

아이트래커 기반 사용성 평가를 통한 AI 디지털 교과서 설계 가이드라인 도출 연구

오주현*¹, 정소정*², 이연주*³, 김재훈***, 김영윤***

A Study on Design Guidelines for AI Digital Textbooks through ‘Eye Tracking’ based Usability Evaluation

JuHyeon Oh*¹, SoJeong Jeong*², YeonJoo Lee*³, Jaehun Kim***, and Young-Yun Kim***

본 연구는 (주)비상교육의 지원으로 수행되었습니다. (과제번호 202600100001)

요 약

2023년 교육부의 ‘AI 디지털 교과서 추진 방안’ 발표 이후 공교육 현장은 AI 디지털 교과서(AIDT) 도입 논의가 확대되고 있으나, 실제 수업 환경에서의 사용성 검증과 설계 기준이 필요한 실정이다. 본 연구는 초등 수업 환경에서 AIDT 사용 경험을 탐색적으로 분석하고, 수업 흐름과 학습 경험을 고려한 사용자 중심 설계 가이드라인을 제시하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 AIDT 및 기존 디지털 교과서(DT) 관련 선행연구를 조사하여 주요 사용성 이슈를 도출하고 사용성 분석 기준으로 설정하였다. 이후 AIDT 기반 모의 수업을 수행하여 아이트래킹 데이터를 수집하고, 시선 이동 경로, 주목 영역, 화면 전환 패턴을 중심으로 학습자의 상호작용 특성을 분석하였다. 본 연구는 분석 결과를 바탕으로 실제 수업 상황에서 적용 가능한 AIDT 사용성 설계 가이드라인을 도출함으로써, 향후 공교육 환경에서의 AIDT 설계 및 개선을 위한 실증적 근거를 제공한다.

Abstract

Since 2023, discussions on introducing AIDT in Korean public education have expanded, yet usability validation in real classroom contexts remains limited. This study quantitatively analyzes elementary students’ AIDT experiences and proposes user-centered design guidelines that support instructional flow and learning. Based on key usability issues identified from prior studies on AIDT and DT, a simulated AIDT-based lesson was conducted and eye-tracking data were collected to examine gaze patterns and screen-transition behaviors. The findings provide empirical evidence for improving AIDT usability and informing future design and implementation in public classrooms.

Keywords

AI digital textbook, usability evaluation, eye tracking analysis, classroom simulation study, user-centered design

* 국립한국교통대학교 교통-에너지융합학과 석사

- ORCID¹: <https://orcid.org/0009-0007-4045-8701>

- ORCID²: <https://orcid.org/0009-0002-4185-6246>

- ORCID³: <https://orcid.org/0009-0008-2967-5833>

** (주)비상교육 크리에이티브디자인연구소 소장

- ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7099-5493>

*** 국립한국교통대학교 산업디자인학과 교수(교신저자)

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1459-4650>

· Received: Feb. 19, 2026, Revised: Apr. 09, 2026, Accepted: Apr. 12, 2026

· Corresponding Author: Young-Yun Kim

Dept. of Industrial Design, Korea National University of Transportation,
Korea

Tel.: +82-43-841-5738, Email: yykim@ut.ac.kr

I. 서 론

2023년, 교육부의 AI 디지털 교과서(AIDT, Artificial Intelligence Digital Textbook) 도입 발표를 기점으로 한국 교육 환경에서는 인공지능 기술을 교육에 적용하는 것에 대한 사회적 관심이 확대되며, AIDT를 중심으로 한 다양한 개발과 논의가 진행되고 있다. AIDT는 학습 데이터 기반 개인화, 학습 지원 자동화 등 새로운 가능성을 제시하고 있으나, 2025년 도입된 AIDT의 실제 학생 활용률은 8.1% 수준에 머무른 것으로 나타났다[1]. 이는 공교육 수업 상황에서의 활용 방식과 효과에 대한 체계적인 검증 필요성을 제기한다.

1.1 연구 목적 및 범위

본 연구는 공교육 환경의 초등 AIDT 사용성 중에서도, 학습자가 수업 중 콘텐츠를 수행하는 과정에서 발생하는 인터페이스 이해 및 조작 경험에 초점을 맞추었다. 따라서, AI 디지털 교과서 학습 콘텐츠의 교육적 효과를 평가하기보다는, 학습자가 플랫폼 인터페이스를 인지하고 탐색하는 과정에서 발생하는 사용성 문제를 분석하는 데 목적이 있다. 이는 학습자의 인터페이스 숙련도에 따라 달라질 수 있으며, 일부 결과 해석에 영향을 미칠 가능성이 있으므로 본 연구의 결과는 단일 원인보다는 초기 환경에서의 사용성 이슈로 해석될 필요가 있다.

특히, 기존의 디지털 교과서 및 교육용 인터페이스 연구보다 실제 수업 맥락을 반영하기 위해 모의 수업 환경을 기반으로 사용성을 분석하였다. 이에 따라 교사와 학생 간 상호작용에서 발생하는 사용성 문제까지 통합적으로 분석함으로써, AIDT의 실무적 설계 방향을 탐색하였다는 점에 의의가 있다.

