

## 초등교사의 수학 교과 AI-TPACK 분석

이유진(대전홍릉초등학교, 교사)

최근 AI 기술의 발달과 더불어 이를 효과적으로 교육에 활용하고자 하는 노력이 활발하다. 이러한 맥락에서 본 연구는 수학수업에 AI를 효과적으로 활용하기 위해 필요한 교사지식을 TPACK을 바탕으로 살펴보고자 하였다. 특히 AI를 수학교육에 효과적으로 활용하기 위해서는 교사의 AI와 관련된 기술 지식뿐만 아니라 교육학적 지식, 더 나아가 윤리적인 측면을 고려할 필요가 있다. 이를 위해 AI 기반 도구의 윤리적 활용을 강조한 Celik(2023)의 Intelligent-TPACK 측정 도구를 수학교육에 특화하여 AI-TPACK 측정 도구로 활용하였으며, AI-TPACK 구성 요소 사이의 구조적 관계를 분석하였다. 그 결과, AI-TPACK의 구성 요소 간 계층적 특성과 윤리적 지식(Ethics)의 영향을 확인할 수 있었다. 특히 기술 내용 지식(AI-TCK)과 기술 교육 지식(AI-TPK)이 AI-TPACK에 미치는 영향이 크게 나타났으며, 기술 지식(AI-TK)은 AI-TPACK에 직접적인 영향을 미치지 않았으나 기술 내용 지식(AI-TCK), 기술 교육 지식(AI-TPK), 윤리적 지식(Ethics)을 매개로 하여 AI-TPACK에 간접적으로 유의미한 영향을 미쳤다. 이와 같은 연구 결과를 바탕으로 AI를 교육에 효과적으로 활용하기 위한 교사지식 및 교사 교육에 관한 시사점을 논의하였다.

### I. 서론

인공지능(Artificial Intelligence, 이하 AI) 기술의 발전은 교육 전반에서 혁신적인 변화를 이끌고 있다. AI를 활용하여 학습 과정을 맞춤형으로 설계하고, 학습자의 데이터를 분석하여 개인별로 최적화된 교육 콘텐츠를 제공하려는 다양한 시도가 이루어지고 있다(이화영, 2023; Zawacki-Richter et al., 2019). 그러나 AI의 교육적 활용을 둘러싼 논의는 그 가능성뿐만 아니라 윤리적, 기술적 문제를 포함한 다양한 요인들이 함께 고려되어야 한다. 특히 AI 기술이 제공하는 결과의 신

뢰성, 공정성, 교사와의 상호작용에서 발생할 수 있는 책임 소재 문제는 AI를 교육적으로 활용하는 데 있어 중요한 과제이다(Borenstein & Howard, 2021; Khosravi et al., 2022). 이러한 관점에서 AI는 교사의 역할을 대신할 수 없으며(Gentile et al., 2023; Selwyn, 2019), AI를 효과적으로 교육에 통합하고 활용하기 위해서는 무엇보다 교사의 주체적 역할이 강조된다(고호경 외, 2021; 이동국 외, 2022).

AI의 교육적 활용과 관련하여 교사를 대상으로 한 연구에 따르면 교사들은 일반적으로 AI를 수업에 활용하는 것에 대해 긍정적으로 인식하고 있다(김정원 외, 2023; 김태령, 한선관, 2020). 하지만 긍정적인 인식과 달리 실제 수학 수업에서 AI를 활용하는 것에 대해 소극적인 태도를 보이고 있음을 지적했다(김정원 외, 2023). 이러한 인식과 실천 사이의 괴리는 AI를 교육에 활용하기 위해 교사의 긍정적인 인식 외에 추가적인 요소가 필요함을 시사한다. 선행연구를 살펴보면 초등학교 교사의 TPACK과 테크놀로지 수용과 사용의도를 예측하는 기술수용모델(TAM) 사이의 구조적 관계를 조사한 결과, 교사들이 AI에 대한 TPACK 역량이 높을수록 수학수업에서 더 쉽게 AI를 사용하고, AI를 유용한 도구로 인식할 수 있었음을 알 수 있었다(손태권 외, 2023). 더불어 AI를 수학 수업에 활용한 경험이나 관련 연수 여부처럼 AI와 관련된 교사들의 경험이나 지식이 AI에 대한 교사들의 긍정적인 인식에도 영향을 미친다고 밝혔다(류미영, 한선관, 2018). 이러한 결과는 AI를 효과적으로 수업에 활용하기 위해서는 교사의 사전 경험이나 관련 지식의 습득이 전제되어야 함을 보여준다.

그러나 교육분야에서 AI 관련 연구 동향을 살펴보면 교사를 대상으로 한 연구는 상대적으로 많지 않으며(노지화 외, 2023; 신동조, 2020), 특히 AI를 수업에 활용하기 위해 요구되는 교사지식에 대한 연구는 별반 없다. 이러한 맥락에서 TPACK은 교사가 수업에서 테크놀로지를 효과적으로 활용하기 위해 필요한 기술,

\* 접수일(2024년 10월 4일), 심사(수정)일(2024년 10월 17일), 게재확정일(2024년 10월 26일)  
\* MSC2020분류 : 97U70  
\* 주제어 : AI-TPACK, 인공지능, TPACK, 교사교육

교육, 내용 지식을 통합적으로 설명한다는 점에서 AI 활용에 필요한 교사의 지식을 살펴보기에 적합하다(Mishra & Koehler, 2006; Khosravi et al., 2022). 특히, AI의 특성을 반영한 TPACK을 활용하여 교사지식을 심도 있게 분석할 필요가 있다(Celik, 2023; Mishra et al., 2023; Ning et al., 2024).

본 연구는 이러한 배경을 바탕으로 수학 교과에 특화된 AI-TPACK을 구성하였으며, 이를 활용하여 초등 교사의 AI-TPACK을 살펴보고자 하였다. 또한, AI-TPACK의 각 하위요인 사이의 구조적 관계를 분석함으로써 향후 AI 기반 교사 교육 프로그램 개발에 시사점을 제공하고자 하였다.

## II. 이론적 배경

### 1. AI 활용을 위한 교사 역량 및 지식

AI의 교육적 활용을 위한 교사의 역량이나 지식을 살펴본 연구에서는 AI를 교수학습에 효과적으로 통합하기 위해서 기존과는 다른 교사의 역량이 요구된다고 주장한다(이동국 외, 2022). 구체적으로 이동국 외(2022)는 AI 활용 교육 준비, AI 활용 교육 설계, AI 활용 교육 실행, AI 활용 교육 평가, AI 활용 교육 진문성 개발의 5가지 역량군을 AI 활용 교육을 위한 교사 역량으로 제시하였다. 특히 본 연구와 밀접한 관련이 있는 윤리성 평가 역량을 AI 활용 교육 준비 역량의 하위 역량으로 제시하였다. 구체적인 내용을 살펴보면 'AI가 제공하는 콘텐츠의 편향성과 신뢰성을 평가한다', '교수학습에서 AI의 잠재적 위험성을 확인하고 안전한 활용 방안을 수립한다', 'AI와 관련한 법 제도(저작권, 보안, 규정 등)를 이해하고 준수하다'와 같은 행동지표를 내세웠다. 실제 이동국 외(2022)의 측정 도구를 활용하여 초·중등교사 161명을 조사한 결과에서도 AI의 위험성을 확인하고 안전한 활용 방안을 수립하는 항목에 대한 교육요구도가 특히 높게 나타났다. 또한, AI의 개념, 원리, 영향과 같은 AI에 대한 기술적 이해와 소양이 필요하나, 이에 대한 요구도와 보유도가 모두 낮음을 지적하였다(이동국, 이은상, 2022).

한편 예비수학교사를 대상으로 ITS에 대한 우려, 수학 수업 계획 시 ITS에 대한 역할 규정(positioning),

TPACK 사이의 관계를 종합적으로 조사한 결과, 예비교사들은 자신의 교육 지식은 높게, 기술 교육 지식은 낮게 평가했다. 특히, ITS를 동등한 파트너(partner)로 규정한 예비교사는 보조적인 역할(servant)로 규정한 예비교사보다 더 높은 TPACK을 보유하고 있었다(Shin, 2021). 이와 유사하게 예비초등교사를 대상으로 ChatGPT에 대한 인식 조사와 ChatGPT를 활용한 수업 설계를 분석한 이유진(2023)에서도 예비교사 대부분 ChatGPT 사용 시 정보의 정확성을 중요시하며, 소극적인 사용양상을 보였다는 점에서 AI를 교육에 효과적으로 활용하기 위해서는 AI의 한계와 취약성을 인식하고 이를 중재할 수 있는 교사의 역량을 강화할 필요가 있다고 밝혔다. 또한 예비교사마다 ChatGPT 활용 수준에 큰 차이를 보였다는 점에서 TPACK 즉, AI를 사용할 때 교수와 학습에 미치는 영향을 이해하고 ChatGPT를 효과적으로 활용하기 위한 교사지식을 분석할 필요가 있다고 밝혔다(이유진, 2023).

