

색각 이상 플레이어를 위한 색상-형태 이중 인코딩 기반 게임 접근성 디자인 프레임워크 연구

A Study of a Color-Shape Dual-Encoding-Based Game Accessibility Design Framework for Players with Color Vision Deficiency

왕시치¹, 김나영^{2*}

WANG SHIQI¹, Kim Nayoung^{2*}

요약

본 연구는 색각 이상(Color Vision Deficiency, CVD) 사용자의 게임 접근성을 향상시키기 위해 색상, 형태, 명도 및 패턴을 통합한 정보 기반 중복 인코딩 디자인 프레임워크를 제안하고, 프로토타입 적용을 통해 사용자 반응과 적용 가능성을 탐색적으로 평가하는 것을 목적으로 한다. 현재 게임 인터페이스는 단일 색상 시각 채널에 과도하게 의존하고 있어 CVD 사용자의 정보 인식 오류 및 조작 오류를 유발하기 쉽다. 이에 본 연구는 다차원적 시각 정보 설계 프레임워크를 구성하였으며, Okabe & Ito 색각 친화 색채 시스템, 색상-형태 중복 인코딩 및 Paul Tol의 발산형 색상 스케일을 통합하였다. 이를 통해 형태 및 패턴 대응, 명도 대비 조절, 색조 분포 최적화를 수행함으로써 지각적 구분성을 강화하고 단일 색상 인코딩의 한계를 보완하였다. 제안된 프레임워크의 적용 가능성을 탐색적으로 평가하기 위해 퍼즐 게임 프로토타입 《Together》를 개발하고, 31명의 CVD 사용자를 대상으로 사용자 평가를 수행하였다. 결과적으로 정보 인식 용이성과 조작 정확도는 모두 71%로 나타났으며, HCI 평가에서는 접근성(81%), 사용성(78%), 효율성(72%), 사용자 만족도(83%)에서 전반적으로 긍정적인 사용자 반응이 확인되었다. 다만 일부 사용자는 여전히 색상 의존적 인지 전략을 보였으며, 복합 인터페이스 환경에서는 정보 처리 지연 및 인지 부하 증가가 나타났다. 이는 해당 설계가 정적 환경에서는 효과적이지만 동적 상호작용 환경에서는 추가적인 최적화가 필요함을 시사한다. 본 연구는 기존 색상 보정 중심 연구 패러다임을 확장하여 정보 인코딩 구조 최적화 기반 디자인 프레임워크를 제안하고, 프로토타입 적용을 통해 사용자 반응과 실제 적용 가능성을 탐색적으로 검토하였다. 이를 통해 CVD 사용자의 게임 접근성 연구에 새로운 관점과 이론적 기반을 제공하며, 학술적·응용적 측면에서 의미 있는 기여를 할 것으로 기대된다.

핵심어 : 색각 이상(CVD), 게임 접근성, 중복 인코딩, 인터페이스 디자인, 사용성

Abstract

This study aims to propose an information-based redundant encoding design framework and exploratorily evaluate user responses and applicability through prototype implementation that integrates color, shape,

1 Department of Game, Hongik University, Seoul, Korea [Graduate Student]
e-mail: wsq6515@naver.com

2 Department of Game, Hongik University, Seoul, Korea [Professor]
e-mail: nayoung@hongik.ac.kr (Corresponding author)

Received(April 27, 2026), Review Result(1st: May 14, 2026), Accepted(June 13, 2026), Published(June 30, 2026)



© 2026 The Authors. Published by NCISS.
This is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.
To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

brightness, and patterns to enhance game accessibility for users with Color Vision Deficiency (CVD). Current game interfaces heavily rely on a single color visual channel, which easily leads to information recognition errors and operational errors for CVD users. To address this issue, a multidimensional visual information design framework was constructed by integrating the Okabe & Ito color vision-friendly color system, color-shape redundant encoding, and Paul Tols diverging color schemes. Through shape and pattern mapping, brightness contrast adjustment, and optimization of color distribution, the framework enhances perceptual discriminability and compensates for the limitations of single-color encoding. To exploratorily evaluate the applicability of the proposed framework, a puzzle game prototype titled Together was developed, and a user evaluation was conducted with 31 participants with CVD. The results showed that both information recognition ease and operational accuracy reached 71%. In the HCI evaluation, accessibility (81%), usability (78%), efficiency (72%), and user satisfaction (83%) all showed positive results, indicating overall positive user responses to the proposed framework. However, some users still exhibited color-dependent cognitive strategies, and increased information processing delay and cognitive load were observed in complex interface environments. This indicates that while the design is effective in static environments, further optimization is required for dynamic interactive contexts. This study extends the traditional color-correction-centered research paradigm by proposing a design framework based on information encoding structure optimization and exploratorily examining its practical applicability. It provides new perspectives and theoretical foundations for CVD-related game accessibility research and is expected to make meaningful contributions in both academic and applied domains.

