ISSN 2509-2817 KiDRS Korea Institute of Design Research Society 통권 32호, 2024. Vol.9 No.3

AHP-FCE를 활용한 중국 피난안내도 최적화 설계 연구

Chung Hua University(CHU) 도서관을 중심으로

A Study on the Optimization of China's Fire Evacuation Plans Based on AHP-FCE Analysis Method

focused on Chung Hua University (CHU) Library

주 저 자 : 호지달 (Hu, Zhi Da) 한양대학교 응용미술학과 석사과정

공 동 저 자 : 장의명 (Zhang, Yi Ming) 한양대학교 응용미술학과 석사과정

교 신 저 자 : 저우이쉬안 (Zhou, Yi Xuan) Lecturer, Dept. of Art and Technology, Zhejiang Normal University
chowyh@qq.com

https://doi.org/10.46248/kidrs.2024.3.23

접수일 2024. 08. 01. / 심사완료일 2024. 09. 03. / 게재확정일 2024. 09. 09. / 게재일 2024. 09. 30.

Abstract

In large indoor public spaces such as office buildings and shopping malls, the complex architectural layout and dense population increase the difficulty of emergency evacuation. In the event of a fire or other disaster, the lack of effective evacuation measures can lead to significant casualties and property loss. This paper studies fire evacuation maps in China based on the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Fuzzy Comprehensive Evaluation (FCE) methods, aiming to improve the cognitive efficiency and user experience of evacuation maps. The study first constructs a hierarchical index system for evacuation maps, determines the weights of various design elements, and forms a judgment matrix through evaluations by experts and users. Then, the optimized evacuation map undergoes a comprehensive evaluation analysis. The results show that clarity and functionality are the two aspects users are most concerned about, with the recognizability of signage and the accuracy of location information being particularly important. The optimized evacuation map shows significant improvements in clarity and information transmission, effectively guiding people to quickly escape in emergencies. This study validates the rationality and feasibility of the AHP-FCE method in the design of fire evacuation maps, providing new ideas and directions for further optimization of evacuation maps.

Keyword

AHP-FCE Analysis (AHP-FCE 분석 방법), Evacuation Plan(피난안내도), Optimal Design(최적화 설계)

요약

대형 실내 공공 장소에서는 복잡한 건축 구조와 밀집된 인구로 인해 긴급 대피가 더 어려워진다. 화재 등의 재난이 발생하면 효과적인 소방 대피 조치가 부족할 경우 심각한 인명 피해와 재산 손실이 발생할 수 있다. 이 논문은 계층 분석법(AHP)과 퍼지 종합 평가법(FCE)을 기반으로 중국의 피난안내도를 연구하여 피난안내도의 인지 효율성과 사용 경험을 향상시키기 위해 노력하고 있다. 연구는 먼저 피난안내도의 계층 지표 체계를 구축하고, 각 디자인 요소의 가중치를 확정하며, 전문가와 사용자 평가를 통해 판단 행렬을 형성했다. 그 다음, 최적화된 피난안내도에 대한 종합 평가 분석을 수행했다. 결과는 사용자가 가장 중요하게 생각하는 두 가지 측면인 명확성과 기능성에서, 표지의 식별도와 위치 정보의 정확성이 특히 중요하다는 것을 보여주었다. 최적화된 피난안내도는 명확성과 정보 전달 면에서 현저한 향상을 보이며, 긴급 상황에서 사람들이 빠르게 탈출할 수 있도록 효과적으로 안내한다. 이 연구는 AHP-FCE 방법이 소방 피난안내도 설계에서의 합리성과 실행 가능성을 검증하고, 피난안내도를 더욱 최적화하기 위한 새로운 아이디어와 방향을 제공하고 있다.

목차

1. 서론

1-1. 연구 배경
1-2. 연구 목적 및 방법

2. 이론적 배경

2-1. 피난안내도 연구 현황
2-2. 피난안내도의 구성 요소

3. 평가 지표 계층 구조 모델의 구축

3-1. AHP-FCE방법의 개념
3-2. 계층 구조 모델의 구축
3-3. 평가 지표 가중치의 부여
3-4. 판단 행렬의 구성 및 가중치 계산
3-5. 일관성 검증

4. 최적화 설계 실천 및 평가

4-1. 최적화 설계 실천

4-2. 최적화 설계의 평가 및 검증

5. 결과

5.1. 평가 지표의 가중치 분석

5-2. 퍼지 종합 평가 결과 분석

5-3. 피난안내도의 디자인 전략

6. 결론 및 한계

참고문헌

1. 서론

1-1. 연구의 배경 및 목적

대형 실내 공공장소에서, 예를 들어 사무실 건물이나 쇼핑몰 등에서는 공간이 폐쇄되어 있고, 사람들이 많으며, 건축물의 구조가 복잡한 등의 요인으로 인해 인원의 대피가 훨씬 어려워진다. 화재나 다른 재난이 발생할 경우, 효과적인 소방 안전 대피 조치가 없으면 심각한 인명 피해와 재산 손실을 초래할 수 있다. 통계에 따르면, 2012년부터 2021년까지 중국에서 발생한 주거지 화재는 132.4만 건에 이르고, 이에 따라 11,634명이 사망하고 6,738명이 상처를 입었으며, 재산 손실은 무려 777억 위안에 달했다[1]. 따라서 효과적인 대피 대책을 마련하고 실행하는 것은 재난이나 사고로 인한 피해를 줄이고, 대중의 생명과 재산의 안전을 보장하는 데 매우 중요하다. 중국의 응급 유도 표지 시스템은 안전표지, 안전마크, 피난안내도 등을 주로 포함한다. 피난안내도는 직관적인 시각 형식으로 공공장소에서 사람들에게 안전 정보를 제공하고, 긴급 상황에서 사람들이 피난 경로를 따라 위험 지역에서 대피하도록 안내하는 중요한 참고 자료다[2].

비록 중국의 "피난안내도 설계 원칙 및 요구사항 GB/T 25894-2010"이라는 국가 표준을 제정했지만, 포함해야 할 정보와 요소의 크기만 규정하고 있다. 실제 적용에서는 여전히 몇 가지 문제가 있다. 예를 들어, 지하철역, 공원 및 일부 대형 마트 등에서 응급 대피 정보가 눈에 띄지 않는다는 문제가 있다[3]. 정보의 내용이 복잡하고, 계층이 명확하지 않으며, 인지 효율이 낮다는 문제가 있다[4]. 이러한 문제들은 사용자의 인지 효율과 사용 경험을 크게 저하시키며, 결국 피난안내도의 실제 유용성에 영향을 미친다. 따라서 피난안내도에 대한 깊은 연구와 각 디자인 요소의 중요성을 분석하고 토론하며 개선 방향과 전략을 제안하는 것이 매우 필요하다. 피난안내도의 계층 정보와 명확성을 향상시키면 재난으로 인한 인명 피해와 재산 손실을 효과적으로 줄일 수 있다. 이는 매우 중요한 실제적 의미를 가진다. 따라서 본 논문은 피난안내도에 대한 연구를 통해, 건축 구조 정보, 피난 경로 정보, 위치 정보 등 피난안내도의 디자인 요소를 대상으로 하여, 계층 분석 법을 사용하여 먼저 계층 지표를 구축하고, 그다음 각 요소의 가중치 값을 계산하여 순위를 매긴다. 그 후에는 모호 종합 평가를 통해 최적화된 피난안내도 방안을 종합적으로 평가 분석한다. 피난안내도의 설계 원칙과 전략을 탐구하며, 피난안내도 연구와 실천에 새로운 시각과 방향을 제공한다.

