

컴퓨터교육학회 논문지 2026년 제29권 제1호
https://doi.org/10.32431/kace.2026.29.1.006



AI-교사 협력형 메타인지 학습 설계를 위한 실증적 탐색 연구

An Empirical Exploration for Designing an AI-Teacher Collaborative Metacognitive Learning System

김민수[†] · 유경선^{††}
Min-Su Kim[†] · Kyungsun Yoo^{††}

요약

본 연구는 메타인지 촉진 원칙을 적용한 활동지 기반 수업을 통해 학습자의 학업적 자기효능감, 메타인지 인식, 문제해결 능력의 변화를 분석하고, AI-교사 협력형 메타인지 학습 설계 모형을 탐색적으로 제안하는 데 목적이 있다. 분석 결과, 학업적 자기효능감은 유의미하게 향상되었으나 메타인지 인식과 문제해결 능력의 변화는 통계적으로 유의하지 않았으며, 회귀분석에서는 정보 관리 요인이 문제해결력을 유의하게 설명하는 반면 오류 점검 요인은 비교적 큰 효과 크기를 보였으나 유의수준에는 도달하지 못하였다. 이러한 결과는 활동지 기반 학습이 초기 인지 전략 수준에서는 효과적이었으나 자기조절적 사고의 심화에는 한계가 있었음을 시사한다. 이에 본 연구는 AI의 분석 기능과 교사의 해석적 피드백을 결합한 협력형 메타인지 학습 설계 모형을 제안하며, 인간 중심 AI 학습 환경 설계를 위한 탐색적 근거를 제공한다.

주제어 메타인지, 문제해결 능력, 자기조절학습, AI-교사 협력, 피드백 설계, 인간 중심 AI

ABSTRACT

This study analyzed changes in students' academic self-efficacy, metacognitive awareness, and problem-solving ability through worksheet-based instruction grounded in metacognitive facilitation principles, and explored an AI-teacher collaborative metacognitive learning design. The results showed a significant improvement in academic self-efficacy, whereas changes in metacognitive awareness and problem-solving ability were not statistically significant; however, regression analysis indicated that information management significantly predicted problem-solving performance, while debugging demonstrated a relatively large effect size without reaching significance. These findings suggest that worksheet-based learning supports initial cognitive strategies but has limitations in deepening self-regulatory processes such as planning, monitoring, and evaluation. Based on these results, this study proposes a collaborative metacognitive learning design integrating AI's analytical functions with teachers' interpretive feedback, offering exploratory evidence for human-centered AI learning environments.

Keywords Metacognition, Problem-Solving Skills, Self-Regulated Learning, AI-Teacher Collaboration, Feedback Design, Human-Centered AI

[†]정회원 성균관대학교 사범대학 컴퓨터교육과
 겸임교수
 (ORCID: 0009-0008-4636-907X)

^{††}정회원 네이버 커넥트 재단 AI Tech 매니저
 ()
 (ORCID: 0000-0001-8646-8074)

논문투고 2025년 11월 07일
심사완료 2026년 01월 06일
게재확정 2026년 01월 14일
발행일자 2026년 01월 30일

1. 서론

4차 산업혁명 시대에 들어서면서 인공지능(AI), 빅데이터, 사물인터넷(IoT) 등 첨단 기술은 교육의 형태와 방향을 근본적으로 변화시키고 있다. 특히 AI는 학습자의 수준과 학습 패턴을 실시간으로 분석하여 맞춤형 피드백을 제공하고, 교사의 교수 설계를 지원함으로써 데이터 기반 학습 생태계(Data-driven Learning Ecosystem) 구축을 가능하게 하고 있다[1, 2]. 이에 따라 교육의 초점은 단순한 지식 전달에서 벗어나 학습자의 사고 과정과 전략적 학습을 지원하는 방향으로 이동하고 있다[3]. 프로그래밍 교육과 같은 문제 중심 학습에서는 이러한 변화가 특히 두드러진다. 학습자는 문제 해결 과정에서 이해를 점검하고 오류를 수정하며 전략을 구성하지만, 즉각적 지원이 없으면 이러한 메타인지적 과정이 단절되기 쉽다. 최근 연구들은 AI가 코드와 오류 데이터를 분석하여 학습자의 사고를 추적하고 피드백을 제공함으로써 교사-AI 협력형 학습모델을 가능하게 하고 있다[4-6]. 그러나 국내외 현장에서는 여전히 활동지 중심의 메타인지 학습 설계가 주로 활용되며 이는 사후적 피드백에 의존하는 한계로 인해 학습자가 계획-모니터링-평가로 이어지는 자기조절적 사고 과정을 일관되게 수행하기 어렵다는 문제가 제기된다[7-9]. 특히 활동지 기반 수업은 문제 인식과 오류 점검 단계에서는 효과적이지만 전략 계획과 성찰적 조정 단계에서는 실시간 피드백이 부족해 메타인지 조절 능력 향상에 제약이 있다는 지적이 있다[10].

이에 본 연구는 활동지 기반 메타인지 학습이 학습자의 사고 조절 과정을 충분히 지원하는 데 한계가 있다는 문제의식에 기반하여, 본 연구의 실증 결과에 비추어 AI 기반 교수-학습 협력 시스템의 설계 원리를 탐색적으로 검토하고자 한다. 본 설계는 기존 활동지의 메타인지 촉진 원칙을 확장하여, 학습자의 문제 해결 과정을 보다 지속적이고 동적으로 지원할 수 있는 교수-학습 구조의 필요성에서 출발한다.