### 2. AI 활용을 위한 윤리적 고려

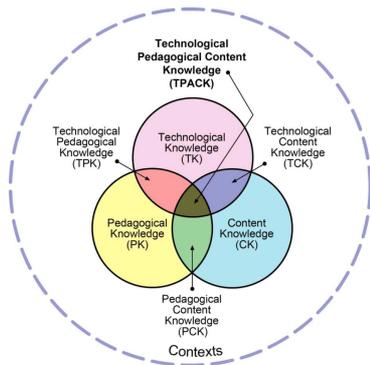
AI 활용을 위한 교사 역량 및 지식을 살펴본 결과 공통적으로 AI의 안정성이나 윤리적인 부분에 대해 언급하고 있었다. 실제 교육 분야에서 AI 도입이 확산되면서 개인정보 보호, 학습자의 자율성 침해, 알고리즘의 편향성 등 다양한 윤리적 위험과 우려가 제기되고 있다. 최근 유네스코, OECD, 유럽연합 등 국제기관에서 제시한 윤리적 AI 활용 가이드라인을 살펴보면 투명성, 공정성, 책임감, 포용성에 중점을 두고 있다. 투명성은 AI 시스템과 AI의 의사 결정 과정이 이해 가능하고 설명 가능해야 한다는 것이며, 공정성은 편견을 확대하거나 불평등을 조장하지 않도록 보장하는 것을 의미한다. 책임감은 AI 시스템의 개발 및 활용에 대한 책임을 의미하며, 포용성은 모든 사람에게 AI 접근을 가능하게 하고, 소외되거나 취약한 계층에도 혜택이 제공되도록 하는 것이다. 특히 학습자 데이터의 차별, 불평등, 오용의 위험을 방지하기 위해 개인 데이터를 보호하고 윤리적 AI 사용을 보장하는 것이 중요함을 강조하고 있다(Nguyen et al., 2023). 국내에서도 교육부는 '교육분야 인공지능 윤리원칙'에서 기회균등, 공정성, 안전 보장, 데이터 처리의 투명성, 프라이버시 보호 등을 주요 원칙으로 제시하였다(교육부, 2022).

또한, 최근 발표된 ‘디지털 심화 시대의 교육이 지향하는 가치와 원칙에 대한 선언’에서도 ‘디지털 교육의 공공성 확보와 격차 완화’, ‘디지털 교육의 안전성과 신뢰 확보’와 관련된 규범을 제시하고 있다(교육부, 2024).

### 3. AI 활용을 위한 교사의 TPACK

#### 가. TPACK

앞서 살펴본 AI 활용을 위한 교사 역량 및 지식 중 본 연구는 AI를 수학 수업에 활용하는데 필요한 교사의 지식을 탐색하고자 하였으므로 TPACK을 중점적으로 살펴보았다. TPACK은 교사가 수업에서 기술을 효과적으로 통합하기 위해 갖추어야 할 지식 체계를 설명하는 개념으로(Mishra & Koehler, 2006), 교육학적 접근과 기술 도구 통합을 위한 유연한 프레임으로 주목받고 있다(Mishra et al., 2010; Valtonen et al., 2017). 이러한 관점에서 교사가 AI를 교육에 효과적으로 활용하기 위해 필요한 지식을 측정하기에 TPACK이 적합하다고 보았다. TPACK은 [그림 1]처럼 기술 지식(TK), 교육 지식(PK), 내용 지식(CK) 간의 상호작용을 기반으로 한다.



[그림 1] TPACK framework (Koehler & Mishra, 2009, p. 63)

TPACK에 대한 연구 동향을 탐색한 결과, TPACK의 개념을 탐색하고 이를 측정하기 위한 프레임을 마련한 연구와 교사의 TPACK을 개발하기 위한 연구로 크게 나눌 수 있었다(김효준, 하상우, 2022). TPACK을 다룬 국내 연구 중 수학교육에 한정하여 살펴본 결과 비슷한 경향성이 발견되었다. 우선 교사 또는 예비교사의 TPACK을 측정하는 도구를 개발하거나 측정한

연구가 있다. 구체적으로 이다희, 황우형(2017)은 한국적 맥락에서 수학교사를 위한 TPACK 측정하기 위해 7개의 하위요인(CK, PK, TK, PCK, TCK, TPK, TPACK)과 61개 문항으로 구성된 검사도구를 개발하고 검증하였다. 특히 TPACK 하위 요인 간의 관계를 살펴봄으로써 통합적 지식의 중요성을 강조하였다. 이외에도 TPACK과 다른 요소들 간의 관계 예를 들어, TPACK과 인지된 사용 용이성과 유용성 간의 관계를 살펴보기나(손태권 외, 2023), TPACK과 교수효능감과 수업 전문성 인식 사이의 관계를 살펴보기나(소연희, 2013), 수학 교사의 테크놀로지 활용과 TPACK의 관계, TPACK의 필요도와 보유도의 차이를 살펴본 연구도 있다(이다희, 황우형, 2018a). 또한 측정 맥락을 달리하여 수업에서 발휘되는 TPACK을 살펴보기도 하고(이다희, 황우형, 2018b), 캐나다 교사와 TPACK을 비교하기도 하였다(오정숙, 2016).

다음으로 TPACK 관련 전문성을 교사나 예비교사에게 함양시키기 위한 연구가 있다. 예를 들어 예비교사를 대상으로 TPACK 신장을 위한 강의나 프로젝트를 실시하고 그 과정에서 TPACK의 변화를 살펴보기나(전영주, 임해미, 2023; 임해미, 2009) 교사 자기연구, 테크놀로지 활용 수업을 설계 경험을 통해 TPACK의 향상시키고자 하는 연구가 진행되었다(변윤성, 김성희, 2020; 임해미, 최인선, 2012).

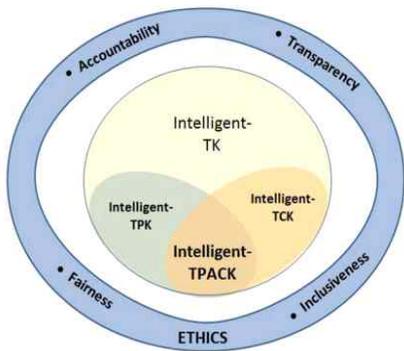
이러한 연구들은 TPACK의 중요성과 발전 가능성을 보여주고 있으며, 특히 Koehler와 Mishra(2009)는 기술 발전에 따라 TPACK 모델이 지속적으로 진화해야 한다고 강조하였다. 수학에서 지오지브라 프로그램, 과학에서 컴퓨터 시뮬레이션 활용, 가상 및 증강현실을 통한 수업 등 다양한 기술 도구에 대한 TPACK 연구가 진행되고 있으며, 기술의 발전에 따라 구체적인 맥락에서의 TPACK 연구가 수행되어야 할 필요가 있다(김효준, 하상우, 2022). 이러한 관점에서 최근 교육에 활용 가능한 AI 기반 도구들이 개발됨에 따라, AI 기술에 특화된 TPACK 연구가 필요하다.

#### 나. AI-TPACK

일반적인 테크놀로지 맥락에서의 TPACK과 달리 AI-TPACK은 AI 기반 도구에 초점을 맞춰 AI 기술과 교육을 효과적으로 통합하기 위한 교사의 지식을 다룬다. 본 연구는 초등교사를 대상으로 AI를 수학 수업에

효과적으로 활용하기 위해 필요한 교사지식을 살펴보고자 하였으므로 AI-TPACK에 관한 선행연구를 집중적으로 살펴보았다. TPACK에 관한 연구는 비교적 활발하게 이루어졌지만, 아직 AI-TPACK에 관한 연구는 시작 단계로 관련 연구가 많지 않다.

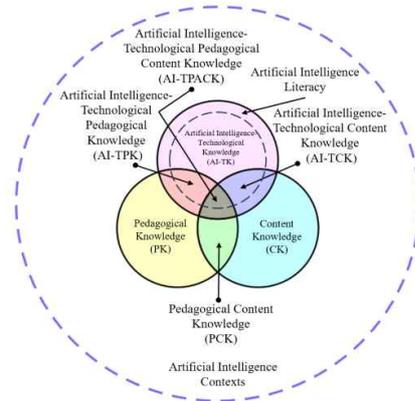
우선 Celik(2023)은 이제껏 TPACK에서 윤리적 측면은 다루어지지 않았지만, AI 기반 도구를 교육에 효과적으로 활용하기 위해서는 교사가 기술, 교육학적 지식뿐만 아니라 윤리적 지식을 갖추어야 한다고 주장했다. AI 기반 도구가 가진 장점에도 불구하고 AI의 윤리적 문제로 인해 교육적 활용에 어려움이 있으며 (Shin, 2020), 이러한 관점에서 교사는 AI의 윤리적 문제에 대한 지식을 갖추는 필요가 있다고 보았다. 이에 Celik(2023)은 기존 TPACK 개념을 확장하여 [그림 2]와 같이 AI 기반 도구를 활용하는 데 있어 고려해야 할 윤리적 지식(Ethics)을 포함한 Intelligent-TPACK을 제시하였다. Intelligent-TPACK은 앞서 살펴본 바와 같이 AI의 교육적 활용에서 고려해야 할 윤리적 측면으로 제시된 투명성, 포용성, 공정성, 책임을 반영하여 AI 기반 도구의 판단을 평가하는 윤리적 지식을 TPACK의 요소를 포함하였다. 이 외에 AI 기반 도구와 상호작용하고 AI 기반 도구의 기본적인 기능을 사용하기 위한 지식인 Intelligent-TK, AI 기반 도구의 교육적 어포던스에 관한 지식인 Intelligent-TPK, 특정 교과 내용을 다루는 데 더 적합한 AI 기반 도구나 교과 내용을 습득하기 위해 AI 기반 도구를 사용하는 것에 대한 지식인 Intelligent-TCK, 교수학습목표를 달성하기 위한 교수 전략을 실행하기에 적합한 AI 기반 도구를 선택하고 활용하는 지식인 Intelligent-TPACK으로 구성된다.