1.2.연구의 방법 및 절차

본 연구는 피난안내도의 구성 요소를 바탕으로 계층 지표를 구축한다는 목적을 가지고 있다. 또한 계층 분석 법을 사용하여 이러한 요소들의 중요도를 계산하고, 마지막으로 퍼지 종합 평가 방법을 사용하여 피난안내도 방안에 대한 종합 평가를 실시한다. 따라서 보다 효

1) LIU Zhuoran; BIAN Yang, Abroad Research Progress on Emergency Evacuation Signs, Journal of Transportation Engineering, Vol.24, No.02, Beijing Traffic Engineering Society, 2024, p.56-61+81.

2) CHEN Yong-quan, BAI Dian-yi. CHEN Yong-quan,BAI Dian-yi, Framework of National Standard System for Safety Guidance Sign System, Standard Science, No.03, China Association For Standardization, 2010, p.48-51.

3) Xu Feng, Emergency evacuation must have a map to follow, China Qulity Daily, No.002, China's Quality Press Agency, 2011, p.2.

4) LI Juan;Yuan Guang-yu;Lian Ji-feng, Fire Evacuation Map Design Based on Behavioral Cognitive Analysis, Packaging Engineering, Vol.44, No.16, Southwest Institute of Technology and Engineering, 2023, p.294-304.

과적인 피난안내도의 설계 원칙과 방향을 탐구하기 위해, 구체적인 연구 방법과 절차는 다음과 같다.

첫째, 선행 연구를 통해 중국과 외국의 연구 현황을 조사하고, 피난안내도의 중요성과 최적화 필요성을 검토하여 연구의 유효성을 확보한다. 둘째, 계층 분석 법을 통해 피난안내도 내 각 요소의 중요도 순서를 판단한다. 셋째, 각 디자인 요소의 중요도에 따라 설계 실천을 진행한다. 넷째, 사용자 조사와 가중치를 결합하여 설계 방안에 대한 모호 종합 평가를 실시한다.

2. 이론적 배경

2-1. 피난안내도 연구 현황

피난안내도 연구 내용은 종종 응급 유도 표지 시스템의 한 분야로 간주되어 상대적으로 연구가 적다. 중국에서 피난안내도에 대한 연구는 주로 다음과 같은 방면에 집중된다. ① 대피 표지에 대한 연구다. 예를 들어, SHI Feng-qi[5]는 시각 행동 분석을 기반으로 다양한 색상, 형태 및 위치의 대피 표지가 인원 대피에 미치는 영향을 탐구했다. 눈동자 움직임 실험과 대피 시뮬레이션을 통해 연구는 초록색 화살표 표지가 긴급 상황에서 탈출 지시 효과가 가장 좋다는 것을 발견하고 건물 응급 대피 표지 시스템의 최적화 설계 제안을 제시했다. Wang Jun-ya[6]는 대학교 도서관을 대상으로 눈동자 움직임 실험과 설문조사를 통해 기존 대피 표지의 효율성을 평가하고 최적화 방안을 제시했다. 연구에 따르면 표지의 가시성과 판독성이 대피 효율에 뚜렷한 영향을 미치며, 최적화된 표지 배치는 사용자의 대피 속도와 안전감을 현저히 향상시켰다. DENG Jie[7]은 통계학적 방법을 사용하여 저조도 화재 상황에서 표지 배경의 색상 특성 파라미터를 연구하였다. 실험 이미지에 대해 통계 분석과 특징 추출을 진행한 결과, 연구는 파란색과 녹색의 비상 대피 표지가 더 쉽게 식별되며, 빨간색 비상 대피 표지는 화재 대피 효율을 저하시킨다는 것을 보여주었다. ② 피난안내도에 대한 연구다. 예를 들어, SHI Feng-qi[8]는 눈동자 움직임 실험을 통해 다양한 색상의 건축 평면 피난안내도가 대피 효과에 미치는 영향을 연구했다. 결과는 차가운 색상 계열의 디자인이 더 많은 주의를 끌고 정보 전달의 명확성과 대피 효율을 향상시킬 수 있다는 것을 보여준다. Tang[9]은 일반 대중을 대상으로 그들이 도표를 읽는 데 소요되는 시간과 탈출 경로를 계획하는 데 걸리는 시간을 측정하였다. 그 결과, 탈출 경로를 계획하는 데 소요되는 시간이 읽는 시간의 약 1.1배에서 2배에 달한다는 것이 밝혀졌다. 또한 도표를 읽는 시간이 길어질수록 탈출 경로를 계획하는 데 걸리는 시간도 길어졌다. 따라서 도표의 명확성과 가독성을 높이는 것이 더 효과적인 탈출 경로를 계획하는 데 도움이 된다. ③ 특정 지역의 피난안내도를 개선하는 연구다. 예를 들어, Zhang Xin[10] 등은 사오싱시(紹興市)의 피난안내도에 대한 개선된 평면 피난안내도 아이디어를 제안했다. 피난안내도 구성 요소의 중요도에 대한 연구는 거의 없다. 그러나 피난안내도의 인지 효율은 재난 발생 시 사람들이 피난 경로를 찾는 데 중요한 역할을 한다. 따라서 피난안내도 구성 요소의 중요도를 연구의 출발점으로 삼아 피난안내도에 대한 연구를 진행한다.

2-2. 피난안내도의 구성 요소

중국 국가 표준 "피난안내도 설계 원칙 및 요구사항 GB/T 25894-2010"[11]에 따르면, 피난안내도의 내용에

5) SHI Feng-qi, Research on Optimization of Building Emergency Evacuation Sign System Based on Visual Behavior, Central South University, Master's Thesis, 2022, p.74-75.

6) Wang Jun-ya, Research and Optimization on the Effectiveness of Evacuation Signs in University Library Based on Eye Movement Experiment, Sichuan Normal University, Master's Thesis, 2020, p.78-80.

7) DENG Jie, LI Hai, FENG Si-hai, Color characteristics of fire emergency evacuation signs in low illumination environment, Fire Science and Technology, Vol.39, No.7, Tianjin Fire Research Institute of M.E.M., 2020, p977-981.

8) SHI Feng-qi; LIAO Hui-min; ZHENG Ke-xin, Study on color optimization and evacuation effect of building plane evacuation map based on eye movement, Journal Of Safety Science And Technology, Vol.19, No.07, China Academy of Safety Science and Technology, 2023, p.169-177.

9) Tang CH, Lin CY, Hsu YM, Exploratory research on reading cognition and escape-route planning using building evacuation plan diagrams, Applied Ergonomics, Vol.39, No.2, Elsevier Ltd, 2008, p.209-217.

10) Zhang Xin; Yu Chang-long, A piece of paper contains the secrets of the world. Shaoxing fire department provides on-site guidance to improve the fire evacuation map, China Fire, No.01, Emergency Management Department Fire Product Qualification Assessment Center, 2011, p.33.