본 연구는 개발 단계의 ‘A기업’의 AIDT 플랫폼을 대상으로 사용성 평가를 진행하였으며, 향후 업데이트에 따라 정보 구성 및 기능이 변경될 가능성이 있으므로 결과 해석 시 이를 고려하였다. 사용성 연구의 대상은 AIDT 최초 사용 연령인 초등학교 3, 4학년으로 한정하였으며, 이는 향후 5, 6학년으로 확장하여 연령별 차이를 비교할 예정이다. 교과는 학습 수행 과정에서 화면 조작과 인지적 판단이 빈

번하게 요구되는 수학 과목으로 범위를 제한하였다. 이로 인해 본 연구의 분석 범위는 자연스럽게 문제 풀이 상황에서의 학습자 행동과 화면 상호작용에 집중되었으며, 학습자가 문제를 이해하고 풀이 영역을 탐색하고 수행하는 과정에서 나타나는 사용성 이슈를 주요 분석 대상으로 설정하였다.

II. 연구 방법 설계

본 연구는 AIDT 및 디지털 교과서(DT) 관련 선행연구 조사를 통해 도출된 주요 이슈를 실제 수업 맥락에서 검증하기 위하여, 문헌조사와 모의수업 기반 실험을 결합한 혼합적 연구 방법을 적용하였다. 연구의 전체 맥락은 그림 1을 통해 알 수 있다.

A Research Scope

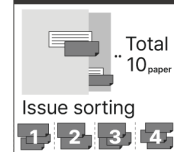
Participants | Grade 3–4 elementary classes

Platform | Company A's elementary math AIDT

Setup | student tablets + teacher monitor + digital board

B Literature Based Issue Identification

Literature Review

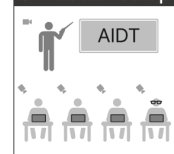


Key issues

1. UI clarity of information/functions
2. Fit of platform usage flow
3. Subject specific feature configuration
4. Ease of following instructions

C Simulated lesson based Usability Evaluation

Simulation Setup



1 Participants

1 homeroom teacher, 4 students per class

2 Procedure

Platform shared, free form lesson.

3 Data method

1 student per team wore an Eye-tracker

D Usability Guideline Development

B. Issue Identification

- Review of AIDT concerns
- Review of feature needs

C. Usability Evaluation

- Identify pain points
- subject based usefulness

Guideline proposal

Suggest improvements based on the tested platform and directions for ideal usability optimization

그림 1. 연구 방법 요약

Fig. 1. Summary of research method

[A. 연구 범위 설정] 단계는 본 연구의 평가 대상과 분석 범위, 수업 환경 조건을 설정하였다. 연구 대상은 초등학교 3, 4학년 학급으로 한정하였으며, 평가 범위는 ‘A기업’의 초등수학 AIDT 플랫폼으로 설정하였다. 또한 실제 수업 상황을 반영하기 위해 학생이 태블릿을 사용하며 교사는 모니터로 이를 관리 감독할 수 있는, 디지털 칠판 기반의 수업 환경으로 평가를 설계하였다.

[B. 문헌조사 기반 이슈 도출] 단계는 사용성 평가의 분석 기준을 문헌 기반으로 체계화하였다. 선행연구 분석을 통해 AIDT 사용성 이슈를 분류하고, 핵심 항목을 화면 내 정보 및 기능 직관성, 플랫폼 이용 방식 적합성, 과목 특성 기반 기능 구성 적합성, 교사 지시 이행 편의성으로 도출하였다. 해당 이슈는 이후 모의수업 결과에 따른 데이터 평가 기준으로 활용하였다.

[C. 모의수업 기반 사용성 평가] 단계는 테스트 플랫폼을 활용한 모의수업을 통해 AIDT 사용 경험을 정량 데이터로 수집하였다. 각 평가 그룹별 구성은 교사 1명, 관찰 학생 3명, 아이트래커 착용 학생 1명으로 설정하였으며, 총 3개의 그룹이 참여하였다. 수업 중 교사의 지도 방식과 학생의 반응을 다각도로 기록하기 위해 각각 카메라 1대를 설치하여 총 5대로 촬영하였다. 이에 필요한 테스트 플랫폼은 사전에 교사에게 전달한 후 자유 수업 방식으로 진행하도록 설계하였다.

아이트래킹 데이터 분석은 ‘Tobii Pro lab’을 활용하여 수행되었으며, 학습 흐름이 저해되는 반응을 기준으로 분석 구간을 선별하였다. 해당 장면은 아이트래킹 영상에서 캡처된 이미지를 기반으로 설정되었으며, 이를 통해 주요 인터페이스 요소를 포함하는 분석 단위를 구성하였다. 각 분석 장면에 대해 인터페이스 구성 요소를 중점으로 관심 영역(AOI: Area of Interest)을 설정하였으며, 해당 영역에 대한 fixation duration, fixation count, dwell time 등의 시선 지표를 산출하였다. 본 연구에서는 이러한 이벤트 기반 AOI 분석을 통해 특정 인터페이스 요소에서 발생하는 시선 집중, 탐색 패턴 및 주의 분산 현상을 분석하고, 앞서 도출한 이슈에 대입하여 종합적으로 사용성을 평가하는 데 활용하였다. [D. 사용성 가이드라인 도출] 단계는 평가 결과를 기반으로 실

제 적용 가능한 AIDT 사용성 설계 가이드라인을 도출하였다. AIDT-DT 관련 문헌조사를 통해 도출한 우려 사항과 기대효과를 기반으로, 사용성 평가에서 확인된 문제점과 수업 과목 맥락에서의 기능 활용 방향을 정리하였다. 이를 바탕으로 테스트 플랫폼 기준의 사용 개선 방향과 이상적 사용성 최적화 방향을 제안할 수 있었다.

