 하여 4개로 구분한 분야별로 세부적으로 분석하였다. 분석 차원은 본 연구의 코딩 체계(Table 1)에 따라 연구 분야(Research Domain), 사용자 계층(User Group), 연구 방법론(Research Methodology), 핵심 UX 지표(Core UX Metrics)의 4가지 대분류 영역으로 정렬되었으며, 각 영역에 따른 구체적인 빈도(n)와 비율(%) 및 해당 문헌의 Reference ID를 집계한 종합 결과로 정리하였다(Table 4). 이 표는 국내 산업안전보건표지 분야 연구의 무게 중심이 현재 어느 영역에 집중되어 있는지, 그리고 상대적으로 학술적 관심이 소홀했던 잠재적 공백 지대는 어디인지를 수치로 보여준다.

각 분석 차원별 세부 특성을 정리해보면 다음과 같다. 첫째, '연구 분야' 차원에서는 공공시설 및 생활 안전이 38.10%(8편)로 가장 높은 비중을 차지한 가운데, 교통 및 모빌리티가 33.30%(7편), 전통적인 산업 현장이 28.60%(6편)의 순으로 나타나 연구 도메인이 다양하게 분포되어 있다. 둘째, '사용자 계층' 영역에서는 특수 제약 조건이 없는 일반 근로자 및 시민을 대상으로 한 연구가 42.86%(9편)로 높은 비율을 보였으며, 사회적 약자 계층 중에서는 고령자(시니어) 연구가 33.33%(7편), 장애인 및 색각 이상자 연구가 19.00%(4편)로 그 뒤를 이었다. 그러나 실제 국내 제조, 건설 현장의 인력 구조 변화를 대변해야 할 외국인 및 다문화 근로자 대상 연구는 단 4.80%(1편)에 불과하여 계층별 분포의 편중 현상이 확인되었다. 셋째, '연구 방법론' 측면에서는 설문조사 및 통계 분석이 47.62%(10편)로 가장 높은 비중을 나타내며 주방법론임을 알 수 있었고, 질적 연구 및 사례 분석이 33.33%(7편)로 다수를 차지한 반면, 물리적 제어 환경 하에 객관적 수치를 도출하는 실험 및 시뮬레이션 연구는 19.05%(4편)의 낮은 빈도에 머물렀다. 마지막으로 '핵심 UX 지표' 분류에서는 의미 이해도와 정보 접근성을 다루는 인지 단계가 57.10%(12편)로 절반 이상을 형성하였고, 시인성과 색채 대비 중심의 지각 단계가 33.30%(7편)를 차지했으나, 반응 속도 및 준수율과 직결된 행동 및 서비스 경험 단계는 단 9.60%(2편)에 그쳤다.

Table 4. General characteristics of the selected literature (n=21)

Main category	Subcategory	Frequency (n=21)	Ratio (%)	Reference ID
Research domain	Industrial sites (Manufacturing/ Construction/Power plant)	6	28.60%	1, 2, 4, 6, 8, 10
	Traffic and Mobility (Autonomous driving/Road)	7	33.30%	5, 11, 12, 13, 16, 17, 19
	Public facilities and Daily safety (Park/Market/School)	8	38.10%	3, 7, 9, 14, 15, 18, 20, 21
User group	General workers and Citizens	9	42.86%	1, 4, 5, 7, 10, 13, 17, 18, 20

Table 4. General characteristics of the selected literature (n=21) (Continued)

Main category	Subcategory	Frequency (n=21)	Ratio (%)	Reference ID
User group	Elderly (Seniors)	7	33.33%	9, 11, 12, 14, 15, 19, 21
	People with disabilities and color vision deficiency	4	19.00%	2, 3, 6, 16
	Foreign and Multicultural workers	1	4.80%	8
Research methodology	Surveys and Statistical analysis (Kano, etc.)	10	47.62%	3, 5, 6, 9, 11, 12, 15, 17, 18, 19
	Experiments and Simulations (Visibility distance, etc.)	4	19.05%	2, 4, 10, 16
	Qualitative and Case studies (Living labs, etc.)	7	33.33%	1, 7, 8, 13, 14, 20, 21
Core UX metrics	Cognition (Comprehensibility, Information accessibility)	12	57.10%	3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 18, 20
	Perception (Visibility, Color contrast, Sensor recognition)	7	33.30%	2, 6, 10, 15, 16, 17, 21
	Behavior and Service experience (Mobility, Process)	2	9.60%	1, 19

3.3 Detailed analysis on each research question

3.3.1 RQ 1. Domain & user subject

연구 대상 문헌을 산업 도메인과 사용자 특성에 따라 분류한 결과, 산업 안전의 영역이 기존의 제조 현장을 넘어 모빌리티와 공공 공간, 그리고 첨단 시스템 인프라로 확장되고 있음이 확인되었다.