는 건축 평면도, 관찰자의 현재 위치, 소방 설비 정보, 피난 경로, 범례 등이 포함된다. 세 가지 유형으로 나눌 수 있다. (1) 전체 평면도(overview plan)는 대피 상세도와 전체 건축물 또는 장소를 연결하는 간략한 도식으로 사용된다. 집합 지점의 위치, 전체 건축물 또는 장소의 간략한 평면도, 주변 지역(예: 도로, 주차장, 기타 건물 등)의 간략한 도식을 포함해야 한다. (2) 대피 상세도(escape plan detail)는 층별 평면도를 기반으로 한 상세한 도식이다. 피난안내도의 주요 부분으로서, 대피 상세도에는 관찰자의 위치, 계단의 위치, 소방 설비 정보 등이 포함된다. (3) 그리고 소방 안전 공고, 응급 안전 공고, 범례 등의 보조 정보가 있다. (표1 참조)

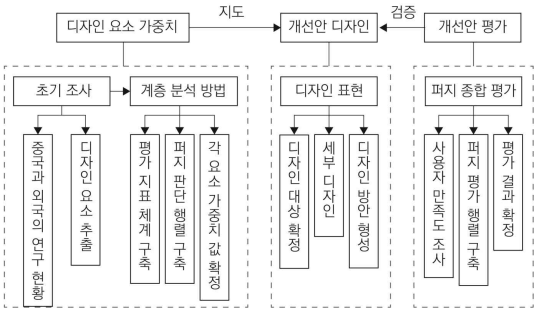
[표 1] 중국의 피난안내도의 구성 요소

카테고리	내용
전체 평면도	집합지점의 위치, 전체 건물이나 시설의 간략한 평면도, 주변 지역(예: 도로, 주차장, 기타 건물 등)의 간략한 도식 등
대피 상세도	관찰자의 위치, 계단의 위치, 소방 시설 정보 등
보조 정보	소방 안전 공고, 비상 안전 공고, 범례 등

3.평가 지표 계층 구조 모델의 구축

3.1.AHP-FCE방법의 개념

계층 분석법(analytic hierarchy process, AHP)은 미국 운용과학 전문가 T.L. Saaty가 1970년대에 제안한 계층적 가중치 결정 분석 방법이다[12]. 이 방법은 다수의 평가자들 사이의 일관된 판단을 도출할 수 있으며, 간단하고 보편적으로 사용되는 방법이다[13]. 퍼지 종합 평가(fuzzy comprehensive evaluation, FCE)는 퍼지 수학을 기반으로 하여, 정량적이고 정확한 수학적 방법으로 다양한 요소 간의 퍼지 관계를 표현한다[14]. 이 방법은 다양한 불확실성 문제와 양적으로 측정하기 어려운 문제를 해결할 수 있다. 예를 들어, 프로젝트 위험 평가[15]등이 있다. AHP-FCE 방법은 계층 분석법과 퍼지 종합 평가법을 결합하여, 계층 분석법으로 평가 지표 체계 내 각 지표의 가중치를 결정하고, 퍼지 종합 평가법으로 퍼지 지표를 종합적으로 판단한다. AHP-FCE 방법은 그 이론적 기반과 실용성이 강해 최근 여러 분야에서 광범위하게 활용되고 있다. 예를 들어, 제품 디자인 방안 결정[16]등에 적용되고 있다. 본 연구에서는 먼저 AHP 계층 분석법을 사용하여 피난안내도의 설계 지표 계층 구조 모델을 구축하고, 사용자를 초청하여 각급 평가 지표에 대한 두 개씩 비교를 실시한다. 얻은 지표 값에 따라 판단 행렬을 구축하고, 각급 지표의 가중치를 계산하여 전체적으로 순위를 매긴다. 그다음에는 가중치 값 순위에 따라 설계 실천을 지도하고, 마지막으로 사용자 조사와 결합하여 최적화된 피난안내도 설계 방안에 대해 퍼지 종합 평가를 실시한다. AHP-FCE를 활용한 연구 과정은 [그림 1]과 같다.



[그림 1] AHP-FCE를 활용한 연구 과정

11) 全國標準信息公共服務平颱 [웹사이트]. (20240410). https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=71F772D7DF11D3A7E05397BE0A0AB82A

12) Saaty T L, A scaling method for priorities in hierarchical structures, Journal of mathematical psychology, Vol.15, No.3, Academic Press Inc Elsevier Science, 1977, p.234-281.

13) 박명배, 남은우, 이해종, 신택수, 계층 분석적 의사결정방법 (AHP) 에 의한 건강도시 사업 평가기준의 우선순위 결정에 관한 연구, 보건교육건강증진학회지, Vol.25, No.3, 한국보건교육건강증진학회, 2008, p.139-151.

14) Pittaway L, Cope J, Entrepreneurship education: A systematic review of the evidence, International small business journal, Vol.25, No.5, Sage Publications Ltd, 2007, p.479-510.

15) Bai L, Li Y, Du Q, et al, A fuzzy comprehensive evaluation model for sustainability risk evaluation of PPP projects, Sustainability, Vol.9, No.10, MDPI, 2017, p.1890.

16) HU Shan, LIU Jing, Application of Fuzzy Comprehensive Evaluation Method in Product Design Scheme Decision, Journal of Machine Design, Vol.37, No.1, Chinese Mechanical Engineering Society, 2020, p.135-139.

3.2. 계층 구조 모델의 구축

피난안내도의 설계 평가 과정에서는 먼저 피난안내도의 설계 지표 계층 구조 모델을 설정한다. 문헌 검토와 디자인 분야 전문가의 지도를 통해 피난안내도의 구성 요소, 주요 기능 및 사용 장면을 종합적으로 고려하여 피난안내도의 설계 지표를 세 개의 계층으로 분류한다. 첫 번째 계층은 목표 계층으로, 피난안내도의 설계 지표 M이다; 두 번째 계층은 기준 계층으로, 기능성 A, 명확성 B, 완전성 C이다; 세 번째 계층은 지표 계층으로, 기준 계층의 9개의 하위 지표를 포함한다.

(1) 기능성은 사용자가 피난안내도를 보면서 피난안내도의 여러 측면을 올바르게 인지할 수 있는지에 초점을 맞춘다. 이에는 떠나는 경로의 합리성, 위치 정보의 정확성, 피난안내도 설치 위치의 적절성이 포함된다.

(2) 명확성은 피난안내도의 시각적 명확성을 보장하여 사용자가 긴급 지향 요소를 신속하게 식별할 수 있게 한다. 이에는 표지의 식별도, 문자의 식별도, 건축 평면도의 식별도가 포함된다.

(3) 완전성은 피난안내도의 구성 요소의 완성도를 보장한다. 이에는 총평면도 내용의 완전성, 떠나는 상세도 내용의 완전성, 보조 정보의 완전성이 포함된다.

