

교육학 학위 청구논문

생성형 AI(GPT)를 활용한 전기·전자 실습 수업이 자기주도 학습 역량에 미치는 영향 분석

전남대학교 교육대학원

교육학과 전산교육전공

한 아 름

2026년 8월

목차

국문초록

I. 서론

1. 연구의 필요성 및 목적.....1
2. 연구 문제.....2
3. 연구의 범위 및 제한점.....3

II. 이론적 배경

1. 2022 개정 교육과정의 주요 특징.....4
 - 가. 학습자 주도성 및 미래 핵심 역량
 - 나. 전문교과(전기·전자 계열)의 교육과정 변화
2. 전기·전자 전문교과 실습 교육의 특성과 한계.....8
 - 가. 전통적 실습 수업의 교수·학습 구조
 - 나. 전기·전자 실습 수업에서 학습자의 인지적·정의적 어려움
 - 다. 하드웨어 실습과 소프트웨어 실습의 근본적 차이
 - 라. 실습 수업에서 개별화 지도와 즉각적 피드백의 한계
3. 생성형 AI(GPT)의 교육적 이해.....15
 - 가. 디지털 기반 실습 수업의 확산과 교육적 의미
 - 나. 시뮬레이션 및 가상 실습의 교육적 의미
 - 다. 생성형 AI의 개념 및 특성
 - 라. 교육 분야에서의 생성형 AI 활용 사례
4. 생성형 AI와 학습자 주도성의 관계.....23
5. 전기·전자 전문교과 실습 수업과 생성형 AI의 연계 가능성.....27
 - 가. 2022 개정 교육과정 관점에서 본 생성형 AI 활용의 필요성
 - 나. 전기·전자 실습 수업에서 생성형 AI의 교육적 역할
 - 1) 실습 사전 단계에서의 학습지원
 - 2) 실습 수행 단계에서의 문제 해결 및 피드백 지원

- 3) 실습 종료 단계에서의 성찰 및 정리 지원
- 다. 교사 역할 변화와 수업 운영상의 시사점
- 라. 기존 연구와의 차별점

III. 생성형 AI를 활용한 전기·전자 실습 수업 설계

- 1. 수업 설계의 기본 방향.....35
- 2. 생성형 AI 기반 실습 수업 모형 제안.....36
 - 가. 분석(Analysis) 단계
 - 나. 설계(Design) 단계
 - 다. 개발(Development) 단계
 - 라. 실행(Implementation) 단계
 - 마. 평가(Evaluation) 단계
- 3. 수업 단계별 생성형 AI 활용 전략.....41
 - 가. 도입 단계
 - 나. 전개 단계(실습 수행 단계)
 - 다. 정리 단계(성찰 및 확장)
- 4. 수업 사례 적용.....46
 - 가. 사전 탐구 단계
 - 나. 회로 구상 단계
 - 다. 실습 및 교정 단계
 - 라. 확장 단계

IV. 연구 방법 및 결과

- 1. 연구 설계.....52
- 2. 연구 도구.....52
- 3. 연구 절차.....53
- 4. 자료 분석 방법.....54
- 5. 연구대상의 일반적 특성.....56
- 6. 연구도구의 타당도 및 신뢰도.....56

7. 기술통계 분석.....	57
8. 정규성 검정.....	59
9. 사전 동질성 검정.....	60
10. 공분산분석(ANCOVA)의 전제조건 검토.....	61
가. 회귀기울기의 동일성 검정	
나. 잔차의 정규성 검정	
11. 공분산분석 결과.....	63
12. 추정 주변 평균 분석.....	64
13. 집단 내 사전·사후 변화 분석.....	64
14. 연구결과 종합.....	67
15. 학습행동 관찰 분석.....	67
가. 질문 빈도 변화	
나. 자기주도학습 변화	
다. 시행착오 행동 빈도 변화	
라. 과제완성도 변화	
마. 학습행동 관찰 결과 종합	
 V. 논의 및 결론	
1. 연구의 의의.....	72
2. 연구 결과의 교육적 시사점.....	73
3. 산업 현장 요구를 반영한 실습 수업의 변화.....	74
4. 연구의 한계.....	75
5. 후속 연구를 위한 제언.....	77
 참고문헌.....	79
Abstract.....	84
부록 목차.....	86

표 목차

[표 1] 2022 개정 교육과정에 따른 전문교과 체계 개편 주요 내용	7
[표 2] 실습 유형별 주요 활동과 한계	13
[표 3] 생성형 AI 활용 기존 연구와 본 연구의 비교	34
[표 4] 생성형 AI 활용 전기·전자 실습 수업 설계의 기본 원칙	36
[표 5] ADDIE 기반 생성형 AI 활용 전기·전자 실습 수업 설계 모형	40
[표 6] 실습 후 단계에서의 생성형 AI 활용 활동	45
[표 7] 질적 자료 수집 및 주요 활동	53
[표 8] 연구 절차 및 활동	54
[표 9] 연구대상의 일반적 특성	56
[표 10] 연구도구의 신뢰도 분석 결과	57
[표 11] 집단별 자기주도 학습 역량 기술통계량	58
[표 12] 사전점수 정규성 검정 결과	60
[표 13] 사전 동질성 검정 결과	61
[표 14] 회귀기울기 동일성 검정 결과	62
[표 15] 잔차의 정규성 검정 결과	62
[표 16] 공분산분석 결과	63
[표 17] 집단별 추정 주변 평균	64
[표 18] 차이점수 정규성 검정 결과	65
[표 19] 대응표본 t검정 결과(A집단)	65
[표 20] 대응표본 t검정 결과(B집단)	66
[표 21] 윌콕슨 부호순위 검정 결과(A집단)	66
[표 22] 윌콕슨 부호순위 검정 결과(B집단)	66

그림 목차

[그림 1] 전통적 실습 수업 vs AI 기반 실습 수업 비교.....	21
[그림 2] 생성형 AI를 활용한 전자부품 탐색 활동.....	47
[그림 3] 생성형 AI 기반 회로 구상 활동.....	48
[그림 4] 납땜 및 회로 제작 활동.....	50
[그림 5] 회로 동작 확인 및 문제 해결 활동.....	51
[그림 6] 질문빈도 변화 그래프.....	68
[그림 7] 자기주도학습 변화 그래프.....	68
[그림 8] 시행착오 행동 빈도 변화 그래프.....	69
[그림 9] 과제완성도 변화 그래프.....	70

생성형 AI(GPT)를 활용한 전기·전자 실습 수업이 자기주도 학습 역량에 미치는 영향 분석

한 아 름

전남대학교 교육대학원
교육학과 전산교육전공
(지도교수 : 최광훈)

(국문초록)

본 연구는 생성형 AI(ChatGPT)를 활용한 전기·전자 하드웨어 실습 수업이 학습자의 자기주도 학습 역량에 미치는 영향을 실증하기 위한 연구이다.

기존 생성형 AI 활용 자기주도학습 연구는 주로 소프트웨어 프로그래밍 분야에 집중되어 있으나, 본 연구는 전기·전자 하드웨어 실습 분야에서 처음으로 그 효과를 검증한다는 점에서 차별성을 가진다.

특성화고등학교 1학년 40명(실험군 20명, 대조군 20명)을 대상으로 4주간(4차시) 납땜 실습 수업을 진행하였고, 공분산분석(ANCOVA)을 통해 양적 데이터를 분석하였다.

결과적으로 실험군은 ANCOVA $F=34.206(p<.001)$ 로 자기주도 학습 역량이 유의미하게 향상되었으며, 특히 실행 영역에서 3.12에서 4.11로 상승($Z=-4.300$, $p<.001$)하였다. 질적 분석에서는 학생들이 AI를 통해 부품 선택 이유, 오류 원인 등을 스스로 탐색하면서 교사 의존도가 감소하고 자기주도적 행동이 지속되는 특성을 보였다.

본 연구는 하드웨어 실습만의 고유한 특성(부품 선택, 물리적 오류, 반복 숙달)

에서 생성형 AI가 어떻게 자기주도 학습을 촉진하는지를 보여줌으로써, 실습 중심 직업교육에서 AI 활용의 가능성을 제시한다.

【핵심어】 생성형 AI(ChatGPT), 전기·전자 하드웨어 실습, 자기주도 학습 역량, 직업계고, 납땜 실습

I. 서론

1. 연구의 필요성 및 목적

최근 직업 교육 분야에서는 산업 현장의 실무 역량을 갖춘 인재 양성이 핵심 과제로 제시되고 있다. 특히 전기·전자 분야에서 납땜 실습은 회로 제작과 장비 운용의 기초가 되며, 학습자의 기능 숙달과 문제 해결 능력 발달에 기여한다.

그러나 전통적인 실습 수업은 교사 중심의 시범과 설명으로 이루어져, 학습자가 오류 발생 시 자기주도적으로 문제를 분석하기보다는 교사의 즉각적인 도움을 요청하는 경향을 보인다. 예를 들어 납땜 과정의 접합 불량이나 가열 부족 문제에서 학습자는 원인 탐색보다 교사의 지시를 기다린다. 이는 자기주도 학습 능력 형성을 제약한다.

자기주도적 학습은 학습자가 자신의 학습을 스스로 계획·실행·평가하는 능력이다(Knowles, 1975). 특히 실습 환경에서 다양한 오류 상황을 학습자가 스스로 해결하는 경험은 직무 역량뿐만 아니라 학습 능력 향상에 중요한 역할을 한다.

생성형 AI의 발전은 즉각적인 피드백을 통해 자기주도적 문제 해결을 지원할 수 있게 하였다. 그러나 기존 생성형 AI 활용 연구는 주로 소프트웨어 프로그래밍 교육에 집중되어 있다. 소프트웨어 분야에서는 오류 즉시 수정과 시뮬레이션을 통한 반복이 가능하다. 반면 하드웨어 실습은 납땜 오류의 물리적 수정, 부품 선택의 기술적 이해, 반복적 숙달 과정이 필수적이다. 따라서 하드웨어 실습의 고유한 특성을 반영한 생성형 AI 활용 연구가 필요하다.

본 연구는 생성형 AI를 활용한 납땜 실습 수업이 학습자의 자기주도 학습 능력에 미치는 영향을 실증적으로 분석한다. 양적 분석을 통해 효과를 검증하고, 질적 분석을 통해 실습 과정에서의 행동 변화(질문 빈도, 자기주도 행동, 시행착오, 과제완성도)와 생성형 AI와의 상호작용을 심층적으로 탐구한다. 나아가 하드웨어 실습의 고유한 특성(물리적 오류와의 직면, 부품 선택의 중요성, 반복적 숙달 과정) 속에서 자기주도 학습 능력이 어떻게 형성되는지를 규명하는 데 목적이 있다.

