

기획논문

TPACK-DBL 프레임워크에 기반한 지리 교사의 AI·디지털 역량 강화 프로그램* - 인터랙티브 교수·학습 웹 앱의 개발과 적용 -

이상일** · 이소영***

A Professional Development Program for Enhancing Geography Teachers'
AI-Digital Competence Based on the TPACK-DBL Framework*
- Development and Application of Interactive Teaching-Learning Web Apps -

Sang-Il Lee*** · Soyoung Lee***

요약: 본 연구는 AI·디지털 전환 시대에 요구되는 교사의 전문성 강화를 위해, TPACK-DBL 프레임워크에 기반한 지리 교사의 AI·디지털 역량 강화 프로그램을 개발하고 그 효과를 탐색하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 TPACK-DBL의 여덟 가지 원리를 지리교육 맥락에 적합하도록 정련화한 후, 고등학교 지리 교사를 대상으로 R, Quarto, Shiny를 활용한 인터랙티브 지리공간 교수·학습 웹 앱 개발 프로그램을 운영하였다. 교사 대상 설문 및 질적 분석 결과, 참여 교사들은 수업 설계 단계에서 실천적 TPACK 발달을 경험하며, 기존의 도구 선정 중심 활용 방식에서 벗어나 교육 목적에 적합한 웹 앱을 직접 디자인·구현하는 주도적 역할을 수행하였다. 그러나 실제 구현 과정에서 기술적 부담이 확인되었으며, 대학원생 조교의 전문적 지원이 이를 보완하는 핵심 요인으로 작용하였다. 또한 학생 대상 수업 시연 결과, 웹 앱 기반 탐구 활동은 지리 학습의 흥미·몰입·상호작용을 강화하는 학습 구조를 가능하게 하였으며, 디지털 기반 탐구 활동이 학습 경험의 질을 향상시킬 수 있음을 보여주었다. 이러한 결과는 AI·디지털 기반 교사 연수가 개별 도구 습득을 넘어서, TPACK-DBL에 기반한 디지털 산출물 설계를 중심으로 운영될 필요가 있음을 시사한다. 더 나아가 대학-학교 협력 체계와 재구성 가능한 교수·학습 모듈 구축은 지속 가능한 교사 전문성 개발의 중요한 전략적 방향임을 제안한다.

주요어: TPACK-DBL, AI·디지털 역량, 지리교육, 인터랙티브 교수·학습 웹 앱, 대학-학교 협력

Abstract: This study aims to develop and examine the effectiveness of an AI-digital competency enhancement program for geography teachers, grounded in the TPACK-DBL (Technological Pedagogical Content Knowledge-Design-Based Learning) framework. To this end, the eight principles of TPACK-DBL were refined in alignment with the context of geography education and applied to a professional development program in which high school geography teachers designed and implemented interactive geospatial teaching-learning web applications using R, Quarto, and Shiny. Analysis of teacher surveys and qualitative data revealed that the participants experienced growth

* 본 논문은 국토지리정보원의 용역과제 「제4차 대한민국 국가지도집 제2권 국·영문판 발간」의 일부 재원으로 작성된 것임.

** 서울대학교 지리교육과 교수(Professor, Department of Geography Education, Seoul National University), si_lee@snu.ac.kr

*** 가톨릭관동대학교 지리교육과 조교수(Assistant Professor, Department of Geography Education, Catholic Kwandong University), sylee03051@cku.ac.kr

in their practical TPACK, shifting from a tool-selection approach to proactively designing and developing web applications suited to specific instructional goals. However, many teachers encountered difficulties related to programming and data processing, and these challenges were mitigated by the support of graduate teaching assistants, whose technical expertise and pedagogical understanding played a crucial role in the program's success. Furthermore, classroom demonstrations with students indicated that the web-app-based inquiry activities fostered engagement, motivation, and interaction, suggesting that digital tools can transform geography learning into a more inquiry-oriented experience. These findings imply that AI-digital professional development should move beyond tool training toward digital product design based on TPACK-DBL principles. The study also highlights the need for institutionalized university-school partnerships and the development of adaptable instructional web app modules as sustainable strategies for teacher professional learning.

Key words: TPACK-DBL, AI-digital competence, geography education, interactive teaching-learning web apps, university-school collaboration

I. 서론

21세기 들어 AI(인공지능), 빅데이터, 클라우드, 사물인터넷 등 디지털 기술의 융합은 4차 산업혁명으로 개념화되며 산업과 사회 시스템 전반에 혁신적 변화를 촉발해 왔다(Schwab K. 저, 송경진 역, 2016). 이러한 흐름은 단순한 업무 자동화나 정보화 수준을 넘어 생산 방식, 조직 운영, 소통 구조, 행정과 문화, 일상생활까지 아우르는총체적 재편 과정으로서 ‘디지털 전환’이라는 이름으로 확장되고 있다(Westerman *et al.*, 2011). 특히 AI 기반 서비스, 초연결 플랫폼, 데이터 중심 의사결정 체계는 기존의 아날로그적 관행과 위계적 구조를 재구성하며 경제·사회·문화 전반의 역할과 가치, 역량의 기준을 변화시키고 있다(Vial, 2019). 이러한 변화는 교육 전반에도 직접적인 영향을 미쳐 교육 내용·방법·환경은 물론 교수·학습의 주체성과 상호작용 방식을 재구성하고 있으며, 학습 형태, 교사의 역할, 교육격차, 학습 경험의 개인화와 데이터화 등 교육 패러다임의 전환을 촉발하고 있다(Holmes *et al.*, 2019; OECD, 2020; UNESCO, 2021).

AI·디지털 테크놀로지는 교수·학습의 방식과 환경을 근본적으로 변화시키고 있으며(김민성, 2021; 김민성·이상일, 2022; 이종원, 2024), 이에 따라 학생들의 AI·디지털 리터러시와 역량에 대한 기대도 함께 높아지고 있다. 이러한 변화 속에서 핵심 주체인 교사는 AI·디지털 테크놀로지를 교수 목적으로 효과적으로 활용할 수 있는 전문성을 갖추는 것이 무엇보다 중요해졌으며, 이는 교사의 지

식 기반, 실천 역량, 교육적 재구성을 모두 요구하는 새로운 과제로 부상하고 있다(Ng *et al.*, 2021; Ning *et al.*, 2024). 이렇듯 예비교사와 현직교사 모두에게 AI·디지털 역량을 갖추게 하는 것이 교육 혁신의 핵심 과제로 부상하면서, 이러한 역량을 체계적으로 설명할 수 있는 이론적 틀로 TPACK(technological pedagogical content knowledge, 테크놀로지 교수내용지식)이 주목받고 있다(Angeli and Valanides, 2009; Koehler *et al.*, 2013; Lee and Kim, 2017; Mishra and Koehler, 2006).

TPACK은 기본적으로 PCK(교수내용지식)(Shulman, 1986)에 테크놀로지 지식을 결합한 것으로(Koehler and Mishra, 2005), 이 세 가지 요소 간의 역동적이고 상호적인 관계를 강조한다. TPACK은 내용 지식, 교수 지식, 테크놀로지 지식이 단순히 결합된 형태가 아니라, 이 세 영역을 통합하여 새롭게 생성되는 고차적 전문지식을 의미한다. TPACK은 테크놀로지를 활용하여 개념을 효과적으로 표현하고, 학습자의 이해 수준과 어려움을 고려한 교수 전략을 설계하며, 기존 지식을 확장하거나 새로운 인식 구조를 구성하도록 지원하는 교수 역량의 기반이 된다(Koehler *et al.*, 2013; Mishra and Koehler, 2006). TPACK은 테크놀로지를 단순히 활용하는 수준을 넘어 교수 전략과 교육 내용에 적절히 통합하는 교사의 전문성을 설명한다는 점에서 AI·디지털 전환 시대의 필수 개념으로 자리매김하고 있는 것이다. 특히 AI·디지털 테크놀로지 기반 교수·학습 환경이 확산되는 현 시점에서, 교사의 전문성 강화 논의는 TPACK을 중심으로 재구성될 필요가 있다

(Cui and Zhang, 2022; Ng *et al.*, 2021; Ning *et al.*, 2024).

그런데 TPACK 프레임워크에 기반하여 교사의 AI·디지털 역량 강화 전략을 수립하기 위해서는 다음의 두 가지 사항에 대한 성찰이 요구된다. 첫째, 지식 요소 간 역학 관계의 변화 및 상호 조정 과정에 주목할 필요가 있다. AI·디지털 테크놀로지가 초기 TPACK에서 염두에 둔 테크놀로지와는 비교가 되지 않을 정도의 파괴력을 지니고 있다는 점이 반영되어야 한다. 이런 측면에서 기존 TPACK 프레임워크를 확장하려는 시도에 주목할 필요가 있다(Cui and Zhang, 2022; Ng *et al.*, 2021; Ning *et al.*, 2024). 둘째, TPACK이 ‘어떻게’ 교사의 AI·디지털 역량을 실질적으로 향상시킬 수 있을 것인가에 대한 일종의 메조-스케일 프레임워크가 필요하다. TPACK의 개발 초기부터 ‘디자인을 통한 학습(learning by design)’ 혹은 ‘디자인을 통한 기술 학습’을 강조해 왔다(Kochler and Mishra, 2005; Mishra and Kochler, 2006). TPACK은 단순한 지식 암기나 기술 습득만으로는 형성되지 않으며, 실제 맥락 속에서 내용·교수법·테크놀로지를 통합적으로 적용해 보는 경험을 통해 발달한다. 그런데, 이러한 ‘디자인을 통한 학습’ 전략이 변화하는 교사의 전문성 개발 요구에 대한 가장 효과적인 대안인가에 대한 해답을 구하기 위해서는 TPACK 모형에 기반한 구체적인 실행 원리들이 도출되어야 한다.

이러한 측면에서 ‘TPACK-DBL(*design-based learning*, 디자인 기반 학습) 프레임워크’(Baran and Uygun, 2016)는 하나의 대안을 제시하고 있는 것으로 보인다. TPACK-DBL 프레임워크는 테크놀로지 기반의 교육 자료를 실질적으로 디자인하는 활동을 통해 ‘실천적 TPACK’의 이해를 촉진하는 DBL의 여덟 가지 원리를 제시한다. 강의 중심 전달 방식보다 설계와 구현 중심의 접근을 강조함으로써 이론과 실제, 도구와 맥락, 학습자와 수용자를 연결 하며 TPACK의 통합적 사고를 자연스럽게 확장한다. 특히 디지털 콘텐츠나 수업 설계와 같은 산출물 제작 과정은 교사가 실제 실천가처럼 사고하고 의사결정을 수행하도록 요구함으로써 TPACK 역량의 체화에 효과적으로 기여한다.

따라서 본 연구의 목적은 TPACK-DBL 프레임워크에 기반한 지리 교사의 AI·디지털 역량 강화 프로그램을 개발 및 실행하고 그 효과성을 탐색하는 데 있다. 이를 위해 우선 AI·디지털 역량 강화 프로그램의 개발 원리로서

TPACK-DBL 프레임워크를 정련화한다. 이를 바탕으로 고등학교 교사를 대상으로 AI·디지털 역량 강화 프로그램을 운영하여, 최종 디자인 결과물로서 인터랙티브 지리 공간 교수·학습 웹 앱을 개발한다. 이후 서울시 고등학생 대상 캠프에서 개발된 인터랙티브 웹 앱을 활용한 수업 시연을 진행한다. 이러한 과정에서 수집된 데이터, 즉 디자인 산출물, 교사 대상 포커스 그룹 인터뷰, 고등학생 대상 설문 조사에 대한 분석 결과를 제시하고자 한다.