III. 선행연구 자료 분석

본 장에서는 AIDT 및 기존 디지털 교과서(DT) 관련 선행연구를 검토하여, 공교육 수업 맥락에서 반복적으로 보고 또는 제안된 사용성 이슈를 분석한다. 도출된 이슈는 이후 모의수업 기반 사용성 평가의 관찰 항목과 분석 기준으로 활용되며, 본 연구의 가이드라인 도출을 위한 근거로 제시한다.

본 연구는 AIDT 사용성 평가의 분석 기준을 설정하기 위해, AIDT-DT 관련 선행연구를 대상으로 문헌조사를 수행하였다. 문헌조사는 공교육 수업 맥락에서 학습자의 디지털 교과서 사용 경험과 상호작용 문제를 다룬 연구를 중심으로 진행하였으며, 최종적으로 총 10편의 관련 문헌을 분석 대상으로 선정하였다. 선정된 문헌에서 반복적으로 언급되는 사용성 문제와 개선 요구, 지향점을 추출하여 총 18개의 세부 이슈로 정리하였고, 이후 이슈 간 중복 및 유사성을 검토하여 재분류하는 과정을 거쳤다. 그 결과, 본 연구는 세부 이슈를 설명할 수 있는 상위 범주로서 4개의 주요 이슈 축을 정의하였으며, 해당 축을 기반으로 이후 모의수업 기반 사용성 평가의 관찰 항목 및 분석 기준을 구성하였다.

주요 이슈 4가지 중, ‘화면 내 정보 및 기능 직관성’은 학습자가 AIDT 화면에서 제공되는 정보와 기능을 직관적으로 이해하고 필요한 요소를 빠르게 탐색할 수 있는 정도를 의미한다. 실제 초등 수업은 한 차시(40분) 안에 학습 과제가 진행되므로, 직관성이 낮을 경우, 학습자는 문제 풀이보다 화면 탐색에 주의가 분산되고 인지 부담이 증가할 수 있다[2][3]. 특히, AIDT는 학습 지원을 위한 신규 기능이 지속적으로 추가 및 확장될 수 있으므로, 기능 활용의 진입장벽을 낮추기 위해서는 화면 내 정보 구조와 기능의 의미가 직관적으로 인지될 수 있도록 설계될 필요가

있다[4][5]. 본 연구에서는 해당 이슈를 확인하기 위해 화면 내 시선 이동 경로, 주목 영역 분포, 탐색 시간 및 시선 분산 양상을 중심으로 분석하였다.

‘플랫폼 이용 방식 적합성’은 AIDT가 제공하는 화면 조작 및 응답 방식이 공교육 수업 흐름과 학습 활동에 부합하는지를 의미한다. 특히 스크롤 중심의 구성이나 화면 전환 방식은 학습자의 과제 수행 과정에서 흐름 단절을 유발할 수 있으며, 반복적인 탐색을 증가시킬 가능성이 있다[6]. 이는 사용자가 화면을 보는 시선 이동 순서, 팝업 위치 등 AIDT 정보 구성 예측 가능성에 영향을 받은 것으로 추론된다[7]. 본 연구는 모의수업 상황에서 학습자의 화면 전환 패턴, 스크롤 및 조작 빈도, 과제 수행 과정의 흐름 변화를 관찰하여 이용 방식의 적합성을 평가하였다.

‘과목 특성 기반 기능 최적화’는 수학 과목의 수업 특성과 문제 풀이 기능이 AIDT 내에서 사용자에게 최적화되어 제공되는지를 의미한다. 수학 학습은 연산 훈련과 능동적 사고 과정이 중요하므로[8], 기능 배치와 방식 따라 문제 풀이 수행 과정에서 혼란이 발생할 수 있다[9]. 이는 과목 특성에 따라 매체 적합도가 다르기 때문이며, 과목에 최적화하여 설계된 기능 및 인터페이스는 학습자의 콘텐츠 상호작용 향상과 밀접한 관계가 있다[10][11]. 본 연구에서는 문제 풀이 상황에서 나타나는 학습자의 풀이 영역 탐색 과정, 기능 사용 맥락, 조작 오류 및 수행 지연을 중심으로 해당 이슈를 분석하였다.

‘교사 지시 이행 편의성’은 교사가 제시하는 수업 지시가 AIDT 환경에서 학습자에게 원활하게 전달되고 실행될 수 있는 정도를 의미한다. 실제 수업에서는 교사의 지도와 학생의 학습 활동이 반복적으로 상호작용하므로, 지시 이행 과정에서 조작 오류가 발생할 경우 전체 수업 운영을 저해할 수 있다[5]. 특히 교사는 AIDT 내 학생 상호작용 기능을 통한 산만함 통제, 소통에 대하여 필요성을 체감하는 것으로 분석하였다[8][11]. 본 연구는 수업 영상 관찰을 통해 교사와 학생 간 시선 이동 경로, 학생의 반응 및 수행 성공 여부, 지시 이후 화면 조작 과정에서의 어려움을 종합적으로 분석하였다.