2. 연구 문제

본 연구는 생성형 AI를 활용한 전기·전자 납땜 실습 수업이 학습자의 자기주도 학습 역량에 미치는 영향을 분석하고, 실습 과정에서 나타나는 학습자 행동 변화와 교수·학습적 의미를 탐색하기 위해 다음과 같은 연구 문제를 설정하였다.

첫째, 생성형 AI를 활용한 전기·전자 납땜 실습 수업은 기존 실습 수업에 비해 학습자의 자기주도 학습 역량에 유의미한 변화를 가져오는가?

둘째, 생성형 AI 기반 납땜 실습 수업에서 학습자 주도성의 하위 요소(목표 설정, 학습 전략 활용, 자기 점검 및 성찰 등)는 어떠한 양상으로 변화하는가?

셋째, 납땜 실습 과정에서 발생하는 오류 해결 과정에서 생성형 AI는 어떠한 역할을 수행하며, 학습자의 문제 해결 행동에 어떠한 영향을 미치는가?

넷째, 생성형 AI를 활용한 전기·전자 납땜 실습 수업 설계 모형은 어떻게 구성되며, 실제 적용 결과는 어떠한 교육적 시사점을 제공하는가?

3. 연구의 범위 및 제한점

본 연구의 대상은 특성화고등학교 전기·전자 계열 1학년 학생을 중심으로 하며, ‘전기 회로’, ‘전자 회로’, ‘디지털 논리 회로’ 등 실습 비중이 높은 교과를 중심으로 설정하였다. 연구 설계는 실험집단과 대조집단을 구성하여, 생성형 AI를 활용한 수업과 기존 수업 간의 차이를 비교하는 준실험설계(quasi-experimental design)를 적용하였다.

본 연구에서 활용하는 생성형 AI 도구는 텍스트 및 코드 생성이 가능한 GPT 기반 거대 언어 모델을 중심으로 하며, 필요에 따라 다양한 보조 기능을 활용하였다.

연구의 제한점은 다음과 같다.

첫째, 본 연구는 특정 학교의 제한된 표본을 대상으로 수행된 실험 연구로, 연구 결과를 모든 직업계 고등학교에 일반화하는 데에는 한계가 있다.

둘째, 실험 기간이 비교적 단기간에 이루어져 장기적인 학습 효과를 확인하는 데에는 제약이 있다.

셋째, 자기주도학습 역량 측정이 설문 도구에 의존하고 있어, 학습자의 실제 행동 변화를 완전히 반영하지 못할 가능성이 있다.

넷째, 생성형 AI는 부정확한 정보를 생성할 가능성을 지니므로, 본 연구에서는 이를 보조적 학습 도구로 활용하고 학습자의 비판적 검토 과정을 전제로 하였다.

II. 이론적 배경

1. 2022 개정 교육과정의 주요 특징

가. 학습자 주도성 및 미래 핵심 역량

2022 개정 교육과정은 우리 교육이 지향해 온 홍익인간의 이념을 바탕으로, 급변하는 미래 사회에 능동적으로 대응할 수 있는 인간상을 함양하는 데 목적을 두고 있다. 이를 위해 교육과정은 ‘자기주도성’, ‘창의와 혁신’, ‘포용성과 시민성’을 핵심 가치로 제시하며, 학생이 학교 교육의 수동적인 참여자가 아니라 학습의 주체로 성장할 수 있도록 하는 방향을 강조한다(교육부, 2022).

특히 2022 개정 교육과정에서 강조하는 학습자 주도성(Learner Agency)은 학생이 교사의 지시를 따르는 존재에 머무르지 않고, 자신의 학습 목표를 이해하고 학습 과정에 적극적으로 참여하며, 학습 결과를 성찰하고 조절하는 능력을 의미한다. 이는 학습 결과뿐만 아니라 학습 과정에서의 선택과 참여를 중시하는 관점으로, 학생이 스스로 학습의 의미를 구성해 나가도록 지원하는 데 초점을 둔다(교육부, 2022).

이러한 학습자 주도성의 강조는 지식의 양적 습득보다 학습 과정에서의 사고력과 문제 해결 경험을 중시하는 교육과정의 방향 전환을 반영한 것으로, 학교 교육 전반에서 교수·학습 방식의 근본적인 변화를 요구한다. 특히 전문교과를 포함한 실습 중심 교과에서는 학생이 주어진 절차를 반복 수행하는 데 그치지 않고, 실습 과정에서 발생하는 문제를 스스로 탐색하고 해결해 나가는 경험을 통해 학습자 주도성을 함양할 수 있도록 수업이 설계될 필요가 있다. 이러한 학습자 주도성은 단순한 교육과정의 선언적 목표를 넘어, 미래 사회에서 요구되는 핵심 역량으로서 학문적 논의에서도 지속적으로 강조되고 있다.

2022 개정 교육과정에서 제시하는 학습자 주도성은 단순한 선택의 자유를 의미하는 것이 아니라, 학습자가 자신의 학습 과정을 예측하고 실행하며 성찰하는 반복적 과정 속에서 형성되는 역량으로 이해된다(이승미 외, 2024). 이러한 관점에서 볼 때, 학습자 주도성은 교사의 역할 축소가 아니라 학습자의 사고와 판단을 지원하는 체계적 환경 설계를 통해 촉진될 수 있다.

최숙영(2024)은 생성형 AI 시대의 미래 인재에게 요구되는 핵심 역량으로 생성형 AI 리터러시를 중심으로 창의성, 비판적 사고, 메타인지, 윤리의식과 함께 자기주도성 및 의사결정 역량을 제시하며, AI가 다양한 해결 방안을 제시하는 환경에서 학습자가 스스로 판단하고 선택하는 능력의 중요성을 강조하였다. 이는 2022 개정 교육과정에서 학습자 주도성을 핵심 가치로 설정한 방향과 부합한다. 또한 학습자 주도성은 실제 수업 맥락에서도 학습 성과와 밀접한 관련이 있음이 보고되고 있다. 박현경(2018)의 연구에 따르면, 플립러닝 환경에서 자기주도 학습 능력이 높은 학생일수록 학습 성취도와 흥미가 유의미하게 높게 나타났으며, 교사의 자율성 지지는 학습자의 주도적 학습을 촉진하는 중요한 요인으로 작용하였다. 이는 학습자에게 선택권과 탐색의 기회를 제공하는 교수·학습 환경이 학습자 주도성 함양에 실질적인 영향을 미침을 시사한다. 나아가 AI를 교육과정 차원에서 체계적으로 다루어야 한다는 논의 역시 학습자 주도성의 중요성을 뒷받침한다. 윤주연(2024)은 초·중학교 AI 교육과정기준 개발 연구에서 AI 교육이 문제 해결과 설계 중심의 활용, 표현, 자기주도성 함양을 지향해야 함을 제시하며, 학습자가 AI를 단순한 도구로 사용하는 수준을 넘어 주도적으로 활용할 수 있는 역량의 중요성을 강조하였다. 이러한 관점은 향후 전문교과 실습 수업에서도 학습자 주도성을 중심에 둔 AI 활용 설계가 필요함을 시사한다.

나. 전문교과(전기·전자 계열)의 교육과정 변화

전기·전자 계열 전문교과는 2022 개정 교육과정에서 신기술 도입과 산업 구조 변화에 대응하기 위해 교과 체계가 세분화되고 고도화되었다. 기존의 ‘전기 회로’, ‘전기 기기’, ‘자동 제어’와 같은 전통 교과를 유지하면서도, ‘로봇 지능 개발’, ‘반도체 제조’, ‘스마트 가전’ 등 미래 산업 수요를 반영한 실무 중심 교과가 강화되었다. 이는 단순 기능 습득 중심의 교육에서 벗어나, 산업 현장에서 요구되는 복합적 문제 해결 능력과 응용 역량을 갖춘 인재 양성을 목표로 한다(교육부, 2022).

특히 2022 개정 교육과정에서는 미래 직업 세계 변화에 대비하여 전문교과를 총 17개 교과(군)로 재구조화하고, 융복합적 사고와 산업 연계를 강화하기 위한 교과 개편이 이루어졌다. 이 과정에서 인공지능, 디지털 기술, 지식재산 등을 기

반으로 한 융복합 교과가 신설되었으며, 전공별 진로와 연계된 자격증, 관련 직업, 후학습 경로를 함께 제시함으로써 학생의 진로 설계를 체계적으로 지원하도록 구성되었다(교육부, 2022).

또한 전문교과 학습을 지원하기 위해 ‘VR·AR 콘텐츠 제작’, ‘드론 기초’, ‘인공지능 일반’ 등 디지털·신기술 기반의 선택 과목이 확대되었으며, 총 88종의 선택 과목이 새롭게 도입되었다. 이러한 변화는 학생들이 특정 기술에 국한되지 않고, 디지털 역량과 공학적 사고를 기반으로 다양한 산업 분야로 확장 가능한 역량을 기르도록 하는 데 목적이 있다(교육부, 2022).

이와 같은 교육과정 개편은 단순한 교과 내용의 변화에 그치지 않고, 실습 수업의 교수·학습 방식 전환을 함께 요구한다는 점에서 중요한 의미를 갖는다. 즉, 전통적인 시연·모방 중심의 실습에서 벗어나, 프로젝트 기반 학습(Project-Based Learning)과 디지털 도구를 활용한 탐구 중심 실습으로의 전환이 강조되고 있으며, 학습자가 실제 산업 현장을 모사한 문제 상황 속에서 스스로 문제를 정의하고 해결하는 학습 경험이 요구되고 있다. 이는 곧 학습자 주도적 학습 역량의 함양과 직결된다.

이러한 변화는 생성형 AI와 같은 디지털 도구의 교육적 활용 필요성을 더욱 부각시킨다. 생성형 AI는 복잡한 회로 설계 과정에서의 사고를 지원하고, 실시간 피드백과 다양한 해결 방안을 제공함으로써 학습자가 스스로 탐구하고 문제를 해결하는 과정을 촉진할 수 있다. 따라서 생성형 AI는 전기·전자 실습 수업에서 학습자 주도성을 실현할 수 있는 핵심 도구로 기능할 수 있다.