기존 연구들이 메타인지 학습을 활동지 중심으로 탐색하거나, AI를 단순한 피드백 자동화 도구로 활용하는 데 초점을 두어 온 것과 달리, 본 연구는 메타인지 인식과 문제 해결 능력 간의 관계를 경험적 자료를 통해 분석하고, 그 결과를 토대로 교수-학습 설계 차원의 시사점을 도출하고자 한다. 이러한 목적을 달성하기 위해 본 연구는 다음과 같은 연구 문제를 설정하였다.

메타인지 촉진 원칙을 적용한 활동지 기반 수업을 적용했을 때, 학습자의 학업적 자기효능감, 메타인지 인식, 문제 해결 능력에는 어떤 변화가 나타나는가?

학습자의 메타인지 인식의 하위 요인(선언적 지식, 절차적 지식, 조건적 지식, 계획, 모니터링, 정보 관리, 오류 점검, 평가) 중 어떤 요소가 문제 해결 능력 향상에 유의한 영향을 미치는가?

활동지 기반 수업의 정량 및 정성 분석 결과를 바탕으로, 효과적인 AI-교사 협력형 메타인지 학습 설계 모형을 구성하기 위해 필요한 설계 원리는 무엇인가?

이러한 연구 문제를 해결하기 위해, 본 연구는 AI는 정보 관리 및 오류 점검 단계에서 학습자의 인지 전략을 분석·지원하고, 교사는 계획·모니터링·평가 단계에서 학습자의 사고 조절을 정교화하는 역할 분담 구조를 갖는 인간 중심 AI 학습 설계 모형을 제안한다. 또한 활동지 기반 수업 실험과 회귀 분석을 통해 메타인지 인식과 문제 해결 능력 간의 관계를 실증적으로 검증함으로써, 교사-AI 협력 피드백 시스템의 설계 원리를 경험적 근거 위에서 제시하고자 한다.

2. 연구 배경

2.1 메타인지의 개념과 구성요소

메타인지(metacognition)는 개인이 자신의 인지 과정을 인식하고 이를 조절·통제하는 능력을 의미한다[11]. Flavell[11]은 메타인지를 자신의 인지 활동에 대한 지식과 그 지식을 활용하여 인지를 조절하는 과정으로 정의하였으며 이는 학습자가 학습 상황을 계획하고, 학습 중 자신의 이해를 점검하며, 결과를 평가하는 사고 활동을 포함한다.

Schraw와 Moshman[8]은 메타인지를 메타인지 지식(metacognitive knowledge)과 메타인지 조절(metacognitive regulation)로 구분하였다. 전자는 학습자가 자신의 사고와 과제에 대해 알고 있는 인지적 지식을 의미하며, 선언적 지식(declarative knowledge), 절차적 지식(procedural knowledge), 조건적 지식(conditional knowledge)으로 구성된다. 후자는 학습 과정에서 자신의 사고를 조절하는 기능으로, 계획(planning), 모니터링(monitring), 평가(evaluation) 과정을 포함한다. Efklides[10]는 이러한 메타인지 조절이 개인의 학습 과정 뿐만 아니라 공동 조절(co-regulation)과도 관련된다고 보았다. 즉, 메타인지는 학습자가 스스로의 사고를 반성하고 수정하는 능력일 뿐 아니라 사회적 상호작용 속에서 타인의 피드백을 통해 사고를 조정하는 인지적-사회적 조절 구조로 확장될 수 있다. Azevedo et al.[7]은 이러한 메타인지가 특히 온라인 환경에서 학습자의 자기조절 학습(self-regulated learning; SRL)을 매개하여 학습 성취를 높이는 핵심 요인이라고 강조하였다. 결국 메타인지는 단순한 사고 점검 능력이 아니라, 학습자가 문제를 인식하고, 전략을 선택 조정하며, 수행 결과를 반성하는 고차적 사고 과정의 핵심 구성 요소이다. 따라서 본 연구는 메타인지의 구성요소를 토대로 학습자의 사고 과정을 실시간으로 지원할 수 있는 시스템 설계 원리를 탐색하고자 한다.

2.2 메타인지와 문제 해결 능력의 관계

문제 해결(problem solving)은 주어진 목표에 도달하기 위해 필요한 절차나 전략을 탐색 적용하는 일련의 인지적 과정이다[12]. Jonassen[13]은 문제 해결을 비구조화된 상황에서 지식과 전략을 창의적으로 적용하는 과정으로 규정하면서 문제 해결 능력은 단순한 지식수준보

다 메타인지적 사고의 질과 조절 능력에 의해 결정된다고 주장하였다. Mayer[14]에 따르면 문제 해결은 문제의 표상(representation), 전략의 선택(planning), 실행(monitring), 평가(evaluation)의 단계로 구성되며 이는 메타인지 조절의 3단계와 동일한 구조를 가진다. 즉, 학습자는 문제를 해결할 때 자신의 이해를 점검하고, 오류를 수정하며, 전략을 선택 조정하는 메타인지적 과정을 필연적으로 거친다. 이러한 관점에서 Flavell[11]은 메타인지를 문제 상황에서 자신의 사고 과정을 의식하고 통제하는 능력의 핵심으로 보았으며 Chi와 Glaser[15]는 전문가와 초보자의 차이는 지식의 양이 아니라 메타인지적 전략 사용의 효율성에서 비롯된다고 지적하였다. Azevedo와 Cromley[16]는 메타인지 훈련을 받은 학습자가 복잡한 문제 상황에서 더 나은 전략적 의사결정을 보인다고 보고하였고, Veenman et al.[17]은 메타인지 전략 사용 빈도와 질이 문제 해결 수행을 유의하게 예측한다고 밝혔다.