선행연구 분석 결과, 본 연구는 AIDT 및 DT 관

련 문헌에서 도출된 사용성 이슈를 체계적으로 정리하여, 이후 실증 평가에 적용 가능한 검증 기준으로 재구성하였다. 구체적으로 각 주요 이슈는 단순한 문제 나열이 아니라, 세부 항목과 이를 실제 수업 환경에서 확인할 수 있는 사용성 측정 방법을 포함하는 형태로 구조화하였다. 선행연구 분석 결과를 구조화한 이미지는 그림 2와 같다.

Key issue 1. | UI clarity of information/functions

Sub-issue(Observation focus)	Method
1-1. Suitability of content visualization	Heat map
1-2. Visual hierarchy	Scan path
1-3. Perceptual clarity	Scan path
1-4. Responsiveness to instructions	Scan path
1-5. Distraction factors	Heat map

Key issue 2. | Fit of platform usage flow

Sub-issue(Observation focus)	Method
2-1. Predictable gaze flow	Heat map
2-2. Minimization of scrolling	Scan path
2-3. Presentation of auxiliary explanations	Scan path
2-4. Ease of information navigation	Scan path
2-5. Operational ease	Scan path

Key issue 3. | Subject specific feature configuration

Sub-issue(Observation focus)	Method
3-1. Problem-solving alignment	Scan path
3-2. Support for cognitive processes	Scan path
3-3. Error prevention	Scan path

Key issue 4. | Ease of following instructions

Sub-issue(Observation focus)	Method
4-1. Continuity of learning flow	Time metric
4-2. Immediate feedback	Scan path
4-3. Ease of information verification	Time metric
4-4. Ease of instruction implementation	Scan path
4-5. Practical classroom applicability	Error rate

그림 2. 선행연구 자료 분석 결과

Fig. 2. Findings from the analysis of prior studies

이를 통해 주요 이슈별로 “무엇을 확인할 것인가”와 “어떻게 검증할 것인가”를 명확히 연결한 검증 이슈 리스트를 구축하였으며, 해당 리스트는 모의수업 기반 사용성 평가의 관찰 항목과 데이터 분석 기준으로 활용하였다. 결과적으로 본 장에서 제시한 검증 이슈 리스트는 AIDT 사용 경험을 실제 수업 맥락에서 해석하기 위한 분석 틀로 적용되며, 이후 단계에서 아이트래킹 데이터와 결합하여 사용성 문제를 구체적으로 진단하는 근거로 작용한다.

IV. 모의수업 기반 사용성 평가

본 장에서는 앞서 제시한 모의수업 기반 사용성 평가 절차를 적용하여 수집된 데이터를 바탕으로, AIDT 사용 과정에서의 사용성 이슈를 분석한다. 사용성 평가는 총 3개 그룹을 대상으로 진행되었으며, 각 그룹은 교사가 소속된 실제 학교에서 테스트를 수행하였다. 참가자 정보는 그림 3에 정리하였다.

Test 1 - Group(a)	Test 2 - Group(b)	Test 3 - Group(c)
		
Grade 3	Grade 4	Grade 4
Date: 2025-10-28	Date: 2025-10-29	Date: 2025-10-31
11 year educator	13 year educator	14 year educator
Math DT user	Math DT non-user	Math DT user
Semester 2 - Unit 1	Semester 2 - Unit 1	Semester 2 - Unit 1

그림 3. 평가 참가자 개요

Fig. 3. Evaluation participants overview

본 연구는 아이트래킹 장비를 활용한 실험 특성상 제한된 인원을 대상으로 수행되어 표본 규모에 따른 일반화에는 한계가 있다. 다만, 국내 지자체 및 교육부에서 선정한 AIDT 선진 도입 학교를 대상으로 표본을 구성함으로써, 실제 활용 맥락을 반영한 사용성 데이터를 확보하고자 하였다. 이러한 환경에서 도출된 대표적 관찰 결과는 총 4개이다.

4.1 화면 정보 구조와 시각적 위계 불명확성

모의수업의 학생들은 AIDT 내 주요 학습 콘텐츠에 대해 비교적 안정적인 시선 집중 분포를 보였다. 그림 4는 시각 자료에 대한 히트맵 분포도이다.

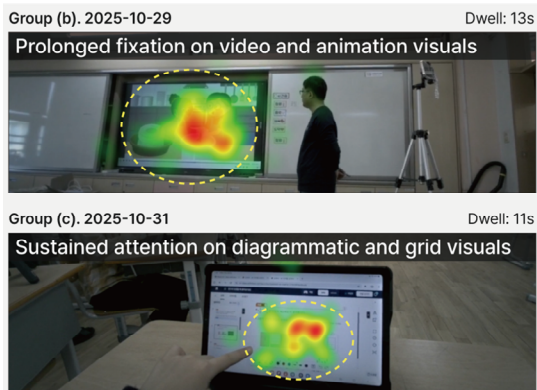


그림 4. 콘텐츠 시각화 적합성 분석 결과

Fig. 4. Results of content visualization suitability analysis

위의 히트맵 분포도로 알 수 있듯, 영상과 애니메이션, 도형 및 도식화 중심의 시각 자료 구성에서는 교사의 지도 화면과 학생의 학습 화면 모두에서 높은 집중도와 시선 분포도가 관찰되었다. 이를 통해 초등 수준 학습자의 이해 수준에 시각적인 자료의 중요도가 높다는 점이 확인되었다.