한편, 교육과정 개편의 방향성과 관련하여 선행연구에서도 실습 교육의 변화 필요성이 지속적으로 제기되어 왔다. 오주은(2023)은 인공지능 시대를 대비한 전기·전자 교육과정 개선 연구에서, 기존 교과가 기능 중심 교육에 머물 경우 급변하는 산업 구조에 효과적으로 대응하기 어렵다고 지적하였다. 특히 인공지능, 데이터 처리, 자동화 기술과 연계된 학습 요소를 반영함으로써, 학생들이 미래 산업 환경에서 요구되는 확장 가능한 역량을 기를 수 있도록 교육과정의 재구성이 필요함을 강조하였다. 이는 2022 개정 교육과정의 개편 방향과 일치한다.

또한 노유나(2020)는 전자기기기능사 실기시험이 여전히 낱땀 중심의 단순 기능 수행에 머물러 있어, 실제 산업 현장에서 요구되는 회로 설계 및 문제 해결

역량과 피리가 존재함을 지적하였다. 이는 학교 실습 교육이 산업 현장의 요구를 충분히 반영하지 못하고 있음을 보여주며, 실습 수업의 내용과 방식 모두에서 전환이 필요함을 시사한다.

이상의 논의를 종합하면, 2022 개정 교육과정에서 이루어진 전문교과 체계 개편은 단순한 교과 구조 변화에 그치지 않고, 실습 수업의 교수·학습 방식 전반에 걸친 재구조화를 요구한다. 특히 학습자가 실제 문제 상황에서 설계하고, 수정하고, 판단하는 경험을 중심으로 한 학습 환경을 조성하기 위해서는 디지털 기술과 인공지능을 적극적으로 활용한 수업 설계가 필수적이다. 따라서 본 연구에서 제안하는 생성형 AI 기반 전기·전자 실습 수업은 이러한 교육과정 변화의 요구를 반영한 실천적 접근이며, 학습자 주도성 함양을 위한 효과적인 교수·학습 방안으로서 그 의의를 가진다.

[표 1] 2022 개정 교육과정에 따른 전문교과 체계 개편 주요 내용

구분	내용
교과 구조	전문교과 17개 교과(군)로 조정
신설 과목	VR·AR 콘텐츠 제작, 드론 기초, 인공지능 일반 등
과목 수	신규 포함 총 88종
교육 방향	융복합·실무·진로 연계 강화

2. 전기·전자 전문교과 실습 교육의 특성과 한계

가. 전통적 실습 수업의 교수·학습 구조

전기·전자 전문교과 실습 수업은 이론 수업에서 학습한 전기·전자 원리를 실제 물리적 장치와 회로를 통해 확인하고, 이를 반복적으로 적용함으로써 기능과 이해를 심화하는 데 목적이 있다. 이러한 실습 수업은 전기 회로 구성, 전자 부품 연결, 계측 장비 사용 등 다양한 조작 활동을 포함하며, 공학적 사고와 문제 해결 능력을 기르는 데 중요한 역할을 한다.

전통적인 전기·전자 실습 수업은 대체로 교사가 실습 내용을 설명한 후 회로 구성이나 장비 조작 과정을 직접 보여주는 ‘시연(Demonstration)’ 중심의 교수·학습 구조로 운영되어 왔다. 이후 학생들은 교사가 제시한 절차와 동일한 방식으로 회로를 구성하고 실습을 수행하는 ‘모방 실습’ 단계를 거치게 된다. 이러한 수업 방식은 한정된 수업 시간 내에 다수의 학생에게 동일한 실습 내용을 전달해야 하는 교육 여건 속에서 효율적인 운영 방식으로 활용되어 왔다.

그러나 이러한 전통적 실습 수업 구조는 학습자의 역할을 교사의 지시를 따르는 수행자로 제한하는 경향이 있다. 학생들은 정해진 절차를 정확히 재현하는 데에는 익숙해질 수 있으나, 회로 설계의 원리를 깊이 이해하거나 실습 과정에서 발생하는 오류의 원인을 스스로 분석하고 해결하는 경험은 충분히 제공받지 못하는 경우가 많다. 특히 회로 연결 오류, 측정값의 이상, 부품 선택의 부적절성 등 예기치 않은 상황이 발생했을 때, 학생은 문제를 탐색하기보다는 교사의 즉각적인 개입이나 정답 제시에 의존하게 되는 경향을 보인다.

또한 전통적 실습 수업에서는 교사가 실습 전 과정을 통제하고 동일한 속도로 수업을 진행하는 경우가 많아, 학습자의 이해 수준과 실습 숙련도 차이를 반영하는 데 한계가 있다. 실습 이해도가 낮은 학생은 실습 과정을 따라가는 데 어려움을 겪으며 반복적인 실패 경험을 할 수 있고, 반대로 이해도가 높은 학생은 추가적인 탐구나 확장 학습의 기회를 충분히 제공받지 못한 채 수업이 종료되는 경우도 발생한다. 이러한 구조는 학습자의 흥미 저하와 집중력 감소로 이어질 수 있으며, 실습 수업의 교육적 효과를 제한하는 요인으로 작용한다.

더 나아가 전통적인 모방 중심 실습 수업은 학생이 스스로 학습 목표를 설정하

고 실습 과정을 계획·조절하는 학습자 주도적 학습 경험을 제공하는 데 한계를 지닌다. 학생은 ‘어떻게 하면 회로가 정상적으로 동작하는가’보다는 ‘교사가 보여준 대로 제대로 했는가’에 초점을 맞추게 되며, 이는 공학적 사고와 문제 해결 능력 함양이라는 전기·전자 실습 수업의 본래 목적과 괴리를 발생시킬 수 있다.

전통적인 공업계 고등학교 실습 수업은 교사의 설명과 과제 제시 이후 학생들이 개별적으로 실습을 수행하는 구조로 운영되는 경우가 많다. 손정웅(2013)의 PLC 실습 수업에 대한 질적 연구에 따르면, 교사는 실습 과제를 제시한 후 교실을 순회하며 학생들의 수행 과정을 점검하는 방식으로 수업을 운영하였으며, 학생들은 주어진 과제를 완성하는 데 초점을 두는 경향을 보였다. 특히 실습 과정에서 먼저 과제를 성공한 학생의 결과를 다른 학생들이 보고 따라 하거나 참고하여 과제를 완성하는 모습이 빈번하게 관찰되었다. 이러한 교수·학습 구조는 단시간 내 과제 완성을 가능하게 하지만, 학생 개개인이 회로의 원리와 논리를 충분히 숙고하는 과정은 상대적으로 제한될 수 있음을 시사한다.

이러한 전통적 실습 수업의 교수·학습 구조는 2022 개정 교육과정이 강조하는 학습자 주도성, 문제 해결 중심 학습, 과정 중심 학습의 방향과도 일정 부분 긴장 관계에 놓여 있다. 따라서 전기·전자 전문교과 실습 수업에서는 기존의 시연·모방 중심 구조를 보완하여, 학생이 실습 과정에서 스스로 질문하고 탐구하며 문제를 해결해 나갈 수 있는 교수·학습 환경을 조성할 필요성이 제기된다.

나. 전기·전자 실습 수업에서 학습자의 인지적·정의적 어려움

전기·전자 전문교과 실습 수업은 전압, 전류, 저항과 같은 추상적인 전기적 개념을 물리적 회로와 장치를 통해 이해하도록 요구한다는 점에서 학습자에게 높은 인지적 부담을 요구한다. 학생들은 이론 수업에서 옴의 법칙이나 회로 해석 방법을 학습하였더라도, 실제 브레드보드나 실습 장비 상에서 물리량의 변화가 어떻게 나타나는지를 직관적으로 이해하는 데 어려움을 겪는 경우가 많다. 특히 회로 내부에서의 전류 흐름이나 전압 분포는 눈으로 직접 확인하기 어렵기 때문에, 학습자는 이론적 지식과 실습 결과를 연결하는 과정에서 혼란을 경험하게 된다.

또한 전기·전자 실습 수업에서 학습자가 가장 큰 어려움을 느끼는 과정은 회로

가 정상적으로 동작하지 않을 때 발생하는 문제 해결, 즉 디버깅 과정이다. 회로가 의도한 대로 동작하지 않는 경우, 학생은 전원 연결 오류, 부품 배치 실수, 회로 설계상의 문제 등 다양한 가능성 중에서 원인을 추론해야 한다. 그러나 이러한 디버깅 과정은 공학적 사고와 반복적인 검증을 요구하기 때문에, 경험이 부족한 학습자에게는 높은 난이도의 과제로 인식된다. 이 과정에서 학생들은 반복적인 실패를 경험하며 좌절감을 느끼고, 문제를 스스로 해결하려는 시도보다는 교사에게 즉각적인 도움을 요청하는 경향을 보이게 된다.

실습 수업의 시간적 특성 또한 학습자의 어려움을 심화시키는 요인으로 작용한다. 전기·전자 실습은 회로 설계, 부품 배치, 연결, 측정, 동작 검사에 이르기까지 최소 1차시 이상의 충분한 시간이 요구된다. 학생들은 상당한 시간을 들여 회로를 완성한 후에야 동작 검사를 진행할 수 있는데, 이 단계에서 회로가 정상적으로 동작하지 않을 경우 추가적인 수정과 재실습이 필요하다. 그러나 이미 많은 시간을 투입한 상황에서 결과가 나타나지 않으면 학습자의 학습 동기는 급격히 저하되는 경향을 보인다.

특히 실습 수행 속도가 느린 학생의 경우, 제한된 수업 시간 내에 회로 구성을 완료하지 못해 동작 검사 단계에 이르지 못한 채 수업이 종료되는 상황이 반복적으로 발생한다. 이후 다음 차시에서는 이전 실습을 이어서 수정·보완하기보다는 새로운 과제가 제시되는 경우가 많아, 학습자는 자신의 실습 결과를 점검하고 개선해 보는 경험을 충분히 갖지 못한다. 이러한 학습의 단절은 실습 결과에 대한 성찰 기회를 제한하며, 학습자가 실습 과정을 하나의 연속적인 문제 해결 경험으로 인식하는 데 어려움을 주게 된다.

이와 같은 학습자 경험은 질적 연구에서도 확인된다. 손정웅(2013)은 공업계 고등학교 PLC 실습 수업에 참여한 학생들을 대상으로 한 면담 연구를 통해, 실습 과제가 점차 복잡해질수록 학생들이 논리적 사고와 회로 설계 단계에서 어려움과 혼란을 겪으며, 이전 학습 내용을 충분히 이해하지 못한 상태에서 다음 과제로 이동할 경우 학습 부담이 누적되는 경향이 있음을 보고하였다. 또한 학생들은 회로 오류가 발생했을 때 문제의 원인을 체계적으로 추론하기보다는 교사의 직접적인 개입을 기다리는 모습을 보였으며, 이러한 경험이 반복될 경우 실습 참여에 대한 부담감이나 소극적인 태도로 이어질 수 있음을 시사하였다.