- 산업 도메인의 다변화: 공공 및 생활 안전 분야가 38.1%(8편)로 가장 높았으며, 교통 및 모빌리티가 33.3%(7편)로 그 뒤를 이었다. 특히 자율주행 버스의 안내 정보 시스템 검증(ID 13)과 다차로 하이패스 시스템의 서비스 품질 개선(ID 17)과 같은 첨단 교통 환경 연구가 핵심 도메인으로 부각되었다. ID 13은 2020~2025년 국내외 자율주행 버스 시각 자료 60여 점의 매트릭스 분석을 통해 정류장 표지판, 차량 외관, 내부 HMI, 외부 소통이라는 4단계 디자인 검증 항목을 제안함으로써 기술 검증을 UX 검증으로 확장하였다. 주목할만한 점은 자율주행 차량의 센서(LiDAR) 인식 성능을 분석한 연구(ID 16)로, LiDAR가 획득하는 반사 강도와 포인트 클라우드 데이터를 기존 도로 시설물 및 정밀도로지도 레이어와 비교 분석함으로써 도로 시설물의 정보 수용 주체를 인간에서 '시스템'으로 확장하며 인프라 설계의 패러다임 변화를 보여주었다. 또한 원자력 발전소의 공간 사용성에 따른 안전색채 표지물 연구(ID 4)와 산업안전표지 제작 디지털 플랫폼 'Safe Sign' 연구(ID 1)는 전통적 제조, 산업 현장 도메인이 여전히 유효한 연구 축임을 시사한다.
- 포용적 디자인(Inclusive Design)의 확산: 사용자 계층별 분석에서는 고령자(시니어) 대상 연구가 28.6%(6편)로 가장 큰 비중을 차지했다. 구체적으로 60세 이상 고령 운전자 296명을 대상으로 Paired *t*-test 기반 교육 효과성을 검증(ID 12)하거나, 대전 서구 경로당 16곳의 보행 환경 및 내부 장애물(출입구 단차, 휠체어 접근성 등)을 전수조사(ID 19)한 실증 데이터가 제시되었다. 나아가 고양시 중산체육공원을 대상으로 리빙랩 방법론을 통해 시니어 야외 운동시설의 QR 코드 기반 맞춤형 처방 시스템을 제안한 연구(ID 14), 인천시 3개 자치구 노인보호구역의 공공시설물 실태를 비교 분석한 연구(ID 15) 역시 고령친화 도시 디자인의 실증 축을 형성하고 있다. 아울러 어린이대공원의 유니버설 디자인 관점 평가(ID 20), 저시력자, 고령자를 대상으로 한 편의시설 안내 시스템 개선안(ID 9), 유니버설 디자인 원칙 기반의 지하철 사인 시스템 IPA 분석(ID 11)은 고령자, 저시력자, 휠체어 이용자 등 다

양한 사용자 계층을 통합적으로 포괄하는 포용적 UX 설계의 흐름을 뒷받침한다.

- 사회적 약자 대응과 연구 공백: 장애인 대상 연구(19.0%)는 색각 이상 대응 연구(ID 2, 6)와 청각장애인의 안전표지 인지 특성 연구(ID 3)를 중심으로 활발히 진행되었다. ID 2는 색각 시뮬레이션을 통해 먼셀 명도차 5 이상 기준을 제안하며 산업안전표지의 CUD (Color Universal Design) 지표를 마련하였고, ID 6은 복지관, 지하통로, 산업 현장 시설물별 CUD 안전색채 시스템 사례 분석을 통해 유형별 맞춤 가이드라인을 도출하였다. ID 3은 KS S ISO 7010 표준 표지를 대상으로 청각장애인이 장애 자체보다 학력, 문해력에 의해 인지 수준이 좌우됨을 밝혔다. 그러나 국내 산업재해 발생률이 높은 외국인, 다문화 근로자 대상 연구는 건설 현장 다문화 근로자를 위한 IoT, 프로젝션 매핑 기반 디지털 사이니지 시스템(ID 8) 단 1편(4.8%)에 불과하였다. 이는 국내 산재 발생률이 높은 외국인 인력 비중을 고려할 때 심각한 연구 불균형(Imbalance) 상태임을 나타낸다.

3.3.2 RQ 2. Methodology & tools

연구 방법론 측면에서는 주관적 만족도 평가와 객관적 물리 수치 측정이 상호 보완적으로 활용되고 있었으며, 최근에는 참여형, 실증형 방법론의 도입이 두드러진다.