그러나, 전체 화면 중 상단 바 영역(홈, 수업 종료 등이 위치한 플랫폼 기능)과 보조 인터페이스 요소(교과서 콘텐츠의 페이지 슬라이드)에 대해서는 불필요한 시각적 우선순위를 보였다. 시각적 집중 방해 현상에 대한 예시는 그림 5와 같다.

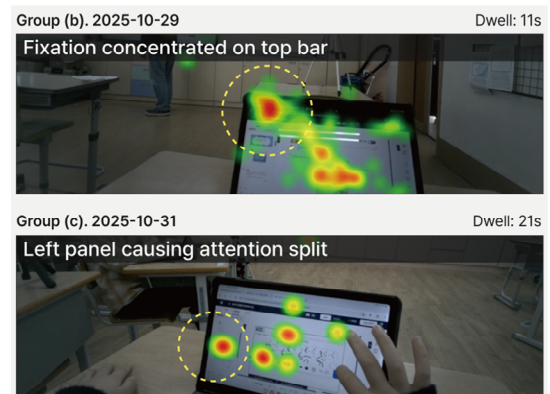


그림 5. 집중 방해 요소 분석 결과

Fig. 5. Results of distraction factor analysis

아이트래커 데이터 분석 결과, 화면 상단에 배치된 기능 버튼과 상태 정보 영역을 반복적으로 주시하는 경향이 관찰되었다. 상단 바에 대한 반복적인 시선 이동은 인터페이스 내 시각적 위계가 명확하지 않을 경우, 사용자의 정보 탐색 부담이 증가할 수 있다는 HCI 관점과 관련될 수 있다[12]. 이는 학생들이 무의식적으로 비학습 요소로 시선이 분산되는 히트맵 패턴과 연관될 수 있다.

즉, 학습 콘텐츠의 집중도는 안정적으로 유지되나, 기능이 중점화된 AIDT의 특성상 정보 구조를 안내하는 시각적 계층 설계가 충분하지 않아 학습 도구로서의 직관성이 제한된다고 해석할 수 있다.

4.2 스크롤 구조 인지 부하와 조작 체계 혼란

AIDT는 웹 기반 프레임워크를 중심으로 개발되는 경우가 많아 기존 웹 UI(User Interface) 패턴을

계승하는 구조적 특성을 가진다. 또한, 지면 교과서를 디지털로 옮기는 수준을 넘어, 다양한 기능과 멀티미디어 콘텐츠를 하나의 플랫폼에 통합하려는 설계 요구를 지니고 있다. 이러한 배경에서 스크롤 구조와 모듈식 화면 구성이 구현에 효율적인 측면도 있다. 그러나, 모의수업 과정에서 학생들은 스크롤 기반 인터페이스에 대하여 반복적인 시선 이동과 조작 지연을 보였다. 그림 6은 스크롤에 따른 히트맵 분포의 차이를 나타낸다.



그림 6. 화면 내 스크롤 구조 발생 시 영향 분석 결과
Fig. 6. Results of scroll structure impact analysis

아이트래커 분석 결과, 스크롤이 없는 조건에서는 시선이 문제 풀이 영역에 집중되는 안정적 패턴을 보이나, 스크롤 조건에서는 시선이 문제 영역과 주변 인터페이스 사이를 반복적으로 이동하는 분산 양상이 나타났다. 스크롤 과정에서 나타나는 시선 분산은 인지 부하 이론에서 설명하는 정보 처리 부담 증가와 관련될 가능성이 있으나, 학습자의 숙련도 및 과제 특성 등 다양한 요인의 영향을 함께 고려할 필요가 있다[13]. 특히 스크롤을 통해 추가 정보를 탐색해야 하는 상황에서 학생들은 화면에 즉시 보이는 정보 범위 내에서 풀이를 시도하려는 경향을 보였으며, 이는 탐색 행동을 회피하는 패턴으로 해석된다.

4.3 풀이 지원 설계 부족 및 입력 규칙 불일치

수학 과목의 문제 풀이 과정에서 가장 두드러지게 나타난 문제는 사용할 수 있는 필기 공간이 충분히 확보되지 않았다는 점이다. 수학 학습은 계산

과정과 사고 흐름을 시각화하는 필기 활동이 핵심인데, 디지털 환경에서는 이러한 중간 사고 과정을 기록할 수 있는 공간이 지면 교과서에 비해 현저히 제한되는 양상이 관찰되었다. 그 결과 학생들은 화면 내 좁은 필기 영역에서 필기한 후, 정답 입력을 하기 위해 풀이 과정을 머릿속으로 되뇌고 다시 필기 화면으로 돌아가는 행동을 보였다. 그림 7은 이러한 맥락에서 관찰되는 시선 패턴 자료이다.