2.3 메타인지 촉진을 위한 피드백 설계 원리

피드백은 학습자가 자신의 수행을 점검하고 조정할 수 있도록 돕는 핵심 메커니즘이다. Butler와 Winne[18]는 학습 과정에서 피드백이 학습자의 자기조절을 매개하며, 목표-수행 간의 불일치를 수정하게 하는 역할을 수행한다고 설명하였다. Nicol과 Macfarlane-Dick[19]은 효과적인 형성평가형 피드백(formative feedback)을 위해 자기평가(self-assessment)의 기회 제공, 명확한 성취 기준 제시, 학습자가 피드백을 행동으로 전환할 수 있는 실행가능성(actionability)을 강조하였다. 메타인지 촉진 피드백은 이러한 형성적 피드백의 개념을 확장하여 학습자가 단순히 정답을 아는 것을 넘어 자신의 사고 과정을 점검하고 설명하도록 유도하는 것을 목표로 한다. 즉, 피드백은 지식의 수정이 아니라 사고의 조절을 촉진해야 한다[7]. 특히 프로그래밍 교육에서는 코드 오류의 원인을 탐색하고 전략을 재구성하며 자신의 사고를 설명하는 과정이 메타인지 훈련과 직접적으로 연결된다[1,18-19].

2.4 AI-교사 협력 시스템에 관한 선행 연구

최근 연구들은 인공지능을 교사의 대체가 아닌 협력적 파트너(co-teacher)로 보는 관점을 강조하고 있으며, 특히 학습자의 메타인지 조절을 실시간으로 지원하기 위한 AI 활용 가능성에 주목하고 있다.

첫째, AI의 실시간 인지 전략 분석 기능이다. Sridharan & Deng[5]는 AI 기반 학습 환경에서 코딩 오류, 탐색 경로 등의 데이터를 실시간으로 분석하여 학습자의 정보 관리 및 오류 점검과 같은 초기 인지 전략의 비효율성을 진단하고 즉각적인 반성적 피드백(Reflective Prompt)을 제공하는 것이 중요함을 강조하였다. 이러한 AI의 즉시적 피드백은 활동지 기반 학습에서 상대적으로 부족했던 모니터링 단계의 연속성을 보완하는 핵심 메커니즘으로 해석될 수 있다.

둘째, 교사-AI의 상호보완적 역할 분담 구조이다. Kong et al.[4]은 AI는 학습자의 실시간 데이터를 분석하여 객관적인 전략 패턴을 제공하고, 교사는 그 결과를 해석·보완함으로써 학습자의 고차적 사고 과정을 정교화한다고 설명하였다. 이 협력 구조는 교사가 해석자(interpreter), AI가 분석가(analyst)로 기능하는 상호보완적 관계를 전제로 한다.

셋째, AI 활용에 대한 국제적 정책·담론 차원의 공감대이다. OECD[3]와 UNESCO[6]는 AI가 교사의 역할을 대체하기보다 전문성을 보조하고 학습의 질을 향상시키는 방향으로 활용되어야 함을 강조하며 AI의 분석 기능과 교사의 맥락적·인간적 판단이 결합될 때 비판적 사고를 중심으로 한 인간 중심 학습이 가능하다고 제시한다. 이러한 논의를 종합할 때, 본 연구가 제안하는 AI-교사 협력 설계는 AI를 단순한 피드백 자동화 도구가 아닌, 고차적 메타인지 조절을 지원하는 인지 조절 파트너(Cognitive Regulator)로 기능하도록 설계하는 이론적 기반을 제공한다.

3. 연구 방법

3.1 연구 설계

본 연구는 메타인지 촉진 원칙을 반영한 활동지를 활용하여 학습자의 자기효능감, 메타인지 인식, 문제 해결 능력의 변화를 분석하고, 메타인지 인식의 하위 요인이 문제 해결 능력에 미치는 영향을 검증함으로써 AI-교사 협력 피드백 시스템 설계를 위한 경험적 근거를 마련하고자 하였다. 연구 설계는 단일집단 사전-사후 검사 구조로 이루어졌으며, 사전 설문을 통해 학습자의 초기 수준을 측정된 뒤 7주간 메타인지 촉진 활동지를 활용한 수업을 실시하였다. 이후 사후 설문을 통해 각 변인의 변화 양상을 분석하고, 사전 메타인지 인식 변인을 중심으로 문제 해결 능력에 대한 영향 관계를 검토하였다.

3.2 연구 대상

연구 대상은 컴퓨터공학을 전공하는 2학년 대학생 50명으로, 모두 동일한 전공 교과목을 수강하는 학생이었다. 참여자는 연구 참여에 대한 동의서를 제출하였으며, 연구 자료는 수업 전·후 동일한 설문 도구와 인터뷰를 통해 수집하였다. 본 연구는 2025년 1학기 중 7주간 진행되었다.