II. TPACK-DBL 프레임워크와 AI·디지털 역량 강화 프로그램

1. TPACK-DBL 프레임워크

TPACK 프레임워크의 기본 아이디어는 널리 사용되고 있는 벤 다이어그램에 잘 나타나 있다(Kochler and Mishra, 2009).¹⁾ 벤 다이어그램에는 모두 일곱 개의 지식 요소가 나타나 있는데, 기본적인 세 가지 지식 요소인 교수지식(PK), 내용지식(CK), 테크놀로지 지식(TK)과, 그것들의 교차로 생성되는 네 개의 결합 지식 요소로 구성된다. 결합 지식 요소는 세 가지 기본 지식 요소의 결합 쌍으로 생성되는 교수내용지식(PCK), 테크놀로지 내용 지식(TCK), 테크놀로지 교수지식(TPK)과 세 가지가 모두 교차하여 생성되는 테크놀로지 교수내용지식(TPACK)으로 구성된다. TPACK 관련 연구들은 대체로 일곱 가지 지식 요소를 명확하게 구분하여 정의하고, 나아가 각 지식 영역과 연계된 역량을 독립적으로 분리해 측정할 수 있다는 전제를 바탕으로 논의를 전개하는 경향이 있다(채민수, 2024a; Schmidt *et al.*, 2009). TPACK에 대한 이러한 정형화된 이해는 TPACK이 가지고 있는 잠재력이나 유용성을 훼손하는 결과를 낳을 수 있다. 우리가 실제 교육 맥락에서 궁극적으로 획득하고자 하는 것이 각각의 분리된 지식 요소가 아니라 통합된 하나의 총체적 역량으로서의 TPACK이라는 점이다. 결국 “TPACK은 내용, 교수, 테크놀로지라는 세 핵심 영역을 초월하여, 이들의 상호작용 속에서 형성되는 새로운 형태의 지식이다”(Kochler *et al.*, 2013: 16).²⁾

이러한 측면에서, TPACK을 교사의 AI·디지털 역량 강화를 위한 실행 프로그램 개발의 프레임워크로 활용하려는 경우, 다음의 두 가지 점을 고려할 필요가 있다. 첫

째, 테크놀로지 지식이 교수지식과 내용지식에 비해 점점 더 핵심적인 역할을 담당하고 있으며 앞으로도 그럴 것이라는 점이다. 교수 목표와 테크놀로지가 교과 교육과정으로부터 도출된다는 전통적 관점과 달리 테크놀로지 지식이 내용과 교수법에 관한 의사결정을 주도한다고 말할 수 있다(Koehler *et al.*, 2013; Mishra and Koehler, 2006). 이것은 특히 사회적 파급력이 큰 새로운 테크놀로지가 도입될 경우 더욱 그러한데, AI·디지털 테크놀로지는 이러한 상황에 너무나 잘 부합한다(Ning *et al.*, 2024). 둘째, 교사의 AI·디지털 역량 강화를 위한 프로그램은 테크놀로지가 결부되어 있는 네 가지 지식, 즉 테크놀로지 지식, 테크놀로지 내용지식, 테크놀로지 교수지식, 테크놀로지 교수내용지식을 개별적으로 혹은 순차적으로 향상시키는 것을 꾀하기 보다는, 최종적인 TPACK의 형성을 직접적으로 지향할 필요가 있다. 결국 중요한 것은 구성 요소들을 각각 독립적으로 확인하는 것이 아니라, 교수자가 맥락 속에서 이들을 어떻게 조합하고 변형하며 재구성하여 TPACK으로서 실천하느냐를 이해하고 탐구하는 일이다(Mishra and Koehler, 2006).

이러한 점들을 감안할 때, 문제는 TPACK 프레임워크에 기반한 교사의 AI·디지털 역량 강화 프로그램의 내용과 형식은 어떠해야 하느냐이다. TPACK은 이러한 질문에 개발 초기부터 ‘디자인을 통한 학습’ 혹은 ‘디자인을 통한 테크놀로지 학습’이라는 방안을 제시했다(Kochler and Mishra, 2005; Mishra and Kochler, 2006). 이것의 핵심은 ‘실제적(authentic) 디자인 활동’이 실천적 TPACK 발달을 촉진한다는 것이다(Mishra and Koehler, 2006). 실제적 디자인 활동이란 단순한 이론적 디자인 연습이 아니라 현실의 수업 맥락이나 교육적 요구를 반영하여 무언가를 실제로 디자인 및 구현하는 활동을 의미한다. 테크놀로지가 주도하는 실제적 디자인 활동의 핵심은 테크놀로지의 어포던스(affordance)³⁾와 제약을 주어진 교과 내용과 교수법, 그리고 현장 맥락과의 끊임없는 상호작용을 통해 이해하게 된다는 것을 의미하며, 테크놀로지 자체에 대한 지식이 아니라 테크놀로지를 교수·학습 상황에 적용하는 방식에 대한 지식을 획득하게 된다는 것이다.⁴⁾ 실제적 디자인 활동은 풍부한 학습 맥락을 제공하고 지속적인 탐구와 수정에 적합하다는 점에서, 교사들이 실제 세계의 복잡한 문제 영역에 지식을 적용하는 데 필요한

심층적 이해를 발달시키는 효과적인 접근으로 간주되며, 결국 TPACK을 형성하는 데 필수적인 기반이 된다.

실제적 디자인 활동이 TPACK의 형성에 중요한 기여를 할 수 있다는 점이 인정된다 하더라도 구체적인 교사 교육 혹은 교사 재교육을 위한 프로그램을 개발하려면 지침이 될 수 있는 중간 단계의 매개적 프레임워크가 필요하다. 이러한 메조스케일의 프레임워크는 ‘디자인을 통한 학습’이 이루어지기 위한 원리 혹은 절차를 명시적으로 제시해야 한다. 이러한 측면에서 최근에 제안된 TPACK-DBL 프레임워크는 시사하는 바가 크다(Baran and Uygun, 2016). 우선 DBL 개념을 이해할 필요가 있다. DBL은 “탐구와 추론의 과정을 바탕으로 혁신적인 산출물, 시스템, 해결책을 생성하는 교육적 접근”으로 정의할 수 있는데, PBL(problem-based learning)과 유사하지만 구체적인 디자인 과제를 수행한다는 점에서 차이가 있다(Gómez Puente *et al.*, 2011). 결국 DBL은 교육 대상이 실제 디자인 문제를 해결하는 과정에 참여하여 범위 설정, 생성, 평가, 창출이라는 공학적 인지 과정을 경험하는 동시에 자신의 학습 과정을 성찰하도록 하는 교수법으로 이해할 수 있다(Gómez Puente *et al.*, 2013). 더 나아가 DBL은 ‘디자인 씽킹(design thinking)’ 개념과도 직접적인 연관성을 갖는다(Baran and AlZoubi, 2024).

TPACK-DBL 프레임워크에서 DBL은 앞에서 살펴본 디자인을 통한 학습과 거의 동일한 개념으로 이해할 수 있다. TPACK-DBL은 DBL의 내용 중 TPACK의 발달을

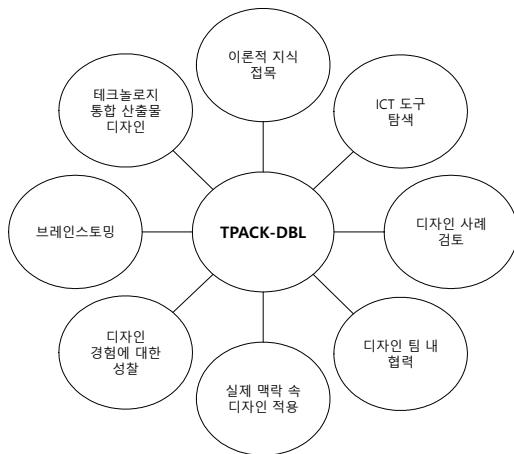


그림 1. TPACK-DBL 원리(Baran and Uygun, 2016, 49)

촉진하는 8대 원리를 다음과 같이 제안한다(Alemdag *et al.*, 2020; Baran and Uygun, 2016).

DBL의 첫 번째 원리인 ‘브레인스토밍’은 테크놀로지 통합과 관련된 문제의 잠재적 해결 방안을 탐색하고 논의하는 과정으로, 디지털 기반 수업 설계의 출발점으로 널리 활용되어 왔다. 두 번째 원리인 ‘테크놀로지 통합 산출물 디자인’은 수업안, 학습 자료, 디지털 콘텐츠 등과 같이 TPACK 기반의 구체적 교육 산출물을 설계하는 활동을 포함한다. 세 번째 원리인 ‘디자인 사례 검토’는 학습자가 테크놀로지 통합 학습 시나리오, 교수·학습 활동, 수업안 등의 사례를 탐색, 분석, 비평하는 과정으로, 자신의 설계물 뿐만 아니라 동료 혹은 기존 자료를 대상으로 수행될 수 있다. 네 번째 원리인 ‘이론적 지식과의 접목’은 자기주도 학습, 협력 학습과 같은 학습 이론 뿐만 아니라 학습 주제와 관련된 원리나 핵심 개념과 연결된다. 다섯 번째 원리인 ‘ICT 도구 탐색’은 학습자가 디자인에 앞서 테크놀로지의 기능, 교수적 어포던스, 활용 조건 등을 심층적으로 탐색하도록 지원한다. 여섯 번째 원리인 ‘디자인 경험에 대한 성찰’은 학습자가 디자인 과정에서의 어려움, 선택의 이유, 교수적 적합성을 반추하며 자신의 이해를 구조화하고 TPACK 발달 수준을 점검하도록 돋는다. 일곱 번째 원리인 ‘실제 맥락 속 디자인 적용’은 설계된 자료를 실제 교수 현장에 적용함으로써 실행 가능한 TPACK의 양상을 탐구하고, 맥락적 변인을 분석할 수 있는 기회를 제공한다. 마지막으로 ‘디자인 팀 내 협력’은 구성원들이 공동의 테크놀로지 통합 과제를 수행하면서 해결 방안을 함께 모색하도록 하며, 이러한 상호작용 속에서 TPACK이 더욱 실천적으로 발달할 수 있다.

TPACK-DBL 프레임워크를 직간접적으로 적용한 연구가 다수 존재하는데,⁵⁾ 이들은 다음과 같은 공통점을 보인다. 첫째, 디자이너로서의 교사 개념에 기반한다(Baran and AlZoubi, 2024; Kochler *et al.*, 2013; Lee and Kim, 2017). 즉, 교사를 단순한 테크놀로지 사용자로 한정하는 것이 아니라 학습 경험을 총체적으로 디자인하는 디자이너로 규정하는 것이다. 둘째, 학습 과정의 최종 산물로서 디지털 교수 자료, 웹사이트 등 구체적이고 의미 있는 산출물을 디자인하는 과제를 수행한다(Koehler and Mishra, 2005; Mishra and Koehler, 2006; Önal and Alemdag, 2018). 셋째, 디자인 팀을 통해 협력적으로 디자인 과제를 수행

한다(Agyei and Voogt, 2012; Koehler *et al.*, 2007; Mishra and Koehler, 2006; Önal and Alemdag, 2018). 협력적 디자인 활동이 예비교사들이 내용, 교수법, 테크놀로지 간의 긴밀한 연계를 협력적으로 형성하도록 돋는다. 넷째, 지도안, 성찰지, 디자인 가이드, 개방형 설문, 수행평가, 포커스 그룹 인터뷰, 관찰 노트와 같은 방법을 통해 데이터를 수집하여 프로그램의 효과성을 검토한다(Alemdag *et al.*, 2020; Baran and Uygun, 2016; Kochler *et al.*, 2013).