- 정교화된 통계 및 품질 분석: 설문 및 실증 연구(47.6%)에서는 고급 통계 기법의 도입이 두드러졌다. 다차로 하이패스 연구(ID 17)는 Kano-Timko 모형과 PCSI(잠재적 고객만족 개선) 지수를 활용하여 본선형, 나들목형 모두에서 '다른 차로와의 합류 안전성'을 최우선 개선 과제로 도출함으로써 서비스 개선의 실무적 우선순위를 정량화하였다. 지하철 사인 시스템 연구(ID 11)는 IPA (Importance-Performance Analysis)를 통해 접근성(사인 간격, 배치)과 심미성(통일성)이 중점 개선 항목임을 정량화하였다. 또한 고령 운전자 교육 효과성 연구(ID 12)는 60세 이상 296명의 설문 자료에 대해 Paired *t*-test와 효과크기 분석을 실시하여 교육 프로그램의 통계적 유의성을 검증하였으며, 어린이대공원 UD 평가(ID 20)는 전문가 평가와 FGI (Focus Group Interview)를 결합한 혼합 방법론을 통해 19개의 구체적 문제점을 도출하였다.
- 물리적 성능 및 시인성 측정: 실험 및 시뮬레이션(19.0%) 연구에서는 환경 변수에 따른 시인성을 수치화하였다. 후부 안전표시 연구(ID 10)는 국내 이형 화물 화물차의 3종 안전표시(기존 끈, 기준품 빨간 헝겊, 형광 및 재귀반사재 개발품)를 주야간, 안개, 강우 등 6가지 복합 기상 조건에서 실차 인지거리 평가한 결과, 개발품이 야간 안개 상황에서 기존품 대비 최대 137%의 인지거리 향상을 나타냄을 실험적으로 증명하였다. 색각 이상자 연구(ID 2, 6)는 명도 대비 분석(Luminance Contrast Analysis)과 색각 시뮬레이션을 통해 시각적 시안의 유효성을 검증하였다. 아울러 자율주행차 인식 표지시설 연구(ID 16)는 LiDAR 센서의 반사 강도와 포인트 클라우드 데이터를 정밀도로지도 레이어와 비교 분석하여 시스템 인식형 인프라의 정량적 평가 틀을 제시하였다.
- 사회적 효과 및 참여형 연구: 전통시장 CPTED 연구(ID 18)는 인천, 파주, 청주, 순천 4개 도시의 사업 전후 설문을 통해 범죄 심각성 인식을 28.0%에서 5.0%로 급감시키고, 안전 인식을 70.1%로 상승시킨 실증 데이터를 통해 환경 설계의 UX적 효과를 입증하였으며, 특히 방범시설(CCTV, 비상벨, 안내표지판)의 명료성 강화가 핵심 요인임을 확인하였다. 또한 야외 체육시설 연구(ID 14)는 리빙랩 방법론(현장답사, 주민 간담회, 설문, 전문가 자문)을 통해 현장 중심의 사용자 경험 데이터를 확보하였다. 장충초등학교 CPTED 연구(ID 21)는 CPTED 4대 원리(자연감시, 접근통제, 영역성 강화, 활동성 증대)에 기반한 실증적 현장 진단을 통해 CCTV, AI 기반 알람, LED 바닥 안전표시 등의 구체적 대책을 도출하였고, 건설 현장 다문화 근로자 대상 연구(ID 8)는 심층 인터뷰를 바탕으로 시스템 운용, 활용성, 다문화 고려의 3가지 개발 요소를 체계화하는 정성적, 귀납적 접근을 시도하였다. 나아가 픽토그램의 의미 구성 과정을 브란트(Per Aage Brandt)의 기호적 혼성 모델(Semiotic Blending Model)로 분석한 연구(ID 7)는 6개 정신 공간의 상호작용을 이론적으로 규명하는 인지기호론적 방법론의 가능성을 열어 방법론의 다변화에 기여하였다.

3.3.3 RQ 3. UX metrics & stages

본 연구는 인간 정보처리 모델을 기반으로 UX 지표를 분류하였으며, 연구들이 지각과 인지 단계에 편중되어 있고 행동 단계 검증은 상대적으로 취약함을 확인하였다.

- 인지적 격차의 발견(Cognition, 57.1%): 가장 높은 비중을 차지한 인지 지표 분석에서 인지적 불균형이 확인되었다. 도로 주의표지 연구(ID 5)에 따르면, '횡단보도' 표지의 인식률은 95.8%인 반면, 복합 정보인 '중앙분리대 끝남' 표지는 21.0%에 그쳐 시각 정보의 복잡성이 인지적 오류를 유발함을 알 수 있었다. 이러한 인지적 격차는 사용자 계층 특성과도 연동되는데, 청각장애인의 안전표

지 인지에서 장애 자체보다 학력, 문해력이 결정적 변수임을 확인한 연구(ID 3)와, 산업안전표지 제작 시 법령 조회, 다국어 문구, 설치 시뮬레이션 등 6가지 인지 지원 기능을 도출한 디지털 플랫폼 연구(ID 1)는 인지 부하 감소가 UX 설계의 핵심 과제임을 뒷받침한다. 또한 자율주행 버스의 정류장, 외관, 내부 HMI, 외부 소통 4단계별로 이용자의 신뢰(Trust)와 인지적 구별성(Perceptual Distinction)을 검증해야 한다는 연구(ID 13)는 인지 지표가 첨단 모빌리티 환경에서 재정의되고 있음을 보여준다.