이러한 인지적 부담은 실습 실패 경험으로 이어지며, 일부 학생들은 반복적인 좌절을 통해 실습에 대한 흥미를 상실하거나 스스로를 ‘실습을 잘하지 못하는 학생’으로 인식하는 정의적 어려움을 보이게 된다. 이는 학습자의 자기효능감 저하와 학습 회피로 이어질 수 있으며, 실습 수업 전반에 대한 부정적인 인식을 형성하는 요인으로 작용한다. 실제로 학습자가 학습 과정에 주도적으로 참여하지 못할 경우 정의적 성과 역시 저해된다는 점은 플립러닝 환경에서 자기주도 학습능력과 학습 흥미의 관계를 분석한 연구에서도 확인된 바 있다(박현경, 2018).

결과적으로 이러한 인지적·정의적 어려움은 학습자가 실습 과정에서 스스로 문제를 탐색하고 해결하는 학습자 주도적 태도를 형성하는 데 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 학생은 실습 과제를 ‘완성해야 할 결과물’로 인식하게 되며, 문제 해결 과정 자체를 학습의 기회로 받아들이기보다는 교사의 도움을 통해 빠르게 정답을 찾고자 하는 수동적 학습 태도로 전환될 가능성이 있다. 이는 전기·전자 실습 수업이 지향하는 공학적 사고력과 문제 해결 능력 함양이라는 교육적 목표를 충분히 달성하는 데 구조적 한계로 작용한다.

다. 하드웨어 실습과 소프트웨어 실습의 근본적 차이

전기·전자 하드웨어 실습과 소프트웨어 프로그래밍 실습은 학습 특성이 근본적으로 다르다.

첫째, 물리적 오류의 불가역성이다. 소프트웨어에서 오류는 즉시 수정하고 결과를 확인할 수 있다. 반면 하드웨어에서 납땜 불량이나 부품 연결 오류는 부품을 다시 납땜하거나 교체해야 하므로 시간이 소요된다. 따라서 학습자는 단순히 "이것을 어떻게 고칠까?"를 넘어 "왜 이런 오류가 발생했을까?"를 깊이 있게 분석해야 한다.

둘째, 부품 선택과 기술적 이해의 필수성이다. 소프트웨어에서는 변수, 함수 같은 추상적 개념을 다루지만, 하드웨어에서는 저항값, 용량값 같은 부품 규격을 직접 선택하고 이해해야 한다. 학습자는 "왜 이 저항값(47Ω)을 써야 하나?"라는 질문을 통해 회로 설계 원리를 깊이 있게 이해하게 된다. 이는 산업 현장에서 실제로 필요한 응용 역량으로 직결된다.

셋째, 반복적 숙달 과정의 중요성이다. 소프트웨어에서는 프로그램이 정상 작동

하면 과제가 완료된다. 하지만 하드웨어에서는 같은 회로를 여러 번 구성하면서 매번 다른 오류를 만난다. 1차시 납땜 온도 실패, 2차시 부품 선택 오류, 3차시 회로 연결 실수 등을 반복 경험하면서만 숙련도가 향상된다.

넷째, 실제 산업 현장과의 동일성이다. 하드웨어 실습의 오류 상황은 산업 현장에서도 그대로 발생한다. 따라서 학교 실습에서의 문제 해결 경험이 직무 수행 능력으로 직결되며, 직업계고등학교의 핵심적 역할과도 부합한다.

이러한 특성으로 인해 하드웨어 실습에서 학습자가 AI에 던지는 질문은 단순한 "이 오류를 어떻게 고칠까?"를 넘어, "왜 이런 오류가 발생했나?", "이 부품의 역할이 뭐가?", "앞으로 어떻게 피할까?"로 발전한다. 이러한 질문 속에서 문제 탐색 능력, 기술적 이해, 창의적 사고가 형성된다.

라. 실습 수업에서 개별화 지도와 즉각적 피드백의 한계

전기·전자 전문교과 실습 수업은 학습자의 수행 과정 전반에 걸쳐 교사의 지속적인 관찰과 즉각적인 피드백이 요구되는 수업 형태이다. 그러나 실제 학교 현장에서는 한 학급당 20명 내외의 학생을 교사 1인이 지도하는 구조로 운영되는 경우가 대부분으로, 모든 학생의 실습 과정을 동시에 점검하고 개별적으로 지도하는 데에는 현실적인 한계가 존재한다.

특히 전기·전자 실습 수업은 회로 구성, 측정, 동작 검사 등 여러 단계에서 오류가 동시에 발생할 가능성이 높다. 이로 인해 교사는 특정 학생의 문제를 해결하는 동안 다른 학생의 학습 진행을 즉각적으로 지원하기 어려운 상황에 놓이게 된다. 이러한 지연된 피드백은 학습자의 실습 흐름을 단절시키고, 문제 해결 과정에서의 사고 활동을 약화시키는 요인으로 작용한다.

이 과정에서 학습자의 반응은 점차 양극화되는 경향을 보인다. 실습 수행 속도가 빠른 학생은 교사의 지도를 기다리는 시간이 길어지면서 학습에 대한 흥미가 저하될 수 있으며, 반대로 실습 이해도가 낮거나 수행 속도가 느린 학생은 반복적인 실패 경험으로 인해 문제 해결을 스스로 시도하기보다는 교사에게 해결을 의존하는 태도를 보이게 된다. 이는 학습자가 주도적인 학습 태도를 형성하는 것을 저해하는 요인으로 작용할 수 있다.

또한 교사는 실습 수업 전반에서 안전 관리, 수업 운영, 학습 진도 조절, 개별

지도 등 다양한 역할을 동시에 수행해야 하므로 교수 부담이 크게 증가한다. 이러한 상황에서는 학습자의 사고를 유도하는 질문 중심의 피드백보다는, 실습을 빠르게 마무리하기 위한 정답 제시나 직접적인 오류 수정에 집중하게 되는 경향이 나타날 수 있다. 결과적으로 개별화 지도와 즉각적 피드백의 부족은 전기·전자 실습 수업의 교육적 효과를 제한하는 구조적 한계로 작용한다.

이러한 실습 수업의 구조적 한계는 교사의 노력만으로 해결되기 어려우며, 학습자의 개별 학습 과정을 보조하고 즉각적인 피드백을 제공할 수 있는 교수·학습 도구의 필요성을 시사한다.

이러한 개별화 지도와 즉각적 피드백의 한계는 전기·전자 실습 수업에만 국한된 문제가 아니라, 디지털 학습 환경 전반에서 공통적으로 지적되어 온 구조적 문제이다. 이지현(2013)은 디지털 학습 환경에서 피드백을 학습자의 수행 향상과 몰입을 지원하는 핵심 요소로 보고, 즉각적이고 명확한 피드백이 제공되지 않을 경우 학습자가 몰입 상태에 도달하거나 이를 유지하는 데 어려움이 발생할 수 있음을 이론적으로 논의하였다. 또한 교사 중심의 일방적 피드백 구조는 다수의 학습자가 동시에 과제를 수행하는 상황에서 적시에 개별화된 피드백을 제공하는 데 한계가 있으며, 이로 인해 학습자의 자기 성찰과 탐구 중심의 사고 과정이 충분히 촉진되기 어려울 수 있음을 시사하였다.

[표 2] 실습 유형별 주요 활동과 한계

실습 유형	주요 활동	한계점
기초 소자 실습	저항, 커패시터, 인덕터 측정	단순 측정 반복으로 흥미 저하
회로 설계 실습	브레드보드 및 PCB 구성	복잡한 배선 오류 수정의 어려움
장비 운용 실습	오실로스코프, 파워 서플라이 조작	장비 고가화로 인한 개별 실습 제약

실습 수업에서 개별화 지도와 즉각적인 피드백의 중요성은 지속적으로 강조되어 왔으나, 실제 수업 현장에서는 구조적인 한계가 존재한다. 손정웅(2013)의 연

구에 따르면, 동일한 PLC 실습 수업이라 하더라도 학급별 분위기와 학생 구성에 따라 수업 참여 양상과 성취 수준에 차이가 나타났으며, 일부 학생들은 실습 과정에서 교사의 직접적인 개입에 의존하는 경향을 보였다. 특히 오류가 발생하거나 과제 해결에 어려움을 겪는 상황에서 교사의 설명이나 지도가 이루어질 때 실습이 다시 진행되는 모습이 관찰되었다. 그러나 교사 1인이 다수의 학생을 동시에 지도하는 수업 환경에서는 이러한 학생들에게 지속적이고 개별화된 피드백을 제공하는 데 한계가 있으며, 이로 인해 실습 속도와 이해도의 격차가 점차 확대될 수 있음을 시사한다. 이는 전기·전자 실습 수업에서 개별화된 학습 지원을 보조할 수 있는 추가적인 교수·학습 도구의 필요성이 제기된다.

이러한 한계를 보완하기 위한 대안으로, 최근에는 생성형 AI를 활용하여 실습 과정 전반에 걸쳐 즉각적이고 개별화된 피드백을 제공하려는 시도가 주목받고 있다.

3. 생성형 AI(GPT)의 교육적 이해

가. 디지털 기반 실습 수업의 확산과 교육적 의미

최근 교육 환경에서는 정보통신기술의 발전과 함께 디지털 기반 교수·학습 방식이 확산되면서, 실습 중심 교과에서도 온라인 콘텐츠와 디지털 도구를 활용한 수업이 점차 확대되고 있다. 특히 직업계고 전문교과의 경우, 실습이 핵심적인 교수·학습 방법임에도 불구하고 물리적 공간, 장비, 시간의 제약으로 인해 전통적인 대면 실습만으로는 충분한 학습 경험을 제공하는 데 한계가 존재해 왔다. 이러한 맥락에서 디지털 기반 실습 수업은 실습 환경의 제약을 보완하고 학습 기회를 확장하는 대안적 교수·학습 방식으로 주목받고 있다.