[그림 2] intelligent-TPACK (Celik, 2023, p.8)

이러한 Celik(2023)의 Intelligent-TPACK 검사 문항을 활용하여 터키 교사 401명을 대상으로 디지털 숙련도가 교사의 AI-TPACK 역량에 미치는 영향을 분석하기도 하였다(Hava & Babayigit, 2024). 그 결과, 터키 교사들의 AI-TPACK 역량은 평균 이하인 반면 디지털 숙련도는 평균 이상인 것으로 나타났으며, 디지털 숙련도가 AI-TPACK 역량을 예측하는 중요한 요인이라고 밝혔다.

윤리적 지식과 같이 새로운 요소를 추가한 Celik(2023)과 달리 기존의 TPACK을 AI 관련 역량을 포함하도록 확장하여 [그림 3]과 같이 7가지 구성요소(PK, CK, AI-TK, PCK, AI-TPK, AI-TCK, AI-TPACK)로 AI-TPACK을 제시한 연구도 있다(Ning et al., 2024). 해당 연구에서 AI-TPACK의 구성요소 간 관계를 분석한 결과, 기술 관련 지식 요소(AI-TK, AI-TPK, AI-TCK)가 비기술적 지식 요소에 비해 AI-TPACK에 더 큰 영향을 미친다는 것을 발견했다.



[그림 3] AI-TPACK (Ning et al., 2024, p.5)

한편 생성형 AI에 초점을 맞춰 이를 효과적으로 활용하기 위한 교사의 지식에 대해 논의한 연구도 있다 (Mishra et al., 2023). 해당 연구에서는 전통적인 디지털 기술과 구별되는 생성형 AI의 특성(변화무쌍한 특성, 불투명성, 불안정성)과 혁신적인 특성(생성성, 소셜성)을 강조하였으며, 이러한 특성이 TK, TPK, TCK, TPACK을 비롯하여 상황 지식(contextual knowledge, 이하 XK)에 어떻게 영향을 미치는지 제시하였다. 특히 TK와 관련하여 생성형 AI의 hallucinate와 같은 불안

정성과 사용자에게 불투명한 작동 방식과 같은 특성을 교사가 고려해야 한다는 점에서 Celik(2023)의 윤리적 요소와 유사한 부분을 발견할 수 있었다.

국내에서도 AI-TPACK에 관한 연구는 별반 없다. 이에 범위를 넓혀 AI-TPACK이라는 용어를 사용하지는 않았지만, AI 기반 도구를 대상으로 한 TPACK 연구까지 포함하여 살펴보았다. 우선 수학교육과 관련된 연구로 지능형 튜터링 시스템(ITS)에 한정하여 예비교사의 ITS에 대한 인식과 TPACK의 관계를 조사하거나(Shin, 2021), AI 기술에 한정하여 TPACK과 인지된 사용 용이성과 유용성 간의 관계를 살펴본 경우가 있다(손태권 외, 2023). 수학교육에 특화된 연구는 아니지만, 최정원 외(2022)는 예비교사의 AI 융합 수업 전문성 함양을 위해 ‘인공지능 이해-TPACK 이해-TPACK 수업 관찰 및 참여-TPACK 수업 설계 및 실천-TPACK 수업 평가 및 반영’의 5단계로 구성된 AI-TPACK 모델을 개발하였다. 이 모델은 AI를 수업 도구로서만 다루는 것이 아니라 지도해야 하는 대상으로도 함께 다루고 있다는 것이 특징이다. 이러한 모델을 활용하여 실제 예비교사를 대상으로 초등 AI 융합 프로그램을 개발 및 적용한 박찬술 외(2023)은 “각기 등과 각별을 구별하는 AI 모델 만들기”와 같은 프로그램을 통해 AI-TPACK이 예비교사의 초등 AI 융합 수업 설계에 도움이 될 수 있음을 확인하였다. 더불어 TPACK을 토대로 한국과학창의재단(KOFAC)에서 제공하는 콘텐츠나 EBS ESOF과 같은 AI 교육 자원을 분석하고 AI 교육을 위한 교사의 필수 역량을 제시한 연구도 있다(Kim et al., 2021). 특히 Kim 외(2021)는 교사가 AI의 윤리적, 사회적 문제에 주의를 기울일 수 있도록 해야 한다고 지적했다.

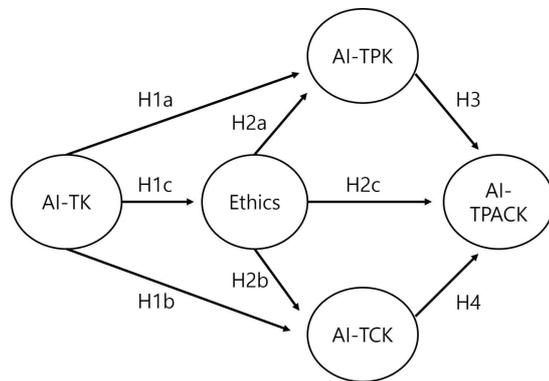
또한 Celik(2023)의 검사도구를 활용하여 초등교사의 AI 활용 교육에 대한 Intelligent-TPACK 역량의 교육요구도를 분석한 결과 요구도가 가장 높은 요인이 Ethics로 나타나 AI 활용에 있어 윤리적인 측면에 대한 교사들의 우려가 큰 것으로 보인다(유지원, 2024).

이러한 연구들을 종합하면 AI-TPACK은 테크놀로지의 특성 즉, AI의 특성을 반영하여 윤리적 측면을 더욱 강조하는 경향이 있음을 알 수 있다. 이에 본 연구에서는 윤리적 측면을 AI-TPACK의 한 요소로 제시한 Celik(2023)의 연구를 활용하였으며 수학교육에 특화하여 초등교사들의 AI-TPACK을 조사하고 그 하

위 요소 간의 관계를 살펴보았다.

#### 4. 연구가설 및 연구모형

본 연구에서는 AI를 교육에 효과적으로 활용하기 위해 필요한 교사지식과 윤리적 측면의 지식 사이의 상호작용을 살펴보고자 선행연구의 결과를 바탕으로 [그림 4]와 같은 가설적 구조모형을 설정하였다.



[그림 4] 설정된 연구 모형

- H1a. AI-TK는 AI-TPK에 유의미한 영향을 미친다.
- H1b. AI-TK는 AI-TCK에 유의미한 영향을 미친다.
- H1c. AI-TK는 Ethics에 유의미한 영향을 미친다.
- H2a. Ethics는 AI-TPK에 유의미한 영향을 미친다.
- H2b. Ethics는 AI-TCK에 유의미한 영향을 미친다.
- H2c. Ethics는 AI-TPACK에 유의미한 영향을 미친다.
- H3. TPK는 AI-TPACK에 유의미한 영향을 미친다.
- H4. TCK는 AI-TPACK에 유의미한 영향을 미친다.

### III. 연구방법 및 절차

#### 1. 연구 절차 및 대상

본 연구는 전국 초등교사를 대상으로 수학 교과에서 AI의 효과적 활용을 위해 필요한 교사지식을 측정하고, 그 하위 요소 사이의 구조적 관계를 조사하고자 다음과 같은 연구 절차를 진행하였다. 먼저 문헌 검토를 통해 타당도와 신뢰도를 검증받은 Intelligent-TPACK 검사

도구를 수학 교과에 특화하여 활용하였다. 이 과정에서 기존 수학 교과를 대상으로 한 TPACK 측정 도구에 대한 문헌검토와 수학교육 전문가 2인의 검토를 통해 검사도구를 정선했다. 다음으로 32명의 초등교사를 대상으로 예비 검사를 실시한 후, 교사들의 의견을 반영하여 문항을 수정하였다. 최종적으로 확정된 설문 문항을 온라인 설문 도구(google form)를 활용하여 초등교사 온라인 커뮤니티에 2024년 8월부터 1주간 게시하였으며, 최종적으로 초등교사 224명이 설문문에 참여하였다. 이 중 불성실하게 응답한 11명을 제외하고 213명의 응답만을 분석에 활용하였으며, 연구대상자의 인구사회학적 특성은 [표 1]과 같다. 다음으로 수집된 자료가 구조방정식 모형을 적용하기 적합한지 살펴보기 위해 기술통계 분석을 실시하여 정규성을 만족하는지 다중공선성 문제는 없는지 확인하였다. 마지막으로 2단계 접근법(Anderson & Gerbig, 1988)에 따라 1단계에서 측정모형의 적합성을 확인하고, 2단계에서 구조모형의 분석을 통해 변수 간 영향을 살펴보았다.