3.3 연구 도구

본 연구에서는 학습자의 학업적 자기효능감, 메타인지 인식, 문제 해결 능력을 측정하였다. 학업적 자기효능감은 김아영과 박인영[20]의 과제 난이도 선호, 자기조절 효능감, 자신감의 3요인, 28문항으로 구성된 척도, 메타인지 Schraw와 Dennison[21]의 인식은 지식과 조절로 구성된 52문항, 문제 해결 능력은 이석재[22]의 45개 문항으로 구성된 도구를 사용하였다. 모든 문항은 5점 Likert 척도로 측정되었으며, 세 척도의 신뢰도(Cronbach's α)는 .80 이상

으로 양호하였다.

또한 전략 중심, 자기 설명 유도, 오류 점검, 캘리브레이션 정렬, 반성적 질문, 점진적 지원, 피드백 타이밍, 정교화, 상호 피드백, 교사-AI 협력의 메타인지 촉진 피드백 10대 원칙을 반영하여 활동지를 개발하였다. 활동지는 '문제 이해-전략 계획-실행 및 점검-결과 성찰'의 4단계로 구성되었으며, 각 단계에 학습자의 사고를 점검하도록 유도하는 메타인지적 질문이 포함되었다.

이 활동지는 7주간의 프로그래밍 수업에서 과제 수행 전·중·후 단계에 활용되었으며, 학습자는 계획 수립, 오류 탐색, 성찰 기록을 수행하고 교사는 이를 기반으로 후속 피드백을 제공하였다. 결과적으로 본 활동지는 단순한 기록지가 아닌 학습자의 사고 조절을 촉진하는 메타인지 훈련 도구로 기능하였다.

3.4 분석 방법

본 연구의 자료 분석은 통계 프로그램 jamovi(2.7.11)를 사용하여 수행하였다. 학습자의 사전·사후 변화 정도를 검증하기 위해 대응 표본 t-검정을 실시하였으며, 이후 메타인지 인식의 하위 요인이 문제 해결 능력에 미치는 영향을 검토하기 위해 회귀분석을 수행하였다. 회귀분석에서는 메타인지 인식의 하위 요인인 선언적 지식, 절차적 지식, 조건적 지식, 계획, 모니터링, 정보 관리, 오류 점검, 평가를 독립 변수로 설정하고 문제 해결 능력을 종속변수로 투입하였다. 모든 통계 분석의 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였으며, 분석 결과는 표준화 회귀계수(β), 결정계수(R^2), 유의확률(p)을 기준으로 해석하였다.

한편, 정량적 분석 결과를 보완하고 학습자의 인식 변화와 메타인지 전략 사용 양상을 심층적으로 탐색하기 위해 인터뷰를 통한 질적 분석을 병행하였다. 인터뷰 자료는 학습자의 메타인지 강화 과정과 문제 해결 활동 중 나타난 사고, 전략 사용, 피드백 수용 양상을 중심으로 수집되었으며, 수집된 자료는 합리적 코딩 방식에 따라 개방 코딩, 축 코딩, 선택 코딩의 절차를 거쳐 분석하였다.

4. 연구 결과

4.1 대응 표본 t-검정 결과

사전 및 사후 평균 차이를 검증하기 위해 대응 표본 t-검정을 실시한 결과, 학업적 자기효능감에서 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다($t=-2.38, p=.021$). 반면 메타인지 인식($t=-1.83, p=.073$)과 문제 해결 능력($t=-1.37, p=.176$)은 통계적으로 유의하지 않았다. 이는 활동지 기반의 메타인지 촉진 수업이 학습자의 자신감과 과제 수행 동기를 강화하는 데는 효과적이었으나 계획-모니터링-평가와 같은 자기조절적 사고 과정의 향상에는 한계가 있음을 의미한다.

Table 1. Results of Paired Samples t-Test

Variable	N	t(df=49)	p	Effect Size (d)
Academic Self-Efficacy (ASE)	50	-2.38	.021	0.34
Metacognitive Awareness (MA)	50	-1.83	.073	0.26
Problem-Solving Ability (PSA)	50	-1.37	.176	0.19

4.2 메타인지 인식이 문제 해결 능력에 미치는 영향

회귀분석에 앞서 사전 메타인지 인식 하위 요인과 사후 문제해결력 간의 관계를 검토하기 위해 Pearson 상관관계 분석을 실시하였다. 분석 결과, 계획(Planning)은 사후 문제해결력과 유의한 정적 상관을 보였으며($r = .310, p < .05$), 모니터링(Monitoring) 또한 유의한 정적 상관을 나타냈다($r = .372, p < .01$). 반면, 선언적 지식, 절차적 지식, 조건적 지식, 정보 관리, 오류 점검, 평가는 문제해결력과 통계적으로 유의한 상관을 보이지 않았다. 이러한 상관관계 분석 결과는 일부 하위 요인만이 문제해결력과 관련성을 보였음을 보여주며 이후 회귀분석을 통해 각 하위 요인의 상대적 영향력을 통제 조건 하에서 검증할 필요성을 뒷받침한다.

