

개별 맞춤형 학습을 위한 인공지능(AI) 기반 수학 디지털교과서의 학습자 데이터 구축 모델

이화영(한국과학창의재단, 선임연구원)

인공지능 기반의 수학 디지털교과서의 가장 핵심적인 기능으로 여겨지는 개별 맞춤형 교수·학습이 실현되기 위해서는 개별 학생의 여러 가지 특성 요인에 대한 명확한 분석과 진단이 가장 관건이다. 본 연구에서는 수학 AI 디지털교과서에서 개별 맞춤형 학습 진단을 위한 분석 요인과 도구, 데이터 수집·분석을 위한 구축 모델을 도출하였다. 이를 위하여 최근 교육부의 AI 디지털교과서 적용 계획에 따른 수학 AI 디지털교과서에 대한 요구, 개별화 맞춤형 학습과 이를 위한 데이터에 대한 선행 연구, 수학 디지털플랫폼에서 학습자 분석에 대한 요인 등이 검토되었다. 연구 결과, 연구자는 학생 개인별로 수집해야 할 데이터로 학습 분석을 위한 요인으로 학습 준비도, 과정 및 수행도, 성취도, 취약점, 성향 분석을 위한 요인으로 학습 지속 시간, 문제해결에 걸린 시간, 집중도, 수학학습 습관, 정서 분석을 위한 요인으로 자신감, 흥미, 불안, 학습의욕, 가치 인식, 태도 분석을 위한 요인으로 자기 관리, 학습 전략으로 정리하였다. 또한, 이러한 요인에 대한 데이터 수집 도구로, 문제에 대한 정오 데이터, 학습 진도율, 학생 활동에 대한 화면 녹화 자료, 이벤트 데이터, 시선 추적 장치, 자기 응답 설문 등을 제안하였다. 최종적으로 이러한 요인들을 학습 전, 중, 후로 시계열화한 데이터 수집 모델이 제안되었다.

I. 서론

1. 연구의 필요성 및 목적

교육부(2023)가 오는 2025년부터 인공지능(AI)를 적용한 AI 디지털교과서 도입 계획을 밝힘에 따라 수학 AI 디지털교과서 검정 실시(한국과학창의재단, 2023)를 공고하고, 'AI 디지털교과서 개발 가이드라인(교육부,

한국교육학술정보원, 2023, 이하 '가이드라인')을 배포하였다. 이에 따르면, 디지털 대전환 시대에 부응해 인공지능 등 첨단기술을 활용해 학생들에게 자신의 역량과 배움의 속도에 맞는 '맞춤 교육'을 제공함으로써 학생 한 명 한 명을 소중한 인재로 키워나가는 이른바 'High Tech, High Touch'를 목표로, 수학, 영어, 정보교과를 2025년부터 우선 도입하며, 국어, 사회, 과학, 기술·가정 등의 교과 도입을 목표로 2028년까지 단계적 확대 적용을 추진한다. 기존의 서책형 교과서에 종속된 콘텐츠가 아니라 클라우드 기반의 웹서비스(SaaS)를 독립된 형태로 제공하도록 하며, 이를 위해 공공과 민간의 협력이 강조되어 있다. 공공은 발행사가 개발한 AI 디지털교과서를 서비스하기 위한 AI 디지털교과서 포털을 구축하여 통합 인증, 책장, 교과 통합 대시보드 등의 서비스를 제공하며, 국가수준 학습 분석, 학습이력 통합 관리 등을 통한 학습데이터 허브를 운영(p.21)한다. 민간은 AI 디지털교과서 포털을 통해 인증된 사용자에게 교과별 AI 디지털교과서를 제공하고, 맞춤형 학습 지원을 위한 AI 기능과 다양한 콘텐츠를 기반으로 맞춤형 서비스 제공하게 된다.

AI 디지털교과서란 학생 개인의 능력과 수준에 맞는 다양한 맞춤형 학습 기회를 지원하고자 인공지능을 포함한 지능정보기술을 활용하여 다양한 학습자료 및 학습지원 기능 등을 탑재한 소프트웨어(교육부, 한국교육학술정보원, 2023)를 말한다. AI에 의한 학습 진단과 분석, 개인별 학습 수준과 속도를 반영한 맞춤형 학습, 학생의 관점에서 설계된 학습 코스웨어가 포함된 것이 그 특징이다. 과거 2007년 '디지털교과서 상용화 추진 방안(교육인적자원부, 2007)'에서 디지털교과서를 '서책형 교과를 디지털화하여, 서책이 가지는 장점과 아울러 검색, 내비게이션 등의 부가 편의 기능, 그리고 애니메이션, 3D 등 멀티미디어, 학습지원 기능을 구비하여 편의성과 학습 효과성을 극대화한 디지털 학습교재'

* 접수일(2023년 9월 27일), 심사(수정)일(2023년 10월 11일), 게재확정일(2023년 10월 23일)
* MSC2000분류 : 97U50
* 주제어 : 개별화 학습, 맞춤형 학습, 인공지능(AI) 디지털교과서, 학습자 데이터

로 접근했던 관점에서 최근에는 여기에 인공지능 및 지능정보기술을 더하여 학습자 개인에게 맞는 학습과정을 제공하고 학습자의 학습 과정 전반을 관리하고 도움을 줄 수 있는 플랫폼으로 그 의미가 확장된 것이다. 컴퓨터 보조 학습 시스템(CAI)이 정해진 규칙에 따라 교수학습을 제공하는 데에 반해, 지능형 학습체제(ITS: Intelligent Tutoring System)는 지속적으로 수정되는 학습자의 인지 상태를 반영하여, 학습자에 대한 인지적 진단을 하고, 그에 따른 처방적 교수를 한다는 특징을 가지고 있다(이영호, 2017). 가이드라인에서 학습 분석 결과에 따라 보충학습(느린 학습자)과 심화학습(빠른 학습자)을 제공할 수 있도록 핵심 사용자인 학생 대상의 서비스로 제시된 내용(pp.23-25)은 다음과 같다.

- AI 등 첨단기술을 활용하여 개별 학습 진단과 분석 제공
- 학생들의 학습 이해도와 특성 분석을 기반으로 개인의 능력, 목표에 맞춘 학습 경로 제시, 학습패턴(관심사, 선호도 등) 및 수준 등을 종합적으로 분석하여 학습자에 적합한 콘텐츠 추천
- 학생의 개념 이해도를 높이고 적시 학습을 지원하기 위한 AI 튜터 기능 제공
- 학습데이터 수집 분석을 통한 맞춤형 서비스 제공

개별 맞춤형화된 교육은 200년이 넘는 오랜 기간동안 교육과학과 실행의 목표였다(Tetzlaff, Schriedek, Brod, 2021). 수학은 인공지능을 통한 맞춤형 학습에 가장 적합한 교과로 여겨진다. 정제영(2021)에 따르면, 선행 학습이 되어 있지 않으면 다음 학습으로 진행이 거의 불가능한 뚜렷한 위계구조를 가지고 있기 때문에 개별 학습 지도와 지식 전달 방식, 학습자 분석을 분명하게 제공할 수 있기 때문이다. 때문에, 제3차 수학 교육 종합계획(교육부, 2020)에서도 ‘지능정보기술 활용 학습 지원’을 추진 전략으로 제시하면서 ‘수학 학습 관리 시스템 구축 및 학생별 학습 지원’을 중점 추진 과제로 제시한 바 있다. AI 등 첨단기술을 활용한 개별 맞춤형 교수·학습을 위해서는 무엇을 개별화할지, 어떤 학생 데이터를 어떤 방법으로 수집하여 머신러닝 모델을 통해 분석하고 진단할지에 대한 논의가 선행되어야 하나, 그간 수학학습을 위한 디지털플랫폼에서 개별화에 대한 논의는 충분하다고 보기 어렵다.

따라서, 본 논문에서는 2022 개정 교육과정에 적합한 수학 AI 디지털교과서 개발을 위하여 개별 맞춤형 학습에 필요한 요건을 살펴보고, 특히 학생 데이터 수집과 분석 측면에서 수학학습을 위한 요건에 대해 고찰하고 학습의 어떤 국면에서 어떤 데이터를 수집하여 분석할지에 대한 학습의 학생 데이터 구축 모델을 제안하고자 한다.

2. 연구 방법

연구 목적을 달성하기 위해 본 연구에서는 문헌을 기반으로 다음과 같이 분석하였다. 첫째, 개별화 학습과 수학학습에서 AI를 활용한 학습자 분석과 관련된 국내외의 선행 연구를 탐색하였다. 선행 연구 분석의 대상을 정하기 위해 국내 연구자들이 문헌 검색을 위해 비교적 많이 활용하고 있는 한국학술지인용색인, 구글 스칼라, 네이버 학술정보*를 검색 데이터베이스로 선정하였다. 또한, ‘개별화교육’, ‘맞춤형 수학 학습’, ‘공학 도구 활용 수학 학습’, ‘인공지능 맞춤형 시스템’ 키워드를 활용하여 문헌을 검색하여 해당 문헌들을 탐색하였다. 둘째, 인공지능 기반의 수학 디지털교과서 개발을 위한 요구 사항을 분석하였다. 이를 위해 교육부와 한국교육학술정보원(2023)이 배포한 ‘AI 디지털교과서 개발 가이드라인’을 중심으로 AI 디지털교과서에서 개별 맞춤형 학습 지원을 위해 제시한 학습자 진단과 분석과 관련된 내용 요건에 대해 살펴보았다. 또한, 한국과학창의재단(2021)에서 수행한 인공지능 활용 수학학습지원 종합시스템 ISP구축 보고서를 중심으로 학생, 교사, 학부모 및 전문가의 요구를 분석하였다. 셋째, AI 기반의 수학학습플랫폼에서 학습자 진단을 위한 분석 내용과 방법을 기 개발되어 운영되고 있는 국내외 수학학습 플랫폼을 기반으로 살펴보았다. 특히, 공공 플랫폼인 ‘똑똑! 수학탐험대’, ‘AskMath’에서 제공하는 학습 진단 도구, 정의적 성취 진단도구를 심층적으로 살펴보았다. 위와 같이 다각도로 분석한 내용을 토대로 개별 학습자 진단을 위한 범주별 진단 요소와 도구를 종합적으로 도출하고, 이를 기반으로 시계열에 따른 데이터 구축 모델을 최종 제안하였다.