Keyword : Color Vision Deficiency (CVD), game accessibility, redundant encoding, interface design, usability

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 필요성

디지털 게임 산업의 발전과 함께 게임 내 시각 정보의 중요성이 증가하고 있으며, 색상은 정보 구분과 인터페이스 설계에서 핵심적인 인코딩 방식으로 활용되고 있다. 그러나 현재 많은 게임은 색상에 과도하게 의존하는 구조를 가지고 있어 색각 이상(Color Vision Deficiency, CVD) 사용자의 정보 인식과 조작에 어려움을 초래한다. 이는 약 8%의 남성과 0.5%의 여성에서 다양한 수준의 색각 이상이 나타난다는 점을 고려할 때, 중요한 접근성 문제로 대두된다 [1].

현재 게임 산업에서 제공되는 색각 보정 모드는 주로 화면 전체 색상을 일괄적으로 조정하는 방식에 머물러 있으며, 색각 이상 유형별 차이나 실제 게임 인터랙션 구조를 충분히 반영하지 못하는 한계를 가진다. 따라서 색각 다양성을 고려한 보다 구조적인 게임 접근성 디자인 방안의 마련이 요구된다.

1.2 연구 목적

본 연구는 색각 이상 사용자를 위한 게임 접근성 향상을 위해 색상·형태·명도·패턴을 활용한 정보 기반 중복 인코딩 게임 접근성 디자인을 제안하고, 이를 게임 프로토타입에 적용하여 사용자

평가를 통해 적용 가능성과 사용 경험을 탐색적으로 살펴보는 것을 목적으로 한다.

2. 관련 연구

2.1 색각 이상의 인지적 제약

색각 이상은 망막의 원추세포 내 광감응 색소의 결핍 또는 기능 이상으로 인해 발생하는 색 지각의 편차로, 주로 적록 색각 이상, 청황 색각 이상, 그리고 전색맹(achromatopsia) 세 가지 유형으로 구분된다. 서로 다른 유형의 색각 이상 집단은 게임 환경에서의 인지 특성과 정보 처리 방식에서 뚜렷한 차이를 보이며, 구체적인 내용은 [표 1]과 같다 [2].

[표 1] 색각 이상 유형별 게임 환경에서의 인지 특성 및 영향

[Table 1] Cognitive Characteristics and Impacts of Different Types of Color Vision Deficiency in Game Environments

색각 이상 유형	주요 지각 결함	게임 내 전형적 혼동	게임 경험에 미치는 영향
적록 색각 이상	적색 및 녹색 광감응 색소의 이상 또는 결핍	적색과 녹색 요소(예: 적.아군 식별, 체력 바, 알림 신호) 구분 어려움	핵심 시각 정보 오판, 의사결정 정확도 저하
청황 색각 이상	청색 및 황색 채널 이상	청색과 황색 정보(예: 환경 힌트, UI 표시) 구분 어려움	환경 정보 인식 효율 저하
전색맹 (Achromatopsia)	기능적 색각 전반 결여, 명암만 인식 가능	모든 색상 정보에 의존 불가	형태, 위치 등 비색채 단서에 의존 증가, 정보 획득 제한

이와 더불어, 게임 환경 자체의 시각적 특성 또한 색각 이상자의 인지적 제약을 더욱 가중시킨다. 특히 저채도 환경이나 빠르게 변화하는 동적 장면에서는 색 대비가 감소하고 정보 갱신 속도가 증가하여 색 구별 능력이 현저히 저하된다. 이로 인해 스킬 알림이나 과업 표시 등 핵심 정보를 더욱 쉽게 혼동하게 되며, 이는 중요한 의사결정 오류를 유발할 수 있을 뿐만 아니라, 색각 이상 플레이어의 게임 참여도를 저하시키는 주요 원인 중 하나로 작용할 수 있다. 관련 영향 요인 및 작용 메커니즘은 [표 2]와 같다 [3].