2. AI·디지털 역량 강화 프로그램 개발

앞에서 살펴본 TPACK-DBL 프레임워크에 기반하여 지리 교과를 위한 AI·디지털 역량 강화 프로그램을 개발하였다.⁶⁾ 본 프로그램의 핵심은 교사가 단순히 수업에서 활용할 AI·디지털 도구를 배우는데 그치지 않고, 직접 테크놀로지 통합된 실제적 디자인 활동을 통해 교육 산출물을 디자인 및 구현할 수 있는 능력을 배양한다는 점이다. 특정 교과 내용을 교수할 때 어떤 AI·디지털 도구를 통합할지 계획하고, 교사가 직접 테크놀로지를 활용해 교수·학습 자료를 협력적 과정을 통해 제작하고, 이렇게 제작된 산출물을 공유 및 개선하는 전 과정을 포함한다. 본 프로그램에서 디자인을 통해 창출할 교육적 산출물은 ‘인터랙티브 교수·학습 웹 앱’이다. 인터랙티브 교수·학습 웹 앱은 웹 브라우저를 통해 접근하고 사용하는 교수·학습 목적의 애플리케이션으로, 학습자와 콘텐츠 간의 상호작용을 중심으로 설계되어, 능동적 참여, 즉각적 피드백, 탐구 활동 등을 통해 개인의 학습 경험을 향상시킨다. 따라서 인터랙티브 교수·학습 웹 앱은 교과의 학습 내용을 효과적으로 교수·학습하도록 도와주는 도구라는 점에서 ‘디지털 학습지’와 같은 기능을 하지만, 데이터 탐색을 통해 학습자 스스로 이해, 지식, 통찰을 얻도록 도와주는 도구라는 의미에서 ‘디지털 탐구학습 도구’와 같은 기능을 할 수도 있다.

따라서 AI·디지털 역량 강화 프로그램의 핵심은 프로그램 참가자가 인터랙티브 웹 앱 개발을 위한 테크놀로지를 익혀야 하며, 해당 교과 내용, 교육 대상 및 환경의 특성, 교수 전략 및 수업 계획에 대한 이해 및 결정을 바탕으로, 주어진 테크놀로지의 어포던스와 한계를 평가하고, 그것에 기반하여 교육 현장에 적용 가능한 웹 앱을 디자인하고 구현하는 것이다. 이러한 모든 과정은 순차적

이고 단선적인 방식으로 이루어지는 것이 아니라 가역적이고 환류적인 방식으로도 이루어진다. 즉, 테크놀로지의 어포던스와 한계에 대한 평가가 교수 전략 및 수업 계획에서의 변화를 초래할 수 있고, 교과 주제의 교체 혹은 강조점의 변화나 교육 환경의 변화에 대한 요구로 이어질 수 있다. 그러므로 AI·디지털 역량 강화 프로그램은 이러한 것이 최대한 발생할 수 있도록 디자인되어야 한다.

본 연구는 기본적으로 이상일 외(2025)의 연구에 기반한다. 해당 연구는 다양한 교과의 예비교사를 대상으로 30시간의 교육 프로그램을 진행하고 수업 지도안에 기반한 인터랙티브 웹 앱을 디자인 및 구현하도록 하였다. 본 연구는 인터랙티브 웹 앱의 개발을 프로그램의 핵심적인 부분으로 간주한다는 측면에서는 상기의 연구와 맥을 같이 하지만 네 가지 점에서 다른 특성을 가진다. 첫째, 대상을 현직 지리 교사로 한정하고, 내용 요소도 지리공간 정보(특히, 원격탐사 데이터)에 집중한다. 따라서 산출물은 인터랙티브 ‘지리공간’ 교수·학습 웹 앱이 된다. 둘째, 협력적 디자인의 요소를 강화한다. 교사를 두 개의 그룹으로 나누고 주제 선정, 데이터 수집, 웹 앱 디자인 및 구현, 수정 및 보완 등의 모든 활동 요소들이 그룹 내의 협력적 활동을 통해 이루어지도록 유도한다. 셋째, 대학-학교의 연계 모형을 추구한다. 테크놀로지에 대한 이해도와 숙련도가 높은 사범대학의 대학원생들이 교사 그룹을 위한 적극적인 ‘조력자’ 및 ‘촉진자’ 역할을 하도록 한다. 넷째, 실제 고등학생을 대상으로 개발된 인터랙티브 웹 앱을 활용한 수업을 시연한다. 개발 팀별로 수업 시연이 이루어지며, 웹 앱의 효과성에 대한 피드백을 획

득하게 한다.

프로그램의 운영진은 지리교육과 소속의 대학 교수 2명과 대학원생 4명으로 구성되며, 프로그램의 참가자는 수도권 소재 고등학교 지리 교사 5명과 학생 15명으로 구성된다. 대학 교수 1인은 프로그램의 전반적인 진행과 강의를 담당하며, 다른 대학 교수 1인은 프로그램 평가를 위한 데이터의 수집 및 분석을 담당한다. 대학원생은 강의를 보조하고 실습을 진행하는 역할뿐만 아니라 교사들의 인터랙티브 웹 앱의 디자인 및 구현에 적극적인 ‘조력자’나 ‘촉진자’ 역할을 담당한다. 프로그램은 크게 교사를 대상으로 한 연수와 고등학생을 대상으로 한 체험캠프로 나뉘어진다.⁷⁾ 교사 연수는 2025년 7월 28일과 29일 이틀 간 진행되었으며, 고등학생 캠프는 2025년 8월 1일에 진행되었다. 표 1은 AI·디지털 역량 강화 프로그램의 내용을 TPACK-DBL의 8대 원칙(그림 1)을 연결한 것이다.

교사들은 2시간에 걸쳐 ‘AI·디지털 시대의 지리 교사의 역량’에 대한 강의를 듣는다. 여기에서는 AI·디지털 시대를 세 가지 사이언스(데이터사이언스, 오픈사이언스, 공간사이언스)의 융합이라는 측면에서 이해하고, 인터랙티브 지리공간 교수·학습 웹 앱의 디자인 및 구현을 위한 이론적·기술적 내용을 익힌다. 그리고 나서 R, Quarto, Shiny와 같은 테크놀로지에 대한 실습이 진행되는데⁸⁾, 이 과정은 TPACK-DBL의 원리 중 ICT 도구 탐색에 해당한다고 할 수 있다.⁹⁾

교사 연수 2일차에는 인터랙티브 지리공간 교수·학습 웹 앱을 제작한다. 우선 5명의 교사를 두 개의 디자인 팀으로 나눈다. 각 디자인 팀은 웹 앱을 디자인하는 과정

표 1. AI·디지털 역량 강화 프로그램 개요

	내용	시간	활동	TPACK-DBL 원리
교사 연수 1일차	AI·디지털 시대의 지리 교사의 역량	2	이론	- 이론적 지식 접목
	R과 Quarto를 활용한 인터랙티브 대시보드 제작	2	실습	- ICT 도구 탐색
	R과 Shiny로 만드는 웹 앱: 팀구학습용 학습도구 개발	2		
교사 연수 2일차	인터랙티브 지리공간 교수·학습 웹 앱 디자인	2	프로젝트	- 브레인스토밍 - 디자인 사례 검토 - 디자인 팀 내 협력
	인터랙티브 지리공간 교수·학습 웹 앱 구현	4		- 디자인 팀 내 협력 - 테크놀로지 통합 산출물 디자인
고등학생 체험캠프	인터랙티브 지리공간 교수·학습 웹 앱을 활용한 수업 시연	2	수업 시연	- 실제 맵과 속 디자인 적용 - 디자인 경험에 대한 성찰

과 실제 웹 앱을 구현하는 과정을 거친다. 웹 앱 디자인은 웹 앱의 구조와 기능을 구상하는 단계이다. 본 프로그램은 웹 앱을 데이터 대시보드의 형태로 한정하였다. 인터랙티브 웹 앱이 반드시 대시보드의 형태여야 하는 것은 아니지만, 시각적 요소들을 일관성 있게 배열하기 위해서는 데이터 대시보드의 형태가 적절하다고 보았다.¹⁰⁾ 본 연구에서는 데이터 대시보드를 단일한 주제에 대한 상호연관된 다양한 데이터 정보를 그래픽의 형태로 일관성 있게 제시한 것으로 정의한다.¹¹⁾ 교사들은 반드시 원격탐사 데이터를 사용하는 주제를 선정할 것을 요구받으며, 해당 주제에 대해 대시보드 디자인 요소를 종합적으로 고려하여 디자인 원안을 스케치 형태로 제작한다. 이 디자인 과정은 TPACK-DBL의 원리 중 브레인스토밍, 디자인 사례 검토, 디자인 팀 내 협력에 해당된다.

웹 앱 구현 과정은 R, Quarto, Shiny를 활용해 디자인 원안을 실제 사용 가능한 결과물로 완성하는 과정을 의미 한다. 여기에는 TPACK-DBL의 원리 중 디자인 팀 내 협력과 테크놀로지 통합 산출물 디자인이 해당된다. 디자인 팀 내 협력은 팀 내 구성 교사들 간 뿐만 아니라 대학원생과 교사 간에도 활발하게 발생한다. 특히, 본 프로그램에서 테크놀로지를 학습하는 시간이 절대적으로 짧기 때문에¹²⁾ 대학원생의 조력자 혹은 촉진자로서의 역할이 매우 중요할 수밖에 없다(Alemdag et al., 2020). 그러나 테크놀로지 습득 기간이 짧다고 하는 것이 반드시 문제인 것은 아니다. TPACK-DBL 프레임워크에 입각한 교육 프로그램의 가장 중요한 요소는 교사가 테크놀로지를 배우는 맥락과 테크놀로지를 실질적으로 활용하는 맥락을 가능한 일치시킴으로써 ‘테크놀로지 습득 먼저, 테크놀로지 적용 나중’이라는 전통적인 도식을 극복하는 것이다. 교육 내용에 대한 지식과 교육 대상 및 환경에 대한 이해도가 높은 교사가 짧은 시간이지만 도구에 대한 훈련을 받고, 테크놀로지에 대한 숙련도는 높지만 교육 현장에 대한 경험과 전문성이 낮은 대학원생과 공동 작업을 했을 때

어떠한 시너지 효과가 발생하는지를 살펴보는 것은 의미 있는 일이다. 이러한 대학-학교 협력 프레임워크는 TPACK의 실질적인 구현에 매우 중요한 역할을 담당할 것이다(Eren and Ergulec, 2020).

마지막으로 인터랙티브 지리공간 교수·학습 웹 앱을 활용한 수업 시연이 이루어진다. 수업 시연은 웹 앱 완성 3일 뒤에 이루어지기 때문에, 그 기간 동안 디자인 팀은 웹 앱의 완성도를 높이는 협업을 계속 진행할 수 있으며, 교사들은 해당 웹 앱을 활용한 수업에 대한 계획을 수립해야 한다. 디자인 팀 각각 50분씩의 수업 시연이 15명의 고등학생을 대상으로 이루어진다. 여기에는 TPACK-DBL의 원리 중 실제 맥락 속 디자인 적용과 디자인 경험에 대한 성찰이 해당된다. 기존의 TPACK-DBL 연구는 디자인 결과물이 실제 학생들에게 도움이 될 수 있다는 기대감만으로도 교사들이 높은 동기를 느낀다고 하는데 (Alemdag et al., 2020), 실제 수업 시연이 예정되어 있었다는 점에서 본 프로그램에 참가한 교사들은 강력한 동기 유발과 함께 디자인의 구현 과정에서 TPACK 역량이 실질적으로 길러지는 경험을 했을 것으로 기대한다. 수업이 진행되는 동안, 그리고 수업 시연 이후에 교사들은 자신들이 개발한 웹 앱의 적합성을 반추하는 기회를 가지며, 수업 시연 3일 뒤에 이루어진 교수와의 인터뷰 과정에서 보다 적극적으로 디자인 경험에 대한 성찰이 이루어진다. 수업 시연 뒤에는 학생들에 대한 설문 조사가 이루어지고, 인터랙티브 웹 앱을 활용한 수업의 효과성에 대한 검토 자료로 활용된다.