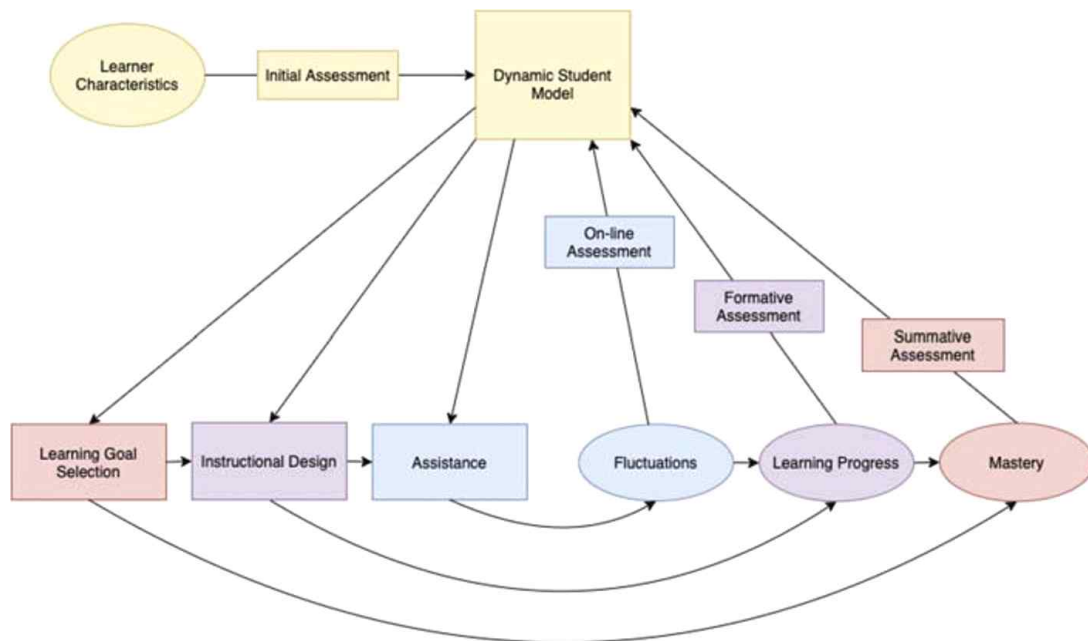
* 한국학술지인용색인(<https://www.kci.go.kr>), 구글 스칼라(<https://scholar.google.co.kr>), 네이버 학술정보(<https://academic.naver.com>)

II. 선행 연구

1. 개별화 교수·학습의 개념과 맞춤형 진단

개별화교수(individualized instruction)란 수업의 초점을 개별 학습자에게 두고 가능한 모든 학생이 의도한 교육목표에 도달하도록 하기 위해 각 개인의 능력, 적성, 동기 등을 고려해서 적절하고 타당한 수업 방법, 절차, 자료의 선택 및 평가 등의 측면에서 교수자나 프로그램 지원을 받는 처방적 개별화 학습 방법(박성익, 2008)이라고 할 수 있다. 개별 학생의 특성은 메타인지적 기능을 포함한 선행 지식, 현재의 정서 및 동기 등(Tetzlaff, Schmiedek, Brod, 2021)이다. 지금까지 우리나라에서 개별화 교수-학습 연구의 대상은 주로 특수교육 대상자(남윤석, 한성희; 2007; 정평강, 2018) 또는 영재교육 대상자, 학습 부진아(류성림, 1999; 송다겸, 이봉주, 2017 등)가 일반적이었으나 최근에는 지능 정보환경에서의 개별화학습의 효과에 대한 보고(박만구, 임현정, 김지영, 이규하, 김미경 2020; 이봉규, 정경욱, 이원경, 2022; 범은애, 전인숙, 한지연, 2023 등)가 다수 이루어지고 있다.

개별 맞춤형 학습에 대한 모델과 개별 학습자의 학습 스타일에 대한 비판적 연구를 주목해 볼 필요가 있다. Tetzlaff, Schmiedek, Brod(2021)는 개별 맞춤형 교육을 특정 학습자의 관련 특성에 대한 수업 실천의 모든 측면의 데이터 기반 조정으로 정의하고, 학습자의 미시적 또는 거시적 학습 과정에 따라 달라지는 동적 모델을 구안하였다([그림 1]). 그들은 “디지털 학습 환경은 수업을 개인화하는 새로운 방법을 제공하지만, 무언가가 개인화되었다고 해서 그것이 학습을 자동적으로 촉진하는 것은 아니다. 학습 과정(학습 스타일 등)과 강하게 연결되지 않는 학습자 특성에 적용하거나 정적 모델링을 적용의 근거로 사용하는 것이 비효율적인 개인화 교육의 원인으로 볼 수 있다”고 통찰하고, 동적 모델로서 학습자 특성에 대한 초기 평가 - 교수 설계 - 과정 평가의 순환적 과정을 제시하였다. 학습자 특성에 대한 초기 평가에서는 초기 학습자의 특성을 평가하여 학생 모델을 세운 후, 교수 설계 단계에서는 가장 중요한 학습 목표를 향한 다음 단계를 형성하거나 촉진하는 수업 단위를 설계한다. 마지막으로 과정 평가 단계에서는 과제 수행 및 임베디드 평가의 정보를 사용하여 평가 대상 자료의 진행 상황을 기



[그림 1] 개별화 학습의 동적 프레임워크 (Tetzlaff, Schmiedek, Brod, 2021)

반으로 학생 모델을 업데이트한다. 이러한 과정을 순환함으로써, 초기 학습자의 특성 뿐만 아니라, 학습 과정을 거치는 동안 변화하는 학습자의 특성을 반영할 수 있다. 반면, Kirschner(2017)는 ‘학습 스타일’에 대한 그간의 광범위한 연구 결과 리뷰를 통하여, 학습자가 특정한 학습 스타일이 있다는 통념을 비판하였다. 그에 따르면, 학습 스타일에 관련된 연구들이 사람들을 제대로 분류하지 못하며, 제시된 학습 스타일 검사의 타당성, 신뢰성이 낮아 예측을 신뢰하기 어렵다고 지적하였다. 그는 ‘직관주의자 vs 분석주의자’, ‘구어주의자 vs 시각주의자’, ‘깊은 학습자 vs 피상적 학습자’, ‘장의존적 vs 장독립적’ 등과 같은 학습 스타일(Coffield et al., 2004; Kirschner, 2017에서 재인용)은 자신의 선호와 관련이 깊으며, 실제 그러한가와는 상관성이 낮음을 발견하였다고 보고하였다. 또한, 학습자 스스로 보고한 선호 학습 방식은 객관적으로 “가장 좋은” 학습방식인가에 대해서도 확증편향일 가능성이 높다는 의문을 제기하였다. 그는 오히려 학습자 간의 차이를 고려하는 수업을 설계할 때 선호하는 학습 스타일보다는 인지 능력을 평가해야 한다고 주장하였다. 이를 통해 보았을 때, 학습자 진단은 학습 초기 뿐만 아니라 학습의 전 과정에서 순환적으로 이루어져야 하며, 학습 스타일에 대해서는 보다 객관적으로 진단하고 신뢰할 수 있는 방법이 필요하다.

개별 학습자 진단을 위한 연구도 이루어지고 있다. 컴퓨터 기반 PISA 2015, 2018 평가에서는 문항별 학생들의 응답 내용, 점수, 응답 시간, 동작 횟수, 첫 동작까지의 시간을 측정하여 제공한다(김화경, 송민호, 최인용, 정인우, 2020). 여기서 동작이란 클릭, 더블 클릭, 키 누름, 드래그, 드롭 이벤트를 의미한다. 이러한 지표는 응답 시간, 동작 횟수, 첫 동작까지의 시간을 집단별로 분석할 수 있고, 집단과 개인을 비교하는데 활용할 수도 있다. 박선희, 윤혜림, 조보람, 최문영(2021)은 대학생을 대상으로 인지 역량 정의 역량, 행동 역량을 측정하는 문항을 개발하였다. 인지 역량으로는 인지전략과 메타인지, 문제해결력을 포함하였고, 정의 역량으로는 시험불안 및 학업스트레스, 학업효능감, 자기결정성을 포함하였다. 행동 역량으로는 목표 및 시간관리, 자원활용 및 정보수집, 수업참여기술, 학습환경관리 하위요인을 포함하였다. 우리나라에서 초중고 학습자의 학습 스타일에 대해 연구한 결과는 흔하지 않

다. 임현서, 윤주형, 최성경(2022)은 대학생을 대상으로 학습 스타일을 학습 태도 차원의 계획형과 직관형, 학습 동기 차원의 외적 동기형과 내적 동기형, 학습 내용 차원의 교양지향형과 전공지향형, 학습방법 차원의 소그룹 지향형과 개별학습 지향형으로 구분하고, 이를 진단하는 18개의 문항을 개발하였다. 김수철(2022)은 온라인 학습 플랫폼에서 활용 가능한 과정 중심의 진단평가 예시를 개발하였다. 이 연구에서는 문제와 그 문제를 해결하는 과정에서의 하위 문항들을 제시하여 학생이 어느 부분에서 어려움이 있는지 진단하고, 어려움이 드러난 부분에 대한 보정자료와 해당 내용에 대한 재평가 기능 및 해설자료를 하나의 셋트로 제시한다.