김남희 외(2021)는 직업계고 전문교과 교사들의 원격수업 경험을 분석한 연구에서, 실습을 포함한 전문교과 수업이 원격수업 환경에서 많은 어려움을 겪었음을 확인하였다. 동시에 동영상 자료, 시뮬레이션, 가정에서 수행 가능한 실습 과제 등 다양한 디지털 기반 시도가 이루어졌으며, 일부 교과에서는 실습 과정을 단계별로 설명한 영상 자료나 소프트웨어 기반 실습 도구를 활용하여 제한적이나마 학습의 연속성을 유지하려는 노력이 나타났다. 이러한 결과는 디지털 기반 실습 수업이 대면 수업을 단순히 대체하는 방식이 아니라, 실습 학습을 보조하고 확장하는 형태로 활용될 수 있음을 시사한다. 한편, 공학교육 분야에서도 이러닝과 디지털 콘텐츠를 활용한 실습 수업의 교육적 효과에 대한 실증적 연구가 이루어지고 있다. 박형근(2017)은 전기회로 교과를 대상으로 멀티미디어 기반 이러닝 콘텐츠와 시뮬레이션 실습을 개발하여 오프라인 수업과 결합한 블렌디드 러닝 형태로 운영하고, 그 활용 효과를 분석하였다. 연구 결과, 이론 설명과 실습 과정을 영상 및 시뮬레이션을 통해 반복적으로 학습할 수 있다는 점이 학습자에게 유용하게 인식되었으며, 특히 실습 중심의 학습 단계는 학습 참여를 촉진하는 요소로 나타났다. 이러한 특성은 학습자가 필요한 부분을 스스로 선택하여 학습할 수 있도록 지원함으로써 자기주도적 학습을 강화할 수 있음을 보여준다.

이와 같은 선행연구들은 디지털 기반 실습 수업이 전기·전자와 같은 공학 계열 전문교과에서 실습의 접근성을 높이고, 학습자의 이해 수준과 학습 속도에 따라 반복·확장 학습을 가능하게 한다는 교육적 의미를 지닌다는 점을 보여준다. 즉,

디지털 기반 실습 수업은 실습 환경의 물리적 한계를 보완하는 동시에, 학습자 중심의 탐구와 자기주도적 학습을 지원하는 교수·학습 방식으로 자리매김할 수 있다.

나. 시뮬레이션 및 가상 실습의 교육적 의미

전기·전자 전문교과에서 시뮬레이션 및 가상 실습은 실제 실습 환경의 제약을 보완하면서 학습자의 이해를 심화시키는 효과적인 교수·학습 도구로 활용되어 왔다. 전기·전자 실습은 회로 구성 오류, 측정 실패, 장비 손상 등의 위험을 수반하며, 이러한 특성은 학습자의 반복적 시도와 탐구 활동을 제한하는 요인으로 작용한다. 이에 따라 실제 실습에 앞서 가상 환경에서 회로를 설계하고 동작을 예측해 보는 시뮬레이션 기반 학습의 교육적 가치가 강조되고 있다.

김동일(2013)은 전자회로 교육에서 시뮬레이션 소프트웨어를 활용한 수업이 학습자의 회로 개념 이해와 문제 해결 과정을 지원하는 데 효과적으로 활용될 수 있음을 논의하였다. 특히 시뮬레이션 환경에서는 회로 구성 요소를 자유롭게 변경하고 그 결과를 즉각적으로 확인할 수 있어, 학습자가 오류의 원인을 탐색하고 수정하는 과정을 반복적으로 경험할 수 있다. 이러한 특성은 전통적인 실습 수업에서 시간·안전·재료 측면에서 제한되었던 시행착오 중심 학습을 보다 안전하고 효율적으로 가능하게 하며, 학습자의 능동적 탐구 활동을 촉진하는 데 기여한다. 또한 시뮬레이션 기반 실습은 이론 학습과 실제 실습을 연결하는 매개로 기능할 수 있음을 제시하였다.

박명석(2015)은 클라우드 서비스를 기반으로 한 혼합형 학습 자료 개발 연구에서, Multisim과 같은 전자회로 시뮬레이션 도구를 활용한 사전 학습이 실제 실습에 대한 학습자의 부담을 완화하는 데 도움이 되는 것으로 나타났다고 보고하였다. 특히 학습자가 시간과 장소의 제약 없이 반복적으로 회로 동작을 관찰할 수 있다는 점은 학습 내용을 사전에 이해하고 준비하는 데 유용한 요소로 인식되었으며, 자기주도적 학습을 지원하는 측면에서 긍정적으로 평가되었다. 또한 연구에서는 가상 실습이 물리적 부품 중심의 실습 수업을 대체하기보다는, 이를 보완하는 대안적 학습 방식으로 활용될 수 있음을 제시하였다.

이은상(2021)은 아두이노를 활용한 디지털 논리회로 실습 방법을 제안하며, 개

별 논리 게이트 부품을 결선하는 방식 대신 소프트웨어 코드의 수정과 업로드를 통해 동일한 논리 회로의 동작을 구현할 수 있음을 제시하였다. 이러한 접근은 부품 준비와 회로 결선 과정에서 발생하는 어려움과 오류 가능성을 줄이는 동시에, 논리 회로의 구조와 동작 원리를 이해하기 위한 실습 환경을 제공한다는 점에서 교육적 의의를 지닌다. 이와 같은 선행연구들은 시뮬레이션 및 가상 실습이 전기·전자 전문교과에서 단순한 보조 수단을 넘어, 학습자의 이해 수준을 조절하고 반복 학습을 가능하게 하며, 문제 해결 중심의 학습 경험을 제공하는 핵심 교수·학습 요소임을 시사한다. 특히 시뮬레이션 환경은 학습자의 탐구 과정에 즉각적인 피드백을 제공할 수 있어, 향후 생성형 AI와 결합될 경우 실습 수업의 개별화와 학습자 주도성 강화를 더욱 효과적으로 지원할 수 있을 것으로 기대된다.

다. 생성형 AI의 개념 및 특성

생성형 AI(Generative Artificial Intelligence)는 대규모 데이터 학습을 기반으로 한 인공지능을 활용하여 텍스트, 이미지, 오디오 등 다양한 형태의 새로운 콘텐츠를 생성하는 인공지능 기술을 의미한다. 기존의 규칙 기반 인공지능이나 단순 분류·예측 중심의 인공지능과 달리, 생성형 AI는 입력된 정보를 바탕으로 맥락을 이해하고 새로운 결과물을 생성할 수 있다는 점에서 차별성을 지닌다.

특히 GPT-4와 같은 거대 언어 모델(Large Language Model, LLM)은 방대한 텍스트 데이터를 학습하여 자연어의 구조와 의미를 이해하고, 사용자의 질문이나 요구에 따라 맥락에 적합한 응답을 생성할 수 있다. 이러한 모델은 단순한 정보 제공을 넘어, 개념 설명, 문제 해결 과정 안내, 프로그래밍 코드 작성, 논리적 추론 등 비교적 복잡한 인지 활동을 수행할 수 있는 특징을 가진다. 이로 인해 생성형 AI는 다양한 분야에서 인간의 사고 과정을 보조하는 도구로 활용되고 있다.

교육적 관점에서 생성형 AI의 가장 큰 특징은 학습자 수준과 요구에 따라 설명의 난이도와 표현 방식을 유연하게 조정할 수 있다는 점이다. 학습자는 동일한 개념에 대해 반복적으로 질문하거나, 자신이 이해하기 쉬운 방식으로 설명을 요청할 수 있으며, 이는 개별 학습자의 이해 수준 차이를 보완하는 데 기여할 수 있다. 또한 생성형 AI는 시간과 공간의 제약 없이 24시간 상호작용이 가능하다는 점에서, 수업 시간 외에도 학습 지원이 가능하다는 장점이 있다.

아울러 다국어 지원, 예시 생성, 단계별 설명 제공과 같은 기능은 학습자가 학습 과정에서 겪는 인지적 부담을 완화하고, 자기주도적으로 학습을 진행할 수 있도록 돕는 요소로 작용한다. 특히 질문에 대한 즉각적인 반응은 학습자의 학습 흐름을 유지하는 데 긍정적인 영향을 미칠 수 있으며, 실습 중심 수업과 같이 즉시적인 피드백이 요구되는 학습 환경에서 활용 가능성이 높다.

생성형 AI는 학습자의 질문에 즉각적으로 반응하며 설명과 예시를 제공할 수 있는 상호작용적 도구로, 교수·학습 과정에서 개별화된 학습 지원과 사고 촉진을 동시에 수행할 수 있는 가능성을 지닌다(김정아 외, 2023). 특히 ChatGPT와 같은 대화형 생성형 AI는 교사의 역할을 보조하면서 학습자의 이해 수준에 맞춘 설명을 제공할 수 있다는 점에서 교육적 활용 가치가 보고되고 있다.

한편, 생성형 AI는 학습자의 사고를 보조하는 도구로 활용될 수 있는 가능성을 지니는 동시에, 생성된 정보의 정확성을 학습자가 비판적으로 검토해야 한다는 한계도 함께 내포하고 있다. 따라서 교육 현장에서의 생성형 AI 활용은 AI를 지식의 최종 판단 주체로 사용하는 것이 아니라, 학습자의 사고 과정과 문제 해결을 지원하는 보조 도구로 활용하는 방향에서 이루어질 필요가 있다.

라. 교육 분야에서의 생성형 AI 활용 사례

생성형 AI는 교수·학습 과정 전반에서 학습자의 이해를 지원하고 학습 수행을 보조하는 도구로 활용되고 있다. 특히 수업의 도입 단계에서는 학습자가 학습 목표와 개념을 사전에 이해할 수 있도록 핵심 개념 요약, 예시 제시, 단계별 설명을 제공함으로써 사전 학습을 지원하는 역할을 수행한다. 이를 통해 학습자는 수업에 보다 능동적으로 참여할 수 있는 기초를 마련할 수 있다.

수업 전개 단계에서는 생성형 AI가 학습자의 수행 과정을 보조하는 역할을 수행한다. 학습자는 문제 해결이나 과제 수행 과정에서 생성형 AI를 활용하여 자신의 접근 방식이 타당한지 점검하고, 오류 발생 시 원인을 추론하는 데 도움을 받을 수 있다. 특히 공학 및 실습 중심 교과에서는 복잡한 수식의 풀이 과정을 단계별로 안내하거나, 시뮬레이션 및 프로그래밍 코드의 오류를 분석하는 가상 조교로 활용되어 학습자의 문제 해결 과정을 지원한다(Zhong 외, 2023).