3. 프로그램 평가: 데이터 수집 및 분석방법

AI·디지털 역량 강화 프로그램 평가를 위해서 표 2와 같은 방식으로 데이터를 수집하였다. 그 외에도 연구자는 프로그램의 전 과정에 참여하여 진행 상황 및 활동을 관찰하였다. 본 연구는 연구윤리 심의를 거쳐 IRB 승인 후 수행되었으며, 프로그램 참여 및 설문, 인터뷰는 교사, 학

표 2. 프로그램 평가를 위한 데이터 수집

대상	세부 프로그램	교사연수	실제 수업(고등학생 체험캠프)
교사		설문조사(선택형, 서술형)	온라인 포커스 그룹(FGI) 인터뷰 실시
학생		-	설문조사

생, 학부모로부터 연구 참여에 대한 사전 동의를 얻은 뒤 진행하였다.

첫 번째, 교사 연수 직후에는 참여 교사들을 대상으로 구글폼을 활용하여 설문조사를 실시하였으며, 문항은 선다형과 서술형으로 구분된다. 선다형 문항은 크게 참여 교사들의 일반적인 배경(성별, 교육경력, 코딩경험 등), 프로그램 만족도, 교사들의 TPACK 향상 관련 문항으로 구성된다. 프로그램 만족도에 대한 질문은 본 프로그램에 만족하는지, 다음에도 관련 프로그램에 참여할 의사가 있는지 등을 묻는 일반적인 문항으로 구성된다. 교사들의 TPACK 향상과 관련된 문항은 Schmidt *et al.*(2009) 연구를 참고하였는데, 본 연구의 목적은 TPACK의 일곱 가지 지식 요소를 명확하게 구분하기 보다는 일종의 통합지식인 TPACK 향상을 꾀하는 것이므로, 그와 관련된 문항만 부분적으로 발췌·수정하였다. 서술형 문항은 박기철·강성주(2014), Baran and Uygun(2016)을 참고하여 작성하였으며, 프로그램 개발 과정, TPACK 향상에 대해 스스로 성찰해보고, 수업에서 유용하게 활용될 수 있을지 등을 묻는 문항으로 구성된다.

이후, 개발한 교수·학습 웹 앱을 활용한 실제 수업 이후에는 심층 논의를 위해 온라인 포커스 그룹 인터뷰(FGI)를 수행한다. 인터뷰 문항은 사전 설문 결과 및 참여 관찰 과정에서 확인된 주요 이슈를 바탕으로 연구자가 미리 준비하여 진행하였으며, 인터뷰 내용은 참여 교사들의 동의 하에 녹화되었다. 이후 서술형 문항에 대한 답변과 인터뷰 내용과 같은 질적 자료는 모두 근거이론에 기반하여 전사(transcription)한 후 반복적으로 읽으며 의미 단위를 추출하고 코드화하였다. 문장 단위로 전사된 자료를 1차 개방 코딩한 뒤, 연구자 간 합의를 통해 유사 범주를 통합하고 상위 범주로 정련하였다. 이러한 비교 분석 과정은 전사 자료와의 지속적 대조를 통해 반복적으로 수행되었으며, 연구자 간 합의를 통해 해석의 일관성과 신뢰성을 확보하고자 하였다(김주현, 2015). 또한, 질적 분석 과정에서 발생할 수 있는 주관성을 보완하고 코딩 과정의 효율성을 높이기 위해, LLM을 보조적 도구로 활용하였다. LLM은 코드 후보를 제안하거나 연구자 해석을 점검하는 데 참고 자료로 활용되었으며(Bryda and Sadowski, 2024), 최종 코딩과 해석은 연구자들이 주도적으로 수행하였다. 이러한 체계적인 접근은 질적 자료 분석의 신뢰

도를 높이는 데 기여한다.

마지막으로 교사들의 수업 시연은 수도권 소재 고등학교 재학생 15명을 대상으로 진행되었으며, 프로그램 종료 후 참여 학생들을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 문항은 총 12문항이며, 그중 첫 2문항은 ‘지리공간정보 교육 체험 캠프’의 전반적인 프로그램 만족도와 추후 참여 의사를 확인하기 위한 것으로 웹 앱 기반 수업 경험에 대한 설문 내용과 직접적으로 관련되지는 않는다. 나머지 10문항은 교수·학습 웹 앱 기반 수업 경험을 평가하는 문항으로, Hsu(2017)의 설문 문항 일부를 수정·보완하여 사용하였다. 각 문항은 5점 척도로 구성되며, 응답 선택지는 1~5점으로 코딩하여 문항별 평균을 산출하였다. 10개 문항의 내적 일관성을 검증한 결과, Cronbach α 계수는 0.80 (표준화 $\alpha = .84$)으로 나타나 신뢰도가 높은 것으로 확인되었다.

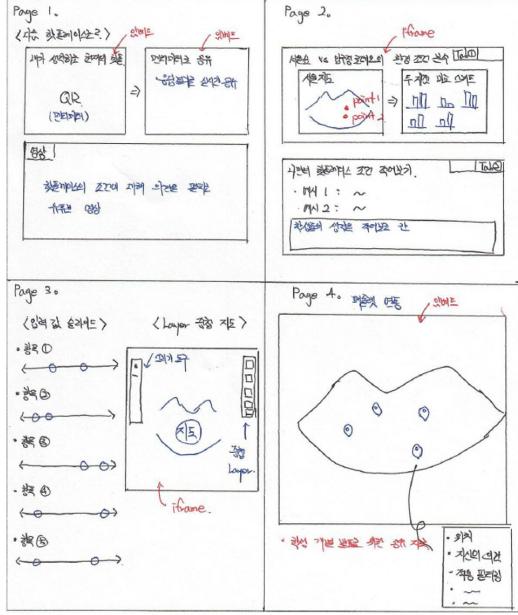
III. AI·디지털 역량 강화 프로그램의 실행 및 평가 결과

1. 인터랙티브 교수·학습 웹 앱의 제작 및 수업 활동

두 개의 디자인 팀은 모두 고등학교 학생들을 대상으로 웹 앱을 구상하였는데, 대시보드의 골격 및 주제는 표 3과 같다. 첫 번째 팀은 「통합사회 1」의 '(3) 자연환경과 인간' 단원에 대해, 두 번째 팀은 「도시의 미래 탐구」(1) 삶의 공간, 도시 단원에 대해 인터랙티브 교수·학습 웹 앱을 디자인하였다.

표 3과 같이 설계된 웹 앱은 대학원생 멘토와의 협력을 통해 각각 그림 2, 그림 3과 같이 구현되었다. 먼저 첫 번째 팀은 '자연환경과 인간 단원'에 대한 웹 앱을 표 3 [모듈 1] 설계안에서 볼 수 있는 바와 같이 총 5개의 페이지로 구상하였다. 첫 번째 페이지에서는 '기상청 날씨누리'와 '기후 정보 포털'을 임베딩(embedding)¹³⁾하여 기후 변화가 우리 삶에 어떤 직·간접적 영향을 미치는지에 대해 생각해볼 수 있게 하였다. 두 번째 페이지에서는 엘니뇨의 개념과 엘니뇨의 국지적 영향에 대해서 다룬다. 평상시와 엘니뇨 시기의 표층 수온 지도와 'Our World in Data'사이트 임베딩하여, 학생들이 능동적으로 웹 앱을 이용할 수 있게 하였다(그림 2, P2). 세 번째 페이지에서는 폐루와 오스트레일리아를 사례로 '엘니뇨의 국지적 영

표 3. 인터랙티브 교수학습 웹 앱 구상

	모듈 1	모듈 2
과목명	통합사회 1	도시의 미래 탐구
단원명	(3) 자연환경과 인간	(1) 삶의 공간, 도시
성취기준	[10통사1-03-03] 환경 문제 해결을 위한 정부, 시민사회, 기업 등의 다양한 노력을 조사하고, 생태시민으로서 실천 방안을 모색한다.	[12도탐01-03] 살기 좋은 도시에 대한 다양한 관점을 비교하고, 살기 좋은 도시의 사례와 특징을 조사한다.
설계안		

향에 대해 학습하도록 디자인하였다. 오스트레일리아 지도 위에는 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)의 변화값에 대한 영상이, 페루 지도 위에는 보정수분지수(Modified Normalized Difference Water Index, MNDWI)의 변화값을 계산한 영상이 중첩되어 나타난다 (그림 2, P3). 다섯 번째 페이지에서는 '기후 정의'를 다루며, 학생들은 '기후 정의 저울' 활동을 수행하게 된다. 해당 저울은 세 가지 사항(탄소 배출량, 기후 취약성, 대응력)에 대하여 좌측에 위치한 슬라이더를 조정함으로써 기후 변화에 대한 책임을 개발도상국과 선진국 중 어느 집단이 더 크게 가져야 하는지 스스로 사고해볼 수 있게 한다(그림 2, P5). 기후 정의 저울 하단에는 AI 기반 챗봇과 학생들의 의견을 공유할 수 있는 워지컬(Whimsical)이

라는 외부 프로그램을 임베딩하였다. 수업에 참여한 학생들은 웹 앱에 임베딩된 AI 기반 챗봇의 도움을 받으면서 모듈 활동을 진행한다.

두 번째 팀은 「도시의 미래 탐구」 '살기 좋은 도시'와 관련하여 인터랙티브 교수·학습 웹 앱을 디자인하였는데, 이는 총 4개의 페이지로 구성된다. 첫 번째 페이지에는 표 3 [모듈 2]에서 볼 수 있는 바와 같이, QR 코드를 통해 멘티미터(Mentimeter)에 접속하여 학생들이 생각하는 '핫플레이스'를 입력하는 활동을 진행한다. 학생들의 응답은 웹 앱에 임베딩된 멘티미터상에서 워드클라우드 형태로 시각화된다. 두 번째 활동은 Page 2에서 이루어지며, 이는 두 개의 탭으로 구성된다. 첫 번째 탭에서는 그림 3의 P2에서 볼 수 있듯이, 두 지점을 선택하여 각 지역의