이외에도, 수집된 학습자 데이터를 분석하는 기법에 대한 연구도 있다. 최숙기(2022)는 국어과에서 최근 교육평가 분야에서 주목받고 있는 인지진단 이론과 그 측정학적 모델인 인지진단모형을 활용한 평가 방안인 인지진단평가(Cognitive Diagnostic Assessment) 모델을 소개하였다. 인지진단모형은 피험자가 검사 문항을 맞히는데 요구되는 지식이나 기능 등을 인지 요소로 설정하여 문항 응답 결과를 통해 숙달 확률(mastery probability)을 측정하고 해당 인지 요소의 숙달 유무나 수준을 추정하는 확률적 모형을 의미한다. 인지진단모형을 활용한 평가는 문항에 대한 점수 정보만을 제공하는 기존 검사와 달리 피험자 개별 인지 상태에 해당하는 맞춤형 인지 프로파일을 제공한다(최숙기, 2022). Wu, Chen, Sung 외(2012)는 베이지안 네트워크 방식으로 인지적 진단 평가 시스템으로 학생들의 어려움을 파악하고 즉각적인 보정자료를 제공하는 시스템의 개발을 시도하였다. 김성훈, 김우진, 장연주, 김현철(2021)은 학습자 데이터를 분석하는 인공지능 모델을 제안하였다. 인공지능 모델인 DKT와 XGBoost를 이용해 학습자의 지식 상태를 모델링하고 그 결과를 인공지능 기법인 LRP와 SHAP으로 분석하여 교수자에게 제공할 수 있는 AI 학습 지원 시스템을 개발하였다. 학습자의 학습 과정과 결과에 대한 정보를 수집하고 이를 시각적으로 요약하여 제시하는 디스플레이인 대시보드에 대한 연구와 개발도 활발히 이루어지고 있다(Schwendimann et al., 2017; 이현경, 조영환, 금선영 2022에서 재인용). 대시보드에는 일반적으로 학습자의 고유한 특성, 학습 참여, 학습 성과, 다른 학습자와의

상호작용, 콘텐츠와의 상호작용, 학습 환경 혹은 맥락과 관련된 정보가 제시된다(진성희, 유미나, 2015; Schwendimann et al., 2017; 이현경 외, 2022)에서 재인용).

2. 에듀테크 및 인공지능을 활용한 수학교육

가. 수학 학습에서의 에듀테크 활용에 대한 연구

최근 수학교육 분야에서 에듀테크 또는 인공지능 기술을 활용한 학습에 대한 연구를 통하여 지능정보기술이 학생들의 수학 학습을 개선할 수 있는 가능성이 보고되고 있다. 박만구, 임현정, 김지영 외(2020), 이봉규, 정경옥, 이원경(2022), 범은애, 전인숙, 한지연(2023) 등은 머신러닝 추천모델이 적용된 개별화 교수 플랫폼을 사용한 학생들의 수학에 대한 태도, 학업 성취도, 자기주도적 학습능력, 맞춤형 학습, 학습 시간을 분석하여 유의한 효과가 있었음을 보고하였다. Ma et al.(2014) 및 Karsenti(2019)는 개별 학습을 지원하는 강력한 도구가 될 수 있고, 온라인에서 모둠활동의 상호작용을 촉진(Zawacki-Richter et al., 2019)하여 협력 학습의 도구로 사용될 수 있다(이상 최인선, 2022에서 재인용)고 보았다. 이러한 에듀테크 활용의 이점은 그간 지적되어 왔던 수학교육의 문제점들을 해소하거나 개선할 수 있을 것으로 기대하게 한다.

그간 수학교육에서 디지털 인터페이스를 어떻게 구성해야 할지에 대한 연구들이 있었다. 허남구, 류희찬(2015)은 Cabri LM을 사용하여 이차곡선 단원의 디지털 교재를 개발하여 고등학교에 적용하였다. 박만구, 이윤경, 정보화, 정유진, 김지영(2023)은 메타버스 수업 공간을 설계하여 초등학교 수학 수업에 적용하였고, 이상구, 이재화, 박경은(2017)은 디지털 콘텐츠와 대화형 실습실을 활용하는 선형대수학용 디지털 교과서를 개발하여 활용한 사례를 연구하였다. 송민호(2016)는 HTML, Javascript 기반의 모바일 쌍기나무 사례를 개발하여 제시하였다. 그는 수학교육에 사용되는 공학적 도구가 갖추어야 하는 조건에 대하여 제시하였다. 이들 연구에서는 학생이 기하학적 도형을 직접 조작하고 관찰함으로써 성질을 유추하고 정당화하는 과정이 포함되어야 하며, 수학적 상황을 표, 그래프, 식, 언어 등 다양하게 표현할 수 있으며 표현된 수학적 언어를 바탕으로 학생간의 의사소통이 원활하게 이루어지는 것

이 중요하다고 제안하고 있으며, 내용 요소 측면에서는 수학적 문제 상황을 알고리즘화하여 해결할 수 있는 CT 능력 개발이 가능하여야 한다고 제안하고 있다. 이기마, 이유정, 김희정(2023)은 국내 AI 수학 학습 플랫폼을 분석하여 맞춤형 학습을 위해 학습 분석, 학습 추천, 학습 지원, 교수 설계, 학습 관리, 학습 동기 부여, 네트워크, 비정형 데이터 인식 등의 주요 기능으로 분류하고, 이러한 분류에 따라 국내 AI 수학 학습 플랫폼을 분석하였다. 분석 결과, 국내 AI 수학 학습 플랫폼에서는 설계와 과제 루프보다는 단계 루프 측면이 많이 반영되어 있고, 정서와 동기, 메타인지에 비해 지식 적용성에 크게 집중하고 있었다고 보고하였다.

AI 디지털교과서에서 개별 맞춤형 학습 지원을 위해서는 개별 학습자에 대한 유효하면서도 순환적인 진단이 필수적이다. 선행연구를 통해 볼 때, 초기 학습자의 특성 뿐만 아니라 학습 과정과 결과까지도 순환적으로 진단과 피드백이 필요하다. 수학 학습을 위한 개별 맞춤형 학습을 위해서는 학생이 기하학적 도형을 직접 조작하고 수학적 상황을 표, 그래프, 식, 언어로 다양하게 표현하여 의사소통하는 기능과, 지식 뿐만 아니라 동기와 정서, 메타인지를 진단하고 지원하는 체제를 구성해야 할 필요가 있음을 알 수 있다.

나. 수학 AI 디지털교과서에 대한 사용자 요구

데이터가 주어지더라도 교사가 이를 무시하거나 수업 설계를 위해 유의미하게 활용하지 못한다면 맞춤형 수업이 효과적으로 이루어지기 어렵다(이현경, 조영환, 금선영, 2022). 따라서 AI 디지털교과서에서 학습자 맞춤형 수업 설계를 효과적으로 지원하기 위해서는 우선 수업 설계의 주체인 교사의 관점을 이해하는 것이 중요하다. 초등학교 교사들은 학습자 데이터가 학생 진단과 수업 개선에 유용할 것이라고 인식하면서도 초등학교 맥락에서 학습자 데이터를 활용하거나 맞춤형 수업 실시에 대해서는 유용하지 않다는 부정적 태도를 보이기도 한다(이현경 외, 2022). 주정훈(2023)의 연구에서 AI 활용 교육을 위해 협력했던 학교의 교사들의 정서를 다음과 같이 기록하고 있다.

교사를 도와서 가르치는 일의 편의를 도울 것이라는 기대와 달리 기술은 불완전했고, 학습자의 특성에 맞는 개별화 교육의 실체는 모호했다. 여럿이 함께 어우러져 가르치고 배우는 교실에서 ‘초개인화’를 추구하는 AI

코스웨어는 교사들의 신념과 모순되었고, 문제풀이 중심의 에듀테크에 교실의 시계는 과거로 거슬러가는 느낌이였다. 교사를 돕는다는 의미의 'AI 보조교사'를 내세웠지만 견고한 완성품의 형태로 주어진 도구는 '교사의 자리'를 인정하지 않는 것만 같았다.

한국과학창의재단(2021)은 AI수학학습지원시스템 구축을 위한 ISP를 도출하기 위해 사용자(교사 40명, 학생 139명, 학부모 47명)의 요구사항을 조사하고 분석하였다. 그 결과, 학생들은 수학 공부를 하면서 어려운 점으로 '모르는 것을 물어볼 방법이 없다(14.9%)', 학교에서 온라인으로 수업할 때 불편한 점으로 '학습 자료가 부족하다(23.8%), 내 수준에 맞는 수학 공부를 제공하지 않는다(21.9%), 반복해서 문제만 준다(21%)'고 응답하였다. 교사들은 수학 지도 시 힘든 점으로 '학생별 학업수준 격차(88.6%), 1:1 개인 지도시간 부족(45.8%), 학생의 수학에 대한 부정적 인식(34%)'을 들었고, 이러한 어려움을 극복하기 위해 필요한 사항으로 '흥미유발 학습콘텐츠 제공(51.4%), 맞춤형 학습 및 평가 지원(45.8%), 학생들이 이해하기 쉬운 교육지도 방법(37.1%)'을 복수 응답하였다. 온라인 서비스 이용 시 불편한 점으로는 '맞춤형 지도 부족(39%), 필요한 학습자료 부족(34.1%), 필요한 기능 부재(31.7%)'로 응답하였다. 학부모들은 맞춤형 수업을 위해 가장 중요한 점으로 '개인별 문제풀이(47.3%), 개인별 첨삭지도(45.5%), 개인별 오답노트 제공(36.4%)'를 응답하였다. 또한, 현직 교사(초등학교 교사 1인, 중등교사 1인)와 수학교육 전문가(3인)를 대상으로 요구사항을 조사하기 위해 심층 인터뷰를 실시하고 이를 분석하였다. 그 결과, 인지적-정의적 학습 측면을 균형있게 고려한 학습 서비스를 요구하고 있으며, 세부 요구사항은 다음과 같다.