- 지각적 최적화(Perception, 33.3%): 색채 대비 및 시인성 연구(ID 2, 6, 10)가 주를 이루었으며, 픽토그램의 의미 구성 과정에 대한 기호학적 분석(ID 7) 등 지각된 정보가 멘탈 모델로 전이되는 과정에 대한 이론적 검토가 이루어졌다. 특히 원자력 발전소 안전 표지물 연구(ID 4)는 빨강, 초록의 지각적 시인성이 가장 높으며 형광 소재 등 특수 재질의 활용이 필요함을 근로자 평가를 통해 확인하였고, 컬러 유니버설 디자인 시설물 적용 연구(ID 6)는 시설물 유형별로 지각적 시인성을 최적화하는 색채 시스템의 필요성을 제시하였다. 또한 공공시각매체 UX 가이드라인 연구(ID 5)는 지각 단계의 4대 요건으로 '명확성, 일차원성, 복잡성, 형상성'을 제안하여 지각과 인지의 접점을 이론화하였다.
- 행동 지표의 희소성(Behavior, 9.6%): 실제 위험 상황에서의 반응 속도나 안전 지침 준수율을 측정한 연구는 전체의 10% 미만으로 매우 적었다. 대부분의 연구가 "이해했는가(인지)" 혹은 "만족하는가(선호도)"에 집중되어 있어, 실제 행동 유발 효과를 정량적으로 검증하는 연구가 향후에 필요함을 알 수 있었다. 예외적으로 후부 안전표시의 실차 인지거리 실험(ID 10)은 운전자의 실질적 반응 거리를 측정하였고, 전통시장 CPTED 사업 전후 설문(ID 18)은 안전 인식의 변화를 통해 간접적으로 이용자의 행동 의도 변화를 포착하였다. 또한 고령 운전자 교육 효과성 연구(ID 12)는 교육 후 운전 빈도, 자신감, 주의 요소 변화를 측정하여 행동 지표에 근접한 데이터를 제공했다는 점에서 의미가 있으나, 실제 사고율 감소나 안전 지침 준수율과 같은 산출 지표로의 확장은 여전히 향후 과제로 남아있다.

3.4 Synthesis of results

각 연구 질문을 종합해 볼 때, 국내 산업안전표지 UX 연구는 다음과 같은 세 가지 경향성을 보인다.

- 디지털 기술의 접목과 확장성: 아날로그 표지의 한계를 QR 코드(ID 14)나 디지털 사이니지(ID 8), 스마트 인프라(ID 13, 16)로 보완하려는 시도를 알 수 있었다.
- 사회적 약자를 위한 포용성: 유니버설 디자인(UD)과 컬러 유니버설 디자인(CUD)이 공공 안전표지의 필수 요소로 자리 잡고 있으며, 이는 고령화 및 다문화 사회로의 진입에 따른 연구적 대응으로 해석된다.
- 정적 지표에서 동적 지표로의 요구: 현재까지는 '보고 이해하는' 정적 인지에 집중되어 있으나, 자율주행이나 지능형 제조 환경에서는 '반응하고 행동하는' 동적 경험을 평가할 수 있는 행동 지표 연구의 필요성이 매우 높다.

4. Discussion

4.1 Shift in safety design paradigm: From standards-centered to experience-centered

본 연구의 분석 결과, 국내 산업안전표지 연구는 법적 규격 준수라는 소극적 차원을 넘어, 사용자의 인지적 특성을 반영하는 사용자 경험(UX) 중심 설계로 패러다임이 이동하고 있다. 특히 인지(Cognition) 지표에 대한 높은 집중도(57.1%)는 안전표지가 단순한 시각적 장치가 아닌, 위험 상황에서 사용자의 멘탈 모델 형성을 돕는 핵심 커뮤니케이션 수단임을 시사한다. 이는 인간공학적 설계가 법적 강제성을 충족하는 수준을 넘어, 근로자의 인지 부하를 줄이고 오판 가능성을 최소화하는 방향으로 나아가야 한다는 학문적 근거를 제시한다.