[표 2] 게임 환경 요인이 색각 이상 플레이어에 미치는 영향

[Table 2] Effects of Game Environment Factors on Players with Color Vision Deficiency

환경 특성	색각 이상자에 대한 영향	결과
저채도 환경	색 대비 감소	핵심 시각 요소 혼동 증가
고속 동적 장면	주의 자원 분배 제한	보상적 인지 전략 활용 어려움
다중 정보 중첩 인터페이스	정보 부하 증가	핵심 정보 인식 실패

또한, 색각 이상자는 주의 자원을 재분배함으로써 색 지각 민감도의 저하를 일정 부분 보완할 수 있으나, 이러한 보상 메커니즘은 충분한 시간과 인지 자원을 필요로 한다. 따라서 동적인 게임 환경에서는 효과적으로 작동하기 어려우며, 복잡한 상호작용 환경에서의 과제 수행 어려움을 더욱 심화시킨다.

2.2 게임 접근성 가이드라인과 한계

현재 접근성 디자인의 핵심 원칙은 정보 전달 과정에서 단일 색상 인코딩에만 의존해서는 안 되며, 다양한 차원의 시각적 단서를 도입하여 서로 다른 시각 능력을 가진 사용자 모두가 정보를 정확히 인식할 수 있도록 해야 함을 명시하고 있다. 이 가운데 W3C가 발표한 WCAG(웹 콘텐츠 접근성 지침)은 핵심 참고 기준으로, 명도 대비 최적화 및 형태적 보조 요소의 활용을 통해 색각 이상자의 인지적 한계를 보완하고 정보 접근의 형평성을 보장할 것을 명시하고 있다 [4].

두 가지 대표적인 게임 사례를 비교함으로써, 다차원적 시각 단서가 접근성 디자인에서 지니는 중요성을 더욱 명확히 확인할 수 있다. Hue는 색상을 핵심 메커니즘으로 활용한 게임으로, 색각 이상 플레이어의 요구에 정밀하게 대응할 수 있도록 설계되었다는 장점을 지닌다 [5]. 이 게임은 사용자 맞춤형 색각 이상(Color Vision Deficiency, CVD) 모드를 내장하여 색각 결함 유형에 따라 색상 표현을 조정할 수 있을 뿐만 아니라, 전용 형태 형태를 중첩하여 단일 색상 인코딩을 대체함으로써 색상 인식의 한계를 효과적으로 보완하고, 결과적으로 색각 이상 사용자 집단의 게임 경험을 유의미하게 향상시켰다. 다만, 해당 맞춤 설정 모드는 적용 범위에 한계가 있으며, 전색맹과 같은 특수한 색각 이상 집단에 대한 최적화가 충분하지 않아 모든 유형을 포괄적으로 지원하지는 못한다.

한편, Chameleon Run은 색각 이상을 가진 디자이너 Stefan Nordin이 개발에 참여한 게임으로서, 점프-색상 전환이라는 핵심 메커니즘을 통해 색상을 단순한 시각 정보가 아니라 조작 요소로 전환하였다 [6]. 이는 정밀한 색 구분 능력에 대한 의존도를 일정 수준 낮추며, 색각 이상 관점에서의 상호작용 설계상 장점을 보여 준다. 그러나 여전히 경로 인식이 단일 색상 인코딩에 크게 의존하고 있어, 중복 인코딩 체계가 부족한 일부 상황에서는 색각 이상 플레이어에게 인식상의 어려움을 초래할 수 있으며, 이는 효율성과 접근성 간의 설계적 균형 문제를 드러낸다.

기존 연구와 사례를 종합하면, 색각 이상 플레이어를 고려한 다양한 접근 방식이 제시되어 있으나, 이들은 여전히 단일 시각 채널 의존을 완전히 탈피하지 못하고 있다는 한계를 공통적으로 지닌다. 이는 색상 중심 설계 패러다임의 구조적 제약에 기인한 것으로 볼 수 있으며, 따라서 색상, 형태, 명도 등 복수의 시각 단서를 통합하는 다차원적 정보 인코딩 전략이 필요함을 시사한다.