- (인지적 측면의 요구사항) 학습자의 용어 이해도, 풀이 과정 분석, 표현 능력, 수학 성취 수준, 개별 맞춤형 문제 추천, 오류에 대한 피드백 제공, 첨단 기능(AR/VR 등)을 활용한 조작 활동 제공, 기초 계산 역량 신장을 위한 반복 학습 제공이 필요함
- (정의적 측면의 요구사항) 수학 문제에 대한 태도 및 관심, 수학 문제 풀이에 대한 집착력, 집중도, 추가적인 질문을 하는 적극성, 만족감을 느낄 수 있도록 제공이 필요함

이를 위한 수학교육을 위한 인공지능 시스템의 구성요소 및 기능에 대한 요구사항은 다음과 같다.

- 자기주도적 학습(학습량, 수준, 난이도) 설계 및 AI 기반 질의/응답 서비스(챗봇 등)
- 학습 패턴 분석 및 학습 방향 제시 기능
- 수준별 맞춤형 학습 지원 기능
- 탐구 및 과정 중심 교수방법을 지향한 프로젝트형 탐구/협력형 콘텐츠
- 다양한 문제와 콘텐츠를 교사별 선택하여 제공할 수 있는 기능
- 양방향 스마트 기기 및 SW 활용, 오디오/비디오 결합 서비스, 실감형 콘텐츠
- AI 활용 오답 지도 및 동일 유형 문제 제공, 질의·응답 및 상담/코칭 기능, 교사용 대시보드 기능
- 보상(점수, 등급)이 연계된 학습 촉진 기능

이를 통하여 보았을 때, AI 수학학습지원 시스템에 대하여 학생, 교사, 학부모는 개념 이해 및 문제해결 능력과 같은 인지적 능력과 수학학습 흥미와 자신감 및 학습 습관 등과 같은 정의적 능력에 대한 수준 진단, 수학 흥미도가 낮은 학생을 위한 정의적 학습 서비스가 필요하며, 학생별 학업수준 격차를 줄일 수 있는 맞춤 서비스(첨삭지도, 학습경로 설계, 문제풀이, 오답노트 등), 다양한 학습자료 제공을 원하고 있다고 결론지을 수 있다.

III. 학습자 데이터 수집·분석 사례

이 장에서는 AI 기반의 수학학습플랫폼에서 학습자 진단을 위한 데이터 수집 및 분석 내용과 방법을 살펴본다. 이를 위하여 '똑똑! 수학탐험대'의 사전 진단 검사, 'Askmath'의 학습 진단(성취), 탐구형 수학학습 소프트웨어의 학생 수행(학습 과정) 분석, 'Askmath'의 수학클리닉 사전검사 메뉴에서 진단하는 항목들을 심층적으로 살펴본다.

1. 학습 검사

가. 사전 진단 검사(똑똑! 수학탐험대)


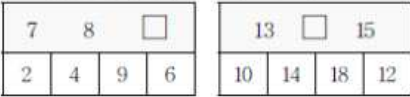
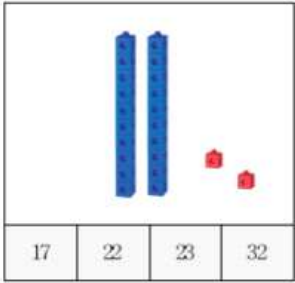
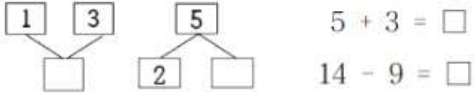
2019년부터 교육부, 한국과학창의재단, 한국교육학술정보원이 개발하여 2020년부터 보급하고 있는 '똑똑! 수학탐험대(toctocmath.kr)'는 학습자의 수학적 특성 데

이터와 단위별 평가 결과 빅데이터 군집화를 통해 AI가 이전 또는 이후 단원의 성취를 예측하는 모델을 구현하였다(이현숙 외, 2019; 홍옥수 외, 2021). 이 시스템에서는 학생의 수학 능력진단을 위해 수학 위험군 학생을 조기에 찾아 지원하기 위해 초등학교 수학 교과 학습 이전에 학생이 지닌 초기수학 능력과 교육과정에서 요구하는 성취기준 도달 여부를 파악하기 위한 단위학습 성취를 측정하였다. 초기수학 능력 측정을 위해서는 ‘초기수학기능(수 세기, 수의 크기, 수의 순서)’, ‘연산유창성’, ‘인지처리’ 측정을 위한 도구를 개발하여 측정하였고, 단위학습 성취 측정을 위해서는 2015 개정 교육과정에 따른 초등학교 1, 2학년 국정교과서의 단위평가 문제와 교사용지도서에 포함된 ‘다시 알

아보기’, ‘더 알아보기’ 문항을 활용하였다. 초기수학 능력은 학기별로 시스템을 처음 사용할 때 학년과 학기에 따라 구분하여 응하도록 구성하고, 단위평가 문제는 단위학습을 마칠 때 응하도록 한다. 수학 능력 진단을 위한 사전 검사 항목 및 문항 예시는 [표 1]과 같다.

이러한 검사 도구를 통한 분석 결과는 초기수학 검사와 단위 성취 검사 간 기술통계 간의 상관분석, 회귀분석 결과를 인공지능 알고리즘에 반영되었다. 수학적 특성을 군집화하고 특성별 데이터셋을 구분하여 시퀀스 두 시퀀스 방식의 인공지능 모델을 개발(이현숙 외, 2019, p.175)하였다.

[표 1] 학습자 초기수학 능력과 단위학습 성취 측정 항목 (이현숙 외, 2019, pp.125-152)

구분		문항 예시		문항수	시간
초기 수학 능력	초기 수학 기능	수 세기	- 예시) 1학년 (큰 수에 ○표시) 	50문항	2분
		수의 순서	- 예시) 1학년 (해당 수에 ○표시) 	40문항	2분
		수의 크기	- 예시) 1학년 (해당 수에 ○표시) 	60문항	2분
	연산 유창성	가르기		25문항	1분
		모으기		25문항	1분
		덧셈		25문항	1분
		뺄셈		25문항	1분
인지처 리	작업기억	연속된 숫자 2개~7개 따라하기	7문항	-	
	처리속도	같은 숫자 찾기(1의 자리, 10의 자리, 100의 자리 수 각 20행으로 60행 제시)	60문항	3분	
단위 성취	단위별 ‘얼마나 알고 있나요’, ‘다시 알아보기’, ‘더 알아보기’ 문제				

나. 학습 성취 검사(Askmath의 ‘수학학습 진단’)

한국과학창의재단에서 운영하는 에스스크매스(askmath.kofac.re.kr/수학진단/수학학습진단)에서는 초등학교 3~6학년의 수학 전 영역에 대한 학습 경로와 평가 문항을 총 895문항을 개발하여 탑재하고 있다. 학습 경로와 평가 문항 제작을 위해 수학 내용 영역별 및 주제별 학습 요소에 따른 세부 학습 경로를 선행하여 수립하였다. 학생들에게 제공되는 문항의 양이 한정적이므로 진단의 효율성을 높이고자 평가 문항은 학습 요소와 오개념이나 어려움을 답 유형(‘답가지’)에 포함하도록 제작되었다. 개발된 문항은 문항 관련 세부 정보를 포함한 문항 카드에 삽입하여 컴퓨터 기반 시스템에 연동되었다. 관련 연구(김희정 외, 2022)에 따르면, 문항에서 진단하고자 하는 개념 이해도나 오개념을 위해 학생이 실수로 문항을 틀렸는지, 혹은 실제로 오개념이나 어려움을 가졌는지를 판별하기 위해, 각 학습 경로당 2~3개의 문항을 원칙으로 하여 개발하였다. 이러한 설계는 각 문항마다 반영되어 문항카드에 제작되었다(그림 2). 문항 카드에는 문항에 대한 기본적인 정보(내용 영역, 학습 경로 및 학습 내용, 성취기준, 현재 문항에서의 예상되는 오개념 또는 어려움)과 문항 세부 정보(문제, 선택지 내용 및 선택지별로 내포된 오개념)를 담고 있다. 이러한 문항들은 에스스크매스 시스템으로 구현되어, 학생이 단원별 문제를 풀고 답을 제출하면 자동으로 채점되고 틀린 문제에 대한 오개념 진단 문구가 자동으로 리포팅되어 학생이 자기주도적 학습을 하거나 교사가 학생을 지도할 때 유용한 정보로 활용할 수 있다.