[표 2] 피난안내도 디자인 평가 지표 체계 및 의미

목표 계층	기준 계층	지표 계층	의미
피난안내도의 디자인 지표 계층 구조	기능성	피난 경로의 합리성	경로 계획 및 스타일, 색상 등이 합리적인가
		위치 정보의 정확성	관찰자의 위치, 출구 위치, 구조 장비 등 핵심 정보가 실제 장면과 일치하는지 여부
		피난 안내도 설치 위치의 합리성	피난 경로의 핵심 위치, 예를 들어 각 층의 주 입구, 엘리베이터와 계단 근처 등에 설치되었는가
	명확성	표식의 식별도	각종 표식의 형태, 크기, 색상의 명확도
		문자의 식별도	문자 정보 부분이 예상 관찰 거리에서 최적의 명확도를 제공하는가
		건축 평면도의 식별도	건축 평면도의 정보가 명확하고 정확한지 여부
	완전성	총 평면도 내용의 완전성	집결지 위치, 주변 지역(예: 도로,주차장, 기타 건물 등)의 단순화된 도식 등 총괄적 내용의 완전성
		피난 세부도 내용의 완전성	비상구, 관찰자 위치, 계단 위치 등의 상세 내용의 완전성
		보조 정보의 완전성	범례, 층수, 안전 고지, 시설 명칭 등 보조 정보의 완전성

3.3. 평가 지표 가중치의 부여

각 평가지표에 가중치를 부여하기 위해 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 2024년 4월 26~30일에 실시되었다. 설문지 설계는 1부터 9까지의 척도를 사용하며, 척도 값과 그 의미는 [표 3]에 나타나 있다. 조사 대상은 총 1 5명이었고, 그 중 5명은 디자인 학과 교사와 디자인 전공 대학원으로 구성된 전문가 그룹이다. 사용자 그룹은 10명으로, 무작위로 선택된 사용자로 구성된다. 각 계층의 요소를 두 개씩 비교하여, 척도 값으로 두 요소 간의 중요도를 나타내며, 이를 통해 판단 행렬을 구성한다.

[표 3] 1—9 척도 값과 의미

척도	중요도	의미
1	동등 중요	두 요소가 동등하게 중요함
3	약간 중요	앞의 요소가 뒤의 요소보다 약간 더 중요함
5	강하게 중요	앞의 요소가 뒤의 요소보다 강하게 중요함
7	대단히 중요	앞의 요소가 뒤의 요소보다 대단히 중요함
9	매우 중요	앞의 요소가 뒤의 요소보다 매우 중요함
2, 4, 6, 8	중간값	두 등급의 중간값
역수	역방향 비교	A와 B를 비교할 때 척도가 5라면, B와 A를 비교할 때는 1/5임

3.4. 판단 행렬의 구성 및 가중치 계산

조사 결과에 따라 얻은 척도 값으로 모호 판단 행렬 M을 설정하고, 지표 i와 지표 j의 비교 중요도를 a_{ij}로 표기하면, 모호 판단 행렬 M은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$M=\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & . & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

AHP 방법을 사용한 의사 결정 분석 시, 평가자가 한 명이 아니라 여러 명일 때, 집단 의사 결정 문제를 만나게 된다. 그래서 먼저 각 행렬에 기하 평균법을 적

용하여 종합 행렬을 얻는다.

그 다음, 기하 평균법을 사용하여 각 지표의 가중치 값을 계산하는 과정은 다음과 같다.

(1) 모호 판단 행렬 M의 각 행의 수치 곱 M_i를 계산한다.

$$M_i = \prod_{j=1}^{n} a_{ij} (i = 1, 2, \ldots, n) \quad (2)$$

(2) 모호 판단 행렬의 기하 평균을 구한다.

$$\overline{W_i} = \sqrt[n]{M_i} (i = 1, 2, \ldots, n) \quad (3)$$

(3) 정규화 처리를 한 후 상대적 가중치 W_i를 얻는다.

$$W_i = \frac{\overline{W_i}}{\sum_{i=1}^{n} \overline{W_i}} (i = 1, 2, \ldots, n) \quad (4)$$

3.5. 일관성 검증

계층 분석법의 규칙에 따라, 판단 행렬의 일관성을 확보하기 위해[17]일관성 검사를 수행해야 한다. 공식 (5) - (7) 참조.

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{(AW)_I}{w_i} \quad (5)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (6)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

공식에서CI는 판단 행렬의 일관성 지수, λ_{max}는 판단 행렬의 최대 고유값, n은 판단 행렬의 차수이다. RI는 무작위 일관성 지수로, [표 4]에서 값을 확인할 수 있다. CR은 판단 행렬의 일관성 비율로, CR≤0.1일 경우 이 판단 행렬의 일관성이 유효하다고 간주할 수 있다. 일관성 검사 결과는 [표 5]에 나타나 있으며, 결과에 따르면 모든 CR 값이 0.1 미만으로, 이 판단 행렬의 일관성이 요구 사항을 충족한다는 것을 확인할 수 있다. 가중치 값 순위는 [표 6]에서 볼 수 있다.

17) KANG Hui; ZHAO Kai-xun, Evaluation Model of Automobile Design Scheme Based on Analytic Hierarchy Process, Packaging Engineering, Vol.35, No.22, Southwest Institute of Technology and Engineering, 2014, p.53-57.

[표 4] 판단 행렬 및 가중치

행렬 차수												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54

[표 5] 일관성 검사 결과

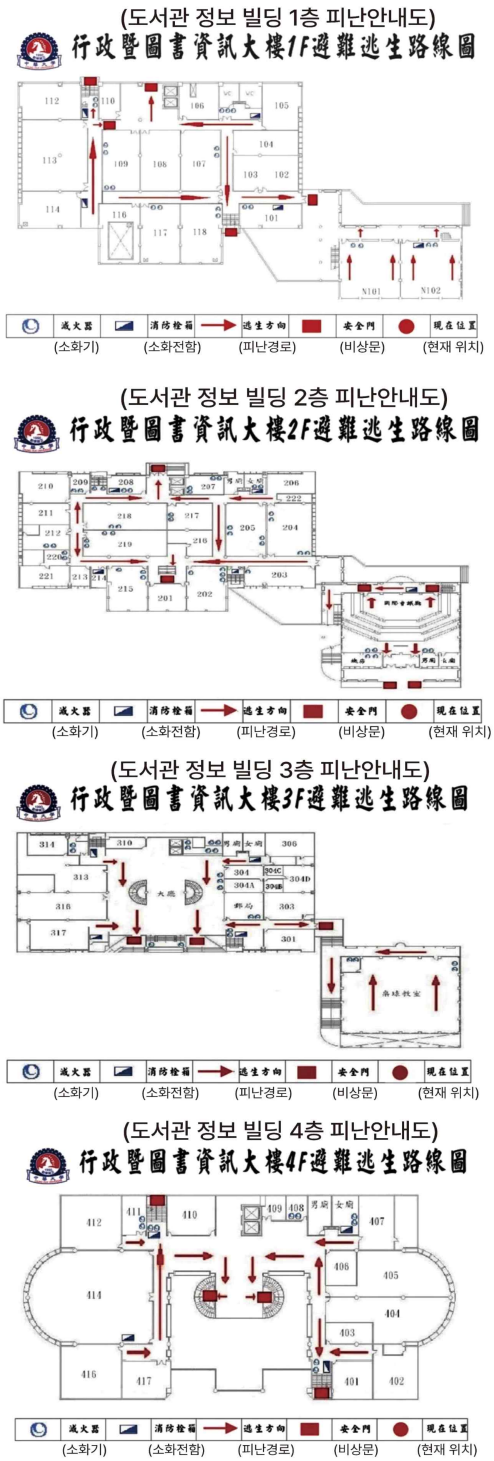
일관성 검사 결과				
	기준 계층	기능성	명확성	완전성
λ_{max}	3.048	3.000	3.009	3.046
CI	0.024	0.00007	0.004	0.023
RI	0.520	0.520	0.520	0.520
CR	0.047	0.00013	0.009	0.044