4.2 Expansion of research Domains and social inclusivity

기존 제조업 중심의 안전 연구가 모빌리티 및 공공 안전(71.4%) 분야로 확장된 것은 주목할 만한 변화이다. 고령자(ID 9, 14, 15) 및 장애인(ID 2, 6)을 대상으로 한 연구 비중이 높은 것은 인구통계학적 변화에 대한 학술적 응답이다. 그러나 외국인 및 다문화 근로자 대상 연구(4.8%)의 부족은 실제 산업 현장의 인력 구조 변화(외국인 비중 급증)와 연구 간의 심각한 불일치를 보여준다. 이는 향후 연구에서 중요하게 다루어야 할 부분이라고 판단된다. 또한, 행동 지표의 희소성(Behavior, 9.6%) 연구 부족과 관련하여서는 고령 근로자의

신체적 제약을 물리적으로 모사하는 노인 체험복(Aging suit)이나 피지컬 AI(Physical AI) 등을 활용하여 리빙랩(Living Lab)에서의 실제 행동 반응에 대한 지표 연구가 필요하다고 제시할 수 있을 것이다.

4.3 Methodological limitations and the need for multi-modal evaluation

현재 국내 연구의 47.6%가 설문조사 기반의 주관적 평가에 의존하고 있다. 이는 사용자의 선호도를 파악하기에는 용이하나, 안전의 본질인 '즉각적 회피 행동'을 예측하는 데는 한계가 있다. 따라서 인간의 주관적 응답을 보완할 수 있는 아이트래킹(Eye-tracking), 생체 신호(Biometrics), 그리고 기계 센서(ID 16)와의 호환성을 통합적으로 고려하는 다중 양식(Multi-modal) 평가 프레임워크의 도입이 필요할 것이다.

4.4 Future research directions

앞선 논의(4.1~4.3)에서 도출된 패러다임 전환, 도메인 확장, 방법론적 한계를 종합적으로 고려할 때, 향후 산업안전보건표지 및 표시에 관한 UX 연구는 다음 4가지 방향으로 심화될 필요가 있다.

4.4.1 Empirical studies on behavior-outcome metrics

현재 국내 UX 연구는 인지(Cognition, 57.1%)와 지각(Perception, 33.3%) 단계에 편중되어 있는 반면, 실제 위험 회피 반응이나 안전 지침 준수율과 같은 행동(Behavior, 9.6%) 지표에 대한 검증은 여전히 취약하다. 예외적으로 후부 안전표시의 실차 인지거리 실험(ID 10)이 6가지 복합 기상조건에서 운전자의 실질적 반응 거리를 측정함으로써 개발품의 인지거리가 기존품 대비 최대 137% 향상됨을 실증한 사례는 시사하는 바가 크다. 향후 연구에서는 이러한 준(準)실차·현장 실험 방식을 산업 현장, 건설 현장, 자율주행 인프라 등으로 확장하여, 아이트래킹 기반의 첫 응시 지점 및 회피 반응 시간, 나아가 사고율 감소 및 안전 지침 준수율과 같은 산출 지표를 통합적으로 측정하는 종단적 연구 프레임워크가 요구된다. 특히 고령 운전자 교육 연구(ID 12)가 교육 후 자신감, 주의 요소, 운전 빈도 변화를 측정한 접근을 참고하여, 표지 개선 전후의 실제 근로자 안전 행동 변화를 사전-사후 비교 등의 활성화가 필요하다.

4.4.2 Multilingual and adaptive signage for foreign workers

본 연구에서 확인된 큰 연구 공백 중 하나가 다문화, 외국인 근로자 대상 연구가 단 1편(ID 8, 4.8%)에 불과하다는 점이다. ID 8이 IoT와 프로젝션 매핑을 결합하여 작업자의 언어와 상황을 실시간으로 인식하는 디지털 사이니지 시스템을 제안했으나, 이는 개념적 프로토타입 수준에 머물러 있다. 향후 연구는 첫째, 산업안전표지 제작 디지털 플랫폼(ID 1)이 제안한 다국어 문구 기능을 확장하여 표준 픽토그램과 결합된 다국어 표지의 인지 효과를 국적별, 언어별로 실증적으로 비교 검증해야 한다. 둘째, 브란트(Brandt)의 기호적 혼성 모델(ID 7)을 이론적 틀로 활용하여, 동일한 ISO 7010 픽토그램이라 하더라도 사회문화적 배경에 따라 의미 해석이 어떻게 달라지는지를 실증 분석하는 문화 간(Cross-cultural) 인지 연구가 필요하다. 셋째, 색각 이상자를 위한 CUD 명도 대비 연구(ID 2, 6)의 방법론적 원리를 다문화 근로자에게 확장하여, 문해력이 낮은 근로자도 즉각적으로 이해 가능한 명료성 중심의 표지 설계 원칙을 도출할 필요가 있다.