3. 색각 이상 친화형 게임 접근성 디자인 및 구현

3.1 제안하는 접근성 향상 게임 접근성 디자인

색각 이상 플레이어의 인지 특성, 접근성(Accessibility) 디자인 원칙, 그리고 기존 연구의 한계를 종합적으로 고려하여, 본 연구는 정보 기반 중복 인코딩(redundant encoding)에 기반한 접근성 게임 접근성 디자인을 구성하는 세 가지 핵심 설계 메커니즘을 제안한다.

첫째, 국제적으로 통용되는 색각 이상 친화형 색채 표준인 Okabe & Ito 색채 체계를 도입한다 [7]. 이 체계는 Masataka Okabe와 Kei Ito에 의해 개발되었으며, 핵심은 색각 정상자와 색각 이상자 모두에게 혼동 없이 인식 가능한 색상 집합(unambiguous color set)을 구축하는 데 있다. 이를 위해 황록색과 같이 혼동되기 쉬운 색 영역을 배제하고, 높은 구분성을 갖는 색 조합(예: 녹색 대신 청록색, 적색 대신 주홍색)을 채택하며, 명도와 채도의 차이를 결합하여 색상 간 변별성을 강화한다. 또한 본 체계는 화면과 인쇄 환경 간의 일관성을 고려하고, 세선(細線)이나 소형 요소에서는 짙은 파랑과 주황 등 고대비 색상을 우선적으로 사용할 것을 권고함으로써, 다중 채널 기반 중복 인코딩(redundant encoding)을 위한 시각적 기반을 제공한다. 제안된 색각 이상 친화형 색상 체계를 [그림 1]과 같이 정리하였다 [8].

Original	Simulation			Hue	for Photoshop, Illustrator, for Word, Power Freehand, etc.			
	Protan	Deutan	Tritan		C,M,Y,K (%)	R,G,B (0-255)	R,G,B (%)	
1	Black	Black	Black	Black	0°	(0,0,100)	(0,0,0)	(0,0,0)
2	Orange	Orange	Orange	Orange	41°	(50,100,0)	(230,159,0)	(90,60,0)
3	Sky Blue	Sky Blue	Sky Blue	Sky Blue	202°	(80,0,0)	(86,180,233)	(35,70,90)
4	bluish Green	bluish Green	bluish Green	bluish Green	164°	(97,0,75,0)	(0,158,115)	(0,60,50)
5	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	56°	(10,5,90,0)	(240,228,66)	(95,90,25)
6	Blue	Blue	Blue	Blue	202°	(100,50,0,0)	(0,114,178)	(0,45,70)
7	Vermillion	Vermillion	Vermillion	Vermillion	27°	(0,80,100,0)	(213,94,0)	(80,40,0)
8	reddish Purple	reddish Purple	reddish Purple	reddish Purple	326°	(10,70,0,0)	(204,121,167)	(80,60,70)

[그림 1] 색각 이상 친화 색상 팔레트

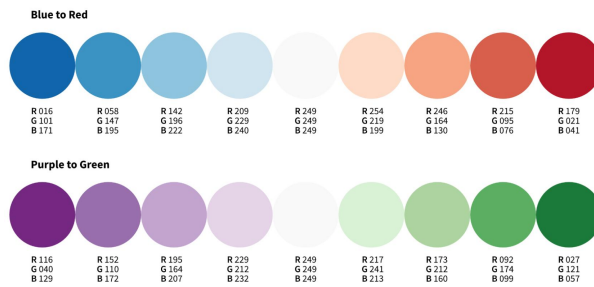
[Fig. 1] Color Vision Deficiency-Friendly Color Palette

둘째, 색상-형태 정보 기반 중복 인코딩(redundant encoding) 메커니즘을 구축한다. 색상-형태 중복 인코딩의 사례를 [그림 2]과 같이 제시하였다 [9]. 색상 인코딩을 기본으로 하되, 패턴과 형태의 두 가지 보조 채널을 추가로 도입한다. 동일한 색상 요소에는 일관된 패턴을 부여하여 색상과 패턴 간의 일대일 대응 관계를 형성한다. 비교적 큰 대상이거나 신속한 구분이 요구되는 상황에서는 형태적 차이를 활용하여 식별할 수 있도록 설계한다. 이러한 메커니즘은 단일 색상 인코딩의 한계를 효과적으로 보완하며, 색 구분이 어려운 상황에서도 플레이어가 패턴이나 형태를 통해 정보를 인식할 수 있도록 하여 인지 부하 및 오조작 가능성을 낮춘다.