[표 6] 가중치 결과 순위

기준 계층	가중치	순위	지표 계층	가중치	순위
기능성	0.351	2	피난 경로의 합리성	0.33	2
			위치 정보의 정확성	0.44	1
			피난 안내도 설치 위치의 합리성	0.23	3
명확성	0.450	1	표식의 식별도	0.43	1
			문자의 식별도	0.25	3
			건축 평면도의 식별도	0.32	2
완전성	0.199	3	총 평면도 내용의 완전성	0.40	2
			피난 세부도 내용의 완전성	0.43	1
			보조 정보의 완전성	0.18	3

4. 최적화 설계 실천 및 평가

본 연구는 평가 지표 체계에서 각 지표의 중요성에 기초하여 Chung Hua University(CHU) 도서관의 피난안내도를 대상으로 최적화 설계를 실시하였다. 설계 전 피난안내도는 다음과 같다.



[그림 3] 최적화 전 피난안내도

4.1. 최적화 설계 실천

원본의 문제점은 주로 다음과 같은 몇 가지 측면에 집중된다.

① 표시 식별성이 낮다. 예를 들어, 장비 아이콘, 안전 출구 아이콘을 식별하기 어렵고, 대피 루트 스타일을 식별하기 어렵고 일관성이 없다.

② 문자 판독성이 낮다. 예를 들어, 제목과 범례의 글꼴이 모두 수작업체로 되어 있어 식별하기 어렵고 글꼴이 일관되지 않으며 규범성이 부족하다.

③ 중국 국가 표준에서 규정한 일부 정보가 누락되었다. 예를 들어, 관찰자의 현재 위치 정보, 총평면도, 안전 공고 등의 내용이 부족한다.

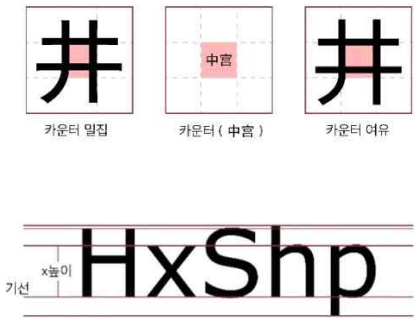
피난안내도의 각급 지표 가중치 값 순위를 결합하여, 기준 계층 가중치는 기능성 0.351, 명확성 0.450, 완전성 0.199으로, 사용자는 피난안내도의 명확성과 기능성에 더 중점을 둔다. 따라서 설계에서는 피난안내도의 명확성과 기능성에 대한 지표 계층을 중점적으로 고려하여 설계해야 하여 피난안내도의 눈에 띄는 정도와 명확성을 확보해야 한다.

최적화 설계 후, 표지의 식별도 면에서 개선된 소방 피난안내도의 장비 아이콘과 안전 출구 아이콘은 "ISO 7010 기술 표준"의 아이콘을 사용한다. 피난 경로의 화살표 부분은 중국 국가 표준"GB/T 2893.3"의 유형 D 화살표를 사용한다. 방향 화살표 색상은"GB/T 2893.1-2004"가 정한 녹색 안전색으로 변경되었다. 동시에, 대피 루트 지역은 옅은 녹색으로 강조 표시된다. 색상을 이용하여 아이콘 간의 차이를 더욱 확대함으로써, 사용자가 더 효율적인 병렬 처리 전략을 취할 수 있도록 하여 아이콘의 시각적 검색 효율을 크게 향상시킬 수 있다[18]。따라서, '현재 위치' 아이콘은 다른 아이콘과 차별화된 색상인 파란색을 사용하여, 긴급 상황에서 '현재 위치' 아이콘을 더 빠르게 식별할 수 있다. 문자의 식별도 면에서, 중국어과 영어는 모두 판독성이 높은 산세리프를 사용한다. 중문 글꼴은 방정란정흑체(方正蘭亭黑體)를 사용하며, 다른 산세리프에 비해 글자의 카운터(中宮)가 넓어 읽기 쉽다[19]. 영문 글꼴은 x 높이가 상대적으로 높은 Verdana 글꼴을 사용하여,

18) Gong Y, Zhang S, Liu Z, et al, Eye movement study on color effects to icon visual search efficiency, J. Zhejiang Univ, Vol.50, Zhejiang University, 2016, p.1987-1994.

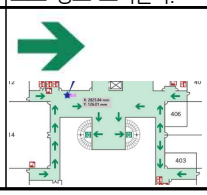
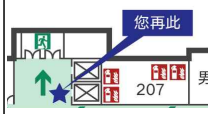
19) LI Gang; LI Jie-ying, Read and Readability of Characters in the Orientierungssystem of Hubei Provincial Museum, A Case Study in Floor Plan, Art and Design, No.11, The Economic Daily, 2014, p.51-53.

x 높이가 높은 영문 글꼴은 더 높은 판독성을 제공한다[20]. 동시에 영문 제목의 자간을 넓혀 영문 부분의 판독성을 향상시켰다[21]. 건축 평면도 면에서는 건축 평면도의 불필요한 세부 사항을 삭제하고, 건축 구조 벽체의 선을 굵게 하여 계층을 더 명확하게 하였다. 최적화 내용은 [표 7]에, 최적화된 소방 피난안내도는[그림 5]에 나타난다.



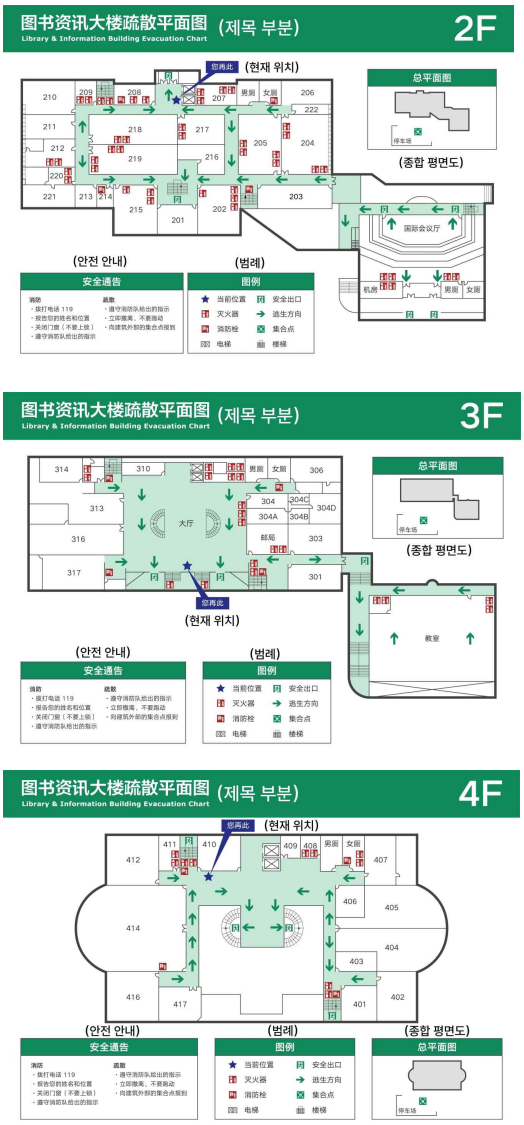
[그림 4] 카운터(中宫)과x높이

[표 7] 최적화 내용

수정 부분	수정 전	수정 후
표지 식별도	장비 아이콘, 안전 출구 아이콘 식별이 어렵다.	장비 아이콘과 안전 출구 아이콘은 ISO 7010 기술 표준의 아이콘을 사용한다.
	화살표의 크기, 길이, 스타일이 통일되지 않다.	피난 경로는 중국 국가 표준의 유형 D 화살표와 녹색 안전색을 사용하며; 대피 루트 영역은 옅은 녹색으로 강조 표시한다.
		