다. 탐구형 수학학습 SW에서의 학습 분석

최근 탐구형 수학학습 SW에서 과정 중심의 평가에 대한 연구에서는 공학 도구를 과정 중심평가에 활용할 때 교사들은 학생들이 무엇을 아는가보다는 무엇을 할 수 있는가를 평가하고자(Venturini & Sinclair, 2017) 한다. Cengel과 Karadag(2010)은 Geogebra를 활용한 합동인 삼각형을 그리는 과정 중심 평가를 실시하였다. 이 연구에서는 동적 기하 SW를 조작하는 학생의 탐구 과정을 평가하기 위해 학생이 조작하는 동적 화면을 녹화한 자료를 활용하여 학생의 활동 국면에 대한 각각의 소요시간을 측정하였다. 이에 따르면, 학생이 문제에 대해 접근하기 위해 얼마나 고민하는지, 그리고

문항 카드				
문항 유형	내용 영역	학습 경로 및 학습 내용	성취 기준 코드	
객관식	수와 연산	NBO&L2	[4수아-07]	
		포함제로서의 나눗셈의 의미를 이해하고 표현한다.	나눗셈이 이루어지는 실생활 상황을 통하여 나눗셈의 의미를 알고, 곱셈과 나눗셈의 관계를 이해한다.	
현재 문항에서의 오개념/어려움 진단		포함제 나눗셈에서 동수누임을 할 때 떨어지는 하나의 묶음과 완전히 떨어졌을 때 묶음의 수를 구분하는 데에 어려움이 있다.		
문항내용				
문항 풀기	다음의 내용을 나눗셈식으로 비표기 나타낸 것은 무엇일까요? 사과가 2개 있습니다. 태반이가 한 상자에 사과를 4개씩 담았더니, 모두 7개의 상자에 사과를 담을 수 있었습니다.			
답가 지	유형	단일정답	복수 정답-부분 점수 없음	
	답	0	오개념 진단(학습 경로 코드)	
	답가지 번호	답가지 내용	정답 여부	
	①	28÷4=0	0	포함제 나눗셈에서 제수(묶음)의 개념은 알고 있으나 묶음의 개수인 몫의 의미를 알지 못한다.
	②	28÷7=0	0	포함제 나눗셈에서 제수(묶음)의 개념이 의미하는 바를 알지 못한다.
	③	28÷7=4	0	포함제 나눗셈 상황에서 떨어지는 한 묶음의 수(제수와 완전히 떨어졌을 때 묶음의 수)를 구분하지 못한다.
④	28÷4=7	0		
⑤	7÷4=0	0	나눗셈 상황에서 제수와 피제수를 올바르게 식별하지 못한다.	

[그림 2] 문항 카드 예시(자연수의 연산) (김희정 외, 2020, p.18)

실제로 조작하여 문제를 해결한 시간이 얼마인지를 알 수 있다. 양성현(2023)은 GeoGebra에서 ‘구성단계 네비게이션 바’와 ‘구성단계’ 기능을 활용한 과정 중심 평가 방안을 제안하였다. ‘구성단계 네비게이션 바’는 작도한 과정을 재실행하거나 이전 과정으로 돌려 볼 수 있는 기능이고, ‘구성단계’ 기능은 작도한 과정에서 어떤 도구상자(명령어)를 사용하였는지를 볼 수 있는 기능이다. 이러한 기능을 활용하여 학생들이 제출한 산출물의 작도 과정을 수업 중 또는 후에 확인할 수 있다. 그러나 이러한 연구에서 제안된 평가는 아직까지는 데이터 수집을 통해 자동으로 평가되는 시스템으로 구축되어 있지 않으며, 교사의 눈으로 직접 확인해야 하는 한계가 있다.

2. 정의적 영역 진단

수학 학습에 대한 학생의 정의적 영역 측정은 주로 PISA, TIMSS 등 국제 비교 평가나 국가수준 학업성취도 평가 등에서 학생의 자기 응답 방식을 통해 대규모 추이 파악을 목적으로 이루어지고 있다.

교육부와 한국과학창의재단이 운영하는 에스스크매스 사이트(http://askmath.kofac.re.kr)에서는 학교 현장에

[표 2] 정의적 영역 진단 검사 문항 (한국과학창의재단, 2020)

분류	번호	문항	척도				
			①	②	③	④	⑤
수학 학습 심리	흥미	1. 나는 수학을 좋아한다.					
		2. 나는 수학이 재미있다.					
	자신감	3. 나는 수학을 잘한다고 생각한다.					
		4. 나는 앞으로 수학을 잘할 수 있다고 생각한다.					
	불안	5. 나는 수학 공부를 하려면 몸(머리, 배 등)이 아프다.					
		6. 나는 수학 성적이 떨어질까 걱정된다.					
	가치인식	7. 나는 생각하는 힘을 키우는데 수학이 도움이 된다고 생각한다.					
		8. 나는 일상생활을 하는데 수학이 도움이 된다고 생각한다.					
	학습의욕	9. 나는 수학 공부가 어려워도 포기하지 않는다.					
		10. 나는 주변의 도움(학원, 과외 등) 없이도 스스로 수학 공부를 할 수 있다.					

서 교사가 개별 학생과의 수학 상담을 위한 기초 자료 제공을 목적으로 수학 학습 정의적 영역 진단 도구를 제공하고 있다. 여기서는 학생 개인의 수학 학습에 대한 정의적 영역인 수학 학습 흥미, 효능감, 수학학습 태도, 수학 가치 인식, 학습 동기, 학습 의지 등을 진단하는 도구를 웹으로 제공한다. 초등학교 4학년부터 고등학교 3학년까지 학생을 대상으로 초등, 중등 검사를 각각 제공하고 있으며, 검사 시간은 대략 20~30분 이내이다. 초기에는 수학학습 심리(자신감, 불안, 태도),

수학학습 방법(자기관리, 전략), 수학학습 개인 성향(습관, 학습관리 방법, 학습 동기, 직관적 접근성)을 검사하기 위한 49개의 문항(고호경, 양길석, 이환철, 2015)으로 제작되었으나, 많은 수의 문항에 대해 사용자 편의성을 고려하여 2020년에 검사 문항 수를 28문항으로 개선하여 서비스하고 있다. 한국과학창의재단(2020)에 따른 검사 문항 일부는 [표 3]과 같다. 학생이 사이트의 '수학 클리닉 사전검사' 메뉴에 접속하여 학생 스스로 자기응답을 통해 검사를 실시하면, 실시간으로 학

[표 3] 국내외 인공지능 시스템에서 수집하고 활용하는 학생 데이터

플랫폼	AI 분석 데이터
클래스팅AI (ai.classting.com)	<ul style="list-style-type: none"> • 학생의 문제 풀이 결과 • 학습이력, 시간, 정답률 등에 대한 학습결과 보고서 제시
마타수학(matamath.net)	<ul style="list-style-type: none"> • 진단평가를 통한 진단 알고리즘으로 취약 문제 진단
대교 씨밋수학 (summit.daekyo.com)	<ul style="list-style-type: none"> • 개별 학생의 학습 성취도, 틀린 문제로 취약 부분 분석
교원 AI수학(kyowonedu.com)	<ul style="list-style-type: none"> • 틀린 문항에 대한 단계적 분석으로 틀린 원인 파악 • 개인별 망각주기, 학습 습관 분석 • 시선추적(Eye-tracking) 기술로 학습 태도 분석
일본Qubena (qubena.com)	<ul style="list-style-type: none"> • AI가 학생이 틀린 부분에 따라 문제를 변형
미국 Carnegie learning MATHia (carnegielearning.com)	<ul style="list-style-type: none"> • 진행 상황, 학습자의 현재 위치와 예측 방향, 완료율, 소요시간, 문제당 오류 등

생 응답에 대한 요인별 분석이 실행되어 분석 결과와 이에 따른 지도 방안이 자동으로 제공된다. 각 문항은 5점 척도로 응답하도록 되어 있고 동일 요인 내 문항의 합산점수의 평균을 100점 환산하여 문항별 상, 중, 하로 분류된 수준에 의해 분석결과가 제시된다. 사진에 설정된 상, 중, 하 수준에 대한 절단값(기준 점수)이 다르기 때문에 요인별 검사 결과 점수가 동일하다고 하더라도 수준은 다르게 진단될 수 있다. 예를 들어, '흥미'는 환산점수를 87.5점 이상을 '상', 50~87.5 미만을 '중', 50점 미만을 '하'로 보고 있으나, '수학 불안'은 74점 이상을 '상(수학학습에 대한 높은 불안감)', 37.5점 이상~75점 미만을 '중(보통 정도의 수학학습에 대한 불안감)', 37.5점 미만을 '하(낮은 수학학습에 대한 불안감)'으로 본다.

이밖에도, 이현숙 외(2019)에서 조사한 국내외 인공 지능을 활용한 교수학습 지원시스템에서 수집하고 활용하는 학생 데이터 관련한 주요 내용은 [표 4]와 같다.