모듈 1

P2

P3

P5

그림 2. [모듈 1] 인터랙티브 교수·학습 웹 앱의 구현 예시

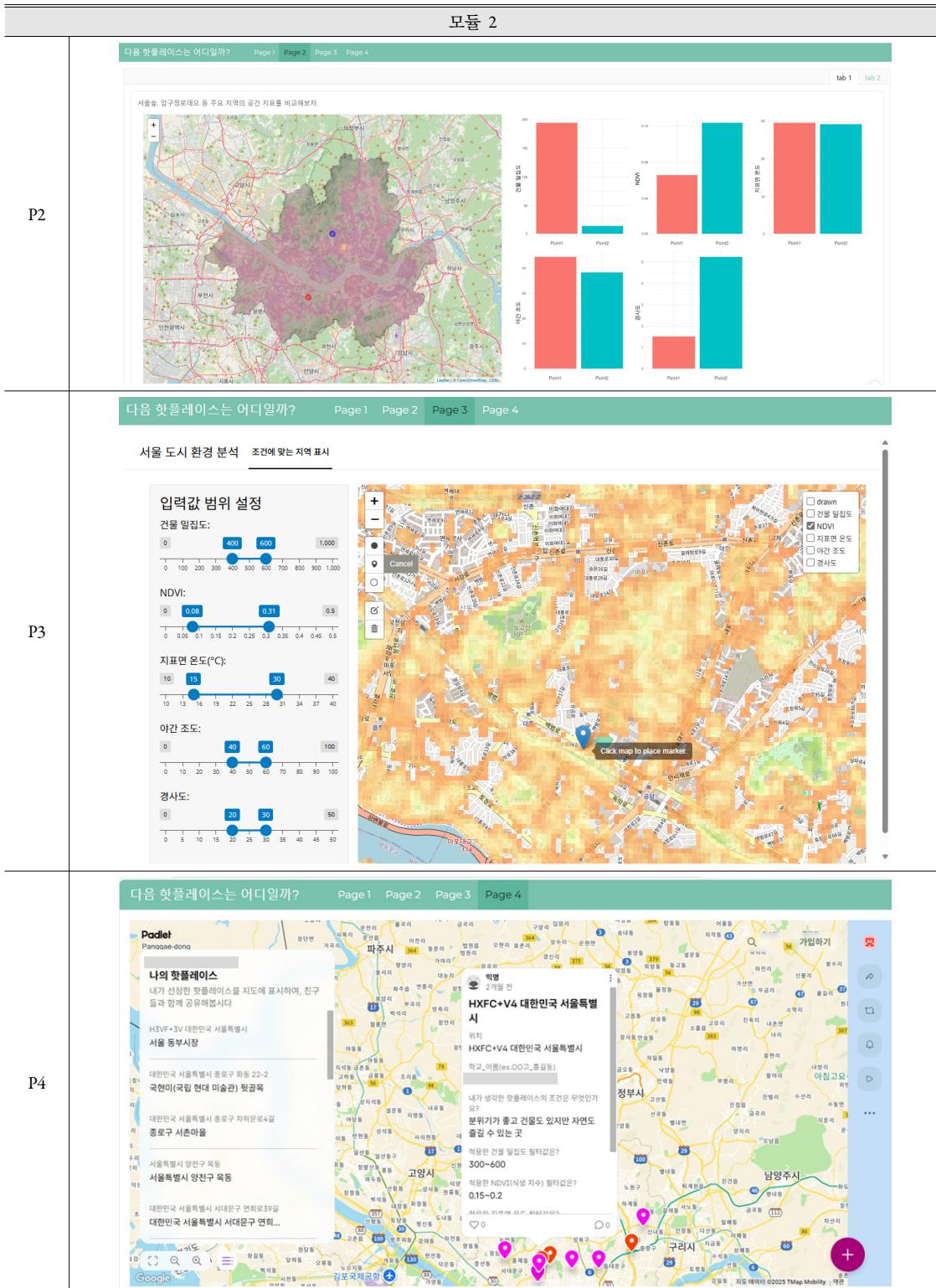


그림 3. [모듈 2] 인터랙티브 교수·학습 웹 앱의 구현 예시

공간 지표를 비교할 수 있다. 탑재된 지표는 총 5개로, 건물 밀집도, NDVI, 지표면 온도, 야간조도, 경사도이다. 가령, 서울숲과 압구정 로데오를 선택하면, 두 지역 중 어느 지역의 건물 밀집도가 더 높은지 혹은 NDVI를 통해 어느 지역의 식생이 더 풍부한지 확인할 수 있다. 두 지점의 비교 결과는 우측에 막대그래프로 제시되며(그림 3, P2), 이를 통해 학생들은 지역마다 건물 밀집도, NDVI, 야간조도, 경사도 등의 특징이 다르게 나타난다는 점을 이해하게 된다. 그리고 Page 3에서는 일종의 중첩분석을 통해 학생들이 스스로 정의한 핫플레이스 조건에 부합하는 지역을 탐색하는 활동을 수행하게 된다. 학생들은 지표별 값을 슬라이더를 통해 조정해 자신이 설정한 조건을 충족하는 후보 지역을 주도적으로 탐색할 수 있다(그림 3, P3). 마지막으로 Page 4에서는 학생들이 선택한 핫플레이스 지점을 패들렛(Padlet) 지도에 표시하고 해당 사항을 발표함으로써 공유의 시간을 가진다(그림 3, P4).

2. 교사 대상 분석 결과

1) 프로그램 만족도 및 TPACK에 대한 자기인식

먼저 선다형 문항에 대한 설문 분석 결과부터 살펴보도록 한다. 각 문항별 평균은 표 4와 같으며, 참여 교사 전원 모두 해당 프로그램에 대해 매우 만족하는 것으로 드러났다(4.8점). 그리고 다음에도 이와 관련된 프로그램 혹은 연수에 참여할지 의사를 묻는 문항에 대해서는 5점으로, 전원 모두 ‘매우 그렇다’의 응답을 선택한 것을 확인

할 수 있었다. 그러나 프로그램 진행 시간 및 일정에 대해서는 대체로 이를 간 프로그램의 일정이 적절하였다라고 답했지만(4점), 일부 교사는 최소 30시간 이상의 장기적인 프로그램으로 구성되었으면 좋겠다는 의견을 밝히기도 하였다. 교사들의 TPACK 인식에 대해 묻는 문항에서는 ‘나는 교과 내용, 교수법, 인터랙티브 교수·학습 웹 앱이 적절하게 결합된 수업을 설계할 수 있다’는 항목이 평균 4점으로 가장 높게 나타났다. 그러나 이를 제외한 대부분의 문항은 3점대에 머물러 전반적으로 높은 수준은 아니었다. 특히, ‘나는 수업에서 지리적 개념의 이해를 돋기 위해 인터랙티브 교수·학습 웹 앱을 개발 및 활용할 수 있다’는 평균 3점으로 가장 낮은 점수를 기록하였다.

설문조사의 결과는 프로그램에 대한 높은 만족도와 함께, TPACK 구성 요소를 통합하여 수업을 구상하고 설계하는 단계에서 교사들이 비교적 강한 자기효능감을 가진다는 점을 보여주고 있다. 이는 기존의 교수·학습 도구를 ‘선택·활용’하는 방식에서 벗어나, 수업 목표에 부합하는 기능을 ‘직접 설계’하는 방향으로 교사 정체성이 확장되고 있음을 의미한다. 그러나 웹 앱을 실제로 개발·구현하는 단계에서 자기효능감이 급격히 낮아진 것은, 디지털 문해력의 부족 때문만이 아니라 교육적 설계 역량과 기술 구현 역량 사이의 간극을 스스로 해소하기 어렵기 때문으로 해석될 수 있다. 즉, 교사들은 “무엇을 가르치고 어떻게 설계해야 하는가”를 알고 있었지만, 이를 기술적으로 실현하는 과정에서 한계를 경험한 것이다. 이는 채민수

표 4. 교사들의 프로그램 만족도 및 TPACK에 대한 자기인식

구분	내용	평균
프로그램 만족도	본 프로그램에 대해 얼마나 만족하셨나요?	4.83
	프로그램 진행 시간 및 일정은 적절했나요?	4.00
	다음에도 지리공간정보 관련 연수 혹은 프로그램에 자발적으로 참여할 의사가 있으신가요?	5.00
교사들의 TPACK*	나는 인터랙티브 교수학습 웹 앱을 개발 및 활용해 지리 수업에서 성취 목표를 달성을 할 수 있다.	3.83
	나는 수업에서 지리적 개념의 이해를 돋기 위해 인터랙티브 교수학습 웹 앱을 개발 및 활용할 수 있다.	3.00
	나는 인터랙티브 교수학습 웹 앱을 개발 및 활용하여 학생들의 정의적 영역 변화를 유도할 수 있다(동기 유발 등)	3.83
	나는 동료에게 지리 수업을 위한 인터랙티브 교수학습 웹 앱의 활용과 관련된 교수법을 조언할 수 있다.	3.33
	나는 교과 내용, 교수법, 인터랙티브 교수학습 웹 앱이 적절하게 결합된 수업을 설계할 수 있다.	4.00
	나는 인터랙티브 교수학습 웹 앱을 제작 및 활용하여 학생들의 자기주도적 학습이 가능한 활동을 만들 수 있다.	3.50

* Schmidt et al.(2009)의 설문 문항 일부를 수정보완(p.135)

(2024b)의 연구 결과도 맥을 같이 하는데, 해당 연구에서도 지리교사들은 지리적 내용과 교수 방법을 반영한 IT 수업 개발에 어려움을 겪는 것으로 보고되었다.

2) 웹 앱 설계 및 실행 경험에 대한 성찰

교수·학습 웹 앱 설계 및 실행 경험과 관련된 질적 분석(개방 코딩 및 범주 통합)의 결과 TPACK에 대한 자기 인식 및 성장, 개발의 어려움 및 조력자 역할의 중요성, 수업 적용 경험 및 평가, 현장 적용을 위한 제언과 같은 네 가지 주제가 도출되었다. 분석 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, TPACK에 대한 자기 인식 및 성장과 관련해서 교사들은 웹 앱 설계 과정에서 교수내용지식, 교수전략, 디지털 테크놀로지의 결합을 실천적으로 경험하며 통합적 TPACK이 향상되었다고 인식하였다. 특히 코딩, 인터랙티브 매핑, 대시보드 구축 등 구체적 개발 활동은 기술 자체를 배우는 것을 넘어, 수업 목표에 적합한 기능을 선택하고 구성하는 교육적 판단 능력을 요구했다는 점에서 의미 있는 경험으로 평가되었다. 교사들은 기존에 기술 도구를 단지 ‘활용’하는 수준에서 벗어나, 수업 목적에 맞게 도구를 재구성하거나 직접 구현할 수 있는 가능성을 발견했다고 응답하였다. 또한 데이터 수집·처리·시각화 과정에 대한 이해는 “자료를 가져다 쓰는 것”에서 “스스로 구축하여 활용하는 데이터 기반 수업”으로의 확장 가능성을 인식하게 했다. 이러한 경험은 단순한 기술 습득을 넘어, 교육적 설계를 중심으로 기술을 다루는 실천적 TPACK 형성의 사례라 할 수 있으며, TPACK-DBL의 8가지 원리 중에서는 ‘디자인 경험에 대한 성찰’에 가깝다.

“저는 기술에 거의 끌려다니는 편이었는데, 이번 활동을 통해 수업을 하고 싶은 방향으로 주도적으로 이끌 수 있다는 점이 너무 좋아서... (중략) (이번 활동의) 가장 큰 매력은 제가 원하는 대로 교수학습자료를 만들 수 있다는 점인 것 같아요”

둘째, 개발의 어려움 및 조력자 역할의 중요성에 대해서는 교사들은 R 문법 이해, Shiny 및 Leaflet 구조 파악, 오류 해결 등 기술적 난점을 반복적으로 언급하였다. 이는 교사의 기술 역량 부족만으로 설명되기보다는, 교육적

설계와 기술적 구현 사이의 간극이 구조적으로 존재한다는 것을 보여준다. 이러한 어려움을 해소하는 과정에서 대학원생 조교의 역할이 핵심적이었다. 조교들은 단순한 기술 지원자가 아니라, 교사의 교육적 의도를 기술적으로 실현 가능하게 변환해주는 촉진자로 작동하였다. 특히 지리교육 전공자로서 교육 내용과 학습자를 고려한 문제 해결 전략을 제시함으로써, 교사들의 설계 주도성을 약화 시키지 않으면서 기술 구현을 지원하였다. 따라서 이 협력은 기술 전문성과 교육 전문성이 상보적으로 결합되는 TPACK-DBL 실행 구조의 조건으로 해석될 수 있다.

“만약에 조교님들이 안 계셨다면 인터랙티브한 지도를 혼자서 만들 수 있었을까? 그리고 이런 엔지니어 역할을 해주는 분들이 있으시더라도, 그분들이 지리전공지식을 갖춘 사람이 아니었다면 가능했을까?라는 생각이 들었습니다.”