문자 판독성	제목과 범례가 서예체로 되어 있어 문자의 인식률 낮다.	중국어과 영어 모두 판독성이 높은 산세리프을 사용한다. 중문 글꼴은 방정란정흑체(方正蘭亭黑體), 영문 글꼴은 Verdana 글꼴이다.
건축 평면도 명확성	불필요한 건축 세부사항이 너무 많고, 각 부분의 선의 굵기가 동일하여 계층이 명확하지 않다.	건축 평면도의 불필요한 세부 사항을 삭제하고, 건축 구조 외곽 벽체, 건물 내부 칸막이 벽, 상세 요소(예: 계단, 창문)를 세 가지 다른 두께의 선으로 사용하여 계층을 더 명확하게 한다.
핵심 정보 보완	관찰자의 현재 위치 정보가 부족하다.	'현재 위치' 아이콘을 파란색으로 사용하여 긴급 상황에서 '현재 위치' 아이콘을 더 빠르게 식별할 수 있다.
	/	
	총평면도와 안전 공고가 부족하다.	총평면도와 안전 공고를 추가한다.
	/	

20) Beier S, Designing for legibility, Bis Publishers, 2012, pp.90-91.

21) Tai Y C, Sheedy J, Hayes J, Effect of letter spacing on legibility, eye movements, and reading speed, Journal of Vision, Vol6, No.6, ASSOC Reserch Vision Ophthalmology Inc, 2006, p.994.



[그림 5] 최적화 후 피난안내도

4.2. 최적화 설계의 평가 및 검증

본 연구에서는 최적화 설계 내용을 평가 및 검증하는 것을 연구 목적으로 퍼지 종합 평가법(FCE)을 기반으로 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 2024년 6월 1~6일에 실시되었다. 조사 대상은 총 40명이었고, 디자인 학과 교사, 디자인 전공 대학원생 및 무작위 추출된 기타 사용자로 구성된다. 사용자는 설문지를 통해 최적화 전후의 피난안내도를 비교하고, 최적화된 피난안내도의 각 디자인 요소에 대해 만족도를 평가한다. 설계 방안 만족도에 대한 설문 조사 데이터는 [표 8]에 나와 있다.

[표 8] 최적화 설계 방안의 만족도 데이터

기준 계층	지표 계층	만족도				
		매우 만족	비교적 만족	보통	불만	매우 불만족 만족도
기능성	피난 경로의 합리성	29 (0.725)	11 (0.275)	0	0	0
	위치 정보의 정확성	30 (0.750)	8 (0.200)	2 (0.005)	0	0
	피난 안내도 설치 위치의 합리성	30 (0.750)	8 (0.200)	2 (0.005)	0	0
명확성	표식의 식별도	32 (0.800)	5 (0.125)	3 (0.075)	0	0
	문자의 식별도	30 (0.750)	7 (0.175)	3 (0.075)	0	0
	건축 평면도의 인식도	32 (0.800)	8 (0.200)	0	0	0
완전성	총 평면도 내용의 완전성	34 (0.850)	5 (0.125)	1 (0.025)	0	0
	피난 세부도 내용의 완전성	33 (0.825)	7 (0.175)	0	0	0
	보조 정보의 완전성	36 (0.900)	4 (0.100)	0	0	0

상술한 디자인 방안에 대해 퍼지 종합 평가 방법을 사용하여 평가를 진행하였다. 여기에서는 기준 계층의 기능성 A의 만족도를 예로 들어, 구체적인 과정은 다음과 같다.

(1) 평가 요소 집합 구축. 퍼지 종합 평가 방법을 사용하여 설계 방안을 평가하기 위해, 평가 요소 집합을 구축하고, $U=\{u_1,u_2,\cdots, u_i,\cdots,u_n.\}(i=1,2,\cdots,n)$ 로 설정하였다. 여기서 u는 i 번째 2차 지표의 평가 결과를 나타낸다.

(2) 평가 집합 구축. 만족도를 표준으로 나누기 위해, 만족도를 5개의 등급으로 나누어 만족도 평가 결과를 표현하고,V={V1,V2,V3,V4,V5}={매우 만족, 비교적 만족, 보통, 불만족, 매우 불만족}으로 설정하며, 이에 대해 V={5,4,3,2,1}로 값 부여.

(3) 퍼지 평가 행렬 구축. 설문 조사 결과에 따라, 기능성 A의 퍼지 평가 행렬 R을 정리한다.

$$R_A = \begin{bmatrix} 0.725 & 0.275 & 0 & 0 & 0 \\ 0.750 & 0.200 & 0.050 & 0 & 0 \\ 0.750 & 0.200 & 0.050 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

(4) 설계 방안의 평가 벡터 B 계산. 공식에서 W는 각 평가 지표의 가중치 벡터이고, R은 해당 평가 지표의 퍼지 평가 행렬이다. 계산 공식은 B=W*R이다. 계산 과정은 다음과 같다.

$$B_A = (0.332, 0.436, 0.232)* \begin{bmatrix} 0.725 & 0.275 & 0 & 0 & 0 \\ 0.750 & 0.200 & 0.050 & 0 & 0 \\ 0.750 & 0.200 & 0.050 & 0 & 0 \end{bmatrix} = (0.742, 0.225, 0.033, 0, 0) \quad (9)$$

(5) 평가 결과를 더 정확하게 표현하기 위해, 만족도 수준을 점수로 나타낼 수 있으며, F=B*V로 표현할 수 있다. 여기서 V는 평가 집합에 해당하는 점수 5, 4, 3, 2, 1이다. 평가 결과는 다음과 같다.

$$F_A = (0.742, 0.225, 0.033, 0, 0)* \begin{bmatrix} 5 \\ 4 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} = 4.709 \quad (10)$$

동일한 절차에 따라 설계 방안 중 지표 계층과 설계 방안 전체의 만족도 상황을 얻는다. 설계 방안의 만족도 상황은 [표 9]에 나와 있다.