이후 메타인지 인식의 하위 요인이 문제 해결 능력에 미치는 영향을 검증하기 위해 회귀분석을 실시하였다. 분석 결과, 회귀 모형은 통계적으로 유의하였으며($F(8,41) = 10.80, p < .001$), 결정계수는 $R^2 = .678$ 로 나타나 전체 모형이 문제 해결 능력 변량의 약 67.8%를 설명하는 것으로 확인되었다. 다만, 독립변수 수를 고려한 수정된 결정계수(Adjusted R^2)는 .615로 산출되어, 표본 크기와 변수 수를 보정한 이후에도 중간 이상 수준의 설명력이 유지됨을 확인하였다. 이는 소표본 다변수 회귀분석에서 발생할 수 있는 설명력의 과대추정을 보정한 결과로 본 회귀모형이 문제 해결 능력과 관련된 메타인지 하위 요인 간의 관계를 탐색적으로 설명하고 있음을 시사한다.

회귀모형의 적합성을 검증하기 위해 다중공선성, 정규성 및 이상치 여부를 검토하였다. 그 결과, 독립변수 간 다중공선성 검토를 위해 산출한 분산팽창계수(VIF)는 1.88~4.47 범위로 기준치 5 이하였으며, 공차한계(Tolerance)는 .22~.53으로 .20 이상을 충족하여 다중공선성 문제는 없는 것으로 판단하였다. 또한 잔차의 정규성 검증을 위해 실시한 Shapiro-Wilk 검정 결과, $W = .968, p = .194$ 로 정규성 가정을 충족하였다. 이상치의 영향은 Cook's Distance를 통해 검토하였으며, 평균값은 0.0258로 나타나 특정 사례가 회귀모형에 과도한 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다.

회귀분석 결과, 메타인지 인식의 하위 요인 중 정보 관리(Information Management)는 문제 해결 능력에 통계적으로 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났다($\beta = .42, p$

< .01). 반면, 오류 점검(Debugging) 요인은 표준화 회귀계수가 비교적 크게 나타났으나($\beta = .21$), 통계적 유의수준에는 도달하지 못하였다($p = .052$). 한편, 선언적 지식, 절차적 지식, 조건적 지식, 계획, 모니터링, 평가 요인은 통계적으로 유의한 영향을 보이지 않았다($p > .05$).

이러한 결과는 본 회귀모형의 설명력이 모든 예측변인의 단순 누적 효과라기보다 정보 관리와 같은 일부 핵심 하위 요인의 기여에 의해 주로 형성되었음을 시사한다. 즉, 메타인지 하위 요인 가운데에서도 문제 해결 과정에서 실질적으로 작동하는 전략이 제한적일 수 있음을 보여주며, 본 모형이 문제 해결 능력과 관련된 메타인지 요인의 차별적 영향을 탐색적으로 설명하고 있음을 의미한다.

Table 2. Results of Regression Analysis

Variable	β (Standardized Coefficient)	t	p
Declarative Knowledge	0.0239	0.19	.852
Procedural Knowledge	-0.0844	-0.69	.494
Conditional Knowledge	0.0824	0.59	.556
Planning	0.0360	0.28	.784
Information Management	0.4216	3.28	.002
Monitoring	0.1041	0.96	.341
Debugging	0.2080	2.00	.052
Evaluation	0.0263	0.26	.797

Note. $F(8, 41) = 10.80, p < .001, Adjusted R^2 = .615$

4.3 메타인지 촉진 수업에 대한 학습자 경험 및 질적 분석 결과

정량 분석 결과에서 나타난 바와 같이, 활동지 기반 메타인지 촉진 수업은 정보 관리 전략을 중심으로 학습자의 초기 인지 전략 수준에서는 일정한 효과를 보였으나, 계획-모니터링-평가로 이어지는 자기조절적 사고 과정에서는 한계가 확인되었다. 이를 보완적으로 검증하기 위해 학습 활동에 참여한 학생들을 대상으로 질적 인터뷰를 실시하였다.

인터뷰 결과, 기존 수업이 “정답 찾기 중심”이었다면, 이번 활동은 “문제를 보기 전 내가 알고 있는 것과 필요한 전략을 정리하는 과정”으로 인식되었다. 한 학생은 “답을 빨리 찾기보다 문제를 어떻게 바라볼지를 생각하게 되어 방향이 명확해졌다”라고 하였고, 또 다른 학생은 “오류 원인을 기록하며 내 사고 과정을 점검할 수 있었다”라고 진술했다. 이는 활동지가 학습자의 문제 인식, 정보 탐색, 오류 점검 등 초기 인지 전략 활성화에 기여했음을 보여준다.

반면, 많은 학생들은 사고 조절의 지속성 부족을 지적하였다. “계획을 세웠지만 실행 중 점검할 방법이 없었다”, “막혔을 때 즉시 피드백을 받을 수 없었다”, “어떤 부분이 잘못되었는지 판단이 어려웠다” 등의 응답이 나타났다. 이

는 모니터링 단계에서 실시간 피드백의 부재와 인지적 불확실성을 반복적으로 경험했음을 시사한다.

평가 단계에서도 “피드백이 지연되어 성찰 시점을 놓쳤다”, “결과보다 사고 과정을 되돌아보는 기회가 부족했다”라는 의견이 제시되었다. 이러한 진술은 활동지가 사후적 피드백에 의존해 메타인지적 성찰이 즉각적으로 강화되지 못함을 보여준다.