IV. 학생 데이터 구축·분석 모델

지금까지 광범위하게 살펴본 개별 학습자 진단을 위한 학습준비도 및 성취도, 학습 성향, 학습에 대한 정서 및 태도 분석 방법들을 종합하여 범주화하면 학습, 성향, 정서, 태도로 정리할 수 있다([표 4]). 학습 성향을 진단하기 위한 요인으로는 학습 준비도, 학습 과정 및 수행도, 학습 성취도, 오개념 및 오류를 포함한 취약점 등이다. 학습 준비도는 학습 전에 이루어져야 할 것이며, 다른 요인들은 학습 중 또는 학습 후에 순환적으로 이루어질 수 있다. 학습자의 성향을 진단하기 위한 요인으로는 학습 지속 시간, 문제 해결에 걸린 시간, 집중도, 수학학습 습관(학습 습관, 관리 방법, 동기) 등이다. 이 중 수학학습 습관은 학습 전에 자기응답을 통해 측정할 수 있으며, 다른 요인들은 학습 중 시스템 기능을 통해 자동으로 측정을 통해 진단될 수 있다. 학습 정서를 진단하기 위한 요인으로는 수학 학습에 대한 자신감, 흥미, 불안, 의욕, 가치 인식 등이다. 이들은 주로 학습 전에 측정하여 수학 학습

[표 4] 학생 데이터 분석·진단을 위한 요인별 데이터 수집 도구

분류	개인 분석 요인	데이터 수집 방법			
		시기			측정 도구 예
		전	중	후	
학습 분석	학습 준비도	◎			문제 정오
	학습 과정 및 수행도		◎		학습 진도율, 활동 화면 녹화 자료
	학습 성취도		○	◎	문제 정오
	취약점(오개념 또는 오류)		◎	○	틀린 답
성향 분석	학습 지속 시간			◎	이벤트 데이터
	문제 해결에 걸린 시간			◎	이벤트 데이터
	집중도			◎	시선 추적(eye tracker) 기술
	수학학습 습관 (학습 습관, 관리 방법, 동기)	◎		○	자기 응답 설문
정서 분석	수학학습 자신감	◎		○	자기 응답 설문
	수학학습 흥미	◎		○	
	수학학습에 대한 불안	◎		○	
	수학학습에 대한 의욕	◎		○	
태도 분석	수학에 대한 가치 인식	◎		○	자기 응답 설문
	자기 관리	◎		○	
	학습 전략	◎		○	

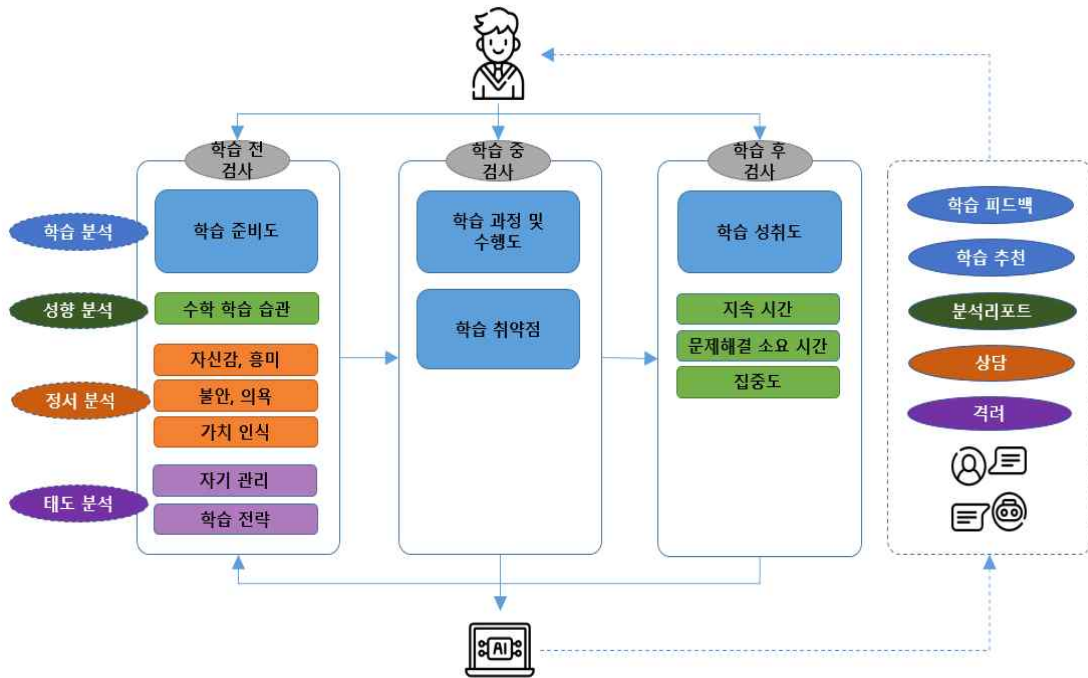
시에 도움을 줄 수 있도록 하는 것이 바람직할 것이며, 학습이 끝난 후에 측정하여 수학 학습의 결과로 모니터링하여 학습자의 정서 특성을 진단하는 데에 활용할 수도 있을 것이다. 수학 학습 태도를 진단하기 위한 요인으로는 자기 관리, 학습 전략 등이다. 마찬가지로 주로 사전에 측정하여 학습 시 도움을 줄 수 있도록 하고, 학습 후에 측정하여 학습 결과에 따른 학생의 태도 특성을 파악할 수도 있다. 이와 같이, 학습자 개인을 분석하여 진단하기 위한 분석 요인과 데이터 수집 시기, 데이터 수집 도구를 범주별로 나누어 정리하면 아래 [표 4]와 같다. 여기서 데이터 수집 시기는 한 단원 또는 한 학기를 단위로 학습 전, 학습 중, 학습 후로 나누어 적절한 시기를 고려해 볼 수 있다.

이러한 다양한 종류의 데이터를 수집하고 분석하여 진단하기 위해서는 체계적인 순서와 과정이 반영되어야 한다. 따라서, 학생별 데이터 수집과 분석을 시계열에 따라 학습 전, 중, 후로 구분한 구축 모델을 다음 [그림 3]과 같이 제안하고자 한다. 학습 전 검사 항목

으로 학습 준비도, 수학 학습 습관, 자신감과 흥미, 불안, 의욕, 가치 인식, 자기 관리, 학습 전략을 검사하여 데이터를 분석할 수 있다. 학습 중에는 학습 과정 및 수행도, 학습 취약점 등을 검사할 수 있으며, 학습 후에는 학습 성취도, 지속 시간, 문제해결 소요 시간, 집중도 등을 검사하여 데이터를 분석할 수 있다. 이렇게 분석된 데이터는 다시 학습 전, 중, 후에 피드백, 학습 추천, 상담, 격려, 분석 리포트 등으로 개별 학생에게 환류되어 맞춤형 교수·학습을 실현하고자 한다.

V. 결론 및 시사점

수학 인공지능 기반 디지털교과서의 가장 핵심적이고 본질적인 기능으로 여겨지는 개별 맞춤형 교수·학습을 실현하기 위해서는 개별 학생의 특성에 맞는 최적의 학습 경로와 수준, 속도, 학습량 및 정외적 피드백을 위한 개별 학생의 여러 가지 특성 요인에 대한 명확한 분석과 진단이 가장 관건이라고 할 수 있다.



[그림 3] 시계열에 따른 학생별 데이터 구축 모델

본 연구에서는 최근 교육부의 AI 디지털교과서 적용 계획에 따라 수학 AI 디지털교과서에 대한 요구, 개별화 맞춤형 학습과 이를 위한 데이터에 대한 선행 연구, 수학 디지털플랫폼에 대한 최근의 연구와 수학 디지털 교과서에서 학습자 분석에 대한 요인 등을 살펴보고, 수학 AI 디지털교과서에서 개별 맞춤형 학습 진단을 위한 분석 요인과 도구, 데이터 수집·분석을 위한 구축 모델을 도출하였다.

지능정보환경에서 개별화 교수·학습은 수업의 초점을 개별 학습자에게 두고 각 개인의 능력, 적성, 동기 등을 고려하여 적절하고 타당한 수업 방법, 절차, 자료의 선택, 평가 등의 측면에서 프로그램을 지원받는 것이라고 할 수 있다. AI 디지털교과서 개발 가이드라인에서는 개별 학습 진단과 분석, 개인의 능력과 목표에 맞춘 학습 경로, 학습패턴과 수준을 고려한 콘텐츠 추천, AI 튜터를 통해 느린 학습자에게는 보충학습과 빠른 학습자에게는 심화학습을 제공 등 맞춤형 서비스를 제공하도록 제시하고 있다. 학생, 교사, 학부모는 인공지능 기반의 수학학습 시스템에 대하여 개념 이해 및 문제해결 능력과 같은 인지적 능력과 수학학습 흥미·자신감·학습 습관 등과 같은 정의적 수준 진단과 서비스, 학생별 맞춤 서비스와 다양한 학습자료 제공을 요구한다. 현재 국내외 수학학습 관련 온라인 플랫폼에서 개별 학습자 분석을 위한 항목과 분석 방법을 살펴보았을 때, 플랫폼별로 주로 학습 성취도, 학습 취약점과 학습 패턴을 사전, 학습 중, 학습 후 중 몇 가지의 한정된 요인의 데이터를 수집·분석·진단하여 활용하고 있었으며, 정서와 태도 검사와 진단에 대한 도구는 에스크메스(askmath) 사이트가 유일하게 제공하고 있다.

이와 같이, 인공지능 기반의 수학 디지털교과서에서 개별화 맞춤형 학습을 위한 선행연구, 현황, 요구 등을 종합하여 본 연구에서는 학생 데이터 분석·진단을 위한 요인별 데이터 수집 도구를 제안하고, 이를 각 수학 디지털교과서에서 구현할 수 있는 시계열에 따른 학생별 데이터 수집·분석 구축 모델을 제안하였다. 학생별 데이터는 크게 학습 분석을 위한 요인으로 학습 준비도, 과정 및 수행도, 성취도, 취약점, 성향 분석을 위한 요인으로 학습 지속 시간, 문제해결에 걸린 시간, 집중도, 수학학습 습관, 정서 분석을 위한 요인으로 자신감, 흥미, 불안, 학습의욕, 가치 인식, 태도 분석을 위한 요인으로 자기 관리, 학습 전략으로 유형화하여 체

계화할 수 있다. 이러한 요인에 대한 데이터 수집 도구로는 문제에 대한 정오 데이터, 학습 진도율, 학생 활동에 대한 화면 녹화 자료, 이벤트 데이터, 시선 추적 장치, 자기 응답 설문 등을 제안하였다. 수학 AI 디지털교과서에서는 이러한 데이터를 수집·분석하여 학생 개개인의 인지적·정의적 상태를 정확히 진단하고 이를 도울 수 있는 최적의 학습 경로와 콘텐츠, 인지적·정의적 피드백이 순환적으로 이루어질 수 있는 시스템을 마련해야 할 것이다.