[표 1] 연구 대상 특성

구분		빈도(%)
성별	여성	157(73.7%)
	남성	56(26.3%)
교직경력	5년 미만	28(13.1%)
	5년~10년	72(33.8%)
	10년~15년	57(26.8%)
	15년~20년	19(8.9%)
	20년~25년	23(10.8%)
	25년 이상	14(6.6%)

## 2. 검사 도구

검사 도구는 타당도와 신뢰도를 검증받은 Celik(2023)의 Intelligent-TPACK 검사 도구를 수학교육의 상황으로 특화하여 활용하였다. Intelligent-TPACK은 기존의 TPACK을 기반으로 AI 기반 도구를 교육에 활용하는데 필요한 교사지식을 윤리적 측면까지 확장하여 측정하도록 개발되었다. Intelligent-TPACK은 AI 기반 도구를 활용하는데 필요한 교사지식에 초점을 맞춰 TPACK 중 기술요소와 관련된 TK, TCK, TPK, TPACK으로 구성하였으며, 윤리적 측면까지 확장하여

기존 TPACK에서 다루지 않았던 Ethics를 추가하였다. 본 연구는 AI 기반 도구를 수학교육에 활용하는데 필요한 교사지식을 측정하기 위해 기존의 Intelligent-TPACK의 검사 문항을 수학교육에 한정하여 수정하였으며(예, 수업, 교육분야 → 수학 수업, 수학교육), 검사문항에 제시된 AI 기반 도구는 AI 기반 코스웨어(예, 똑똑수학탐험대, 마타수학 등), AI 활용 에듀테크(예, AI 클래스팅, AI 마음일기 등), ChatGPT와 같은 생성형 AI처럼 AI를 기반으로 하는 교육 플랫폼 및 소프트웨어 등을 모두 포함하는 용어임을 안내하였다. 또한 본 검사의 범위와 의도를 직관적으로 나타낼 수 있도록 Intelligent-TPACK이라는 용어를 AI-TPACK으로 수정하였다. 더불어 검사 문항을 수정 및 번역하는 과정에서 Intelligent-TPACK 검사 도구를 국내에 적용한 유지원(2024)과 수학교육에서의 TPACK 검사 도구를 개발한 이다희와 황우형(2017)의 연구를 참고하였다. 이러한 과정을 통해 개발된 AI-TPACK 예비 문항은 수학교육 전문가 2인의 검토를 통해 수정되었으며, 수정된 AI-TPACK 문항은 현장교사 32명을 대상으로 한 예비 검사 결과를 통해 2차 수정 과정을 거쳐 최종 검사 도구를 확정하였다(부록 참조).

구체적으로 [표 2]와 같이 AI-TK, AI-TPK, AI-TCK, AI-TPACK, Ethics를 측정하기 위한 문항은 각각 5, 7, 4, 7, 4문항으로 구성되었으며 5점 리커트 척도를 사용하였다. 각 변수들의 신뢰도 검증을 위해 검사 도구의 신뢰도(Cronbach's  $\alpha$ )를 살펴본 결과 수용할 만한 수준인 것으로 확인되었다. 구체적으로 Cronbach's  $\alpha$ 값이 0.9 이상일 경우 매우 높은 신뢰도를 나타내며, 0.8 이상 0.9 미만일 때는 높은 신뢰도를 나타낸다(Geroge & Mallery, 2019). 본 검사문항의 신뢰도를 분석한 결과 Cronbach's  $\alpha$  값이 0.862에서 0.945 사이로 나타나 높은 신뢰도 수준임을 확인할 수 있었다.

## 3. 결과 분석 방법

초등교사의 AI-TPACK의 구성요소 특히, 윤리적 지식과 다른 지식 요소 사이의 구조적 관계를 분석하기 위해 SPSS 22와 AMOS 26을 사용하여 데이터를 분석하였다. 첫 번째로, 변수의 이상치와 결측치를 검

[표 2] 검사도구의 구성

잠재변인	설명	측정 문항 예시	문항수	신뢰도
AI-TK	AI 기반 도구와 상호 작용하고 AI 기반 도구의 기본 기능을 사용하기 위한 지식	일상생활에서 AI 기반 도구를 활용하는 방법을 알고 있다.	5	.907
AI-TPK	AI 기반 도구의 교육적 어포던스(예, 개별화된 피드백, 학생의 학습 모니터링)에 대한 지식	학생들이 수학 지식을 적용하기에 적합한 AI 기반 도구를 선택할 수 있다.	7	.929
AI-TCK	수학 교과를 다루는 데 더 적합한 AI 기반 도구에 대한 이해와 교사가 교과 내용을 새롭게 습득하기 위해 AI 기반 도구를 사용하는 것에 대한 지식	수학교육 분야에 특화된 AI 기반 도구(예: 수학용 지능형 튜터)를 활용하는 방법을 알고 있다.	4	.862
AI-TPACK	교수학습목표를 달성하기 위한 교육전략(예: 개별화된 피드백, 모니터링)을 실행하기 위해 적합한 AI 기반 도구(예: 지능형 튜터링)를 선택하고 활용하는 지식	수학 지도 시 다양한 AI 기반 도구를 활용하여 맞춤형 피드백을 제공할 수 있다.	7	.945
Ethics	AI 기반 도구가 내리는 판단에 대한 투명성, 공정성, 책임감, 포용성과 같은 윤리적 측면을 평가하는 지식	AI 기반 도구가 모든 학생에게 공정하게 작동하는지 평가할 수 있다.	4	.873

토하고 자료의 정규성을 확인하기 위해 기술통계 및 빈도분석을 실시하였다. 이를 통해 데이터의 기본 특성을 파악하고, 분석에 사용하기 적합한지를 검토하였다. 두 번째로 Cronbach's  $\alpha$ 를 통해 변수의 신뢰도 분석을 실시하였으며, 다중공선성 여부를 판단하기 위해 다중회귀분석을 실시하여 VIF가 10이 넘지 않는지 확인하였다. 세 번째로 측정모형의 적합성을 검증하기 위해 확인적 요인분석(CFA)을 실시하였다. 마지막으로 연구모형의 적합성을 검증하기 위해 최대우도법을 활용하여 구조방정식 분석을 실시하였다. 이때, 변수들 간의 경로계수와 변수 간 매개효과 검증을 실시하였으며, 매개효과 검증을 위해 부트스트래핑(Bootstrapping) 분석을 실시하였다.

#### IV. 연구 결과

##### 1. 정규성 검증

본 연구에서 수집된 자료의 분포와 특성을 파악하기 위해 기술통계 분석을 실시한 결과는 [표 3]과 같

다. 분석 결과 AI-TK(M=3.32, SD=.8631), AI-TPK(M=3.42, SD=.8405), AI-TCK(M=3.25, SD=.8506), AI-TPACK(M=3.33, SD=.9161), Ethics(M=3.11, SD=.9513)로 나타났으며, 모든 변인들의 왜도는 -.623~.047로 절대값 3보다 작았고, 첨도는 -1.081~.020으로 절대값 4보다 작아 정규분포 가정을 충족하는 것으로 나타났다(Kline, 2005).

또한 다중공선성 여부를 판단하기 위해 다중회귀분석을 통해 분산팽창지수(VIF)가 10이 넘는지 확인한 결과 모든 측정변수의 VIF 값이 2.145에서 4.302로 나타나, 다중공선성 문제는 없다고 확인되었다. 따라서 본 연구에서는 구조방정식모형 분석의 모수 추정 방법으로 최대우도법을 활용하였다.

##### 2. 확인적 요인 분석

Anderson과 Gerbing(1988)의 2단계 접근법에 따라 구조방정식 분석에서는 구조모형의 분석을 통해 변수 간의 영향을 살펴보기에 앞서 측정변인이 해당 잠재변

[표 3] 기술통계 및 정규성 검토 결과

N=213

구분	평균	표준편차	왜도	첨도	
AI-TK	tk1	3.54	.959	-.371	-.318
	tk2	3.57	.932	-.341	-.307
	tk3	3.03	1.079	.003	-.746
	tk4	3.18	1.028	.047	-.598
	tk5	3.25	1.051	-.228	-.671
	전체	3.32	.8631	-.054	-.480
AI-TPK	tpk1	3.49	.965	-.540	-.170
	tpk2	3.42	.951	-.393	-.362
	tpk3	3.23	1.007	-.242	-.487
	tpk4	3.29	1.041	-.304	-.579
	tpk5	3.37	1.050	-.370	-.474
	tpk6	3.56	.991	-.529	-.182
	tpk7	3.60	1.012	-.623	-.091
	전체	3.42	.8405	-.484	.020
AI-TCK	tck1	3.40	1.026	-.293	-.745
	tck2	3.07	1.030	-.106	-.673
	tck3	3.36	.924	-.370	-.338
	tck4	3.18	1.059	-.108	-.866
	전체	3.25	.8506	-.200	-.281
AI-TPACK	tpack1	3.40	.993	-.374	-.386
	tpack2	3.39	1.016	-.527	-.268
	tpack3	3.38	1.060	-.378	-.515
	tpack4	3.40	1.044	-.393	-.474
	tpack5	3.38	1.065	-.394	-.541
	tpack6	2.96	1.195	-.052	-.908
	tpack7	3.39	1.016	-.472	-.354
	전체	3.33	.9161	-.478	-.189
Ethics	e1	3.01	1.135	.031	-.806
	e2	3.18	1.081	-.190	-.736
	e3	3.23	1.033	-.173	-.554
	e4	2.99	1.213	-.030	-1.081
	전체	3.11	.9513	-.102	-.397

인을 잘 측정하는지 살펴보아야 한다. 이를 위해 확인적 요인분석(CFA)을 통해 본 측정모형의 적합성 검증을 실시한 결과는 [표 4]와 같다. Browne와 Cudeck (1993), Hu와 Bentler(1999)가 제시한 기준에 따라 CFI와 TLI는 .90 이상일 때 양호한 것으로 보며, RMSEA는 .08 이하면 양호한 적합도로, .05 이하면 매우 좋은 적합도로, SRMR은 .08 이하면 적합하다고 간주한다. 본 연구에서는 CFI는 .926, TLI는 .917, RMSEA는

.076으로 양호한 수준이며, SRMR도 .0449로 적합한 수준으로 나타났다. 이처럼 여러 적합도 지수를 만족하였으므로 측정모형이 적합하게 설정되었음을 확인할 수 있었다.