결과적으로 질적 분석 결과는 정량 분석에서 정보 관리 요인이 문제 해결 능력과 유의한 관련성을 보였다는 결과를 맥락적으로 보완해 주었다. 또한 오류 점검 전략은 정량 분석에서는 통계적으로 유의한 영향 요인으로 확인되지는 않았으나, 질적 인터뷰에서는 학습자가 자신의 사고 과정을 점검하고 문제 해결 방향을 재인식하는 과정에서 제한적으로 활용되고 있음을 보여주었다. 이를 종합하면, 활동지 기반 학습은 학습자의 문제 인식과 정보 정리 등 초기 인지 전략을 자극하는 데에는 효과적이었으나, 계획-모니터링-평가로 이어지는 고차적 사고 조절을 지속적으로 지원하기에는 즉각적인 피드백 제공 측면에서 한계가 있음을 시사한다.

5. 논의 및 시사점

활동지 기반 메타인지 촉진 수업은 학습자의 학업적 자기 효능감을 향상시켰지만, 메타인지 인식과 문제 해결력의 증진에는 한계가 있었다. 회귀분석 결과, 메타인지 인식의 하위 요인 중 정보 관리 요인만이 문제 해결 능력에 대해 통계적으로 유의한 설명력을 보였으며, 나머지 하위 요인들은 유의하지 않았다. 이 중 오류 점검 요인은 표준화 회귀계수가 비교적 크게 산출되었으나 통계적 유의수준에는 도달하지 못하였다. 이러한 결과는 활동지 기반 수업이 문제 인식과 정보 조직 및 활용과 같은 초기 인지 전략 수준에서는 일정한 효과를 보였으나, 계획-모니터링-평가 단계로 이어지는 자기조절적 사고를 수행 과정 전반에서 지속적으로 지원하기에는 구조적 제약이 있었을 가능성을 시사한다. 이에 본 연구는 연구 결과에 비추어 학습자의 사고 과정을 보다 효과적으로 지원하기 위한 AI-교사 협력 기반 교수-학습 설계의 필요성을 논의한다.

첫째, 계획(Planning) 단계에서의 시사점이다. 연구 결과에서 고차적 자기조절 요인의 영향이 명확히 확인되지 않았다는 점을 고려할 때, 계획 단계에서 학습자의 전략 수립 과정을 보다 구조화하여 지원할 필요가 있다. 이와 관련하여 AI는 학습자의 과거 수행 데이터나 유사 학습자의 전략 패턴을 분석하여 가능한 문제 접근 전략과 시간 배분의 예시를 제시할 수 있으며, 교사는 이를 학습자의 수준과 맥락에 맞게 해석 및 조정하여 학습 목표를 내면화하도록 돕는 역할을 수행할 수 있다. 즉, 계획 단계에서는 AI의 전략 제안 기능과 교사의 해석적 개입이 상호보완적으로 작동할 필요가 있다.

Table 3. Results of Regression Analysis

Stage	Worksheet-Based Instructio	AI Role & Feedback	Teacher Role & Feedback	Collaborative Complement
Planning	Worksheet prompt: Students analyze the problem and organize what is needed for solving it. Student notes Known: forloop, length() function Unknown: roles of nested loops	Strategy Generator “This problem involves two loops with different roles.” “The outer loop controls the number of output lines, while the inner loop controls the range of characters printed per line.” “Can you explain the responsibility of each loop in your own words before writing the code?”	Strategy Interpreter “What you marked as ‘unknown’ is actually the core of this problem.” “Before coding, let’s verbally clarify what each loop is responsible for.”	Worksheet activities often remain at the level of listing concepts → AI reveals the underlying problem structure, and the teacher transforms it into a learner-centered planning strategy
Monitoring	Error during coding for (int j = 0; j <= i; ii++) cout << a[ii];	Diagnoser “The variable incremented in the inner loop (j) does not match the variable used for output (ii).” “As a result, the loop fails to control the output range properly.”	Regulator “Which variable should increase step by step in this loop?” “Is the variable usage here consistent with the output range you described in the planning stage?”	Worksheets mainly support surface-level error checking → AI identifies error patterns, while the teacher reframes the issue as a problem of reasoning flow rather than syntax
Evaluation	Post-activity reflection Students record changes in what they know/do not know after coding. Initial student record Unknown: nested loops	Data Summarizer “In the initial code, the roles of the nested loops were mixed, and variable increment errors repeatedly occurred.” “In the final code, the outer loop controls string length and the inner loop controls the output range, indicating a clear functional separation.” “However, this structural change is not yet explicitly articulated in the reflection record.”	Reflective Coach “Was this error simply a syntax mistake, or a problem in how you structured your thinking?” “When you encounter a nested loop problem again, what will you check before writing the code?”	Worksheets capture what was fixed, but not why it changed → AI provides evidence of cognitive change, and the teacher connects it to metacognitive reconstruction

둘째, 모니터링(Monitoring) 단계에 대한 시사점이다. 정량 및 정성 분석 결과에서 공통적으로 드러난 것은 수행 중 사고 점검의 지속성이 충분히 확보되지 않았다는 점이다. 이를 보완하기 위해 AI는 코드 실행, 오류 발생, 문제 해결 경로와 같은 행동 데이터를 실시간으로 분석하여 학습자가 현재 사용 중인 전략의 적절성을 점검하도록 유도하는 피드백을 제공할 수 있다. 교사는 이러한 정보를 바탕으로 학습자의 사고 흐름을 조정하고, 단순 오류 수정이 아닌 전략 수준의 개선을 유도하는 역할을 수행할 수 있다. 이는 활동지 기반 수업에서 상대적으로 취약했던 수행 중 사고 조절을 보완할 수 있는 방향으로 해석된다.