본 연구 결과, 다음과 같은 시사점과 후속 연구를 제안한다.

첫째, 개별화 교육이 집단 학습에 비해 효과적이라면 학생 개인별 학습 자료와 학습 방법이 제공되어야 할 것이다. 개별화 학습을 표방하지만 모두에게 동일한 코스워크를 제공하면서 학습자 개인별 학습 속도만을 개별화한 것은 아닌지 의심해봐야 한다. 개별화 학습의 정의를 고려할 때, 학습자의 능력 등 특성을 고려하여 학습자 개개인에게 최적의 학습 방법과 자료를 차별화하여 제공하지 않는다면 진정한 의미의 개별화 학습이라고 보기 어려울 것이다. 개별화된 학습 자료와 방법으로 학습하지 않는 집단이 비교 집단에 비하여 성취도 측면에서 효과가 낮은 것으로 보고된 연구(송다겸, 이봉주, 2017)의 예는 이를 반증한다고 할 수 있다. 즉, 학습자들의 70%가 ‘모르는 것을 가르쳐 주지 않아 아쉬웠다’고 응답할만큼, 개별적으로 매 시간 교사에게 피드백을 받았다 하더라도 개개인의 필요와 요구가 충분히 만족된 개별화학습이 이루어졌다고 보기 어려울 것이다. 따라서, 학생의 능력과 특성에 맞는 다양하면서도 체계적인 학습 방법과 자료가 고안되어야 할 것이다. 또한, 이러한 다양한 학습 방법과 자료를 적용했을 때의 결과 데이터가 누적되어 학생 개별화 학습에 활용되어야 한다.

둘째, 무엇을 개별화하여 어떤 학습지원을 할 것인지 연구해야 한다. 현재로서 인지적 성취 수준별 학습 이외에 다른 특성을 가진 학생들을 위한 처치 프로그램 또는 학습 코스가 마련되어 있는가? 개별화 맞춤형 학습이 무엇을 개별화해야 하는지에 대한 요인을 면밀히 분석하여 향후 해당 요인별로 학생 개인에 맞는 포트폴리오를 통해 개별 맞춤형 학습을 한 경우와 그렇지 않은 경우를 분석하여 보다 효율적인 시스템 구성 방안을 강구해야 할 것이다. 주정훈(2023)의 연구에서

지적하였듯이, AI 코스웨어로 학습부진, 난독·난산, 발달장애 학생 등 학습지원을 필요로 하는 다양한 학습자의 개별 맞춤 교육이 가능한가? 이 연구에서, 초등학교 분수에서 막혀있던 중학교 3학년 학생이 여러 종류의 AI 튜터를 꾸준히 활용하고 있었지만 그 어느 것도 그 학생을 초등학교 분수 과정으로 안내하지 못하였고, 자기 학년 내용 또는 단원의 낮은 수준의 문제만 제공받을 뿐 자신에게 필요한 학습경로로 안내되지 못하고 있다는 점을 지적하였다. 기초학습부진, 발달장애, 언어적 지원 부족, 난독, 난정, 난산 등의 학습 어려움을 가진 학생들에게는 ‘단순히 수준을 낮추는 것’이 아니라, 이들의 학습에서 “포인트”가 되는 부분, 즉, 가장 부족한 점을 찾는 일이다.

셋째, 얼마나 세밀하게 개별화할 것인지 면밀히 연구해야 한다. Holmes(2021)은 소위 ‘개별 경로(individual pathways)’로 불리는 학습 틀이 기반을 두고 있는 데이터는 우리의 기대와 달리 ‘평균값’으로, 집단을 설명할 수는 있지만 학생 개개인을 분석하는데 있어서의 유용성은 의심스럽다고 주장한다(주정훈, 2023에서 재인용). Tetzlaff, Schmiedek, Brod(2021)에 따르면, 대부분의 개별화학습을 위한 진단 검사 또는 평가에서 한 반의 20-30명 되는 학생들을 2~3그룹으로 나눈다. ‘똑똑! 수학탐험대 사전 진단 검사’와 ‘AskMath 수학클리닉 사전검사’에서도 여러 검사 요인들에 대해 상, 중, 하의 3단계 수준으로 구분하고 이 수준에 따라 진단이 이루어지고 있다. 그러나 그 정도의 구분이 과연 학생 개인의 특성을 충분히 드러내다고 할 수 있을 것인가? 예컨대 같은 ‘상’ 내에 있는 최고점과 최저점 학생을 동일하다고 할 수 있을 것이며, ‘상’과 ‘중’ 경계에 있는 학생들을 과연 다르다고 할 수 있을 것인가? 개별화는 여러 그룹 간의 ‘차별화’와는 분명 다르다. 개별 맞춤형 교수·학습을 제공하기 위해서는 보다 촘촘하고 세밀한 진단 기준을 마련하여 적용하는 것이 필요할 것이며, 이를 위해 학생 빅데이터를 활용한 연구가 활발히 이루어져야 할 것이다.

마지막으로, 온라인 탐구형 수학학습에서의 학습자 진단에 대한 연구가 수행되어야 한다. 알지오매스(algeomath), 지오지브라(geogebra)와 같은 탐구형 SW를 활용한 학습에서의 개별 맞춤형 학습을 위해서는 개별 학습자의 컴퓨팅 사고(CT: Computational Thinking) 과정을 측정하고 이를 진단하고 처방하는

과정이 수반되어야 할 것이다. 조한혁, 송민호(2014)에 따르면, 수학교육에서 기초적 표현을 통하여 대상을 구성하는 절차 및 결과물을 표현하는 활동은 수학적 대상과 구체적 물질을 연결해주는 중요한 매개체 역할을 한다. 따라서, CT 과정 측정을 위해서는 학습 영역별로 학습자의 단일 행위에 초점을 맞추어야 할 것인데, 이를테면, 수와 연산 영역에서는 맥락 상황을 모델링하고 다항식 정리를 통해 미지수를 구하는 과정, 기하 영역에서는 점과 선을 생성하여 도형을 그리는 과정의 하나하나의 단계가 분석의 대상이 되어야 할 것이다. 국내 기술로 개발된 알지오매스는 2D, 3D 도형 그리기와 대수 기능 중심으로 탐구학습에서 활용되고 있지만, 학습 과정을 분석할 수 있는 데이터 수집이 이루어지지 않고 있다. 개별 학습자의 CT 과정을 측정하고 진단·처방까지 할 수 있는 플랫폼으로서 역할 확장을 위해서는 향후 학습 과정 분석을 위한 데이터 수집·분석 기능 도입이 필요할 것이다.

개별 맞춤형 학습 제공을 위한 인공지능 기반 수학 디지털교과서 개발을 위해서는 향후 수년간 체계적인 연구의 결과로서 인공지능 기반의 학생 개별화 맞춤형 학습이 실현되어야 한다. AI 기술이 개발되어 활용의 단계로 가기 위해서는 학습이 이루어지게끔 하는 세밀한 ‘분석과 설계’가 이루어져야 하고, 이는 수년에 걸친 ‘연구’를 필요로 하는 일이다(주정훈, 2023). 당장의 개발, 적용, 확산 일변도와 같은 가시적인 성과를 우선하기보다 수학을 학습하는 학생들의 어려움을 체계적으로 연구하고 무엇을 진단하고 어떤 학습 내용과 방법을 얼마나 세밀하게 개별화하여 제공할 것인가에 대해 먼저 살펴보아야 한다.

참 고 문 헌

- 고호경, 양길석, 이환철(2015). 수학학습 상담을 위한 진단 검사지 개발 연구. 수학교육논문집, 29(4), 723-743.
- 교육부(2020). 제3차 수학교육 종합계획. 교육부.
- 교육부(2023). 디지털기반 교육혁신 방안. 2023년 2월 24일자 카드뉴스. <https://www.moe.go.kr/boardCnts/viewRenew.do?boardID=72771&lev=0&statusYN=W&s=moe&m=0315&opType=N&boardSeq=94559>.