다음으로 측정오차의 분산이 음수로 나오거나 추정 계수 사이에 매우 높은 상관관계( $\pm 0.90$  이상)가 있는지 확인한 결과 가정에 위배되는 추정치는 발견되지 않아 모든 가정을 충족하였다. 특히 잠재변수를 구성하는

[표 4] 요인분석

구분	비표준화계수(B)	표준화계수( $\beta$ )	S.E.	C.R.	CR			
AI-TK	tk1	1.000	.748			.980		
	tk2	.982	.755	.087	11.244***			
	tk3	1.205	.801	.100	12.013***			
	tk4	1.261	.880	.094	13.361***			
	tk5	1.287	.878	.097	13.333***			
AI-TPK	tpk1	1.000	.779			.930		
	tpk2	1.048	.828	.078	13.450***			
	tpk3	1.076	.802	.083	12.907***			
	tpk4	1.118	.807	.086	12.998***			
	tpk5	1.168	.836	.086	13.607***			
	tpk6	1.116	.846	.081	13.832***			
	tpk7	1.03	.765	.085	12.151***			
AI-TCK	tck1	1.000	.765			.862		
	tck2	1.011	.770	.085	11.917***			
	tck3	.888	.754	.076	11.624***			
	tck4	1.129	.837	.086	13.177***			
AI-TPACK	tpack1	1.000	.854			.939		
	tpack2	1.056	.882	.060	17.541***			
	tpack3	1.087	.870	.064	17.090***			
	tpack4	1.059	.860	.063	16.740***			
	tpack5	1.055	.840	.066	16.027***			
	tpack6	1.058	.752	.079	13.346***			
	tpack7	1.023	.855	.062	16.543***			
Ethics	e1	1.000	.828			.852		
	e2	.974	.846	.068	14.316***			
	e3	.881	.801	.066	13.286***			
	e4	.949	.735	.080	11.806***			
$\chi^2$	DF	p	SRMR	CFI	TLI	RMSEA		
						Mean	LO90	HI90
698.585	313	.000	.0449	.926	.917	.076	.069	.084

\*p<.05, \*\*p<.01, \*\*\*p<.001

각 측정변수의 개념이 잘 정의되었는지 구성 타당도를 확인하기 위해 표준화 회귀계수( $\beta$ )를 살펴본 결과 모든 변인이 0.5 이상으로 개별 측정변수는 신뢰도가 있다고 판단하였다. 또한 잠재변수를 구성하는 측정변수가 잠재변수를 얼마나 잘 설명하는지 확인하기 개념 신뢰도(Construct Reliability; CR)를 확인한 결과 잠재변인이 모두 .7 이상으로 신뢰도가 있는 것으로 판단할 수 있다.

### 3. 구조방정식 모형의 적합도 및 경로계수 검증

1단계에서 적합성을 확인한 측정모형과 선행연구를 토대로 구조방정식 모형의 적합성 검증을 실시한 결과는 [표 5]와 같다. 먼저  $\chi^2$ 의 값이 737.502이고, 자유도(df)=315, p<.001로 귀무가설이 기각되었다. 하지만  $\chi^2$ 은 표본 크기에 민감하기 때문에(Brown & Cudeck, 1993), 상대적으로 사례수에 덜 민감한 다른 적합도지수를 종합적으로 고려하여 모형적합도를 결정할 필요가 있다. 일반적으로 사용되는 CFI, TLI, RMSEA, SRMR은 앞서 제시한 기준에 따라 살펴보면, CFI는 .919, TLI는 .910, RMSEA는 .080으로 양호한 수준이

[표 5] 연구모형의 적합도 검증 결과

$\chi^2$	DF	p	SRMR	CFI	TLI	RMSEA		
						Mean	LO90	HI90
737.502	315	.000	.0496	.919	.910	.080	.072	.087

[표 6] 최종 구조방정식 모형의 경로계수

경로		비표준화계수(B)	표준화계수( $\beta$ )	S.E.	C.R.	채택여부
AI-TK	→ AI-TPK	.764***	.730	.086	8.883	채택
	→ AI-TCK	.608***	.555	.084	7.234	채택
	→ Ethics	.873***	.667	.103	8.505	채택
Ethics	→ AI-TPK	.194***	.242	.049	3.988	채택
	→ AI-TCK	.372***	.445	.060	6.246	채택
	→ AI-TPACK	.114*	.127	.058	1.961	채택
AI-TPK	→ AI-TPACK	.417***	.372	.076	5.518	채택
AI-TCK	→ AI-TPACK	.565***	.528	.098	5.750	채택

\*p&lt;.05, \*\*p&lt;.01, \*\*\*p&lt;.001

며, SRMR도 .0496으로 적합한 수준으로 나타났다. 이처럼 여러 적합도 지수를 만족하였으므로 본 연구의 구조방정식 모형이 적합하게 설정되었음을 확인할 수 있었다.

다음으로 구조방정식 모형의 경로계수를 통해 가설을 검증한 결과는 [표 6]과 같으며, 설정한 8개의 경로 모두 유의한 것으로 나타났다. 유의미한 경로에 대한 경로계수( $\beta$ )를 살펴보면 첫째, AI-TK는 AI-TPK( $\beta=0.730$ ,  $t=8.883$ ,  $p<.001$ ), AI-TCK( $\beta=0.555$ ,  $t=7.234$ ,  $p<.001$ ), Ethics( $\beta=0.667$ ,  $t=8.505$ ,  $p<.001$ )에 정적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 둘째, Ethics는 AI-TPK( $\beta=0.242$ ,  $t=3.988$ ,  $p<.001$ ), AI-TCK( $\beta=0.445$ ,  $t=6.246$ ,  $p<.001$ ), AI-TPACK( $\beta=0.127$ ,  $t=1.961$ ,  $p<.05$ )에 정적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 셋째, AI-TPK는 AI-TPACK( $\beta=0.372$ ,  $t=5.518$ ,  $p<.001$ )에 정적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 마지막으로 AI-TCK는 AI-TPACK( $\beta=0.528$ ,  $t=5.750$ ,  $p<.001$ )에 정적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

결과를 요약하면, 기술 지식(AI-TK)은 기술 교육 지식(AI-TPK), 기술 내용 지식(AI-TCK), 윤리적 지식(Ethics)에 정적인 영향을 미치며, 이는 기술 지식이 증가할수록 AI 사용에 대한 윤리적 지식, 기술 교육

지식, 기술 내용 지식도 증가한다는 것을 의미한다. 또한 윤리적 지식(Ethics)은 기술 교육 지식(AI-TPK), 기술 내용 지식(AI-TCK), AI-TPACK에 정적인 영향을 미치며, 이는 윤리적 지식이 증가할수록 기술 교육 지식, 기술 내용 지식, AI-TPACK도 증가한다는 것을 의미한다. 더불어 기술 교육 지식(AI-TPK)과 기술 내용 지식(AI-TCK)도 각각 증가할수록 AI-TPACK도 증가할 것으로 나타났다.