[그림 2] UNO 보드게임 카드 예시 이미지
[Fig. 2] UNO Board Game Card Example Image

마지막으로, Paul Tol의 색각 이상 친화형 색채 이론을 기반으로 BuRd 및 PRGn 발산형 색상 스케일을 도입하여 명도-색조 협동 인코딩 메커니즘을 구축한다 [10]. 이 방법은 시각적으로 균등한 색 공간에서 흰색을 중심으로 하는 대칭적 명도 분포($\Delta L^* \geq 10$)를 활용하여 명도 대비를 강화하고, 양 극단의 색조를 고정한 상태에서 부드럽게 전이시킴으로써 색조 의존도를 낮추는 동시에 전체적인 구분성을 향상시킨다. 이와 같은 세 가지 설계 메커니즘은 상호 보완적으로 작용하여, 단일 시각 채널 의존을 완화하고 다양한 시각 조건에서도 안정적인 정보 전달을 가능하게 하는 통합적 게임 접근성 디자인 체계를 구성한다. 명도와 색조 협동 인코딩 구조는 [그림 3]과 같다 [11].

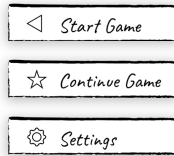


[그림 3] ColorBrewer 색상 스킴
[Fig. 3] ColorBrewer Color Schemes

3.2 실험용 게임 프로토타입(Together) 개발

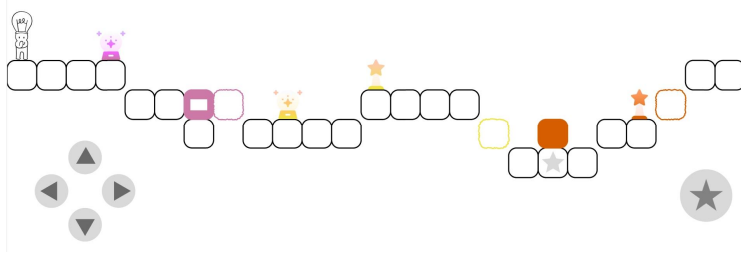
제안된 설계 프레임워크의 적용 가능성을 탐색적으로 살펴보기 위해, 본 연구는 실험용 게임 프로토타입 《Together》를 개발하였다. 해당 프로토타입은 퍼즐형 게임으로, 플레이어가 퍼즐 과제를 수행하여 각 레벨의 목표를 달성하도록 설계되었으며, 중복 인코딩(redundant encoding) 기반 접근성 게임 접근성 디자인이 실제 게임 환경에서 어떻게 적용될 수 있는지를 탐색적으로 살펴보기 위한 목적으로 활용되었다. 아울러, 후속 실험의 데이터 수집 및 분석을 위한 기반을 제공한다. 게임 프로토타입의 실제 구현 화면은 [그림 4], [그림 5]과 같다.

Together



[그림 4] 게임 프로토타입 화면 <스크린샷 1>

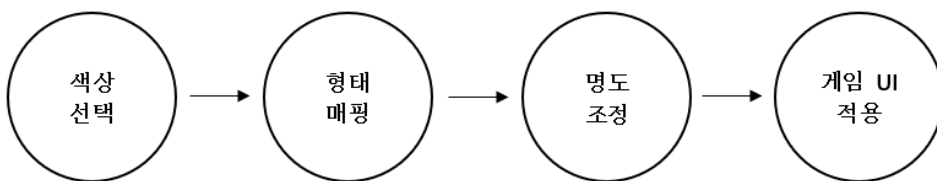
[Fig. 4] Game Prototype Screen <Screenshot 1>



[그림 5] 게임 프로토타입 화면 <스크린샷 2>

[Fig. 5] Game Prototype Screen <Screenshot 2>

구체적인 구현 과정에서 게임 프로토타입의 핵심 상호작용 요소에 제안된 설계 메커니즘이 전면적으로 적용되었다. 색채 측면에서는 Okabe & Ito 색채 체계를 기반으로 명확하게 구분 가능한 (unambiguous) 색상을 선정하였고, 인코딩 측면에서는 각 색상에 대해 안정적인 색상-형태 대응 관계(예: 적색-원형, 청색-사각형)를 구축하였다. 또한 지각 최적화 측면에서는 Paul Tol의 발산형 색상 스케일을 도입하여 명도와 색조를 상호 보완적으로 조절함으로써 요소 간 구분성을 강화하였다. 이러한 다층적 메커니즘의 결합을 통해 다양한 시각 조건에서도 색각 이상 플레이어의 정보 인식 효율을 향상시킬 수 있다. 프레임워크 적용 결과를 [그림 6]과 같이 구현하였다.