수업 정리 단계에서는 생성형 AI가 학습 결과에 대한 피드백과 성찰을 지원하

는 도구로 활용될 수 있다. 학습자는 자신의 결과물을 설명하거나 개선점을 탐색하는 과정에서 AI의 질문과 피드백을 활용함으로써 학습 내용을 재구조화하고 이해를 심화할 수 있다. 이러한 활용은 학습자가 자신의 학습 과정을 되돌아보고 다음 학습을 스스로 계획하는 데 기여한다. 이와 같이 생성형 AI의 교수·학습 활용 사례는 단순한 정보 제공이나 자동화 도구의 활용을 넘어, 학습자의 사고 과정과 학습 수행을 지원하는 방향으로 확장되고 있다. 이는 생성형 AI가 교수·학습 과정에서 학습자의 역할을 보조하며, 수업의 질을 향상시키는 도구로 기능할 수 있음을 시사한다.

이러한 교수·학습 맥락에서의 생성형 AI 활용은 학습자가 학습 과정에 능동적으로 참여하도록 지원한다는 점에서 학습자 주도성과 밀접한 관련이 있다.

생성형 AI가 교수·학습 과정 전반에서 학습자의 수행을 보조하는 도구로 활용될 수 있다는 점은 여러 실증 연구를 통해 확인되고 있다. 김수정 외(2022)는 ChatGPT 기반 AI 코딩 도우미 시스템을 개발하여 온라인 저지 시스템에 적용하고, 학습자가 작성한 코드의 오류 원인과 수정 방향에 대한 설명을 즉각적으로 제공하는 기능을 구현하였다. 이를 통해 학습자는 문제 해결 과정에서 필요한 피드백을 신속하게 받을 수 있었으며, 프로그래밍 실습의 효율적인 수행을 지원받을 수 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 생성형 AI가 수업 전개 과정에서 학습자의 수행을 보조하는 가상 조교로 활용될 수 있는 가능성을 확인시켜 준다.

이러한 생성형 AI의 보조적 역할은 실습 중심 교과에서도 교사의 개별 지도 한계를 보완하는 방식으로 확장될 수 있다.

이명숙(2024)은 ChatGPT를 활용한 소프트웨어교육 수업모델을 제안하고 비전공 대학생을 대상으로 수업을 적용한 결과, 학습자가 개념 이해 단계에서 용어와 문법을 보완하고 문제 해결 단계에서는 오류 수정과 코드 개선에 생성형 AI를 적극 활용하는 양상이 나타났음을 보고하였다. 특히 연구에서는 시간이 지날수록 학습자의 프롬프트가 단순한 복사·질문 형태에서 벗어나, 자신의 사고 과정을 점검하고 이유를 묻는 방향으로 변화하였다는 점을 제시하며, 생성형 AI 활용이 학습자의 자기조절 학습 행동을 촉진할 수 있는 가능성을 보여주었다.

한편, 김현정 외(2024)는 ChatGPT를 활용한 중학교 발명교육 프로그램을 개발·적용한 결과, AI 활용 수업에 참여한 학생들이 통제집단에 비해 보다 다양한

사고 기법을 활용하였으며, 산출된 발명 아이디어 또한 문구류 중심에서 벗어나 범위가 확장되는 양상을 보였다고 보고하였다. 또한 실험집단 학생들은 발명에 대한 관심과 실천적 태도, 인공지능 리터러시 측면에서 통계적으로 유의한 변화를 나타냈는데, 이러한 결과는 생성형 AI가 수업의 도입 및 전개 단계에서 학습자의 아이디어 생성과 탐구 활동을 지원하는 도구로 활용될 수 있음을 보여준다. 생성형 AI의 교수·학습 활용은 교과 융합 및 프로젝트 기반 수업 맥락에서도 중요한 시사점을 제공하였다. 김송희 외(2024)는 생성형 AI를 활용한 SDGs 기반 교과 융합 교육 프로그램을 협력적 실험연구 방법으로 설계·적용한 결과, 학생들이 생성형 AI를 자료 탐색, 아이디어 구체화, 결과물 점검 및 성찰의 도구로 활용하며 학습 과정에 능동적으로 참여하는 양상이 나타났음을 보고하였다. 연구진은 생성형 AI가 학습자의 사고를 대체하기보다는 학습 과정을 확장하고 선택의 폭을 넓히는 학습 도구로 기능하였다고 분석하였다.

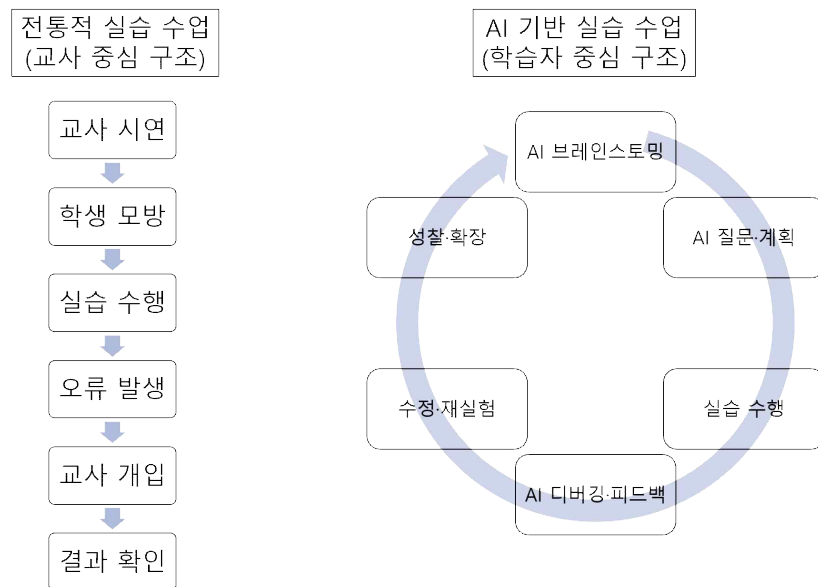
또한 최진우(2025)는 생성형 AI를 개발도구로 활용한 인공지능 모델 개발 프로젝트 수업을 고등학생에게 적용한 결과, 학습자의 인공지능 리터러시뿐만 아니라 자기주도적 학습능력이 사전·사후 검사에서 통계적으로 유의미하게 향상되었음을 보고하였다. 특히 학습자가 프로젝트 전 과정을 스스로 설계하고, 생성형 AI의 도움을 받아 문제 해결 전략을 수정·보완하는 경험이 반복되면서 자기조절 능력과 학습 전략 선택 능력이 강화되는 양상이 나타났다는 점에서 그 의미가 크다.

김슬기(2023)는 프로그래밍 교육을 위한 생성형 인공지능 활용 가능성을 탐색하며, ChatGPT를 교수·학습 전반에 적용할 수 있는 잠재적 도구로 분석하였다. 해당 연구에서는 생성형 AI를 단순한 정보 제공 도구가 아니라, 개념 설명, 예제 제시, 연습 문제 해결, 코드 수정 및 피드백 제공 등 교수·학습 단계별로 활용 가능한 학습 지원 도구로 제시하였다. 특히 학습자가 문제 해결 과정에서 생성형 AI와의 상호작용을 통해 자신의 사고 과정을 점검하고, 다양한 해결 전략을 비교·검토할 수 있다는 점에서 생성형 AI가 학습자의 인지적 부담을 완화하고 학습 과정을 구조화하는 데 기여할 수 있음을 논의하였다. 연구자는 이러한 활용이 교사의 설명을 대체하기보다는 학습자의 이해를 보조하고, 자기주도적으로 학습을 조절할 수 있는 환경을 제공하는 방향으로 이루어져야 함을 강조하였다. 이는 생성형 AI가 교수·학습 맥락에서 학습자의 수행 과정을 지원하는 보조적 도구로

활용될 수 있음을 이론적으로 뒷받침하는 결과라 할 수 있다.

이러한 논의는 생성형 AI가 실습 중심 교과에서도 학습자의 사고 과정을 보조하고, 개별화된 피드백을 제공하는 교수·학습 도구로 활용될 수 있음을 시사한다.

[그림 1] 전통적 실습 수업 vs AI 기반 실습 수업 비교



[그림 1]에서 보듯이, 생성형 AI를 활용한 실습 수업은 학습자가 문제 해결 과정에 반복적으로 참여하는 순환적 구조를 형성함으로써, 전통적 실습 수업의 한계를 보완할 수 있다.

이러한 선행연구들은 생성형 AI가 교수·학습 과정에서 학습자의 사고와 수행을 보조하는 도구로 기능할 수 있음을 실증적으로 보여주며, 이는 생성형 AI 활용이 학습자 주도성의 형성과 강화에 어떠한 방식으로 기여하는지를 탐색할 필요성을 제기한다.

초·중등교육에서 생성형 AI의 교육적 활용을 다룬 선행연구를 분석한 문헌고찰 연구에 따르면, 기존 연구는 주로 교육 일반이나 고등교육, 이론적 논의에 집중되어 있으며, 교과 특성과 실습 맥락을 반영한 구체적인 수업 설계 연구는 매우 제한적인 것으로 나타났다(안솔피 외, 2024). 또한 생성형 AI의 교육적 가능성을

개별 교과나 프로그래밍 수업 중심으로 논의한 경우가 많아, 전기·전자 전문교과 실습 수업의 특성과 학습자 주도성의 관계를 통합적으로 다룬 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. 이는 실습 중심 전문교과에서 생성형 AI 활용 수업 모형 개발의 필요성을 뒷받침하며, 전기·전자 실습 수업 맥락에서 생성형 AI를 활용한 학습자 주도적 수업 설계 방안을 탐색하는 본 연구의 근거를 제공한다.

4. 생성형 AI와 학습자 주도성의 관계

생성형 AI는 학습자가 학습의 전 과정을 스스로 계획하고 조절할 수 있도록 지원하는 스캐폴딩(scaffolding) 도구로 활용될 수 있다. 학습자는 실습 과정에서 이해가 부족한 개념이나 회로 동작의 원인을 스스로 인식하고, 이를 질문의 형태로 생성형 AI에게 제시하는 과정을 거치게 된다. 이 과정에서 학습자는 ‘무엇을 모르는지’를 스스로 점검하고 정리하게 되며, 이는 학습 과정에 대한 메타인지적 사고를 촉진한다.

또한 생성형 AI는 학습자의 질문에 대해 즉각적인 설명, 예시, 단계별 안내를 제공함으로써 학습자가 다음 학습 행동을 스스로 선택할 수 있도록 돕는다. 예를 들어 전기·전자 실습 수업에서 회로가 정상적으로 동작하지 않을 경우, 학습자는 AI의 도움을 받아 전원 연결 상태, 부품 배치, 측정값의 이상 여부 등을 하나씩 점검하며 문제 해결 과정을 주도적으로 수행할 수 있다. 이때 학습자는 AI의 답변을 그대로 수용하는 것이 아니라, 실제 실험 결과와 비교·검증하는 과정을 통해 판단을 내리게 된다.