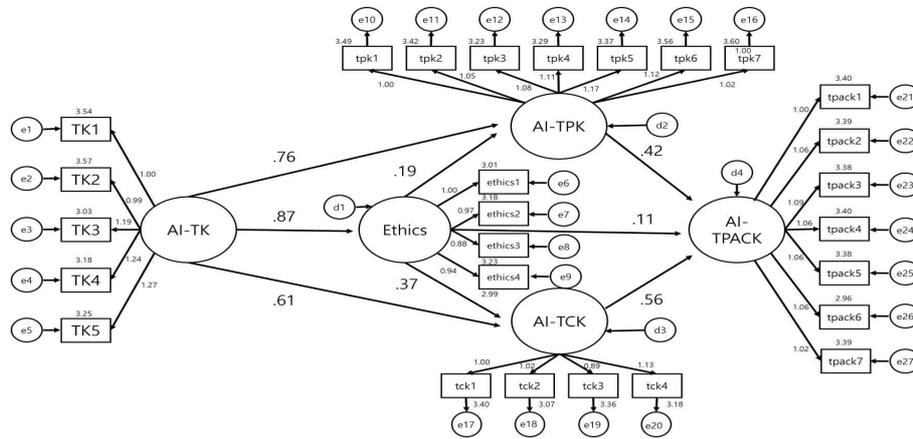
#### 4. 매개효과 분석

본 연구모형에서 잠재변수인 AI-TK, AI-TCK, AI-TPK, AI-TPACK, Ethics 사이의 직접효과, 간접효과, 총 효과는 [표 7]과 같다. 우선 AI-TK가 AI-TPK, AI-TCK, Ethics에 미치는 직접효과 값은 각각 .730( $P<.01$ ), .555( $P<.01$ ), .667( $P<.01$ )이고, Ethics가 AI-TPK, AI-TCK, AI-TPACK에 미치는 직접효과 값은 각각 .242( $P<.01$ ), .445( $P<.01$ ), .127( $P<.01$ ), AI-TPK와 AI-TCK가 각각 AI-TPACK에 미치는 직접효과 값은 각각 .372( $P<.01$ ), .528( $P<.01$ )로 직접적인 영향력이 존재했다. 이때, AI-TK는 AI-TPACK에 미치는 직접효과는 없었지만 간접효과 값이 .867( $P<.01$ )로 부트스트래핑(Bootstrapping)에 따라 유의미한 것으

[표 7] 매개효과 분석

경로	직접효과	간접효과	총효과	
AI-TK	→ AI-TPK	0.730**	0.162**	0.891**
	→ AI-TCK	0.555**	0.297**	0.852**
	→ AI-TPACK	-	0.867**	0.867**
	→ Ethics	0.667**	-	0.667**
Ethics	→ AI-TPK	0.242**	-	0.242**
	→ AI-TCK	0.445**	-	0.445**
	→ AI-TPACK	0.127*	0.325**	0.452**
AI-TPK	→ AI-TPACK	0.372**	-	0.372**
AI-TCK	→ AI-TPACK	0.528**	-	0.528**

\*p<.05, \*\*p<.01, \*\*\*p<.001



[그림 5] 연구모형의 최종 검증 결과

로 나타났다. 즉, AI-TK는 Ethics, AI-TPK, AI-TCK가 매개 역할을 하여 AI-TPACK에 간접적으로 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 또한 AI-TK가 AI-TPK, AI-TCK에 미치는 간접효과 값이 각각 .162(P<.01), .297(P<.01)로 유의미한 것으로 나타났으며 이는 AI-TK는 Ethics, AI-TPK, AI-TCK에 직접적으로 영향을 미치며, Ethics, AI-TPK, AI-TCK를 매개로 AI-TPACK에 간접적으로 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. Ethics는 AI-TPK와 AI-TCK를 경유하여 AI-TPACK에 미치는 간접효과 값이 .325로 부트스트래핑(Bootstrapping)에 따라 유의미한 것으로 나타났다(P<.01). 따라서 Ethics는 AI-TPACK에 직접 영향을 미치기도 하지만, AI-TPK와 AI-TCK를 매개로 AI-TPACK에 간접 영향을 미치기도 한다는 것을 확인할 수 있었다.

결과를 요약하면, 기술 지식(AI-TK)은 윤리적 지식(Ethics)에 직접적인 영향을 미치며, 기술 교육 지식(AI-TPK), 기술 내용 지식(AI-TCK)에 직간접적으로 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 더불어 기술 지식(AI-TK)은 다른 지식 요소(Ethics, AI-TPK, AI-TCK)를 매개로 AI-TPACK에 간접적으로 영향을 미친다. 또한 윤리적 지식(Ethics)은 기술 교육 지식(AI-TPK), 기술 내용 지식(AI-TCK)에 직접적인 영향을 미치며 AI-TPACK에 직간접적으로 영향을 미친다. 마지막으로 기술 교육 지식(AI-TPK), 기술 내용 지식(AI-TCK)은 각각 AI-TPACK에 직접적인 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 이상의 결과를 종합하여 연구모형의 최종경로를 검증한 결과는 [그림 5]와 같으며, 연구가설의 검증결과는 [표 6]과 같다.

## V. 논의

본 연구에서는 AI 기반 도구를 수학 수업에 효과적으로 활용하기 위해 필요한 교사지식을 AI-TPACK을 통해 분석하였다. 이를 위해 우선 기존의 TPACK에 윤리적 요소를 추가한 Celik(2023)의 Intelligent-TPACK 측정 도구를 수학 수업의 맥락에서 재구성하여 활용하였다. 선행연구를 바탕으로 가설적 구조모형을 설정하여 초등교사의 AI-TPACK을 분석한 결과 다음과 같은 결론 및 논의를 얻을 수 있었다.

첫째, 본 연구를 통해 AI 기반 도구를 수학 수업에 활용하는 맥락에서 AI-TPACK의 구성요소 간의 계층적인 특성을 확인할 수 있었다. 선행연구에서는 기술 교육 지식(TPK), 기술 내용 지식(TCK), 교육 내용 지식(PCK)과 같은 2단계 지식 기반이 기술 지식(TK), 내용 지식(CK), 교육 지식(PK)과 같은 1단계 지식 기반에 비해 TPACK에 미치는 직접적인 영향이 더 높다고 밝혔다(이다희, 황우형, 2017; Pamuk et al., 2015). 본 연구에서도 AI-TPACK의 구성요소 간 관계를 살펴본 결과 기술 지식(AI-TK)이 AI-TPACK에 직접적인 영향을 미치지 않는다고 간접적인 방식으로 영향을 미치며, 다른 AI-TPACK 요소(AI-TPK, AI-TCK, Ethics)에 직간접적인 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 반면, 기술 교육 지식(AI-TPK), 기술 내용 지식(AI-TCK), 윤리적 지식(Ethics)은 AI-TPACK에 직접적인 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

특히 기술 내용 지식(AI-TCK)과 기술 교육 지식(AI-TPK)이 AI-TPACK에 미치는 영향이 크게 나타났으며, 이를 통해 기술 지식(AI-TK)뿐만 아니라 기술과 내용, 기술과 교육 간의 통합적 지식이 AI-TPACK 형성에 매우 중요한 요소임을 알 수 있다. 또한 기술 지식(AI-TK)은 AI-TPACK에 직접적인 영향을 미치지 않았으나, 기술 내용 지식(AI-TCK), 기술 교육 지식(AI-TPK), 윤리적 지식(Ethics)을 매개로 하여 AI-TPACK에 간접적으로 유의미한 영향을 미쳤다. 이는 기술 지식(AI-TK)이 다른 지식 요소와의 통합을 통해 더 큰 영향을 발휘할 수 있다는 것을 나타내며, 수학 수업에서 AI 기반 도구를 효과적으로 활용하기 위해서는 기술 지식(AI-TK)만으로는 충분하지 않다는 것을 의미한다. 따라서 교사는 AI 기반 도구를

능숙하게 사용하기 위한 기술 지식뿐만 아니라 교육적 맥락에서 수학 내용을 지도하는데 적합한 AI 기반 도구를 선택하고 효과적으로 활용하기 위한 교수법을 아는 것이 중요하다. 이러한 관점에서 교사 연수 프로그램은 교사가 보다 통합적이고 상황에 맞는 방식으로 기술 지식을 적용하는 방법에 초점을 두어야 한다.

둘째, 수학 수업에 AI 기반 도구를 활용에 대한 초등교사의 AI-TPACK 요인들 간의 관계를 살펴본 결과, 윤리적 지식(Ethics)의 영향을 확인할 수 있었다. 윤리적 지식(Ethics)은 기술 교육 지식(AI-TPK)과 기술 내용 지식(AI-TCK)에 직접적인 영향을 미치며, AI-TPACK에 직간접적으로 유의미한 영향을 미쳤다. 이러한 결과는 AI 기반 도구를 사용하는 교사에게 필요한 구성요소로 윤리적 지식을 도입한 Celik(2023) 연구와 유사한 결과로, AI 도구를 수업에 효과적으로 활용하기 위해 교사가 AI 기반 도구의 투명성, 공정성, 포괄성 측면과 같은 윤리적 지식을 아는 것이 중요하다고 강조한 선행연구와도 일치하는 결과이다(Khosravi et al., 2022). 또한 교육적 맥락에서 AI의 윤리적 사용을 중시하는 흐름과 부합하는 결과라 할 수 있다(교육부, 2022, 2024). 본 연구 결과를 통해 윤리적 지식(Ethics)이 AI-TPACK과 다른 지식 요소에 통계적으로 유의미한 영향을 미친다는 점을 밝혔으며, 이를 통해 AI의 투명성, 공정성, 책임감 등 윤리적 문제를 인식하고 적절히 대응할 수 있는 교사지식을 강조해야 할 필요성을 제시하였다. 특히 AI 기술의 교육적 활용에 있어 윤리적 문제에 대한 대처와 안전한 사용에 대한 교사들의 교육 요구는 높았다는 점에서(이동국, 이은상, 2022), 교사들도 윤리적 지식에 대한 중요성을 인식하고 있는 것으로 보인다.