셋째, 수업 적용 경험 및 평가와 관련하여 교사들은 해당 수업이 학생 참여와 집중을 높이고, 지리 탐구 활동을 활성화한다는 점을 확인하였다. 학생들은 지도 탐색·자료 분석·시각화·발표를 하나의 플랫폼 안에서 수행할 수 있어 학습 흐름이 끊기지 않는다고 평가했으며, 이는 단순 기능적 편의가 아니라 탐구 과정 전체를 구조화해주는 교수·학습 환경의 재구성 효과로 볼 수 있다. 외부 프로그램을 임베딩하여 콘텐츠를 통합하는 기능은, 학생들이 다양한 도구를 오가는 데 소모되는 인지적 부담을 줄이고, 학습 목표에 집중할 수 있는 환경을 제공하였다. 즉, 교사들은 웹 앱을 단순히 ‘흥미 유발 도구’가 아니라, 탐구-표현-상호작용을 촉진하는 학습 구조의 변화 요소로 인식하게 되었다.

“애들이 어디 사이트에 들어가지 않더라도 바로 거기서 움직여서 볼 수 있고, QR 코드로 보여주지 않더라도, 클릭해서 들어가서 상호작용을 할 수 있고... (중략) 제가 뭔가를 하라고 할 때, 클릭하고 그런 작은 행동들, 작은 인터랙티브이지만, 그런 하나하나 해보는 것들이 수업의 몰입감을 높여 주는 데 도움이 되었다고 생각을 합니다.”

넷째, 현장 적용을 위한 제언과 관련해서는 교사들은 현장 적용 가능성을 높이기 위해 장기적 연수, 재구성 가능한 모듈 제공, 프로젝트형 수업 활용, 대학-학교 협력

체계 마련 등의 과제를 제안하였다. 이러한 의견은 단순한 개선 요구가 아니라, TPACK-DBL 실행에 필요한 제도적 조건에 대한 성찰로 이해될 수 있다. 특히 교사가 기술 구현을 단독으로 감당하지 않고도 교육적 설계를 주도할 수 있도록, 대학은 기술·데이터·플랫폼 조력자 역할을, 학교는 교육적 설계 및 적용 주체 역할을 담당하는 분업적 협력 구조가 필요함을 강조하였다. 이와 같은 제안은 AI·디지털 시대의 교사 전문성 강화가 기술 교육만으로 이뤄질 수 없으며, 교육 설계 역량과 기술적 지원 체계가 공존하는 생태계 구축을 요구함을 시사한다.

3. 학생 대상 분석 결과

교사들의 수업 시연 후에는 앞서 밝힌 바와 같이, 참여 학생들을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 참여 학생들은 1학년부터 3학년까지 다양하였으나, 2학년이 13명으로 가장 많았고, 여학생이 10명으로 상당수를 차지하였다. 프로그램에 대한 전반적인 만족도는 평균 4.7점으로 매우 높게 나타났다. 그리고 다음에도 이런 유사한 ‘지리 공간정보 교육 체험 캠프’에 참가할 의사가 있느냐는 질문에도 대부분 긍정적으로 응답하였다(표 5). 교수·학습 웹 앱 기반 수업에 대한 만족도 역시 높게 나타났다. 특히, ‘인터랙티브 교수·학습 웹 앱을 활용한 학습 활동은 지리

학습에 대한 흥미를 높여주었다’는 항목이 4.7점으로 가장 높은 점수를 기록하였다. 학생들은 서술형 응답을 통해 “지도를 활용한 실습 활동이 매우 인상 깊었고, 신기한 경험”이라며, “수업 내용이 너무 흥미롭고 재미있었다”는 의견을 제시하였다. 특히, 교수·학습 웹 앱에 활용된 인터랙티브 지도 등을 다뤄보면서 “GIS에 대하여 막연히 이름만 대충 알고 있었는데, 이번 실습을 통해 흥미를 갖게 되었다”고 밝히기도 하였다.

교사가 직접 제작한 교수·학습 웹 앱은 학생들이 대시 보드에 접속하여 페이지를 따라가며 다양한 학습 활동을 수행할 수 있도록 구성되었는데, 학생들은 이러한 학습 환경에 전반적으로 긍정적인 반응을 보였다. 그리고 두 팀 모두 일방적인 지식 전달을 지양하고, 다양한 관점을 바탕으로 특정 현상을 탐구할 수 있도록 설계하였는데, 웹 앱이 가지고 있는 상호작용 기능을 통해 학생들이 주도적으로 탐구활동을 수행하는 과정에서 학습 동기와 흥미가 유발되는 효과가 있었음을 보여주는 반응이 많았다. 인터랙티브 교수·학습 웹 앱의 가장 큰 장점은 학습자와 콘텐츠 간, 학습자와 학습자 간, 학습자와 교수자 간 상호 작용을 활발히 할 수 있다는 점인데, 실제로 학생들은 ‘이 플랫폼을 통해 친구들이나 교사와 상호작용할 수 있어 좋았다’라는 문항에 대하여 긍정적으로 평가하였다.

표 5. 인터랙티브 교수·학습 웹 앱에 대한 학습자 만족도

구분	내용	평균	표준편차
프로그램 만족도	본 프로그램에 대해 얼마나 만족하셨나요?	4.7	0.48
	다음에도 지리공간정보 교육 체험 캠프에 자발적으로 참여할 의사가 있으신가요?	4.5	0.51
교수학습 웹 앱을 활용한 수업 만족도**	인터랙티브 교수학습 웹 앱 기반 수업을 통해 사회(지리)과목에 더 큰 만족감을 느꼈다.	4.4	0.91
	인터랙티브 교수학습 웹 앱을 활용한 학습 활동은 지리 학습에 대한 흥미를 높여주었다.	4.7	0.59
	인터랙티브 교수학습 웹 앱은 사용하기에 편리하였다.	4.5	0.64
	나는 인터랙티브 교수학습 웹 앱을 활용한 수업을 좋아한다.	4.4	0.63
	나는 전통적인 수업방식을 더 선호한다.*	3.4	0.74
	나는 인터랙티브 교수학습 웹 앱과 같은 도구를 사용하는 학습 방식은 나에게 다소 불편하게 느껴진다.*	4.3	0.59
	인터랙티브 교수학습 웹 앱 기반 플랫폼을 통해 친구들이나 교사와 상호작용할 수 있어 좋았다.	4.5	0.52
	더 많은 수업에서 인터랙티브 교수학습 웹 앱과 같은 학습 자료를 활용하면 좋겠다.	4.3	0.62
	나는 전통적인 수업보다 인터랙티브 교수학습 웹 앱 기반 수업을 더 선호한다.	3.5	1.06
	전반적으로 인터랙티브 교수학습 웹 앱을 활용한 학습 활동에 만족한다.	4.5	0.52

* 해당 문항은 역코딩하였음. 점수가 높을수록 긍정적으로 해석

** Hsu(2017)의 설문 문항 일부를 수정보완(p.21)

그리고 수업은 모두 두 명 이상의 교사가 함께 수업을 실행하는 코티칭으로 이루어졌는데, 학생들은 그 점을 긍정적으로 평가한 것으로 보인다. 코티칭으로 진행하는 수업은 다양한 측면에서 학생들이 긍정적으로 인식한다고 알려져 있는데(Wagner *et al.*, 2024), 본 연구에서도 그러한 측면이 잘 드러났다.

여러 연구에서 교사의 열정이 학생의 흥미, 심리적 활동 등 내적 동기에 긍정적 영향을 미친다는 점이 보고된 바 있는데(조홍식, 2013; Patrick *et al.*, 2000), 본 연구에서도 그러한 선행연구의 결과와 일치하는 양상이 관찰되었다. 교사가 직접 개발한 교수·학습 웹 앱을 활용한 수업이 학생들에게는 신선하고 의미있는 경험으로 인식됨과 동시에 교사의 열정과 헌신이 학습자에게도 고스란히 전달되어 긍정적인 영향을 미친 것으로 판단된다. 그리고 학생들은 교수·학습 웹 앱의 사용 편의성에 대해서도 긍정적으로 평가하였다. ‘인터랙티브 교수·학습 웹 앱은 사용하기에 편리하였다’라는 문항은 평균 4.5점을 기록하여 대체로 높은 만족도를 보였다. 이러한 교수학습 환경은 학습자의 자발적 참여를 촉진하는 데에도 효과적이었으며 학습 몰입과 참여도 향상에 기여했음을 확인할 수 있었다.

이처럼 전반적으로 학생들은 교수·학습 웹 앱을 활용한 수업에 긍정적인 반응을 보였으나, 전통적 수업 방식과 비교했을 때에는 개인별로 선호도 차이가 약간 존재하는 것으로 보인다(5번, 9번 평균 참조). 특히, ‘나는 전통적인 수업보다 인터랙티브 교수·학습 웹 앱 기반 수업을 더 선호한다’라는 문항에서 표준편차가 가장 크게 나타나, 응답자 간 견해 차이가 존재함을 확인할 수 있다. 향후 연구를 통해 이러한 개인차에 대한 요인을 보다 면밀히 분석할 필요가 있을 것이다. 또한 학생들이 프로그램의 일부인 지리공간정보 체험 캠프의 참가자라는 측면에서 연구 결과를 일반 학생을 대상으로 한 것으로 일반화하는 데는 제약이 따른다고 볼 수 있다.

IV. 결론

본 연구는 AI·디지털 전환 시대에 요구되는 교사의 전문성 함양을 위해 TPACK-DBL 프레임워크에 기반한 지리 교사의 AI·디지털 역량 강화 프로그램을 개발하고

그 효과를 탐색하는 데 목적을 두었다. 이를 위해 TPACK-DBL 프레임워크를 지리교육 맥락에 맞게 정련화하고, 이를 토대로 고등학교 지리 교사를 대상으로 한 연수 프로그램을 설계·운영하였다. 교사들은 프로그램 과정에서 교수내용지식, 교수전략, 디지털 테크놀로지의 통합을 실천적으로 경험하며, 최종적으로 인터랙티브 지리공간 교수·학습 웹 앱을 직접 디자인·구현하였다. 이후 개발된 웹 앱은 고등학생 대상 수업 시연을 통해 적용·검증되었으며, 이를 통해 교사의 실천적 TPACK 형성, 디자인 기반 학습을 통한 AI·디지털 역량 강화, 그리고 지리교육 현장에서의 활용 가능성을 확인하였다.

본 연구는 교사의 AI·디지털 역량 강화를 위한 실천적 접근으로서 TPACK-DBL 프레임워크의 이론적 토대와 적용 가능성을 탐색하였다. TPACK은 교수·내용·테크놀로지 지식의 단순한 결합이 아니라, 이를 요소가 상호 작용하며 형성되는 통합적 실천지식으로 이해될 수 있다. 이에 따라 교사 교육은 개별 지식 요소의 습득보다 실제적 맥락 속에서 이를 통합·재구성하는 경험을 중심으로 구성되어야 한다. 이러한 관점에서 TPACK-DBL 프레임워크는 ‘디자인을 통한 학습’이라는 접근을 구체화하며, 브레인스토밍에서 협력과 성찰에 이르는 여덟 가지 원리를 통해 교사가 디지털 테크놀로지를 교수 내용과 교수 전략에 통합하는 과정을 체계적으로 지원한다.