이와 같은 학습 경험은 학습자가 교사에게 즉각적인 정답을 요구하는 수동적 학습 태도에서 벗어나, 스스로 문제를 정의하고 해결 전략을 탐색하는 능동적 학습자로 전환되는 데 기여한다. 생성형 AI는 문제 해결의 주체가 되기보다는, 학습자의 사고 과정을 보조하고 선택의 폭을 넓혀주는 도구로 기능하며, 학습자는 이를 활용해 자신의 학습 경로를 조절하게 된다.

생성형 AI가 학습자의 주도적 수행을 돕는다는 논의는 실제 수업 적용 연구에서도 확인된다. 이준기(2024)는 ChatGPT를 개별 학습 피드백 도구로 활용한 파이썬 프로젝트 수업을 적용한 결과, 고등학생의 자기효능감과 컴퓨팅 사고력 향상에 효과가 있었음을 보고하였다. 특히 연구에서는 일반 교실 환경에서 교사 1인이 다수 학생에게 적시에 개별화 피드백을 제공하기 어렵다는 현실적 문제를 지적하며, 생성형 AI 기반 피드백이 이러한 한계를 보완할 수 있음을 제시하였다. 이는 전기·전자 실습과 같이 오류 진단과 수정이 반복되는 학습 상황에서, 생성형 AI가 학습자의 수행 과정에 개입하여 즉각적인 피드백을 제공하는 보조적 도구로 기능함으로써 시도-검증-수정의 학습 순환을 유지하는 데 기여할 수 있음을 보여준다. 또한 생성형 AI(LLM) 활용이 자기주도성 관련 변인과 밀접하

게 연결된다는 실증적 연구 결과도 보고되고 있다. 배현영 외(2025)는 대학생 201명을 대상으로 구조방정식모형을 적용한 분석을 통해, LLM 사용 빈도가 학업 자기효능감과 자기주도적 학습역량에 모두 유의한 정(+)의 영향을 미치며, 학업 자기효능감이 두 변인 간 관계에서 매개효과를 나타냄을 밝혔다. 이러한 결과는 생성형 AI와의 반복적인 상호작용이 학습자의 자기점검, 전략 사용, 학습 지속과 같은 자기주도적 학습 행동을 강화하는 데 기여할 수 있음을 실증적으로 보여준다.

생성형 AI가 학습자의 자기주도적 학습 행동을 촉진한다는 논의는 다양한 교과 맥락에서의 실증 연구를 통해서도 확인되고 있다. 김현경 외(2025)는 중학생을 대상으로 ChatGPT 기반 글쓰기 수업을 적용한 결과, 학습 목표 설정, 학습 계획 수립, 자기 점검 및 수정, 성찰적 사고 등 자기주도학습의 핵심 구성 요소에서 실험집단이 통제집단에 비해 유의미한 향상을 보였다고 보고하였다. 연구에서는 특히 학습자가 AI의 피드백을 참고하여 자신의 글을 반복적으로 수정하는 과정에서 자기 점검과 학습 조절 행동이 강화되었음을 지적하였다. 이러한 결과는 생성형 AI가 학습 결과를 일방적으로 제공하는 도구라기보다, 학습자의 인지적·메타인지적 전략을 활성화하고 자기주도적 학습 과정을 지원하는 촉진자 역할을 수행할 수 있음을 시사한다.

또한 생성형 AI를 학습 보조 도구를 넘어 개발 도구로 활용한 연구에서도 자기주도성 향상 효과가 보고되고 있다. 최진우(2025)는 고등학생을 대상으로 생성형 AI를 인공지능 모델 개발의 도구로 활용한 프로젝트 수업을 설계·적용한 결과, 학습자의 인공지능 리터러시뿐만 아니라 자기주도적 학습능력 전반에서 사전-사후 검사 기준 유의미한 향상이 나타났음을 보고하였다. 연구에서는 학생들이 프로젝트 주제를 스스로 선정하고, 생성형 AI를 활용해 모델 구현과 오류 수정 과정을 반복하는 경험을 통해 학습 전략 선택, 학습 지속성, 자기 성찰 능력이 강화되는 양상이 관찰되었다. 이러한 결과는 생성형 AI와의 상호작용이 학습자의 문제 정의-탐색-검증-수정으로 이어지는 자기조절 학습 과정을 구조적으로 지원할 수 있음을 보여준다.

한편, 실습 및 프로그래밍 중심 수업 맥락에서는 생성형 AI 활용이 학습자의 정의적 영역에도 긍정적인 변화를 가져올 수 있음이 보고되고 있다. 김세민(2024)

은 특성화고 전자계열 학생을 대상으로 생성형 AI를 활용한 마이크로컨트롤러 프로그래밍 수업을 적용한 결과, 학습자의 회복탄력성(resilience)이 사전-사후 검사에서 통계적으로 유의미하게 향상되었음을 보고하였다. 연구에서는 생성형 AI가 코드 오류에 대한 즉각적인 피드백과 수정 방향을 제시함으로써, 학습자가 반복적인 실패 상황에서도 학습을 지속할 수 있도록 지원하는 역할을 수행하였으며, 이러한 경험이 문제 해결에 대한 자신감과 학습 태도의 긍정적 변화와 관련되는 양상이 관찰되었다고 분석하였다. 이러한 결과는 전기·전자 실습 수업과 같이 오류 수정과 재시도가 필연적인 학습 환경에서 생성형 AI가 학습자의 지속적인 시도와 자기주도적 문제 해결 과정을 정의적 측면에서도 뒷받침할 수 있음을 시사한다.

또한 생성형 AI 활용 수업의 학습자 주도성 강화 효과는 기존의 학습자 중심 수업 모형에 관한 연구 결과와도 이론적으로 연결된다. 박현경(2018)은 플립러닝 환경에서 고등학생을 대상으로 자기주도 학습능력, 협력적 자기효능감, 교사의 자율성지지가 학습 성과에 미치는 영향을 분석한 결과, 자기주도 학습능력이 성취도와 흥미를 모두 유의미하게 예측하는 핵심 변인임을 밝혔다. 특히 연구에서는 학습자가 수업 전·중·후 전 과정에 주도적으로 참여할 수 있도록 구조화된 학습 환경과, 즉각적인 피드백 및 교사의 자율성지지가 결합될 때 학습 효과가 극대화된다고 보고하였다. 이러한 결과는 생성형 AI를 활용한 실습 수업이 학습자에게 상시적인 질문·피드백·점검의 기회를 제공함으로써, 플립러닝에서 강조되는 자기주도 학습 메커니즘을 기술적으로 보완·확장하는 방식으로 기능할 수 있음을 시사한다. 즉, 생성형 AI는 학습자의 사전 탐색, 수행 중 점검, 사후 성찰을 연속적으로 지원하는 도구로서 자기조절 학습 과정을 촉진하고, 학습 몰입과 지속성을 강화하는 역할을 수행할 수 있다.

결과적으로 생성형 AI의 활용은 학습자가 학습 과정에서 질문 생성, 정보 탐색, 검증, 수정이라는 일련의 자기조절 학습 과정을 반복적으로 경험하도록 함으로써 학습자 주도성을 강화하는 데 긍정적인 역할을 할 수 있다. 앞서 살펴본 선행연구들은 생성형 AI가 학습자의 인지적·메타인지적 전략을 활성화하고, 즉각적인 피드백과 학습 경로 조절을 통해 자기효능감과 학습 지속성을 향상시킬 수 있음을 공통적으로 시사한다. 이러한 특성은 2022 개정 교육과정이 강조하는 학습자

주도적 학습 환경 조성과도 맥락을 같이하며, 특히 오류 진단과 수정이 반복되는 실습 중심 전문교과 수업에서 학습자의 역할을 단순한 수행자에서 문제 해결의 주체로 확장시키는 교육적 의미를 지닌다. 따라서 생성형 AI를 전기·전자 실습 수업에 체계적으로 통합하는 것은 교육과정의 취지를 실천적으로 구현하기 위한 하나의 교수·학습 설계 대안으로 논의될 수 있다.

5. 전기·전자 전문교과 실습 수업과 생성형 AI의 연계 가능성

가. 2022 개정 교육과정 관점에서 본 생성형 AI 활용의 필요성

2022 개정 교육과정은 디지털 리터러시와 인공지능 소양을 미래 시민이 갖추어야 할 기초 역량으로 규정하며, 학교 교육 전반에서 디지털 기술과 인공지능을 교수·학습의 도구로 적극 활용할 것을 강조하고 있다. 이는 단순한 기술 사용 능력을 넘어, 인공지능이 사회와 산업 전반에서 어떤 방식으로 활용되는지를 이해하고 이를 비판적으로 활용할 수 있는 역량을 기르는 데 목적이 있다(교육부, 2022).

이러한 교육과정의 방향에서 볼 때, 전기·전자 전문교과 실습 수업에 생성형 AI를 도입하는 것은 단순히 학습의 편의성을 높이는 것을 넘어, 인공지능 기술이 공학적 문제 해결 과정에서 어떻게 활용될 수 있는지를 직접 경험할 수 있는 교육적 장을 제공한다는 점에서 의의가 있다. 학생들은 실습 과정에서 회로 설계, 오류 분석, 결과 해석 등의 활동을 수행하며 생성형 AI를 활용함으로써, 인공지능이 실제 공학 문제 해결을 보조하는 방식과 한계를 함께 이해하게 된다. 이는 인공지능을 결과만 제공하는 도구가 아닌, 사고 과정을 지원하는 기술로 인식하도록 돕는 실질적인 AI 리터러시 교육으로 이어질 수 있다.

또한 2022 개정 교육과정은 학습자의 다양성과 개별성을 존중하는 맞춤형 교육을 강조하고 있다. 전기·전자 실습 수업은 학생 간 이해 수준과 수행 속도의 차이가 크게 나타나는 교과 특성을 지니고 있으나, 교사 1인이 모든 학습자에게 동일한 수준의 개별 지도를 제공하는 데에는 현실적인 한계가 존재한다. 이러한 맥락에서 생성형 AI는 학습자의 질문 수준과 학습 진행 상황에 따라 설명의 깊이와 방향을 조절함으로써, 각기 다른 수준의 학생에게 개별화된 실습 경로를 제공할 수 있는 보조 수단으로 기능할 수 있다.