그림 7. 사고 과정 지원 용이성 분석 결과
Fig. 7. Results of cognitive process support analysis

이러한 시선 이동 패턴은 학습자의 집중 과정과 정보 처리 과정에 영향을 미칠 수 있으며, 학습과학 관점에서 학습 흐름의 연속성을 저해하는 요인으로 작용할 가능성이 있다[14]. 또한 수학 문제 형식에 따라 입력 방식과 조작 규칙이 일관되지 않아 학생들이 문제마다 조작 방식을 다시 탐색해야 하는 상황이 반복되었다. 그림 8은 대표적 발생 상황이다.

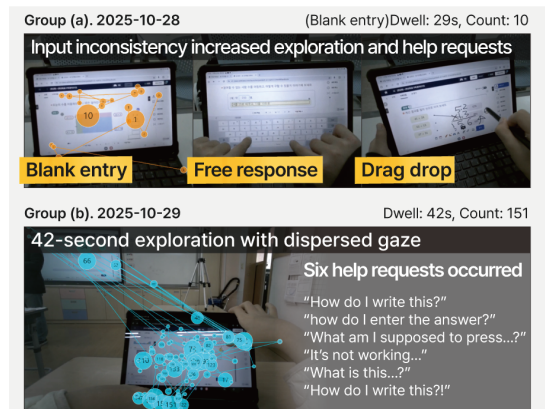


그림 8. 입력 오류 예방성 분석 결과
Fig. 8. Results of input error prevention analysis

이러한 입력 규칙의 불연속성은 교사 개입 빈도를 증가시켰으며, 특히 과반수의 학생이 ‘빈칸’ 상태의 정답 입력 공간에 대해 혼란을 겪는 사례가 관찰되었다. 이는 다양한 입력 방식 중 모달 기반 입력(키보드 호출, 팝업 선택 등)이 초등 학습자에게 조작 예측성이 가장 낮은 유형임을 시사한다.

4.4 기술적 한계로 인한 수업 상호작용 혼란

AIDT 기반 모의수업에서 교사와 학생의 상호작용을 분석한 결과, 가장 핵심적인 문제 요인은 교사 화면과 학생 화면 간의 불일치성이었다. 동일한 수업 콘텐츠를 기반으로 진행되에도 불구하고 화면 구성과 작동 구조가 일관되지 않아 교사가 학생에게 특정 위치나 과정을 설명하는 데 어려움을 겪는 장면이 반복적으로 관찰되었다. 해당 상황에서 관찰된 시선 이동 패턴은 그림 9와 같다.

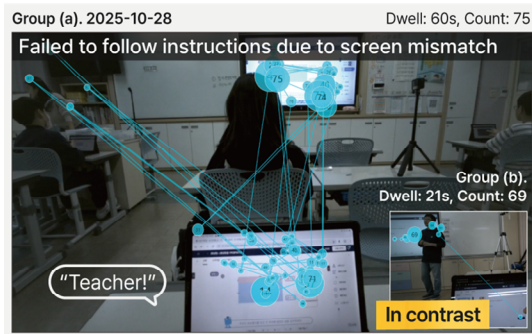


그림 9. 교사 지시 반영 용이성 분석 결과
Fig. 9. Results of instruction responsiveness analysis

또한 화면 오류나 기술적 문제 발생 시 교사가 이를 직접 해결해야 하는 상황이 빈번하게 나타났다. 예를 들어, AI의 필기 인식 오류와 키보드 네트워크 연결 끊김 등 플랫폼과 기기의 성능이 수업 전체 진행을 지연하는 상황이 발생했다. 그 결과 기술적 문제 해결에 주의를 분산되면서 교사와 학생 모두 학습 몰입도와 참여도가 저하되는 양상이 관찰되었다. 이러한 교사와 학생 화면 불일치 및 기술적 오류는 인터페이스의 일관성과 오류 대응 설계가 부족할 경우 사용자 간 상호작용과 정보 전달을 저해할 가능성이 있다[12].

사용성 평가 결과, 본 연구에서 도출된 주요 사용성 이슈는 화면 정보 구조와 시각적 위계 불명확성, 스크롤 구조 인지 부하와 조작 체계 혼란, 풀이 지원 설계 부족 및 입력 규칙 불일치, 기술적 한계로 인한 수업 상호작용 혼란 네 가지로 정리된다. 이는 선행연구 분석을 통해 도출된 핵심 이슈(3장)를 기준으로, 실제 사용성 평가 결과와 비교하여 아래 그림 10과 같이 구조화하였다.

Key issue 1. | UI clarity of information/functions

Category	Group A.	Group B.	Group C.
AOI Data			
Severity	●○○ Brief	●○○ Brief	●○○ Brief
Frequency	●○○ Sporadic	●●● Frequent	●●● Frequent

Low-impact, high-frequency gaze attraction to top bar and slide

Key issue 2. | Fit of platform usage flow

Category	Group A.	Group B.	Group C.
AOI Data			
Severity	●○○ Transient	●●● Prolonged	●●● Prolonged
Frequency	●○○ Sporadic	●○○ Sporadic	●○○ Sporadic

Intensive visual search during scrolling disrupts learning flow.