본 연구에서 개발·운영된 프로그램은 이러한 원리를 지리교육 맥락에 맞게 구현한 전문성 개발 모델로, 교사를 단순한 테크놀로지 수용자가 아닌 주도적 실천자로 자리매김하였다. 교사들은 R, Quarto, Shiny를 활용하여 인터랙티브 지리공간 교수·학습 웹 앱을 직접 개발하였으며, 브레인스토밍, 협력적 디자인, 실제 맥락 적용, 성찰 등 TPACK-DBL의 주요 원리를 단계적으로 경험하였다. 또한 대학원생과의 협력 구조를 통해 테크놀로지 전문성과 교육 실천 지식을 상호 보완함으로써, 짧은 기간 내에도 실천적 TPACK 역량이 향상될 수 있음을 보여주었다. 프로그램의 마지막 단계에서는 고등학생 대상 수업 시연을 통해 개발된 웹 앱의 효과를 검증하였으며, 이를 통해 테크놀로지 통합 교육 설계의 전 과정을 경험하게 하였다. 이러한 과정은 교사의 AI·디지털 역량을 실질적으로 강화하고, 대학·학교 협력 기반의 지속 가능한 교사 전문성 개발 모형으로 발전할 가능성을 제시하였다.

참여 교사들에 대한 설문 및 질적 분석 결과는 TPACK-DBL의 원리가 현장 상황에서 실질적으로 작동할 수 있음을 시사하며, 이러한 특징은 교사들의 프로그램 참여 경험 전반에서 확인되었다. 교사들은 프로그램에 전반적으로 높은 만족도를 보였으며, 특히 수업 설계 단계에서는 내용·교수법·디지털 도구를 결합하여 웹 앱을 구상하는 데 주도적으로 참여하며 자신의 전문성이 확장되었다고 인식하였다. 기존처럼 주어진 도구를 ‘선택·활용’하는 수준을 넘어, 수업 목표에 적합한 기능을 직접 ‘설계·구현’하려는 시도가 이루어졌다는 점에서 실천적 TPACK 형성에 궁정적 변화가 나타났다. 그러나 실제 구현 단계에서는 프로그래밍과 관련된 부담이 큰 도전으로 작용하였고, 이러한 어려움은 교사 스스로 해결하기에는 한계가 있었다. 이러한 한계는 지리교육 전공 대학원생 조교의 지원을 통해 상당 부분 해소되었으며, 조교들은 기술적인 도움뿐 아니라 교육적 맥락을 고려한 문제 해결을 제시함으로써 프로그램의 성공적 운영에 핵심적인 역할을 수행하였다. 이러한 경험을 바탕으로 교사들은 향후 장기 연수 체계, 재구성 가능한 교수·학습 모듈 제공, 프로젝트형 수업 확대, 그리고 대학과의 지속적 협력 체계 구축이 필요하다고 제안하였다.

학생 대상 분석 결과는 인터랙티브 교수·학습 웹 앱이 지리 학습을 보다 탐구 중심으로 전환하는 데 기여할 수 있음을 보여준다. 웹 앱을 활용한 지도 탐색과 원격탐사 데이터 분석은 학생들에게 새로운 학습 경험으로 받아들여졌으며, 이를 통해 기존에 생소하던 GIS 개념에서도 흥미와 의미를 발견하게 되었다. 외부 자료를 한 환경에서 탐색·시각화·발표까지 수행할 수 있는 통합형 플랫폼은 학습 편의성과 몰입을 높였고, 학습자-콘텐츠-교사 간 상호작용을 강화함으로써 학생들이 스스로 탐구하는 학습 구조를 가능하게 했다. 또한 코티칭 방식은 교사의 전문성과 열정이 직접적으로 전달되는 교육적 장치로 작용하여 학생의 동기 형성과 주도성을 촉진하였다. 일부 학생에게 전통적 수업 방식의 선호가 남아 있었으나, 전반적으로 디지털 기반 탐구 활동이 학습 경험의 질을 향상시키는 방향으로 기능했다는 점은, 교육 현장에서 웹 앱 활용이 단순한 도구 사용을 넘어 학습 구조 자체를 변화시키는 가능성은 합의한다고 볼 수 있다.

이상의 결과를 토대로 본 연구는 다음의 시사점을 제

안하고자 한다. 첫째, AI·디지털 기반 교사 연수는 개별 도구 습득이 아니라 TPACK-DBL 프레임워크에 기반한 구체적인 디지털 산출물의 설계 및 구현을 중심으로 운영될 필요가 있다. 둘째, 대학-학교 협력 체계의 제도화는 교사의 실천적 기술 역량을 강화하는 핵심 전략일 수 있다. 즉, 교사는 ‘교육적 설계자’, 대학은 ‘기술적 전문 조력자’라는 분업·상보적 협력은 향후 교사 연수 체계의 중요한 모형으로서 고려될 필요가 있다. 그러나 협력의 상대적 비중 관계는 고정된 것이 아니라 여전에 따라 유연하게 설정될 수 있다고 본다. 본 연구의 경우 교사의 프로그래밍 훈련 기간이 짧아 대학의 개입 비중이 상대적으로 높을 수밖에 없었다. 그러나 직무 연수와 같은 형태로 교사의 훈련 기간이 충분히 확보될 수 있다면 교사의 상대적 주도성이 향상되고, 그에 따라 분업·상보적 협력의 본질과 함의가 상당히 달라질 수 있을 것이다. 셋째, 교사가 변형·재구성할 수 있는 교수·학습 웹 앱 모듈 개발 및 공유 체계가 구축될 필요가 있다. 이러한 방향은 지리 교육뿐 아니라 AI·디지털 시대의 전 교과 교사 전문성 개발 모형으로 확장될 수 있으며, 지속 가능한 교사 역량 강화 체계를 마련하는 중요한 발판이 될 것이다.

사사

연구 프로그램이 잘 진행될 수 있도록 도와준 대학원생 김세창, 전혜민, 김우형에게 감사의 뜻을 전합니다. 아울러 프로그램에 참여해 주신 선생님들께도 깊이 감사드립니다.

주

- 1) 벤 다이어그램의 원형은 2007년에 최초로 제시된 것으로 보이며(Kochler *et al.*, 2007), 현재 TPACK 공식 홈페이지 (<https://tpack.org/>)에 게시되어 있는 형태로 처음 제시된 것은 2009년(Kochler and Mishra, 2009)이다. 원형과 표준형의 가장 큰 차이는 벤 다이어그램의 외곽에 점선으로 ‘맥락’이 표시되어 있다는 점이다. 최근(Mishra, 2019)에는 아예 맥락을 또 다른 지식 요소인 ‘맥락지식(ConteXtual Knowledge, XK)’으로 규정하여 벤 다이어그램을 개선하기도 했다.
- 2) 이러한 관점을 TPACK 프레임워크에 대한 ‘통합적 관점’이라고 부른다(Lee and Kim, 2017). 이 외에 두 가지 관점이 더 존재한다고 하는데, ‘독자적 관점’은 TPACK의 개별 영역을

- 분리하여 다루고, 그에 따른 교수 및 훈련 전략을 논의하는 것으로 TPACK에 대한 정형화된 이해와 일맥 상통한다. ‘변 혁적 관점’은 TPACK은 교수, 내용, 테크놀로지 외에 학습자 와 맥락이 상호작용하여 구성되는 독자적이고 통합된 지식 체계라고 주장한다(Angeli and Valanides, 2009, 2013). 사실상 교육의 현장 맥락성을 강조한 통합적 관점은 변혁적 관점과 매우 유사해진다.
- 3) 어포던스(affordance)는 교육적 맥락에서 보면 디지털 도구나 수업 자료가 제공하는 ‘사용자 행동의 가능성’을 의미하는데, 여기서는 ‘잠재적 사용 가능성’ 정도의 보다 넓은 의미로 사용하고자 한다.
 - 4) 테크놀로지가 주도하는 TPACK 형성 전략을 묘사하기 위해 ‘테크놀로지 매핑’이라는 개념이 제안된 바 있다(Angeli and Valanides, 2009, 2013). 테크놀로지 매핑은 “테크놀로지의 어포던스를 교과 내용과 교수법에 대응시키는 접근법”을 의미하는 것으로, 교사가 현장 경험과 교수내용지식을 바탕으로 테크놀로지 활용 수업을 구체화할 수 있도록 돋는 디자인 도구이자 성찰적 사고의 틀로서 제시되었다.
 - 5) 우리나라에서 TPACK-DBL 프레임워크의 적용 사례는 극히 제한적이며, 지금까지는 프로그래밍과 TPACK을 결합한 TPACK-P 모형을 구성하기 위한 기본 틀로 활용된 것이 전부이다(김성원 외, 2017; 김성원·이영준, 2017; Kim and Lee, 2017). 그러나 이러한 연구가 TPACK-DBL의 핵심 원리를 충분히 반영하고 있는지에는 의문이 있다. 특히 블록 기반 프로그래밍 활동 자체를 ‘디자인’의 핵심 요소로 간주하는 경향이 강하며, 정작 수업 결과물로서의 실질적인 산출물을 설계하는 관점은 상대적으로 미흡한 것으로 보인다.
 - 6) 본 연구에서 사용한 ‘AI·디지털’이라는 명칭은 교수·학습 웹 앱에 포함된 AI 기술의 양적 비중을 지칭하는 것이 아니라, 교사가 AI 기반 도구를 교육적 맥락에서 재구성하고 디지털 교수·학습 디자인에 통합하는 능력을 의미한다. 이 프로그램에서 LLM 기반 챗봇은 웹 앱의 내용 요소로 활용한 것은, AI 기술을 단순한 도구로 사용하는 수준을 넘어 교육적 설계 대상으로 다른 사례로서, 교사의 AI·디지털 역량이 지향해야 할 핵심 개념을 반영한다. 따라서 본 프로그램은 AI 요소의 양적 포함 여부와 관계없이, AI를 수업 설계와 학습 자료 제작에 적용하는 실천적 역량을 강화하는 데 초점을 둔 교육프로그램으로 이해할 수 있다.
 - 7) 프로그램에 대한 자세한 내용은 다음의 웹사이트에서 확인 할 수 있다. https://sangilhee.snu.ac.kr/2025_Geospatial_Edu/
 - 8) Quarto(<https://quarto.org/>)는 “과학적, 기술적 출판을 위한 오픈소스 시스템” 정도로 정의될 수 있는데, 다양한 형식의 저작물(노트, 연구 논문, 프레젠테이션, 대시보드, 웹사이트, 블로그, 서적 등)을 다양한 디지털 포맷(HTML, PDF, MD Word, ePUB 등)으로 출판할 수 있게 해준다(Wickham et al., 2023). 이 도구는 대시보드 제작 및 웹 앱 생성을 위해 필수

- 적인 역할을 담당한다. R(<https://cran.r-project.org/>)은 웹 앱을 구성하는 인터랙티브 콘텐츠를 제작하기 위한 오픈소스 프로그래밍 언어이다. 콘텐츠 생산을 위한 데이터사이언스 프로세스를 실행하며 인터랙티브 지리공간 시각화 및 탐색 기능을 구현한다. Shiny(<https://shiny.posit.co/>)는 인터랙티브 웹 앱 제작 도구이다. 웹 앱 제작을 위한 세 가지 언어(HTML, CSS, JavaScript)에 대한 지식 없이도 서버·기반 웹 앱을 오픈소스 프로그래밍 언어 환경 속에서 제작할 수 있게 해준다(Wickham, 2021). 모든 과정은 R의 IDE(integrated development environment)인 RStudio에서 Quarto와 Shiny를 구동하여 진행되었다.
- 9) 마크다운 도구(Quarto)와 프로그래밍 언어(R) 및 웹 앱 제작 도구(Shiny)를 이용해 디지털 콘텐츠를 교수·학습의 목적으로 제작한 예는 주로 수학 및 과학 교과에서 발견되며 (이준행 외, 2019; Grayson et al., 2022; Hanč et al., 2020; Lombardo, 2024), 사회과 교육에 적용한 예는 극히 드물다.
 - 10) 대시보드형 교수·학습용 웹 앱 개발 사례는 대학 교육에 집중된 경향이 있지만, 고등학교 수준에서도 유용한 학습 도구의 대안이 될 수 있음이 보고되고 있다(Chittora and Baynes, 2020).
 - 11) 데이터 대시보드의 디자인을 위해서는 세 가지 요소, 즉 레이아웃 요소, 내용 요소, 작동 요소를 동시에 고려해야 한다. 레이아웃 요소는 대시보드의 골격을 구성하는 것과 관련되어 있다. 행과 열의 설정을 통해 기본적인 카드(card) 구획을 하고, 여기에 페이지, 내비게이션바, 사이드바, 툴바, 템플릿 같은 구조 요소를 첨가하여 전체적인 대시보드의 외관을 완성한다. 내용 요소는 구획된 페이지를 무엇으로 채울 것인가와 관련되는 것으로 텍스트, 표, 그래프, 지도, 동영상, 벨류 박스, LLM 기반 챗봇 등 다양한 것이 포함될 수 있다. 마지막으로 작동 요소는 대시보드의 상호작용성의 형식과 정도를 결정하는 것으로 정적·동적 차원과 반응성 정도 차원에 의해 규정된다.
 - 12) 기존의 연구들이 보여주는 예시로는 보통 한 학기 수업 혹은 30시간 이상의 연수 프로그램으로 진행된다.
 - 13) ‘임베딩(embedding)’이란, 웹 앱 또는 웹페이지 내에 다른 웹 사이트나 외부 플랫폼의 콘텐츠(예: 지도, 그래프, 영상, 데이터 시각화 등)를 직접 불러와 삽입하는 기술적 방식을 의미한다. 보통 HTML의 <iframe> 태그나 API 호출 등을 통해 구현되며, 외부 자원과의 상호작용을 가능하게 한다.