한편 Celik(2023)의 연구 결과와 본 연구 결과를 비교했을 때, Celik(2023)에서는 윤리적 지식(Ethics) 항목이 3.31에서 3.64 사이의 평균값을 보인 반면, 본 연구 결과에서는 평균 3.11로 나타났다. 이는 다른 지식 요소 예를 들어 기술 지식(AI-TK)이나 기술 내용 지식(AI-TCK)의 경우 전반적으로 한국이 더 높게 나타났다는 점에서 상대적으로 윤리적 지식(Ethics)은 더 낮다고 볼 수 있다. 이러한 결과는 Intelligent-TPACK을 우리나라 초등교사에게 적용한 유지원(2024)의 연구 결과와도 일맥상통한다. 이처럼 AI-TPACK에서 윤리적 지식이 중요함에도 불구하고, 우리나라 초등교사

들의 기술 지식이나 기술 내용 지식 등에 비해 윤리적 지식은 부족하므로 윤리적 지식에 대한 교육이 강조될 필요가 있다. 교사들이 윤리적 지식의 중요성을 인식해왔음에도 현재 윤리적 지식이 낮다는 것은 윤리적 지식과 관련된 교사 교육이 제대로 이루어지고 있지 않다는 것을 시사한다. 향후 AI 기반 도구의 교육적 활용과 관련된 연수 프로그램에서 기술적 지식에 관한 요소뿐만 아니라 윤리적 요소를 포함한 교사 교육이 이루어질 필요가 있다.

셋째, AI 기반 도구를 수학 수업에 활용하는 맥락에서 기술 내용 지식(AI-TCK)의 중요성을 확인할 수 있었다. 기술 내용 지식(AI-TCK,  $\beta=0.528$ )은 기술 교육 지식(AI-TPK,  $\beta=0.372$ )에 비해 AI-TPACK에 더 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 일반적인 기술 도구를 수학 수업에 활용하는 맥락에서 TPACK을 조사한 이다희, 황우형(2017)의 연구를 살펴보면 본 연구의 결과와 마찬가지로 기술 내용 지식(TCK)이 TPACK에 더 많은 영향을 미쳤다고 밝혔다. 이는 일반적인 기술 맥락뿐만 아니라 AI 기반 도구를 수학 수업에 활용하는 맥락에서도 마찬가지로 AI 기술을 활용하기 위한 수학 내용을 파악하는 것이 필수적임을 시사한다. 구체적으로 교사가 단순히 기술 지식에 의존하기보다 AI 기반 도구를 활용하여 효과적으로 가르칠 수 있는 구체적인 수학 내용을 파악하는 것이 중요하다. AI 기반 도구를 선택할 때 교사는 이러한 도구가 자신이 가르치고 있는 수학 내용과 어떻게 부합하는지 고려하고 AI 기반 도구가 수학적 개념과 어떻게 의미 있게 연결될 수 있는지 파악해야 한다.

본 연구에서는 초등교사를 대상으로 AI 기반 도구를 수업에 활용하기 위해 필요한 AI-TPACK을 측정하고 하위 요소 간의 구조적 관계를 살펴보았다. 이를 통해 교육에서 AI 기술을 활용하는 데 특화된 AI-TPACK의 필요성과 의미를 제시하였다. 또한, 향후 AI-TPACK이 교사가 AI 기반 도구를 수업에 활용하는 데 필요한 교사지식에 통찰력을 제공할 것으로 기대한다. 물론 본 연구가 초등교사에 한정하여 진행되었고 교직경력 15년 이하의 교사 비율이 상대적으로 높아 전체 교사를 대표하는 데 한계가 있다. 또한, TPACK의 구성요소 중 기술과 관련된 지식에 초점을 맞추었다는 점에서 제한점을 지니고 있다. 그러나 본 연구는 AI와 관련된 윤리적 지식에 대한 새로운 시각

을 제공하였으며, 기존 TPACK과 달리 AI 기술에 특화된 AI-TPACK을 탐구했다는 점에서 연구 결과를 주목할 필요가 있다. 이에 AI-TPACK이 교사 연수나 교육 프로그램에 반영되기를 기대하며, 실문을 통한 조사를 넘어 수업 맥락처럼 실제적인 측면에서 교사들의 AI-TPACK을 관찰 및 측정하고, AI-TPACK과 관련된 다양한 요소를 분석하는 후속 연구가 진행되기를 기대한다.

## 참 고 문 헌

- 고호경, 허난, 노지화(2021). RPP(Role-Play Presentation)를 통한 교사의 AI 교사와의 지각된 상호작용성 분석. *수학교육*, 60(3), 321-340.
- 교육부(2022). *교육분야 인공지능 윤리원칙*. Retrieved from <https://www.moe.go.kr/boardCnts/viewRenew.do?boardID=294&lev=0&statusYN=W&s=moe&m=020402&opType=N&boardSeq=92297>
- 교육부(2024). *디지털 심화 시대의 교육이 지향하는 가치와 원칙에 대한 선언*. Retrieved from <https://www.moe.go.kr/boardCnts/viewRenew.do?boardID=294&lev=0&statusYN=W&s=moe&m=020402&opType=N&boardSeq=99298>
- 김정원, 권민성, 방정숙(2023). 수학교육에서의 인공지능 활용에 대한 초등 교사의 인식 탐색. *초등수학교육*, 26(4), 299-316.
- 김태령, 한선관(2020). 인공지능교육에 관한 초중등교사의 인식에 관한 연구. *교육논총*, 40(3), 181-204.
- 김효준, 하상우(2022). 테크놀로지 활용 교수학적 내용지식(TPACK)에 대한 국제 연구 동향 탐색. *한글자중심교과교육연구*, 22(24), 147-170.
- 노지화, 고호경, 김병수, 허난(2023). 인공지능 활용 교육의 토픽모델링 분석을 통한 수학교육 연구 방향의 함의. *한국학교수학회논문집*, 26(1), 1-19.
- 류미영, 한선관(2018). 초등 교사들의 인공지능에 관한 교육적 인식. *정보교육학회논문지*, 22(3), 317-324.
- 박찬술, 김성애, 김성원, 홍지연, 박정호(2023). 인공지능(AI) 교과 융합 수업 설계를 위한 AI-TPACK 모델 기반 초등 예비교사 교육 프로그램 개발. *컴퓨터교육학회 논문지*, 26(3), 15-29.

- 변윤성, 김성희(2020). 고등학교 수학 교사의 공학 도구 활용 자기연구를 통한 TPACK 변화 분석. 학교수학, 22(2), 373-394.
- 소연희(2013). 초등교사들이 지각한 테크놀로지 내용 교수학적 지식(Technology, Pedagogy and Content Knowledge), 교수효능감과 수업전문성 인식의 구조적 관계. 아시아교육연구, 14(4), 125-147.
- 손태권, 구종서, 안도연(2023). TPACK과 기술수용모델을 활용한 초등교사의 수학 수업에서 인공지능 사용 의도 이해. 초등수학교육, 26(3), 163-180.
- 신동조(2020). 초·중등교육에서 인공지능: 체계적 문헌 고찰. 수학교육학연구, 30(3), 531-552.
- 오정숙(2016). 수학과 과학교사의 테크놀로지 활용에 관한 인식 연구: 한국과 캐나다의 비교. 한국교육문제연구, 34(4), 151-171.
- 유지원(2024). 초등교사의 AI 활용 교육에 대한 Intelligent-TPACK 역량의 교육요구도 분석. 이화여자대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 이다희, 황우형(2017). 수학교사의 테크놀로지 교수 내용 지식(TPACK) 측정 도구 개발 및 타당화. 수학교육, 56(4), 407-434.
- 이다희, 황우형(2018a). 수학교사의 테크놀로지 교수 내용 지식(TPACK)에 대한 연구: TPACK에 대한 인식 및 교육요구도 분석 중심으로. 수학교육, 57(1), 1-36.
- 이다희, 황우형(2018b). 수학교사의 테크놀로지 교수 내용 지식(TPACK) 관점에서 본 수업 실제 분석. 한국학교수학회논문집, 21(4), 343-376.
- 이동국, 이봉규, 이은상(2022). 인공지능(AI) 활용 교육을 위한 교사 역량 및 연수 과제 도출. 교육정보미디어연구, 28(2), 415-444.
- 이동국, 이은상(2022). 인공지능(AI) 활용 교육을 위한 교사 역량에 관한 교육요구도 분석. 교육정보미디어연구, 28(3), 821-842.
- 이유진(2023). ChatGPT를 활용한 예비교사의 수학교수업설계 분석. 수학교육논문집, 37(3), 497-516.
- 이화영(2023). 개별 맞춤형 학습을 위한 인공지능(AI) 기반 수학 디지털교과서의 학습자 데이터 구축 모델. 초등수학교육, 26(4), 333-348.
- 임해미(2009). 예비 수학교사의 테크놀로지 내용교수 지식(TPACK) 신장을 위한 팀 프로젝트 효과 연구. 수학교육학연구, 19(4), 545-564.
- 임해미, 최인선(2012). ASSURE 모형에 기반한 수업 설계 경험이 수학교사의 TPACK과 교수효능감에 미치는 영향에 대한 사례 연구. 수학교육학연구, 22(2), 179-202.
- 전영주, 임해미(2023). 예비수학교사의 TPACK-P 신장을 위한 강의 설계 및 효과 분석. 한국학교수학회논문집, 26(1), 49-70.
- 최정원, 진수진, 김성애, 박정호(2022). 예비 교사의 인공지능 융합 수업 전문성 함양을 위한 AI-TPACK 모델 설계. 컴퓨터교육학회 논문지, 25(2), 79-89.
- Anderson, J. C., & Gerbing, D. W. (1988). Structural equation modeling in practice: A review and recommended two-step approach. *Psychological Bulletin*, 103(3), 411 - 423.
- Borenstein, J., & Howard, A. (2021). Emerging challenges in AI and the need for AI ethics education. *AI and Ethics*, 1, 61-65.
- Browne, M. W., & Cudeck, R. (1993). Alternative ways of assessing model fit. In K. A. Bollen & J. S. Long (Eds.), *Testing structural equation models* (pp. 136 - 162). Sage.
- Celik, I. (2023). Towards Intelligent-TPACK: An empirical study on teachers' professional knowledge to ethically integrate artificial intelligence (AI)-based tools into education. *Computers in Human Behavior*, 138, 107468.
- Gentile, M., Città, G., Perna, S., & Allegra, M. (2023). Do we still need teachers? Navigating the paradigm shift of the teacher's role in the AI era. *Frontiers in Education*, 8, 1161777.
- George, D., & Mallery, P. (2019). *IBM SPSS statistics 26 step by step: A simple guide and reference*. Routledge.
- Hava, K., & Babayigit, Ö. (2024). Exploring the relationship between teachers' competencies in AI-TPACK and digital proficiency. *Education and Information Technologies*, 1-18.
- Hu, L. T., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives.