Key issue 3. | Subject specific feature configuration

Category	Group A.	Group B.	Group C.
AOI Data			Not used (teacher refusal)
Severity	●○○ Transient	●●● Prolonged	Not assessed
Frequency	●●● Frequent	●●● Frequent	Not assessed

Modal input complexity leads to frequent errors and user confusion.

Key issue 4. | Ease of following instructions

Category	Group A.	Group B.	Group C.
AOI Data			
Severity	●○○ Transient	●●● Prolonged	●○○ Transient
Frequency	●○○ On switch	●○○ On switch	●○○ On switch

Screen mismatch during transitions leads to repeated visual search.

그림 10. 문헌 기반 이슈에 따른 그룹별 평가 결과 비교
Fig. 10. Group comparison by literature based issues

우선, ‘과목 특성 기반 기능 최적화’(3)는 입력 오류와 학습자 혼란, 사용 회피 사례까지 나타나 가장 우선적인 개선이 요구될 것으로 보인다. ‘플랫폼 이용 방식 적합성’(2)은 세 그룹 모두 불규칙적 스크롤 반복으로 인한 탐색 혼란과 학습 지연 상황이 관찰되었다. ‘교사 지시 이행 편의성’(4)은 교사와 학생의 화면 불일치 발생 빈도는 매우 낮았으나(약 2번 이하) 해당 문제와 오류 발생 시 수업 지연 가

능성을 고려해야 한다. 마지막으로, ‘화면 내 정보 및 기능 직관성’(1)은 세 그룹 모두 시선 분산이 있으나 학생의 산만함에 따라 그룹별 발생 빈도에 차이가 있었으므로, 보조적 개선 대상으로 판단된다.

이렇듯, 각 이슈의 영향과 빈도를 종합적으로 고려하여 우선순위를 설정할 수 있으며, 이에 따라 단계적 개선 전략을 수립할 수도 있다. 그러나 이러한 검증과 전략은 향후 연구로 발전될 필요가 있다.

V. 연구 결론

본 연구는 모의수업을 통해 확인한 사용성 문제를 토대로 AIDT 설계를 위한 사용성 가이드라인을 그림 11와 같이 제시한다.

제시된 가이드라인은 각 사용성 이슈에서 도출된 시선 및 관찰 데이터를 기반으로 구성되었으며, 문제 상황과 설계 개선 방향 간의 대응 관계를 중심으로 제시되었다. 예를 들어, 수학 과목에서는 문제 풀이 과정에서 입력 방식에 대한 튜토리얼 제공과 풀이 영역 및 입력 모드 확장을 통해 사용자 혼란을 줄일 수 있다. 다만, 본 연구의 가이드라인은 모의수업 기반 사용성 평가를 통해 도출된 설계 개선 방향을 제시하는 수준으로, 구체적인 인터페이스 설계 기준 및 Wire-frame은 연구 범위와 지면의 한계로 포함하지 못하였다.

또한, 본 연구는 제한된 표본과 집단 수를 기반으로 수행된 탐색적 연구로, 결과의 일반화에는 한계가 있다. 특히, 시간적 제약과 실험 참여자 확보의 어려움으로 비교 및 대조군을 포함한 확장된 실험 설계를 적용하지 못하였다. 따라서 향후 연구에서는 5, 6학년 학습자를 포함한 확대된 표본과 비교 설계를 통해 가이드라인의 적용 전략과 효과를 검증하고, 구체적인 설계안으로 보완할 필요가 있다.

그럼에도 불구하고, 본 연구는 아이트래커 기반 분석을 통해 학습자의 AIDT 사용 흐름을 실증적으로 관찰하였으며, 구조적 사용성 문제를 체계적으로 도출하였다는 점에서 의의가 있다. 이는 AIDT가 학습 상황에 최적화된 인터페이스로 발전하는 데 기초 자료를 제공하며, 디지털 기반 수업 환경의 질적 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

Key issue 1. UI clarity of information/functions

Guideline A	Standardize teacher and student screens with an instruction-centered layout
Reference	

Key issue 2. Fit of platform usage flow

Guideline B	Design horizontal swipe/click transitions to preserve full-screen awareness
Reference	

Key issue 3. Subject specific feature configuration

Guideline C	Provide tutorial pop-ups for input rules to maintain learning flow
Reference	
Guideline D	Provide a dedicated writing mode button with input locking and screen stabilization
Reference	

Key issue 4. Ease of following instructions

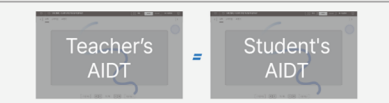
Guideline E	Align teacher and student screen layouts and enable synchronization
Reference	
Guideline F	Provide guidance and recovery support for technical errors and misoperations
Reference	

그림 11. AIDT 사용성 가이드라인

Fig. 11. AIDT usability guidelines

References

- [1] S. H. Baek, "Gaps Exposed in AIDT Deployment Readiness and Validation", Hangyo, <https://www.hangyo.com/news/article.html?no=106133>. [accessed: Mar. 18, 2026].
- [2] G. S. Kim and M. Y. Heo, "Analysis of AI Digital Textbooks for Educational Use -focusing on the case of elementary school curriculum-",