[그림 6] 게임 접근성 디자인의 게임 적용 예시

[Fig. 6] Example of Design Framework Applied in the Game

4. 실험 설계 및 결과 분석

4.1 실험 설계 및 데이터 수집

본 연구는 색각 이상 플레이어를 핵심 연구 대상으로 설정하고, 온라인 모집 공고 배포와 오프라인 현장 모집을 병행하는 방식으로 실험 참여자를 모집하였다. 최종적으로 선정 기준을 충족하는 31명의 유효 표본을 선별하였다. 모든 참여자는 자발적으로 색상 인식의 어려움을 보고한 사용자로 구성되었으며, 적록 색각 이상, 청황 색각 이상 및 기타 미분류 유형이 포함되었다. 표본의 타당성을 높이기 위해, 본 연구는 참여자가 일상생활 또는 게임 환경에서 색상 식별에 어려움을 겪은 주관적 경험을 지닐 것을 참여 조건으로 설정하였으며, 설문문을 통해 색각 상태를 추가적으로 확인하였다.

실험 절차는 다음과 같다. 먼저 참여자에게 게임 프로토타입 《Together》의 핵심 플레이 방식을 안내하고, 색상-형태 기반 중복 인코딩(redundant encoding) 게임 접근성 디자인 전략에 대해 설명하였다. 이후 참여자가 게임을 자율적으로 체험하도록 하였으며, 체험 과정에서는 별도의 개입 없이 사용자 행동의 자연성을 유지하였다. 실험 절차는 [표 3]에 정리하였다 [12].

최종적으로 총 31부의 유효 설문지가 회수되었으며, 이는 이후 정량적·정성적 분석에 활용되었다.

[표 3] 설문 문항 구성 표 <HCI 이론 기반>

[Table 3] Survey Questionnaire Structure Table <Based on HCI Theory>

모듈 이름	문항번호 범위	대응 HCI 차원
기본 정보 모듈	1-7	- (기초 데이터 지원)
지각 가능성 모듈	8-10	접근성 (Accessibility)
조작 제어 및 유연성 모듈	11-12	사용성 (Usability)
피드백 메커니즘 모듈	13-14	상호작용 효율 (Efficiency)
오류 허용성 및 학습 용이성 모듈	15-17	사용성 (Usability)
기존 색맹 모드 경험 비교 모듈	18-20	- (가치 위치 기준)
전체 평가 및 제안 모듈	21-24	사용자 만족도 (Satisfaction)

4.2 사용성 평가 결과

실험 결과에 따르면, 색상과 형태를 결합한 정보 기반 중복 인코딩(redundant encoding) 설계는 색각 이상 사용자의 정보 인식 및 조작 수행 측면에서 전반적으로 긍정적인 사용자 반응이 나타났다. 다수의 참여자는 단일 색상 인코딩 방식에 비해 색상-형태 결합 표현이 핵심 게임 요소를 보다

명확하게 구분하는 데 효과적이라고 응답하였다.

또한 패턴/형태 기반 보조 인코딩과 텍스트 레이블이 가장 선호되는 보조 수단으로 나타났으며, 대비 강화 및 인터페이스 사용자 설정 기능 역시 높은 수준의 긍정적 평가를 받은 것으로 나타났다.

[표 4]에서 제시된 바와 같이, 정보 인식 용이성과 조작 정확성 항목 모두에서 긍정 응답(4-5점 기준)은 각각 71%로 나타났으며, 긍정 응답률은 Likert 5점 척도에서 4점 이상 응답의 비율로 산출하였다.