참고문헌

- 김민성, 2021, “4차 산업혁명 시대 인공지능의 교육적 활용과 지리교육의 과제”, 한국지리학회지, 10(3), 329-345.
 김민성·이상일, 2022, “인공지능의 교육적 활용과 지리 교수 학습 전략”, 정대홍 등, 『인공지능 시대, 교사가 만드

- 는 미래학교, 교육과학사, 파주, 105-127.
- 김성원·박혜란·이영준, 2017, “예비 교사의 테크놀로지 교수 내용 지식 향상을 위한 교육 프로그램 개발”, 한국 컴퓨터교육학회 학술발표대회논문집, 21, 123-126.
- 김성원·이영준, 2017, “교사의 테크놀로지 교수 내용 지식 향상을 위한 TPACK-P 교육 프로그램 적용”, 한국컴퓨터교육학회 학술발표대회논문집, 21, 217-220.
- 김주현, 2015, “한국 고령자의 연령차별 경험과 노년기 인식 질적 연구”, 한국인구학, 38(1), 69-104.
- 박기철·강성주, 2014, “초중등교사의 테크놀로지 교수내용 지식(TPACK)에 대한 인지경로 모형 개발”, 교원교육, 30(4), 349-375.
- 이상일·고보경·고준보·김세창·김우형·임철일, 2025, “사회과 예비 교원의 디지털 역량 향상을 위한 프로그램 기반 교육프로그램 개발”, 교육공학연구, 41(1), 79-109.
- 이종원, 2024, “AI는 지리 교수학습을 어떻게 바꿔놓을 것인가? – 지리탐구를 중심으로 –”, 한국지리환경교육학회지, 32(1), 95-112.
- 이준행·지형래·채승철, 2019, “프로그래밍 기반 물리 학습을 위한 교수자료 개발의 사례연구 예비교사가 개발한 교수자료의 평가 및 개발 경험에 대한 인식 분석을 중심으로”, 새물리, 69(5), 532-546
- 조홍식, 2013, “체육교사의 교수열정과 학생들의 교과 흥미도 및 학습몰입간의 구조적 관계”, 한국스포츠교육학회지, 20(2), 115-134.
- 채민수, 2024a, “지리교사의 TPACK 평가 척도 개발”, 한국지리환경교육학회지, 32(3), 119-136.
- 채민수, 2024b, “지리교사의 테크놀로지 교수내용지식(TPACK) 역량에 대한 인식 분석”, 국토지리학회지, 58(3), 263-278.
- Schwab, K 저, 송경진 역, 2016,『클라우스 슈밥의 제4차 산업 혁명』, 메가스터디북스, 서울(Schwab, K, 2016, *The Fourth Industrial Revolution*, World Economic Forum).
- Agyei, D. D. and Voogt, J., 2012, Developing technological pedagogical content knowledge in pre-service mathematics teachers through collaborative design, *Australasian Journal of Educational Technology*, 28(4), Article 4.
- Alemdag, E., Cevikbas, S. G., and Baran, E., 2020, The design, implementation and evaluation of a professional development programme to support teachers' technology integration in a public education centre, *Studies in Continuing Education*, 42(2), 213-239.
- Angeli, C. and Valanides, N., 2009, Epistemological and methodological issues for the conceptualization, development, and assessment of ICT-TPCK: Advances in technological pedagogical content knowledge (TPCK), *Computers and Education*, 52(1), 154-168.
- Angeli, C. and Valanides, N., 2013, Technology mapping: An approach for developing technological pedagogical content knowledge, *Journal of Educational Computing Research*, 48(2), 199-221
- Baran, E. and AlZoubi, D., 2024, Design thinking in teacher education: Morphing preservice teachers' mindsets and conceptualizations, *Journal of Research on Technology in Education*, 56(5), 496-514.
- Baran, E. and Uygun, E., 2016, Putting technological, pedagogical, and content knowledge (TPACK) in action: An integrated TPACK-design-based learning (DBL) approach, *Australasian Journal of Educational Technology*, 32(2), 47-63.
- Bryda, G. and Sadowski, D., 2024, From words to themes: AI-powered qualitative data coding and analysis, In Ribeiro, J., et al. (eds.), *Computer Supported Qualitative Research*, Springer Nature Switzerland, Cham, 309-345.
- Chittora, S. and Baynes, A., 2020, Interactive visualizations to introduce data science for high school students, *Proceedings of the 21st Annual Conference on Information Technology Education*, 236-241.
- Cui, Y. and Zhang, H., 2022, Integrating teacher data literacy with TPACK: A self-report study based on a novel framework for teachers' professional development, *Frontiers in Psychology*, 13, 966575.
- Eren, E. and Ergulec, F., 2020, Technological pedagogical content knowledge based instructional design model: An evaluation in the scope of school-university cooperation, *Journal of Kirsehir Education Faculty*, 21(3), 1247-1290.
- Gómez Puente, S. M., van Eijck, M., and Jochems, W., 2011, Towards characterising design-based learning in engineering education: A review of the literature, *European Journal of Engineering Education*, 36(2), 137-149.
- Gómez Puente, S. M., van Eijck, M., and Jochems, W., 2013,

- A sampled literature review of design-based learning approaches: A search for key characteristics, *International Journal of Technology and Design Education*, 23(3), 717-732.
- Grayson, K. L., Hilliker, A. K., and Wares, J. R., 2022, R Markdown as a dynamic interface for teaching: Modules from math and biology classrooms, *Mathematical Biosciences*, 349, 108844.
- Hanč, J., Štrauch, P., Paňková, E., and Hančová, M., 2020, Teachers' perception of Jupyter and R Shiny as digital tools for open education and science (No. arXiv:2007.11262). arXiv.
- Holmes, W., Bialik, M., and Fadel, C., 2019, *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning*, The Center for Curriculum Redesign, Boston.
- Hsu, L., 2017, Enhancing college students' satisfaction and learning interest when the teacher uses a web-based platform while teaching, *American Journal of Educational Research*, 5(1), 18-24.
- Kim, S.-W. and Lee, Y. L., 2017, Development of TPACK-P education program for improving technological pedagogical content knowledge of pre-service teachers, *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, 22(7), 141-152.
- Koehler, M. J. and Mishra, P., 2005, What happens when teachers design educational technology? The development of technological pedagogical content knowledge, *Journal of Educational Computing Research*, 32(2), 131-152.
- Koehler, M. J. and Mishra, P., 2009, What is technological pedagogical content knowledge (TPACK)?, *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 60-70.
- Koehler, M. J., Mishra, P., and Cain, W., 2013, What is technological pedagogical content knowledge (TPACK)?, *Journal of Education*, 193(3), 13-19.
- Koehler, M. J., Mishra, P., and Yahya, K., 2007, Tracing the development of teacher knowledge in a design seminar: Integrating content, pedagogy and technology, *Computers and Education*, 49(3), 740-762.
- Lee, C.-J. and Kim, C., 2017, A technological pedagogical content knowledge based instructional design model: A third version implementation study in a technology integration course, *Educational Technology Research and Development*, 65(6), 1627-1654.
- Lombardo, R., 2024, Python and Plotly Dash, A quick and convenient way to develop web apps for teaching physical chemistry models, *Journal of Chemical Education*, acs.jchemed.3c01167.
- Mishra, P., 2019, Considering contextual knowledge: The TPACK diagram gets an upgrade, *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 35(2), 76-78.
- Mishra, P. and Koehler, M. J., 2006, Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge, *Teachers College Record*, 108(6), 1017-1054.
- Ng, D. T. K., Leung, J. K. L., Chu, S. K. W., and Qiao, M. S., 2021, Conceptualizing AI literacy: An exploratory review, *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2, 100041.
- Ning, Y., Zhang, C., Xu, B., Zhou, Y., and Wijaya, T. T., 2024, Teachers' AI-TPACK: Exploring the relationship between knowledge elements, *Sustainability*, 16(3), 978.
- OECD, 2020, *OECD Future of Education and Skills 2030*, OECD.
- Önal, N. and Alemdag, E., 2018, Educational website design process: Changes in TPACK competencies and experiences, *International Journal of Progressive Education*, 14(1), 88-104.
- Patrick, B. C., Hisley, J., and Kempler, T., 2000, "What's everybody so excited about?": The effects of teacher enthusiasm on student intrinsic motivation and vitality, *The Journal of Experimental Education*, 68(3), 217-236.
- Schmidt, D. A., Baran, E., Thompson, A. D., Mishra, P., Koehler, M. J., and Shin, T. S., 2009, Technological pedagogical content knowledge (TPACK): The development and validation of an assessment instrument for preservice teachers, *Journal of Research on Technology in Education*, 42(2), 123-149.
- Shulman, L. S., 1986, Those who understand: Knowledge growth in teaching, *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- UNESCO, 2021, *AI and Education: Guidance for Policymakers*. UNESCO.
- Vial, G., 2019, Understanding digital transformation: A review

- and a research agenda, *The Journal of Strategic Information Systems*, 28(2), 118-144.
- Wagner, M. L., Cosand, K., Zagana, A. L., and Malone, B. J., 2024, Students' perceptions of instruction in co-teaching classrooms: A systematic literature review and thematic analysis, *Exceptional Children*, 90(3), 313-330.
- Westerman, G., Calméjane, C., Bonnet, D., Ferraris, P., and McAfee, A., 2011, *Digital Transformation: A Roadmap for Billion-Dollar Organizations*, MIT Center for Digital Business and Capgemini Consulting, Cambridge.
- Wickham, H., 2021, *Mastering Shiny: Build Interactive Apps, Reports, and Dashboards Powered by R*, O'REILLY, Sebastopol.
- Wickham, H., Çetinkaya-Rundel, M., and Grolemund, G., 2023, *R for Data Science: Import, Tidy, Transform, Visualize, and Model Data*, 2nd edition, O'Reilly, Sebastopol.

접 수 일 : 2025. 11. 03

수 정 일 : 2025. 11. 29

게재확정일 : 2025. 11. 29

교신: 이소영, 25601, 강원도 강릉시 범일로 579번길24
가톨릭관동대학교 진실관 427호
(sylee03051@cku.ac.kr, 033-649-7382)

Correspondence: Soyoung Lee, sylee03051@cku.ac.kr