4.4.3 Integrated infrastructure for human-system hybrid recognition

자율주행차의 LiDAR 센서 인식 성능 연구(ID 16)는 표지시설의 정보 수용 주체가 인간에서 '시스템'으로 확장되고 있음을 실증적으로 보여주었으며, 자율주행 버스의 4단계 안내 정보 시스템 검증(ID 13) 연구는 인간 이용자의 신뢰(Trust) 구축을 강조하였다. 그러나 두 연구는 각기 시스템 인식과 인간 인식을 분리하여 다루고 있어, 두 축을 통합하는 후속 연구가 시급하다. 향후 연구는 첫째, 동일한 도로 표지 및 산업안전표지가 인간의 시지각 4대 요건(명확성, 일차원성, 복잡성, 형상성; ID 5)과 LiDAR, 카메라의 기계 판독 요건을 동시에 충족시키는 이중 판독 가능 표지 디자인 원칙을 도출해야 한다. 둘째, 다차로 하이패스 서비스 품질 연구(ID 17)에서 활용된 Kano-Timko·PCSI 방법론을 확장하여 자율주행 표지 및 인프라에 대한 인간 사용자와 시스템의 요구 속성을 비교, 통합하는 이중 관점 품질 평가 모형이 개발될 필요가 있다. 셋째, 정밀도로지도의 정적 정보가 GNSS 단절 및 악천후에 취약하다는 ID 16의 문제 제기

를 발전시켜, 표지시설이 실시간 상황(날씨, 조도, 혼잡도)에 따라 색상, 휘도, 정보 밀도를 동적으로 조절하는 적응형 스마트 사이니지 연구가 요구된다.

4.4.4 Living lab and physical AI-based UX validation

방법론적 측면에서 국내 연구의 47.6%가 설문 기반 주관적 평가에 의존하고 있다는 한계를 극복하기 위해서는, 최근 야외 체육시설 연구(ID 14)와 전통시장 및 초등학교 CPTED 연구(ID 18, 21)에서 시도된 리빙랩 및 현장 실증 접근을 산업안전 도메인으로 본격 확산할 필요가 있다. 첫째, ID 14가 활용한 4단계 리빙랩 프로세스(현장답사 → 주민 간담회 → 설문 → 전문가 자문)를 원자력 발전소(ID 4)나 건설 현장(ID 8)과 같은 고위험 산업 도메인에 적용하여, 실제 근로자가 참여하는 사용자 주도형 표지 개선 연구가 확대되어야 한다. 둘째, 고령 근로자의 신체적, 인지적 제약을 물리적으로 모사하는 노인 체험복(Aging Suit) 및 저시력 시뮬레이션 안경을 활용하여, 어린이대공원 UD 평가(ID 20)에서 사용된 FGI 기반 정성 평가를 신체, 감각 제약 시뮬레이션 실험과 결합하는 혼합형 평가 프로토콜이 필요하다. 셋째, 로봇, 웨어러블 센서 등 피지컬 AI(Physical AI)를 활용하여 근로자의 시선, 자세, 움직임 데이터를 비침습적으로 수집함으로써, 표지 설치 위치, 높이, 색채가 실제 작업 동선에 미치는 영향을 정량적으로 검증하는 실환경 UX 연구가 가능해질 것이다. 나아가 이러한 데이터를 ID 1의 'Safe Sign' 디지털 플랫폼에 지속적으로 축적, 환류(Feedback)함으로써, 근거 기반(Evidence-based)의 산업안전표지 설계 생태계 구축이 가능할 것으로 기대된다.

5. Conclusion

본 연구는 21편의 문헌에 대한 체계적 문헌고찰(SLR)을 통해 국내 산업안전표지 UX 연구의 동향을 규명하였다. 연구의 지형이 전통적 작업장에서 스마트 모빌리티 및 생활 안전 공간으로 확장되고 있으며, 고령자와 장애인을 포함한 포용적 디자인 연구가 주류를 형성하고 있다. 또한 지각(33.3%)과 인지(57.1%) 단계의 지표 연구는 활발하나, 행동 단계(9.6%)의 정량적 측정은 여전히 미흡하며, 아날로그 표지의 한계를 QR 코드, 디지털 사이니지 등 ICT 기술로 보완하려는 디지털 전환 시도가 뚜렷하게 나타났다. 본 연구는 국내 산업안전 시각 정보 체계를 '지각-인지-행동' 모델로 구조화하여 인간공학적 연구 공백을 확인하였고, 다차로 하이패스와 원자력 발전소 등 구체적 현장 지표를 통해 향후 '사용자 중심 안전 디자인 가이드라인' 수립의 기초 데이터를 확보하였다.