- 교육부, 한국교육학술정보원(2023). AI 디지털교과서 개발 가이드라인.
- 교육인적자원부(2007). 디지털교과서 상용화 추진 방안.
- 김성훈, 김우진, 장연주, 김현철(2021). 설명 가능한 AI 학습 지원 시스템 개발. 컴퓨터교육학회 논문지, 24(1), 107-115. <https://doi.org/10.32431/kace.2021.24.1.012>
- 김수철(2022). 과정중심의 초등학교 수학 진단평가 자료 개발 연구(온라인 학습 플랫폼 적용의 관점에서). 아시아태평양융합교육논문지, 8(11), 327-336.
- 김화경, 송민호, 최인용, 정인우(2020). 컴퓨터 기반 평가에서 수학 기초학력 미달 학생의 특징 분석: PISA 2018 문항 응답 시간과 동작을 중심으로. 학 교수학, 22(3), 791-809.
- 남윤석, 한성희(2007). 지적장애학생의 수학교수전략 개별화를 위한 스케폴딩 기반 코스웨어의 개발. 특 수교육저널:이론과 실천, 8(3), 93-116.
- 류성립(1999). 수학 학습 부진아의 개별화 교수 방법, 초등수학교육, 3(2), 115-131.
- 박선향, 윤혜림, 조보람, 최문영(2021). 학습역량 진단 도구 개발 및 타당화 연구: K-대학 재학생을 중심으로. 한국산학기술학회논문지, 22(11), 794-802.
- 박성익(2008). 개별화학습의 전망과 과제. 교육방법연구, 20(1), 1-22.
- 박만구, 임현정, 김지영, 이규하, 김미경(2020). 머신러닝 추천모델이 적용된 맞춤형 학습 플랫폼 효과성 탐색: 학습시간, 자기주도적 학습능력, 수학에 대한 태도, 수학학업성취도를 중심으로. 수학교육, 59(4), 373-387.
- 박만구, 이윤경, 정보화, 정유진, 김지영(2023). 초등 수학에서 메타버스 수업 공간 설계 및 적용 사례 연구: 정의적 영역을 중심으로. 수학교육, 62(1), 117-149.
- 범은애, 전인숙, 한지연(2023). 인공지능(AI) 기반 맞춤형 학습의 효과검증: 기초 수학수업 사례 중심으로. 한국사물인터넷학회논문지, 9(3), 35-43.
- 송다겸, 이봉주(2017). 수학 성취도가 낮은 학생의 보충 지도 과정에서 블렌디드 e-러닝과 개별화 교수 체제의 효과 비교 분석. 수학교육, 56(2), 161-175.
- 송민호(2016). 디지털교과서 및 소프트웨어교육의 도입에 따른 수학교육 관점에서의 공학적 도구 설계 및 활용에 관한 고찰. 학습자중심교과교육연구, 16(11), 333-352.
- 양성현(2023). GeoGebra의 '구성단계 네비게이션 바'와 '구성단계' 기능을 활용한 과정 중심 평가 가능성 탐색. 수학교육학연구, 33(1), 58-80.
- 이기마, 이유정, 김희정(2023). 국내 AI 수학 학습 플랫폼의 적응형 학습에 대한 분석. 한국학교수학회 논문집, 26(3), 245-268.
- 이봉규, 정경옥, 이원정(2022). 개별화 교수전략을 적용한 AI 기반 적응형 학습 시스템 활용 중학교 기초학력 미달 수업에 관한 참여적 실험연구. 학습자중심교과교육연구, 22(24), 333-359.
- 이상구, 이재화, 박경은(2017). 대화형 수학 디지털교과서 개발과 활용 사례 연구-선형대수학을 중심으로-. 수학교육논문집, 31(3), 241-255.
- 이영호(2017). 맞춤형 프로그램 교육을 위한 지능형 문제 해결 경로 예측 모델 개발. 박사학위논문, 서울교육대학교.
- 이현경, 조영환, 금선영(2022). 학습자 데이터 기반 맞춤형 수업설계 대한 초등학교 교사의 인식. 교육공학연구, 38(1), 37-67.
- 이현숙, 김중훈, 이화영, 김혜미, 정평강, 신재현, 이대식, 장혜원, 남지현, 이영호, 안서현, 진소현(2019). 인공지능(AI) 활용 초등수학 수업 지원시스템 개발 방안 연구. 교육부, 한국과학창의재단 연구보고서.
- 임현서, 윤주형, 최성경(2022). 맞춤형 학습컨설팅을 위한 학습 스타일 진단 도구 개발: H 대학교 사례를 중심으로. 학습자중심교과교육연구, 22(22), 735-751. <https://doi.org/10.22251/jlcci.2022.22.22.735>
- 정제영(2021). 포스트코로나 시대의 미래교육: 비대면 지능형 교육 기술의 동향. 융합연구리뷰, 7(3), 4-29.
- 정평강(2018). 데이터기반개별화(DBI)의 특성과 학생의 학업성취도에 미치는 효과: 문헌 연구. 학습장애연구, 15(1), 165-192.
- 조한혁, 송민호(2014). 실행식(Executable expression) 기반 SMART 스토리텔링 수학교육. 수학교육학연구, 24(2), 269-283.
- 주정훈(2023). 인공지능 기반 맞춤형 교육의 실제와 쟁점. 교육비평, 52, 23-63. <http://dx.doi.org/10.23119/er.2023.52.23>

- 진성희, 유미나(2015). 이러닝 학습환경에서의 학습분석기반 대시보드 연구동향 분석. 교육정보미디어연구, 21(2), 185-213.
- 최숙기(2022). 학습자 맞춤형 국어과 수업 설계를 위한 인지진단모형의 활용 방안 연구. 청담어문교육, 87, 73-101.
- 최인선(2022). 수학교실에서 인공지능(AI)을 활용한 교수학습 방안 탐색: 중학교 통계 단원 시나리오 개발을 중심으로. 한국학교수학회논문집, 25(2), 149-174.
- 한국과학창의재단(2020). 초등학교 수학클리닉 사전 검사 매뉴얼, [https://askmath.kofac.re.kr/images/user/sub/\(elemen\)math_clinic.pdf](https://askmath.kofac.re.kr/images/user/sub/(elemen)math_clinic.pdf)
- 한국과학창의재단(2021). 수학학습지원을 위한 인공지능 종합시스템 구축 ISP. 한국과학창의재단.
- 한국과학창의재단(2023). 2022 개정 교육과정에 따른 수학·과학 AI 디지털교과서 검정 실시 공고. 한국과학창의재단 공고 제2023-0028호.
- 허남구, 류희찬(2015). 활동 중심 수학과 디지털교과서의 개발 및 적용, 수학교육학연구, 25(2), 241-261.
- 홍옥수, 김중훈, 김혜미, 임영빈, 김경미, 김성훈, 김승민, 남지현, 신재현, 안서현, 이영호, 임미인, 정평강, 황규하 (2021). 인공지능(AI) 초등수학수업 지원시스템 개발 및 운영방안 연구. 발간등록번호 11-1342000-000702-01. 교육부, 한국과학창의재단.
- Cengel, M., Karadag, Z. (2010). Geogebra and process-oriented assessment: A potential for a sea level change. In D. Novak, D. Martinovic, and Z. Karadag (Eds.) *Proceedings of the first North American GeoGebra Conference*. (pp.136-146). Ithaca College.
- Coffield, F., Moseley, D., Hall, E., & Ecclestone, K. (2004). *Learning styles and pedagogy in post-16 learning: A systematic and critical review*. Learning and Skills Research Centre.
- Karsenti, T. (2019). Artificial intelligence in education: The urgent need to prepare teachers for tomorrow's schools. *Formation et Profession*, 27(1), 105-111.
- Kirschner, P. A. (2017). Stop propagating the learning styles myth. *Computers & Education*, 106, 166-171. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2016.12.006>
- Ma, W., Adesope, O. O., Nesbit, J. C., & Liu, Q. (2014). Intelligent tutoring systems and learning outcomes: A meta-analysis. *Journal of Educational Psychology*, 106(4), 901-918.
- Tetzlaff, Schmiedeck, Brod (2021). Developing personalized education: A dynamic framework. *Education Psychology Review*, 33, 863-882. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09570-w>.
- Wu. L. J., Chen H. H., Sung. Y. T., Chang. K. E.(2012). Developing cognitive diagnostic assessments system for mathematics learning, In B. Werner (Ed.), *Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2012* (pp.228-229). IEEE Computer Society.
- Schwendimann, B. A., Rodriguez-Triana, M. J., Vozniuk, A., Prieto, L. P., Boroujeni, M. S., Holzer, A., & Dillenbourg, P. (2017). Perceiving learning at a glance: A systematic literature review of learning dashboard research. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 10(1), 30-41.
- Venturini, M., Sinclair, N.(2017). Designing assessment tasks in a dynamic geometry environment. In A Leung and A. Baccaglioni-Frank (Eds.), *Digital technologies in designing mathematics education tasks: Mathematics Education in the Digital Era* (pp. 77-98). Springer International Publishing Switzerland.
- Zawacki-Richter, O., Marin, V.I., Bond, M., & Gouverneur F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education—where are the educators?. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(1), 1-27.

A Model for Constructing Learner Data in AI-based Mathematical Digital Textbooks for Individual Customized Learning

Lee, Hwayoung

Korea Foundation for the Advancement of Science and Creativity

E-mail : hylee@kofac.re.kr

Clear analysis and diagnosis of various characteristic factors of individual students is the most important in order to realize individual customized teaching and learning, which is considered the most essential function of math artificial intelligence-based digital textbooks. In this study, analysis factors and tools for individual customized learning diagnosis and construction models for data collection and analysis were derived from mathematical AI digital textbooks. To this end, according to the Ministry of Education's recent plan to apply AI digital textbooks, the demand for AI digital textbooks in mathematics, personalized learning and prior research on data for it, and factors for learner analysis in mathematics digital platforms were reviewed. As a result of the study, the researcher summarized the factors for learning analysis as factors for learning readiness, process and performance, achievement, weakness, and propensity analysis as factors for learning duration, problem solving time, concentration, math learning habits, and emotional analysis as factors for confidence, interest, anxiety, learning motivation, value perception, and attitude analysis as factors for learning analysis. In addition, the researcher proposed noon data on the problem, learning progress rate, screen recording data on student activities, event data, eye tracking device, and self-response questionnaires as data collection tools for these factors. Finally, a data collection model was proposed that time-series these factors before, during, and after learning.

* 2000 Mathematics Subject Classification : 97U50

* Key Words : personalized learning, customized learning,
AI digital textbooks, learner data