[표 9] 디자인 만족도 상황

목표 계층	만족도 점수	기준 계층	만족도 점수	지표계층	만족도 점수
디자인 방안 전체 평가	4.748	기능성	4.709	피난 경로의 합리성	4.725
				위치 정보의 정확성	4.700
				피난 안내도 설치 위치의 합리성	4.700
		명확성	4.738	표식의 식별도	4.725
				문자의 식별도	4.675
				건축 평면도의 식별도	4.800
		완전성	4.838	총 평면도 내용의 완전성	4.825
				피난 세부도 내용의 완전성	4.825
				보조 정보의 완전성	4.900

5. 결과

5.1. 평가 지표의 가중치 분석

설계 평가 지표의 중요도를 분석하는 것은 피난안내도 설계에서 각 요소의 중요성을 정하고, 최적화 설계 시 타깃을 명확히 하기 위함이다. 계층 분석법(AHP)을 통해 각 설계 요소의 가중치를 도출하여 사용자가 다양한 요소에 대한 관심 정도를 반영하였다. 먼저, 명확성(0.450)과 기능성(0.351)은 사용자가 가장 관심을 가지는 두 가지 측면이며, 완전성(0.199)은 상대적으로 낮다. 명확성 지표층에서는 표시의 식별도(0.429)가 가장 중요하며, 그 다음은 건축 평면도의 식별도(0.324)와 문자의 식별도(0.247)이다. 이는 사용자가 긴급 상황에서 피난 표시를 빠르고 명확하게 식별하고 건축 구조 정보를 이해하여 신속한 탈출 결정을 내릴 필요가 있음을 나타낸다. 기능성 측면에서는 위치 정보의 정확성(0.436)이 가장 중요하다고 여겨지며, 그 다음은 피난 경로의 합리성(0.332)과 피난안내도 설치 위치의 합리성(0.232)이다. 이는 실제 적용에서 사용자가 피난안내도가 현재 위치와 피난 경로를 정확하게 반영하고, 도표의 위치가 적절하여 쉽게 볼 수 있기를 원한다는 것을 의미한다. 완전성은 가중치가 낮지만 무시할 수 없다. 총 평면도 내용의 완전성(0.395)과 피난 상세도 내용의 완전성(0.428)이 높은 비중을 차지하는데, 이는 사용자가 피난 과정이 원활하게 진행될 수 있도록 포괄적인 정보가 필요함을 보여준다. 종합적으로, 피난안내도 사용 과정에서 사용자는 직관적이고 명확한 도표와 문자 정보를 통해 피난 경로와 자신의 위치를 신속하게 이해하고 긴급 상황에서 신속하고 정확한 탈출 결정을 내리기를 원한다. 따라서 피난안내도 제작 과정에서 위의 설계 요소들을 우선적으로 고려해야 한다. 동시에 피난안내도의 완전성도 확보해야 한다.

5.2. 퍼지 종합 평가 결과 분석

퍼지 종합 평가(FCE)는 최적화된 피난안내도 설계안 평가에 효과적인 방법을 제공하며, 주관적 요소가 평가 결과에 미치는 영향을 줄이고 의사 결정의 과학성과 정확성을 높인다. 최적화 전후의 피난안내도를 비교한 결과, 사용자는 최적화된 설계에 대해 높은 만족도를 보였다. 설문조사 결과에 따르면, 설계안의 전체 평가는 4.748로 '비교적 만족'하는 범주에 속한다. 구체적으로, 기능성, 명확성, 완전성의 세 가지 측면에서의 만족도 점수는 각각 4.709, 4.738, 4.838이다. 이는 사용자가 최적화된 설계를 모든 면에서 높게 평가했음을 나타낸다. 명확성 측면에서는 표시의 식별도, 문자의

식별도, 건축 평면도의 식별도가 모두 높은 수준으로, 최적화된 피난안내도가 시각적 명확성과 정보 전달 측면에서 상당한 개선을 이루었다는 것을 보여준다. 예를 들어, 표시는 ISO 7010 기술 표준의 아이콘을 사용하여 더 명확하고 통일된 표시를 제공하며, 문자는 더 높은 가독성의 산세리프 글꼴을 사용하였다. 건물 평면도의 불필요한 세부 사항을 제거하고, 건물의 윤곽선은 세 가지 서로 다른 굵기의 선을 사용하여 계층이 더욱 명확하고 식별이 용이하도록 하였다. 기능성 측면에서는 피난 경로의 합리성, 위치 정보의 정확성, 설치 위치의 합리성이 높은 점수를 받았으며, 이는 최적화된 설계가 사용자가 긴급 상황에서 피난 경로를 이해하고 적용하는 데 효과적임을 보여준다. 예를 들어, 피난 경로는 중국 국가 표준의 유형 D 화살표와 녹색 안전색을 사용하여 방향 지시의 명확성과 일관성을 강화하였다. '현재 위치' 아이콘은 다른 색상과 구분되는 파란색을 사용하여 긴급 상황에서 '현재 위치' 아이콘을 더 빠르게 식별할 수 있도록 하였다. 완전성 측면에서는 최적화된 설계가 정보의 전체성과 세부 사항의 표현에서 현저한 향상을 이루었으며, 이는 사용자에게 더 포괄적이고 정확한 피난 지도를 제공한다. 예를 들어, 총 평면도와 안전 공고를 추가하여 피난안내도 정보를 더 완전하게 하였다.

5.3. 피난안내도의 디자인 전략

첫째, 피난안내도의 명확성을 보장한다. 긴급 상황에서 사용자가 피난 표시를 신속하게 식별하는 것이 매우 중요하다. 연구에서 사용자는 피난안내도의 명확성을 가장 중요하게 생각한다. 표준화된 아이콘과 더 눈에 띄는 색상을 사용하여 표시의 높은 대비와 명확성을 보장하여 사용자가 혼란한 환경에서 정보를 신속하게 식별하고 이해할 수 있도록 한다. 건축 평면도를 단순화하여 주요 정보를 강조한다. 불필요한 세부 사항을 삭제하여 계층을 명확히 하고 정보 획득 효율을 높여 사용자가 피난 경로와 환경 구성을 더 쉽게 이해할 수 있게 한다. 문자의 가독성을 최적화한다. 관찰 거리에 맞게 높은 가독성의 산세리프 글꼴을 선택하고 글자 크기와 자간을 조정하여 예상 관찰 거리에서 최적의 명확성을 보장한다. 복잡한 글꼴과 작은 글꼴 사용을 피하고 사용자의 읽기 부담을 줄이며 정보 전달 효과를 강화한다.

둘째, 피난안내도의 기능성을 보장한다. 피난안내도에서 사용자의 현재 위치, 긴급 출구, 중요 시설을 명확히 표시하고 "현재 위치"를 눈에 띄는 색상으로 표시하여 사용자가 자신의 위치를 신속하게 파악할 수 있도록 한다. 위치 표시의 눈에 띄는 정도와 명확성을 강화하여 사용자가 탈출 결정을 신속히 내릴 수 있도록 돕는다. 간결하고 명확한 피난 경로도를 제공한다. 색상과 아이콘을 사용하여 최적의 탈출 경로를 명확하게 표시하고 불필요한 경로 분기를 줄여 긴급 상황에서 사용자가 신속하게 최적의 경로를 찾아 탈출할 수 있도록 한다. 최적의 탈출 경로를 제공함으로써 사용자의 결정 시간을 줄이고 탈출 효율을 높인다.