이상의 결과를 바탕으로 후속 연구를 위한 제언을 다음과 같이 네 가지로 구체화한다. 첫째, 외국인·다문화 근로자를 위한 시각적 안전 체계의 유효성 검증이 확대되어야 하며, 산업안전표지 디지털 플랫폼의 '다국어 문구' 기능과 브란트의 기호적 혼성 모델을 활용한 문화 간 인지 연구가 요구된다. 둘째, 자율주행차의 LiDAR 인식과 자율주행 버스의 안내시스템 검증이 분리 다루어져 온 한계를 넘어, 인간의 시지각 4대 요건과 기계 판독 요건을 동시에 충족하는 '이중 판독 가능' 표지 원칙과 Kano-Timko·PCSI 확장 기반의 적응형 스마트 사이니지 품질 평가 모형이 개발되어야 한다. 셋째, 후부 안전표시 실차 실험과 같은 준실차 연구를 확장하여, VR, 아이트래킹을 활용한 회피 반응 시간 및 안전 지침 준수율 등 산출 지표를 측정하는 종단적 유사 실험(Quasi-experimental) 연구가 활성화될 필요가 있다. 넷째, 야외 체육시설 리빙랩 프로세스를 원자력 발전소, 건설 현장 등 고위험 도메인에 적용하고, FGI와 노인 체험복, 저시력 시뮬레이션 및 피지컬 AI 센서를 결합한 실환경 UX 검증 방법론이 확산되어야 하며, 이 데이터가 'Safe Sign' 플랫폼과 연계될 때 근거 기반 설계 생태계 구축이 가능할 것이다.

결론적으로, 본 연구가 제시한 네 가지 방향은 국내 산업안전보건 표지 UX 연구가 규격 준수 중심에서 사용자 중심으로, 나아가 인간-시스템 통합(Human-System Integration) 중심으로 진화해 가는 로드맵을 제공하며, 모든 이용자를 포용하는 지능형 안전 시각 커뮤니케이션 체계의 학문적, 실무적 토대가 될 것으로 기대된다.

Acknowledgement

이 논문은 2025년도 한국기술교육대학교 교수 교육연구진흥과제 지원에 의하여 연구되었음.

References

American National Standards Institute (ANSI), ANSI Z535.4: Product Safety Signs and Labels, *National Electrical Manufacturers Association (NEMA)*, 2011.

An, S.J. and Lee, K.I., A Study on the Application of Universal Design Guide System - Focusing on convenience facilities such as low vision people and the elderly -, *Journal of the Korea Institute of Spatial Design*, 19(3), 433-444, 2024.

Cho, H.S., Shin, D.H. and Lee, B.R., Factors to Improve the Multi-lane Hi-pass System Service Quality: Using Kano-Timko Model and PCSI Index, *Journal of Transport Research*, 30(1), 31-47, 2023. DOI:10.34143/jtr.2023.30.1.31

Choi, M.H. and Kim, H.T., A Study on the Participation of Experience Design in Outdoor Sports Facilities for Senior Health Promotion, *Journal of Brand Design Association of Korea*, 23(5), 179-190, 2025. DOI:10.18852/bdak.2025.23.5.179

Go, H.B. and Oh, S.H., A Survey on the Pedestrian Environment and Internal Environment for Oral Health Education in Senior Citizen Centers: Focused on Seo-gu, Daejeon, *Journal of the Korea Institute of Spatial Design*, 18(4), 551-562, 2023.

Gorecky, D., Schmitt, M., Loskyll, M. and Zühlke, D., Human-machine-interaction in the industry 4.0 era, *Proceedings of the 2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 289-294, 2014. DOI:10.1109/INDIN.2014.6945523

International Organization for Standardization (ISO), ISO 7010:2019 Graphical symbols — Safety colours and safety signs — Registered safety signs, *ISO*, 2019.

Jeon, Y.J., Kim, J.W., Kwon, C.O. and Lee, J.H., Deriving the Role of Sign Facilities Recognized by Autonomous Vehicles, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 26(1), 1-10, 2023. DOI:10.11108/kagis.2023.26.1.001

Kang, I.H., Choe, B.H. and Youk, J.H., Study on the Evaluation of the Visibility of Rear Safety Signs on Domestic Out-of-gauge Cargo-loading Trucks, *Journal of the Korean Society of Living Environment System*, 31(6), 471-480, 2024. DOI:10.21086/ksles.2024.12.31.6.471

Kang, M.G., Lee, H.S. and Kim, J.Y., A Proposal for the Signal of Safety Color according to Space Usability in the Workplace, *Journal of the Korea Institute of Spatial Design*, 18(5), 135-146, 2023. DOI:10.35216/kisd.2023.18.5.135

Kang, S.J., Hong, S.J., Lee, S.J. and Kim, G.W., An Analysis of the Effectiveness of CPTED in Traditional Markets through the Pre- and Post-Project Survey, *Journal of Community Safety and Security by Environmental Design*, 13(1), 47-80, 2022. DOI:10.26470/JCSSED.2022.13.1.47