셋째, 평가(Evaluation) 단계에서의 시사점이다. 본 연구 결과는 사후 성찰이 학습자의 사고 재구성으로 충분히 연결되지 못했을 가능성을 보여준다. 이에 따라 AI가 학습자의 수행 로그와 반성 기록을 종합하여 전략 사용 양상을 요약·시각화하고, 교사는 이를 활용해 학습자가 자신의 오류 패턴과 사고 변화를 재구성하도록 지원하는 방식이 논의될 수 있다. 이러한 접근은 평가 단계를 단순한 결과 확인이 아닌 메타인지적 성찰을 심화하는 과정으로 확장하는 데 기여할 수 있다.

이와 같은 단계별 역할 분담에 대한 논의는 AI의 실시간 분석 기능과 교사의 맥락적 판단을 결합함으로써 학습자가 계획-모니터링-평가의 사고 순환을 보다 반복적으로 경험

하도록 지원할 수 있음을 시사한다. 이는 본 연구에서 확인된 활동지 기반 학습의 강점을 유지하면서 수행 과정 중 즉각적 피드백이 부족했던 한계를 보완하기 위한 하나의 설계적 시사점으로 이해될 수 있다. Table 3은 앞서 논의한 결과 해석과 설계 시사점을 바탕으로, 3차시 활동지 기반 프로그래밍 수업을 사례로 하여 문자열 처리와 중첩 반복문 학습 맥락에서 AI-교사 협업이 학습 단계별로 어떻게 적용될 수 있는지를 예시적으로 정리한 것이다.

6. 결론

본 연구는 메타인지 촉진 원칙을 적용한 활동지 기반 수업을 통해 학습자의 학업적 자기효능감, 메타인지 인식, 문제 해결 능력의 변화를 분석하고, 메타인지 인식이 문제 해결력에 미치는 영향을 탐색적으로 검토하였다. 이를 통해 활동지 기반 메타인지 수업의 효과와 한계를 함께 조명하고자 하였다. 분석 결과, 학업적 자기효능감은 통계적으로 유의하게 향상되었으나, 메타인지 인식과 문제 해결 능력의 사전 및 사후 변화는 유의한 수준에 도달하지 못하였다. 회귀분석을 통해 메타인지 인식의 하위 요인이 문제 해결력에 미치는 영향을 검토한 결과, 하위 요인 중 정보 관리 요인은 다른 요인을 통제한 이후에도 문제 해결력에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다($\beta = .42, p = .002$). 반면, 오류

점점 요인은 표준화 회귀계수가 상대적으로 크게 나타났으나($\beta = .21$), 통계적 유의수준에는 도달하지 못하였다($p = .052$).

이러한 결과는 본 연구에서 적용한 활동지 기반 학습이 문제 해결 과정에서 정보를 조직하고 활용하는 정보 관리 전략과 같은 초기 인지 전략 수준에서는 일정한 역할을 했을 가능성을 시사한다. 반면 계획-모니터링-평가로 이어지는 고차적 자기조절 과정은 본 연구의 처치 조건 하에서 통계적으로 명확하게 확인되지 않았다. 이는 활동지 중심 수업이 학습자의 사고를 촉진하는 데 기여할 수는 있으나 문제 해결 과정 전반에 걸친 지속적이고 수행 중 중심의 사고 조절을 충분히 지원하는 데에는 제약이 있었을 가능성을 보여준다.

이러한 결과는 향후 교수-학습 설계에서 학습자의 문제 해결 과정을 수행 중에 파악하고, 전략 수준에 따라 피드백을 제공할 수 있는 지원 체계의 필요성을 시사한다. 특히 본 연구 결과는 활동지 기반 학습의 강점을 유지하면서, 수행 과정 중 즉각적 피드백이 부족했던 한계를 보완할 수 있는 방향에 대한 시사점을 제공한다.

본 연구는 활동지 기반 메타인지 학습이 학습자의 문제 해결 과정에 미치는 영향을 정량적 분석을 통해 실증적으로 검토하고, 그 결과를 토대로 교수-학습 설계 측면에서의 시사점을 도출하였다는 점에서 의의를 갖는다. 다만 단일집단 사전 및 사후 설계를 적용하였기에 연구 처치 외 요인의 영향을 완전히 통제하기 어렵고, 연구 대상이 컴퓨터공학 전공자로 한정되어 있어 결과의 일반화에는 신중한 해석이 필요하다는 한계가 존재한다. 이러한 점에서 본 연구의 결과는 처치 효과를 확증적으로 입증한 결론이라기보다 후속 연구를 위한 탐색적 근거로 이해될 필요가 있다.