셋째, 포괄적인 정보 내용을 보장한다. 피난안내도의 완전성을 확보하고 총 평면도, 안전 공고 등 보조 정보를 포함하여 사용자에게 포괄적인 피난 지도를 제공한다. 정보의 풍부함과 다양성을 높임으로써 긴급 상황에서 사용자가 더 많은 유용한 정보를 획득하고 결정 능력과 안전감을 향상할 수 있도록 한다.

6. 결론 및 한계

긴급 사고 현장에서 피난안내도는 원활한 탈출을 보장하는 데 핵심적인 역할을 한다.

중국은 피난안내도에 대한 국가표준을 제정했지만, 포함해야 할 정보와 요소 형식만 규정하고 있다. 실제 적용에서는 여전히 몇 가지 문제가 존재한다. 예를 들어, 공공장소 내의 비상 피난 정보는 인식하기 어렵고, 정보 내용이 복잡하여 인지 효율이 낮다는 문제 등이 있다. 이러한 문제들은 사용자의 인지 효율을 크게 저하시켜 피난 안내도의 역할에 부정적인 영향을 미친다.

피난안내도의 최적화 전략을 더욱 완성하기 위해, 본 연구는 계층 분석법(AHP)과 퍼지 종합 평가법(FCE)을 기반으로 중국의 피난안내도를 연구하여, 피난안내도의 인지 효율과 사용 경험을 향상시키고, 화재 등 재난으로 인한 인명 피해와 재산 손실을 줄이려는 목적을 가진다. 피난안내도 디자인 요소의 중요성을 평가하여 각 디자인 요소의 가중치 값을 얻었다. 결과에 따르면 사용자는 피난안내도의 명확성(0.450)과 기능성(0.351)을 가장 중요시하므로, 설계 제작 과정에서 이 두 요소를 중점적으로 고려해야 한다. 그 다음 가중치 결과에 따라 중국의 어느 대학 건물의 피난안내도를 최적화 설계하고, 퍼지 종합 평가법을 결합하여 최적화된 설계 방안에 대해 종합적인 평가를 실시한다. 선정된 피난안내도의 문제는 주로 표식의 인식성이 떨어지고, 글자의 가독성이 낮으며, 규범성이 부족하다는 점이다. 또한, 중국 국가 표준에서 규정한 일부 정보가

부족한 문제도 있다. 최적화한 후, 평가 결과에 따르면 설계 방안의 만족도 종합 점수는 4.748점으로, 사용자가 최적화된 피난안내도에 대해 상당히 만족한다는 것을 기본적으로 판단할 수 있으며, 명확성과 기능성을 잘 반영하고 있다. 따라서 피난안내도를 제작할 때 먼저 안내도의 명확성을 보장해야 한다. 긴급 상황에서도 사용자가 관련 정보를 신속하게 식별할 수 있도록 해야 한다. 다음으로, 안내도의 기능성을 보장하여 사용자가 빠르게 피난 경로을 내릴 수 있도록 도와야 한다. 정보 내용의 완전성이 중요한 이유는 긴급 상황에서 사용자가 보다 포괄적인 정보를 얻어 결정을 내리는데 도움을 줄 수 있기 때문이다.AHP-FCE를 활용한 피난안내도 설계 방법의 타당성과 실행 가능성을 검증하고, 피난안내도의 연구와 실천에 새로운 시각과 방향을 제공한다.

하지만, 본 연구에도 일정한 한계가 있다. 우선, 설계 평가 지표의 분류가 충분히 전면적이지 않을 수 있다. 본 연구의 지표 체계는 관련 설계 표준과 문헌을 주로 참조했으며, 피난안내도 설계에 영향을 미칠 수 있는 모든 요소를 포함하지 못했다. 향후 연구에서는 더 세분화된 평가 지표를 추가하는 것을 고려할 수 있다. 또한, 이번 연구의 조사 대상은 주로 건강한 성인으로, 피난안내도를 사용할 때 노인, 장애인 등 취약계층의 특별한 요구를 충분히 고려하지 못했다. 향후 연구에서는 이러한 그룹의 요구에 주목하고, 해당 최적화 전략을 제안하여 특별 계층의 생명 안전을 더 잘 보장해야 한다.

참고문헌

1. 박명배, 남은우, 이해종, 신택수, 계층 분석적 의사결정방법 (AHP) 에 의한 건강도시 사업 평가기준의 우선순위 결정에 관한 연구, 보건교육건강증진학회지, 2008. 9, Vol.25, No.3
2. Beier S, Designing for legibility, 2012
3. Bai L, Li Y, Du Q, et al, A fuzzy comprehensive evaluation model for sustainability risk evaluation of PPP projects, Sustainability, 2017
4. CHEN Yong-quan, BAI Dian-yi. CHEN Yong-quan,BAI Dian-yi, Framework of National Standard System for Safety Guidance Sign System, Standard Science, 2010
5. DENG Jie, LI Hai, FENG Si-hai, Color characteristics of fire emergency evacuation signs in low illumination environment, Fire Science and Technology, 2020
6. Gong Y, Zhang S, Liu Z, et al, Eye movement study on color effects to icon visual search efficiency, J. Zhejiang University, 2016
7. HU Shan, LIU Jing, Application of Fuzzy Comprehensive Evaluation Method in Product Design Scheme Decision, Journal of Machine Design, 2020
8. KANG Hui; ZHAO Kai-xun, Evaluation Model of Automobile Design Scheme Based on Analytic Hierarchy Process, Packaging Engineering, 2014
9. LI Gang; LI Jie-ying, Read and Readability of Characters in the Orientierungssystem of Hubei Provincial Museum, A Case Study in Floor Plan, Art and Design, 2014
10. LIU Zhuoran; BIAN Yang, Abroad Research Progress on Emergency Evacuation Signs, Journal of Transportation Engineering, 2024
11. Pittaway L, Cope J, Entrepreneurship education: A systematic review of the evidence, International small business journal, 2007
12. Saaty T L, A scaling method for priorities in hierarchical structures, Journal of mathematical psychology, 1977
13. SHI Feng-qi; LIAO Hui-min; ZHENG Ke-xin, Study on color optimization and evacuation effect of building plane evacuation map based on eye movement, Journal Of Safety Science And Technology, 2023
14. Tai Y C, Sheedy J, Hayes J, Effect of letter

spacing on legibility, eye movements, and reading speed, Journal of Vision, 2006

15. Tang CH, Lin CY, Hsu YM, Exploratory research on reading cognition and escape-route planning using building evacuation plan diagrams, Applied Ergonomics, 2008

16. Zhang Xin; Yu Chang-long, A piece of paper contains the secrets of the world. Shaoxing fire department provides on-site guidance to improve the fire evacuation map, China Fire, 2011

17. SHI Feng-qi, Research on Optimization of Building Emergency Evacuation Sign System Based on Visual Behavior, Central South University, Master's Thesis, 2022

18. Wang Jun-ya, Research and Optimization on the Effectiveness of Evacuation Signs in University Library Based on Eye Movement Experiment, Sichuan Normal University, Master's Thesis, 2020

19. Xu Feng, Emergency evacuation must have a map to follow, China Qulity Daily, 2011

20.std.samr.gov.cn