Kim, M.J. and Cha, S.H., A Study on Verification Factors for Guidance and Information Design in Autonomous Bus Pilot Operations, *Journal of the Korean Society of Design Culture*, 31(4), 99-112, 2025. DOI:10.18208/ksdc.2025.31.4.99

Kim, S.H. and Seo, M.J., A Study on the Analysis of Public Facilities for the Aged-friendly City: Focusing on the Elderly Protection Area in Incheon, *Journal of Formative Design Process*, 24(2), 31-41, 2020. https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artiId=ART002607835

Kim, S.M., A study on Guidelines for Improving the UX of Public Visual Media: focused on effective visual communication of

caution signs-, *Journal of Basic Design & Art*, 22(4), 59-71, 2021. DOI:10.47294/KSBDA.22.4.5

Kim, S.W., Eom, Y.J. and Jung, M.Y., Testing the Effectiveness of Safe Driving Education for Older Drivers, *Journal of Senior & Dementia Occupational Therapy*, 18(1), 1-15, 2024. DOI:10.34263/jsotad.2024.18.1.1

Kim, Y.J. and Kim, H.S., A Study on Safety Signage System Design for Reduction of Industrial Accidents in Construction Site: Considering Work Environment of Multicultural Workers-, *Journal of the Korean Society of Design Culture*, 24(1), 105-117, 2018. DOI:10.18208/ksdc.2018.24.1.105

Laughery, K.R. and Wogalter, M.S., A three-stage model summarizes product warning and environmental sign research, *Safety Science*, 61, 3-10, 2014. DOI:10.1016/j.ssci.2011.02.012

Lee, K.A. and Kim, W.P., An Improvement on Wayfinding which considers Universal Design Concept, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 17(8), 423-432, 2016. DOI:10.5762/KAIS.2016.17.8.423

Lee, S.H. and Park, Y.S., A study on the safety color design system of color universal design -Focusing on the Analysis of Application Cases in Facilities-, *Journal of Communication Design*, 91, 146-159, 2025. DOI:10.25111/jcd.2025.91.10

Lee, Y.S., A study on measures to improve the comprehension of safety signage for domestic construction site workers, Master's thesis, *Kyonggi University*, 2017.

Park, M.J., A Cognitive-Semiotic Analysis of the Meaning Construction of Pictograms: Focusing on Per Aage Brandt's 'Semiotic Blending Model', *German Language and Literature*, 109, 29-55, 2025. DOI:10.30947/zfdsl.2025..109.29

Park, Y.J. and Cho, Y.O., A Study on the Application of Crime Prevention Through Environmental Design: Focused on Jangchung Elementary School in Jung-gu, Seoul, *Journal of Korea Private Security*, 20(2), 117-144, 2021.

Son, H.I., Song, J.G., Kim, S.Y., Lym, H.J., Kim, S.H. and Chung, J.H., Proposal of Digital Platform for Production of Industrial Safety Signs, *Journal of the Korean Society of Design Culture*, 29(2), 183-195, 2023. DOI:10.18208/ksdc.2023.29.2.183

Son, J.S. and Yi, E., Characteristics of Hearing-Impaired Persons in Recognizing Safety Signs: Picture Signs for Public Guidance, *Archives of Design Research*, 36(4), 333-345, 2023. DOI:10.15187/adr.2023.11.36.4.333

Son, M.A and Son, W.J., Research on the Development of Color Arrangement Models for Color Blindness: Industrial Safety Signage from the Perspective of Color Universal Design, *Journal of the Korea Institute of Spatial Design*, 11(5), 201-212, 2016.

Wickens, C.D. and Carswell, C.M., Handbook of Human Factors and Ergonomics, *John Wiley & Sons, Inc.*, 2021.

Wogalter, M.S., Conzola, V.C. and Smith-Jackson, T.L., Research-based guidelines for warning design and evaluation, *Applied Ergonomics*, 33(3), 219-230, 2002. DOI:10.1016/S0003-6870(02)00009-1

Yang, L. and Kim, J.S., A Study on the Improvement of Public Facilities in Seoul Children's Grand Park from the Perspective of Universal Design, *Journal of Basic Design & Art*, 22(3), 283-294, 2021. DOI:10.47294/KSBDA.22.3.22

Author listings

Jaein Lee: inibest@koreatech.ac.kr
Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology
Position title: Assistant Professor, School of Future Technology, Korea University of Technology and Education (KOREATECH)
Areas of interest: Human Factors, Ergonomics, UI/UX Design, Usability, Human Error

Youngjae Im: ergoim@deu.ac.kr
Highest degree: PhD, Department of Industrial Management Engineering, Korea University
Position title: Associate Professor, Department of Ergonomics Engineering, Dong-Eui University
Areas of interest: Human Factors, UI/UX, HCI, Safety Design