- Journal of Creative Information Culture, Vol. 11, No. 1, pp. 99-108, Feb. 2025. <https://doi.org/10.32823/jcic.11.1.202502.99>.
- [3] J. Y. Min, "A Study of the Scan Path of Book Textbooks and Digital Textbooks : Focusing on Elementary Science", Journal of Cultural Product & Design, Vol. 74, pp. 379-388, Sep. 2023.
- [4] E. Rzyankina, "Teaching and Learning STEM Subjects Using E-textbooks as Mediatonal Tools", Proc. 4th Int. Conf. on TELE, Lipetsk, Russian Federation, Lipetsk, Russian Federation, pp. 7-13, Jun. 2024. <https://doi.org/10.1109/TELE62556.2024.10605703>.
- [5] E. Rzyankina and Z. Simpson, "Digital Literacy Practices of Engineering Students Using E-Textbooks at a University of Technology in South Africa", Proc. IEEE Int. IPCC, Limerick, Ireland, pp. 140-145, Jul. 2022. <https://doi.org/10.1109/ProComm53155.2022.00029>.
- [6] Y. A. Lee, "Enhancing Diagnostic and Personalized Reading Instruction in Elementary School English Through AI-Powered Digital Textbooks", Korean Journal of Elementary Education, Vol. 35, No. 4, pp. 73-91, Dec. 2024. <https://doi.org/10.20972/kjee.35.4.202412.73>.
- [7] Y. J. Son, W. S. Shin, and D. H. Shin, "Analysis of Science Digital Textbook Reading Process of 4th Grade Elementary School Students based on Eye Movement - Focused on the Unit of 'Life of Plant'", The Korean Society of Biology Education, Vol. 48, No. 1, pp. 63-75, Mar. 2020. <https://doi.org/10.15717/bioedu.2020.48.1.63>.
- [8] S. Kim, G. Lee, and H. Kim, "Introduction of AI digital textbooks in mathematics: Elementary school teachers' perceptions, needs, and challenges", Korean Society of Mathematical Education, Vol. 27, No. 3, pp. 199-226, Jul. 2024. <https://doi.org/10.7468/JKSMEC.2024.27.3.199>.
- [9] H. Morita, K. Mouri, M. Okamoto, and Y. Matsubara, "Visualizing learners' level of understanding of lecture using digital text book system", Proc. 12th Int. Congress on IIAI-AAI, Kanazawa, Japan, pp. 268-271, Jul. 2022. <https://doi.org/10.1109/IIAIAAI55812.2022.00061>.
- [10] C. Gong and T. Xie, "Exploring Desirable Features of e-Textbooks for K-12 Classes: A Case Study", Proc. 7th Int. Conf. of EITT, Auckland, New Zealand, pp. 123-127, Dec. 2018. <https://doi.org/10.1109/EITT.2018.00032>.
- [11] K. Roberts, A. Benson, and J. Mills, "E-textbook technology: Are instructors using it and what is the impact on student learning?", Journal of Research in Innovative Teaching & Learning, Vol. 14, No. 3, pp. 329-344, Jul. 2021. <https://doi.org/10.1108/JRIT-04-2021-0028>.
- [12] S. Krug, "Don't Make Me Think: A Common Sense Approach to Web Usability", New Riders, pp. 11-30, Jan. 2000.
- [13] J. Sweller, "Cognitive load during problem solving: Effects on learning", Cognitive Science, Vol. 12, No. 2, pp. 257-285, Apr.-Jun. 1988. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4.
- [14] R. E. Mayer and R. Moreno, "Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning", Educational Psychologist, Vol. 38, No. 1, pp. 43-52, Mar. 2003. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_6.

저자소개

오 주 현 (JuHyeon Oh)



2024년 2월 : 국립한국교통대학교
산업디자인학과(학사)

2026년 2월 : 국립한국교통대학교
교통·에너지융합학과(석사)

관심분야 : 제품디자인, UX/UI,
서비스 디자인

정 소 정 (SoJeong Jeong)



2024년 2월 : 국립한국교통대학교
산업디자인학과(학사)
2026년 2월 : 국립한국교통대학교
교통·에너지융합학과(석사)
관심분야 : 제품디자인, UX/UI,
서비스 디자인

이 연 주 (YeonJoo Lee)



2024년 2월 : 국립한국교통대학교
산업디자인학과(학사)
2026년 2월 : 국립한국교통대학교
교통·에너지융합학과(석사)
관심분야 : 제품디자인, UX/UI,
서비스 디자인

김 재 훈 (Jaehun Kim)



2003년 8월 : 국민대학교
산업디자인(디자인학석사)
2017년 10월 ~ 현재 : (주)비상교육
크리에이티브디자인연구소 소장
관심분야 : UX/UI 서비스 디자인,
사용자 경험디자인

김 영 윤 (Young-Yun Kim)



2004년 2월 : 국민대학교
산업디자인 (디자인학석사)
2013년 6월 : University of Salford
Dept. of Art & Design(Ph.D)
2020년 4월 ~ 현재 :
국립한국교통대학교
산업디자인학과 교수

관심분야 : UX/UI 서비스 디자인, 사용자 경험 디자인