그럼에도 불구하고 본 연구는 활동지 기반 메타인지 수업의 효과와 한계를 함께 조명하고, 메타인지 하위 요인과 문제 해결 능력 간의 관계를 경험적 자료를 통해 분석함으로써, 향후 AI와 교사의 협력적 피드백을 결합한 인간 중심 교수-학습 설계 논의에 기초 자료를 제공하였다는 점에서 의미를 지닌다. 이는 후속 연구에서 보다 정교한 실험 설계와 다양한 학습자 집단을 대상으로 한 확장 연구로 이어질 수 있는 출발점이 될 것이다.

참고문헌

- [1] Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2022). *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning*. Center for Curriculum Redesign. <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10139722>
- [2] Luckin, R. (2018). *Machine learning and human intelligence: The future of education for the 21st century*. UCL IOE Press.
- [3] UNESCO. (2023). *AI and education: guidance for policy-makers*. UNESCO Publishing. <https://www.unesco.org/en/articles/ai-and-education-guidance-policy-makers>
- [4] Keuning, H., Jeurung, J., & Heeren, B. (2018). A systematic literature review of automated feedback generation for programming exercises. *ACM Transactions on Computing Education, 19(1)*, 1–43. <https://doi.org/10.1145/3231711>
- [5] Liu, T. (2022). Knowledge tracing: A bibliometric analysis. *Computers & Education : Artificial Intelligence, 3*, 100090. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100090>
- [6] OECD. (2021). *AI and the future of skills, volume 1: Capabilities and assessments*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/5ee71f34-en>
- [7] Azevedo, R., Moos, D. C., Greene, J. A., Winters, F. I., & Cromley, J. G. (2010). Why is externally-facilitated regulated learning more effective than self-regulated learning with hypermedia? *Educational Technology Research and Development, 58(2)*, 203-223. <https://doi.org/10.1007/s11423-007-9067-0>
- [8] Schraw, G., & Moshman, D. (1995). Metacognitive theories. *Educational Psychology Review, 7*, 351-371. <https://doi.org/10.1007/BF02212307>
- [9] Schunk, D., & Greene, J. (2018). *Handbook of self-regulation of learning and performance (2nd ed.)*. Routledge/Taylor & Francis Group.
- [10] Efklides, A. (2008). Metacognition: Defining its facets and levels of functioning in relation to self-regulation and co-regulation. *European Psychologist, 13(4)*, 277-287. <https://doi.org/10.1027/1016-9040.13.4.277>
- [11] Flavell, J. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist, 34(10)*, 906-911. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.34.10.906>
- [12] Newell, A., & Simon, H. (1972). *Human problem solving*. Prentice-Hall.
- [13] Jonassen, D. (2000). Toward a design theory of problem solving. *Educational Technology Research and Development, 48(4)*, 63-85. <https://doi.org/10.1007/BF02300500>
- [14] Mayer, R. (1992). *Thinking, problem solving, cognition (2nd ed.)*. W H Freeman/Times Books/ Henry Holt & Co.
- [15] Chi, M., & Glaser, R. (1985). *Problem-solving ability*. In R. Sternberg (Ed.), *Human abilities: An information-processing approach*. W. H. Freeman.
- [16] Azevedo, R., & Cromley, J. (2004). Does training on self-regulated learning facilitate students' learning with hypermedia? *Journal of Educational Psychology, 96(3)*, 523-535. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.96.3.523>
- [17] Veenman, M. J., Van Hout-Wolters, B., & Afflerbach, P. (2006). Metacognition and learning: Conceptual and methodological considerations. *Metacognition and Learning, 1(1)*, 3-14. <https://doi.org/10.1007/s11409-006-6893-0>
- [18] Butler, D., & Winne, P. (1995). Feedback and self-regulated learning: A theoretical synthesis. *Review of Educational Research, 65(3)*, 245-281. <https://doi.org/10.3102/00346543065003245>
- [19] Nicol, D., & Macfarlane-Dick, D. (2006). Formative assessment and self-regulated learning: A model and seven principles of good feedback practice.

Studies in Higher Education, 31(2), 199-218. <https://doi.org/10.1080/03075070600572090>

- [20] Kim, A., & Park, I. (2001). Construction and validation of academic self-efficacy scale. *Korean Journal of Educational Research*, 39(1), 95-123.
- [21] Schraw, G., & Dennison, R. (1994). Assessing metacognitive awareness. *Contemporary Educational Psychology*, 19(4), 460-475. <https://doi.org/10.1006/ceps.1994.1033>
- [22] Lee, W., Park, S., & Choi, E. (2008). Development of a Korean problem solving process inventory for adults. *Journal of Korean Academy of Fundamentals of Nursing*, 15(4), 548-557. <https://koreascience.kr/article/JAKO200801440603982.page>



김민수

- 2010년 인천대학교 컴퓨터공학과(학사)
- 2012년 인천대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
- 2023년 성균관대학교 컴퓨터교육전공 (박사)
- 2023년~현재 성균관대학교 사범대학 컴퓨터교육과 겸임교수

✚ 관심분야 : AI 교육, AI 윤리, SW 교육, 컴퓨팅 사고력
✉ basic37@naver.com



유경선

- 2003년 한성대학교 정보전산학부(학사)
- 2008년 가천대학교 전자계산교육전공 (석사)
- 2024년 성균관대학교 컴퓨터교육전공 (박사)
- 2021년~현재 네이버 커넥트 재단 AI Tech 매니저

✚ 인공지능 윤리, SW 교육, AI 교육, 컴퓨팅 사고력
✉ sunzone81@gmail.com