[표 4] 주요 설문 결과<N = 31>

[Table 4] Key Survey Results<N = 31>

항목	매우 그렇다	그렇다	보통	아니다	긍정 응답(합계)
정보 인식 용이성	32%	39%	23%	6%	71%
조작 정확성	29%	42%	21%	8%	71%

이러한 결과는 다차원적 시각 단서를 활용한 설계가 단일 채널 의존 구조의 한계를 일정 수준 보완할 수 있는 가능성을 시사한다. 그러나 일부 참여자는 여전히 색상 구분에 어려움을 경험하였으며, 이로 인해 오판 또는 오조작이 발생하는 사례도 확인되었다.

또한 일부 사용자는 인터페이스 피드백의 변화를 명확하게 인지하지 못하였으며, 특히 초기 학습 단계에서 일정 수준의 이해 어려움을 보고하였다. [표 5]의 문제 유형 분석 결과에 따르면, 색상 혼동은 전체 응답자의 71%에서 나타났으며, 인터페이스 이해 어려움은 48%로 나타났다.

[표 5] 문제 유형 분석<N = 31>

[Table 5] Problem Type Analysis<N = 31>

문제 유형	빈도	비율
색상 혼동	22	71%
인터페이스 이해 어려움	15	48%

이러한 결과는 색각 이상 사용자 집단 내 개인차와 과업 환경의 복잡성을 반영한 것으로 해석할 수 있다. 특히 일부 참여자는 기존 색상 중심 인터페이스에 대한 경험적 의존성으로 인해 여전히 색상 단서를 우선적으로 활용하는 경향을 보였다.

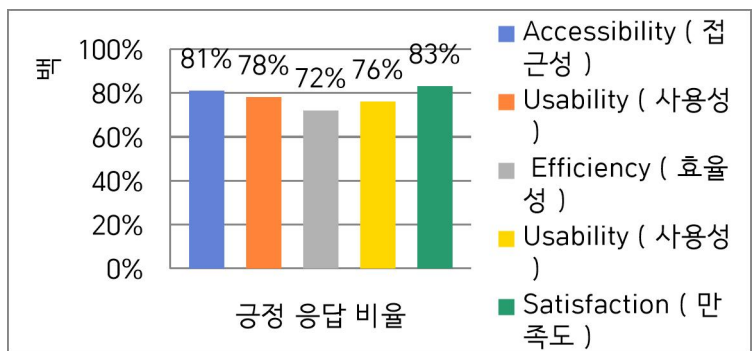
또한 동적 인터페이스와 다중 시각 요소가 결합된 환경에서는 형태 및 패턴 기반 정보의 활용이 충분히 이루어지지 못하여 일시적인 정보 처리 지연 및 인지 부하 증가가 발생했을 가능성이 있다. 이는 중복 인코딩 설계가 정적 환경에서는 긍정적인 사용 가능성을 보이는 반면, 복합 상호작용 환경에서는 추가적인 설계 최적화가 필요함을 시사한다.

4.3 HCI 기반 정량 결과 요약

본 연구에서는 설문 문항을 HCI 이론에 기반하여 기능적 차원으로 재구성하고, 접근성(Accessibility), 사용성(Usability), 효율성(Efficiency), 사용자 만족도(Satisfaction)의 네 가지 차원으로 구분하여 분석하였다.

각 HCI 차원 점수는 해당 문항들의 4-5점 응답 비율을 기준으로 산출된 긍정 응답률의 평균값으로 계산되었다.

분석 결과, 모든 HCI 차원에서 전반적으로 높은 수준의 긍정 응답이 나타났다. 구체적으로, 사용자 만족도는 83%로 가장 높은 평가를 보였으며, 접근성은 81%, 사용성은 78%, 효율성은 72%로 나타났다. HCI 차원별 긍정 응답률은 [그림 7]과 같다.



[그림 7] HCI 이론 기반 시스템 사용성 평가 긍정 응답비율

[Fig. 7] Positive Response Rates of System Usability Evaluation Based on HCI Theory

이러한 결과는 정보 기반 중복 인코딩 설계가 색각 이상 사용자 환경에서 단일 색상 의존도를 완화하고, 다차원적 시각 단서를 통한 정보 인식 가능성을 향상시킬 수 있음을 시사한다.

특히 색상, 형태, 명도 등의 복합적 시각 채널을 통합적으로 활용하는 접근은 기존 색상 보정 중심 방식과 차별화되며, 접근성 문제를 인터페이스 구조 차원에서 해결하려는 설계 전략의 적용 가능성을 시사한다.