- Structural Equation Modeling*, 6(1), 1-55.
- Kim, S., Jang, Y., Choi, S., Kim, W., Jung, H., Kim, S., & Kim, H. (2021). Analyzing teacher competency with TPACK for K-12 AI education. *KI-Künstliche Intelligenz*, 35(2), 139-151.
- Khosravi, H., Shum, S. B., Chen, G., Conati, C., Tsai, Y. S., Kay, J., Knight, S., Martinez, R., Sadiq, D., & Gašević, D. (2022). Explainable artificial intelligence in education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 3, 100074.
- Kline, R. B. (2005). *Principles and practice of structural equation modeling* (2nd ed.). Guilford Press.
- Koehler, M. J., & Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge (TPACK)? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 60-70.
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017-1054.
- Mishra, P., Koehler, M. J., & Henriksen, D. (2010). The seven trans-disciplinary habits of mind: Extending the TPACK framework towards 21st century learning. *Educational Technology*, 51(2), 22-28.
- Mishra, P., Warr, M., & Islam, R. (2023). TPACK in the age of ChatGPT and Generative AI. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 39(4), 235-251.
- Nguyen, A., Ngo, H. N., Hong, Y., Dang, B., & Nguyen, B. P. T. (2023). Ethical principles for artificial intelligence in education. *Education and Information Technologies*, 28(4), 4221-4241.
- Ning, Y., Zhang, C., Xu, B., Zhou, Y., & Wijaya, T. T. (2024). Teachers' AI-TPACK: Exploring the relationship between knowledge elements. *Sustainability*, 16(3), 978.
- Pamuk, S., Ergun, M., Cakir, R., Yilmaz, H. B., & Ayas, C. (2015). Exploring relationships among TPACK components and development of the TPACK instrument. *Education and Information Technologies*, 20, 241-263.
- Selwyn, N. (2019). *Should robots replace teachers?: AI and the future of education*. John Wiley & Sons.
- Shin, D. H. (2020). User perceptions of algorithmic decisions in the personalized AI system: Perceptual evaluation of fairness, accountability, transparency, and explainability. *Journal of Broadcasting & Electronic Media*, 64(4), 541-565.
- Shin, D. J. (2021). Teaching mathematics integrating intelligent tutoring systems: Investigating prospective teachers' concerns and TPACK. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 20(8), 1659-1676.
- Valtonen, T., Sointu, E., Kukkonen, J., Kontkanen, S., Lambert, M. C., & Mäkitalo-Siegl, K. (2017). TPACK updated to measure pre-service teachers' twenty-first century skills. *Australasian Journal of Educational Technology*, 33(3), 491-502.
- Zawacki-Richter, O., Marín, 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, 1-27.

## Analysis of elementary teachers' AI-TPACK in mathematics education

**Lee, Yujin**

Daejeon Heungnyong Elementary School

E-mail : kjyjl4231@naver.com

With the recent advancements in AI technology, numerous efforts have been made to utilize it effectively in education. In this context, this study aimed to investigate the teacher knowledge required to effectively integrate AI into mathematics education, based on the TPACK framework. Specifically, to effectively utilize AI in mathematics education, it is essential to consider not only teachers' technical knowledge related to AI but also their pedagogical knowledge and ethical considerations. Celik (2023)'s Intelligent-TPACK measurement tool, reconstructed with an emphasis on the ethical use of AI-based tools, was used to analyze the structural relationships between the components of TPACK and elementary school teachers' knowledge of ethical AI use in mathematics classes. The results revealed the hierarchical nature of AI-TPACK components and the influence of ethical knowledge (Ethics). AI-TCK and AI-TPK had a significant effect on AI-TPACK, while AI-TK did not have a direct effect on AI-TPACK but exerted a significant indirect effect through the mediation of AI-TCK, AI-TPK, and ethical knowledge (Ethics). Based on these findings, implications for teacher knowledge and teacher education programs aimed at effectively utilizing AI in education are discussed.

---

\* 2020 Mathematics Subject Classification : 97U70

\* Key Words : AI-TPACK, AI, TPACK, mathematics teacher

## &lt;부록&gt; AI-TPACK 검사 문항

구분	문항
AI-TK	1. 일상생활에서 AI 기반 도구를 활용하는 방법을 알고 있다.
	2. AI 기반 도구를 활용하여 작업을 수행하는 방법을 알고 있다.
	3. AI 기술을 사용하여 작업하기 위해 텍스트나 음성을 입력하거나 설정하는 방법을 알고 있다.
	4. AI 기반 도구를 사용할 수 있는 충분한 지식을 갖추고 있다.
	5. AI 기반 도구와 AI 기반 도구의 기능에 대해 잘 알고 있다.
AI-TPK	6. AI 기반 도구가 수학교육 분야에 어떤 기여를 할 수 있는지 이해하고 있다.
	7. AI 기반 도구의 피드백이 수학 교수·학습에 얼마나 유용한지 평가할 수 있다.
	8. 학생들이 수학 지식을 적용하기에 적합한 AI 기반 도구를 선택할 수 있다.
	9. 학생들의 수학 학습 상황을 모니터링하기 위해 AI 기반 도구를 사용하는 방법을 알고 있다.
	10. AI 기반 도구의 메시지를 해석하여 학생들에게 수학 지도 시 실시간 피드백을 제공할 수 있다.
	11. AI 기반 도구가 제공한 알림이나 정보를 이해하여 학생들의 수학 학습을 지원할 수 있다.
AI-TCK	12. 학생들의 동기(흥미)를 유지하기 위해 AI 기반 도구를 선택할 수 있다.
	13. 수학교육 자료를 검색하기 위해 AI 기반 도구를 사용할 수 있다.
	14. 수학교육 분야의 전문가들이 사용하는 다양한 AI 기반 도구를 알고 있다.
	15. AI 기반 도구를 활용하여 지도할 수학 내용을 더 잘 이해할 수 있다.
AI-TPACK	16. 수학교육 분야에 특화된 AI 기반 도구(예: 수학용 지능형 튜터)를 활용하는 방법을 알고 있다.
	17. 수학 지도 시 다양한 AI 기반 도구를 활용하여 맞춤형 피드백을 제공할 수 있다.
	18. 개별화 수학교육을 위해 다양한 AI 기반 도구를 활용할 수 있다.
	19. 수학 지도 시 실시간 피드백을 위해 다양한 AI 기반 도구를 활용할 수 있다.
	20. AI 기반 도구와 다양한 교수 전략을 결합하여 수학을 가르칠 수 있다.
	21. 수학 내용, AI 기반 도구, 지도 전략을 적절히 통합하여 수학 수업을 진행할 수 있다.
	22. 수학 수업에 AI 기반 도구를 활용하는 데 있어 동료 교사들을 이끌 수 있다.
23. 수학 수업 과정에서 다양한 AI 기반 도구를 선택하여 학생들의 학습을 모니터링할 수 있다.	
Ethics	24. AI 기반 도구가 학생의 개인차(예: 인종, 성별)를 얼마나 고려하는지 평가할 수 있다.
	25. AI 기반 도구가 모든 학생에게 공정하게 작동하는지 평가할 수 있다.
	26. AI 기반 도구가 내린 의사결정 근거를 이해할 수 있다.
	27. AI 기반 도구를 개발하고 데이터 관리를 담당하는 주체(예, 개발사 등)를 알고 있다.

\* AI 기반 코스웨어(예, 똑똑수학탐험대, 마타수학 등), AI 활용 에듀테크(예, AI 클래스팅, AI 마음일기 등), ChatGPT와 같은 생성형 AI처럼 AI를 기반으로 하는 교육 플랫폼 및 소프트웨어 등을 모두 포함하여 AI 기반 도구로 지칭함