다만 효율성 차원에서 상대적으로 낮은 점수(72%)가 나타난 점은, 복합 시각 요소 간 정보 간섭 및 인지 부하 증가 가능성을 반영하는 결과로 해석된다. 또한 일부 사용자에서 색상 기반 판단 전략이 지속적으로 관찰되었다는 점은, 사용자 학습 및 인지 적응 과정이 설계 효과에 영향을 미치는 중요한 변수임을 시사한다.

4.4. 종합 논의

본 연구는 정보 기반 중복 인코딩을 활용한 게임 인터페이스 설계 방안을 제안하고, 사용자 반응을 탐색적으로 분석하였다. 분석 결과, 다차원적 시각 단서를 통합한 설계는 색각 이상 사용자의 정보 인식 부담을 완화하고 전반적인 사용자 경험을 향상시키는 데 긍정적인 가능성을 보여주었다.

본 연구의 학술적 의의는 다음과 같다. 첫째, 기존의 색상 보정 중심 접근을 확장하여 정보 인코딩 구조 기반의 접근성 게임 접근성 디자인을 제안하였다. 둘째, 실제 게임 프로토타입과 사용자 평가를 통해 해당 설계 방식의 적용 가능성을 탐색적으로 살펴보았다. 셋째, 색각 이상 사용자 환경에서 다차원적 시각 단서 통합 설계의 필요성과 실현 가능성을 구체적으로 제시하였다.

그러나 본 연구는 표본 규모 및 구성의 제한, 색각 이상 유형 분류 방식의 불명확성, 비교 실험의 부재 등의 한계를 지닌다. 따라서 향후 연구에서는 다양한 사용자 집단을 포함한 확장된 실험 설계와 함께, 기존 인터페이스와의 비교 분석을 통해 설계 적용 가능성을 보다 체계적으로 분석할 필요가 있다. 또한 멀티모달 피드백 및 사용자 적응형 인터페이스 설계를 결합함으로써 접근성 향상을 위한 보다 정교한 전략이 요구된다.

References

- [1] G. G. Woldeamanuel and T. G. Geta, "Prevalence of color vision deficiency among school children in Wolkite, Southern Ethiopia," *BMC Research Notes*, vol. 11, Art. no. 838, Nov. 2018, doi: 10.1186/s13104-018-3943-z.
- [2] H. Brettel, F. Viénot, and J. D. Mollon, "Computerized simulation of color appearance for dichromats," *Journal of the Optical Society of America A*, vol. 14, no. 10, pp. 2647-2655, Oct. 1997, doi: 10.1364/JOSAA.14.002647.
- [3] C. Ware, *Information Visualization: Perception for Design*, 3rd ed., 2012, doi: 10.1016/B978-0-12-381464-7.00018-1.
- [4] World Wide Web Consortium (W3C), "Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2," *w3.org*, <https://www.w3.org/TR/WCAG22/> (accessed Apr. 20, 2025).
- [5] Fiddlesticks Games, *Hue*, Curve Digital, 2016. [Video game].
- [6] Noodlecake Studios, *Chameleon Run*, Hyperbolic Magnetism, 2016. [Video game].
- [7] M. Okabe and K. Ito, "Color universal design (CUD): How to make figures and presentations accessible to colorblind people," unpublished.
- [8] B. Wong, "Color blindness," *Nature Methods*, vol. 8, no. 6, p. 441, Jun. 2011, doi: 10.1038/nmeth.1618.
- [9] M. Neiva, "ColorADD: Color identification system for color-blind people," in *Universal Access in Human-Computer Interaction. Applications and Practice*, Springer, 2016, pp. 255-263, doi: 10.1007/978-3-662-53924-8_27.

- [10] P. Tol, "Colour schemes," *personal.sron.nl*, <https://personal.sron.nl/~pault/> (accessed May 14, 2025).
- [11] P. Tol, "Colour schemes," SRON Netherlands Institute for Space Research, Tech. Note Issue 3.2. [Online]. Available: <https://personal.sron.nl/~pault/data/colourschemes.pdf>
- [12] *Ergonomics of Human-System Interaction-Usability: Definitions and Concepts*, ISO 9241-11, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2018.