아울러 생성형 AI의 활용은 학습자가 실습 과정에서 스스로 학습을 조절하고 선택하는 경험을 확대함으로써, 2022 개정 교육과정이 지향하는 학습자 주도적 학습 환경 조성에도 기여할 수 있다. 학습자는 실습 수행 중 발생하는 문제를 인공지능과의 상호작용을 통해 탐색하고 검증하는 과정을 반복하며, 자신의 학습 과정에 대한 책임과 주도성을 점차 강화하게 된다. 이러한 점에서 생성형 AI의

전기·전자 실습 수업 도입은 교육과정의 핵심 가치인 학습자 주도성, 디지털 역량, 공학적 문제 해결 역량을 통합적으로 구현할 수 있는 하나의 현실적인 방안으로 볼 수 있다.

나. 전기·전자 실습 수업에서 생성형 AI의 교육적 역할

1) 실습 사전 단계에서의 학습지원

전기·전자 실습 수업에 앞서 학습자는 실습에 필요한 이론적 원리와 실습 장비의 기본적인 사용 방법을 이해해야 한다. 그러나 학생들은 전문 용어의 난이도와 개념 간의 복잡한 관계로 인해 사전 학습 단계에서부터 학습 부담을 느끼는 경우가 많다. 이러한 상황에서 생성형 AI는 학습자의 이해 수준에 맞추어 전공 개념을 재구성하고, 실습 수행에 필요한 핵심 요소를 선별하여 제시함으로써 사전 학습을 지원하는 도구로 활용될 수 있다.

구체적으로 생성형 AI는 실습과 관련된 전공 용어와 개념을 학습자의 수준에 맞추어 설명하거나, 비유와 예시를 활용하여 추상적인 전기·전자 원리를 보다 직관적으로 이해할 수 있도록 돕는다. 예를 들어, 연산 증폭기(Op-Amp)를 활용한 반전 증폭 회로 실습에 앞서, 학습자는 생성형 AI에게 회로의 기본 구조와 전압 증폭 원리를 단계적으로 설명해 달라고 요청함으로써 실습에 필요한 개념적 기틀을 형성할 수 있다. 이러한 과정은 학습자가 실습 과정에서 단순히 절차를 따라 수행하는 것이 아니라, 각 단계의 의미를 이해한 상태에서 실습에 참여하도록 돕는다.

또한 생성형 AI는 실습 주제와 관련된 핵심 질문을 제시하여 학습자의 사전 지식을 활성화하는 역할을 수행한다. 예컨대 “왜 반전 증폭 회로에서는 출력 신호의 위상이 입력과 반대로 나타나는가”와 같은 질문은 학습자가 실습 전에 스스로 사고하고 가설을 세우도록 유도한다. 이를 통해 학습자는 실습 중 발생하는 현상을 보다 능동적으로 해석하고, 결과를 단순히 확인하는 데 그치지 않고 원인과 결과의 관계를 탐색하게 된다.

더 나아가 생성형 AI는 실습 준비 단계에서 회로 구성 계획이나 실험 절차를 사전에 점검하는 도구로 활용될 수 있다. 학습자는 AI와의 상호작용을 통해 필요한 부품 목록을 확인하거나, 실습 과정에서 주의해야 할 사항을 사전에 인지함으

로써 실습 수행에 대한 불안감을 줄일 수 있다. 이는 실습 수업 초반에 발생하기 쉬운 시행착오를 줄이고, 학습자가 보다 안정적인 상태에서 실습에 참여하도록 지원하는 데 기여한다.

이와 같이 실습 사전 단계에서의 생성형 AI 활용은 학습자의 이해 수준에 맞춘 개념 형성과 사전 준비를 가능하게 하여, 이후 실습 수행 단계에서 보다 적극적이고 주도적인 학습 참여를 유도하는 기반을 마련한다(Li, 2025).

2) 실습 수행 단계에서의 문제 해결 및 피드백 지원

전기·전자 실습 수업의 수행 단계에서는 회로 구성 과정에서 예기치 않은 오차나 회로 동작 불능 상태가 빈번하게 발생한다. 이러한 상황에서 학습자는 문제의 원인이 이론적 이해 부족인지, 부품 선택의 오류인지, 또는 배선상의 실수인지 판단하는 데 어려움을 겪는다. 생성형 AI는 이러한 실습 수행 과정에서 학습자의 문제 해결을 지원하는 즉각적인 피드백 도구이자 문제 해결 파트너로 활용될 수 있다.

구체적으로 학습자가 측정한 전압값, 전류값, 저항값과 함께 실습 상황을 설명하면, 생성형 AI는 회로 동작에 영향을 미칠 수 있는 잠재적 원인을 논리적으로 제시한다. 예를 들어 부품 결함, 배선 오류, 극성 반전, 이론적 계산과 실제 값의 차이 등 다양한 가능성을 단계적으로 제시함으로써 학습자가 점검해야 할 순서를 안내할 수 있다. 이러한 과정은 학습자가 교사의 즉각적인 개입을 기다리는 대신, 스스로 문제를 분석하고 해결 과정을 주도하도록 유도하여 실습의 학습 지속성을 높이는 데 기여한다.

특히 전기·전자 실습에서는 다양한 수동 소자의 판독 과정에서 학습자의 혼란이 자주 발생한다. 커패시터의 경우 용량 값이 숫자 코드로 표시되어 있어 0.2 μ F와 0.02 μ F를 혼동하거나, 색상이나 표기법에 따라 값을 잘못 해석하는 사례가 빈번하다. 이러한 상황에서 학습자는 생성형 AI에게 부품 표기 방식을 설명해 달라고 요청함으로써, 해당 부품의 정확한 용량과 사용 목적을 즉각적으로 확인할 수 있다. 이는 단순한 값 확인을 넘어, 부품 표기 규칙과 해석 방법에 대한 이해를 함께 돕는 학습 기회로 작용한다.

또한 저항 띠 판독과 같이 반복적인 이론 설명에도 불구하고 학습자가 지속적

으로 어려움을 겪는 영역에서는 생성형 AI의 멀티모달 기능이 효과적으로 활용될 수 있다. 학습자가 저항의 이미지를 촬영하여 AI에게 제공하면, AI는 저항 띠의 색상 순서를 분석하여 저항값과 허용 오차를 제시하고, 판독 과정을 단계별로 설명할 수 있다. 이를 통해 학습자는 단순히 정답을 확인하는 데 그치지 않고, 저항 띠 판독의 논리를 시각적으로 이해하게 된다.

이와 같은 생성형 AI 활용은 실습 수행 과정에서 발생하는 사소하지만 반복적인 질문과 오류를 즉각적으로 해소함으로써, 교사의 지도 부담을 완화하는 동시에 학습자의 자기 해결 능력을 강화한다. 나아가 학습자는 문제 해결 과정에서 AI의 피드백을 참고하되, 실제 측정 결과와 비교·검증하는 과정을 거치며 자신의 판단을 수정하게 된다. 이는 실습 수업에서 학습자가 수동적으로 답을 제공받는 존재가 아니라, 문제 해결의 주체로서 역할을 수행하도록 돕는 교육적 의미를 지닌다.

이러한 실습 수행 단계에서의 생성형 AI 활용은 문제 해결 과정 자체를 학습 경험으로 확장시키며, 실습 이후 학습 내용을 정리하고 성찰하는 단계로 자연스럽게 이어질 수 있다.

3) 실습 종료 단계에서의 성찰 및 정리 지원

전기·전자 실습 수업에서 실습 이후 단계는 단순한 결과 확인이나 보고서 제출을 넘어, 실습 수행 과정에서의 판단과 문제 해결 과정을 정리하는 중요한 학습 단계이다. 비록 실습의 최종 목표가 회로의 정상 동작에 있더라도, 실습 과정에서 어떤 시도와 수정이 이루어졌는지를 되짚는 활동은 학습 내용을 내면화하는데 중요한 역할을 한다.

생성형 AI는 실습 후 단계에서 실험 데이터를 정리하고 해석하는 과정에서 학습자의 성찰을 지원하는 도구로 활용될 수 있다(Li, 2025). 학습자는 측정된 전압·전류 값이나 계산 결과를 입력하고, 오차율 산출이나 이론값과의 차이에 대한 분석을 AI와의 대화를 통해 수행함으로써 실습 결과를 공학적 관점에서 재구성하게 된다. 이 과정은 단순한 계산 보조를 넘어, 실습 결과에 대한 이해를 구조화하는 학습 활동으로 기능한다.

또한 생성형 AI는 실습 과정에서 발생했던 문제 상황과 해결 과정을 언어화하

도록 유도함으로써, 학습자가 자신의 문제 해결 전략을 정리하도록 돕는다. 예를 들어 회로가 처음에는 동작하지 않았던 이유와 이를 수정한 과정을 AI에게 설명하는 활동은, 학습자가 자신의 사고 과정을 객관화하고 다음 실습에 적용 가능한 점검 기준을 형성하는 데 기여한다.

아울러 생성형 AI는 실습 결과를 바탕으로 관련된 심화 학습 주제나 확장 과제를 제안함으로써 학습의 연속성을 지원할 수 있다. 학습자는 AI의 제안을 참고하여 회로 조건을 변경했을 때의 결과를 예측하거나, 유사한 회로 구조를 탐색하는 등 후속 학습으로 나아갈 수 있다. 이는 실습 경험을 일회성 활동으로 끝내지 않고, 다음 학습으로 확장하는 계기를 제공한다.

이와 같이 실습 후 단계에서의 생성형 AI 활용은 실습의 최종 결과인 ‘동작 여부’를 넘어, 문제 해결 과정과 판단 기준을 학습자의 지식 구조로 정리하도록 지원한다는 점에서 교육적 의미가 있다.

다. 교사 역할 변화와 수업 운영상의 시사점

생성형 AI의 도입은 전기·전자 전문교과 실습 수업에서 교사의 역할을 기존의 ‘지식 전수자’ 중심에서 학습 과정을 설계하고 학습을 촉진하는 ‘학습 설계자 및 퍼실리테이터(facilitator)’로 전환시키는 계기를 제공한다. 실습 수업에서 반복적으로 이루어지던 개념 설명, 장비 사용법 안내, 단순 오류 수정과 같은 지도 활동은 생성형 AI를 통해 일정 부분 보조될 수 있으며, 이를 통해 교사는 수업 전반의 흐름을 관리하고 학습의 질을 높이는 데 보다 집중할 수 있다. 이러한 교사 역할 변화는 생성형 AI가 교수 활동의 효율성과 유연성을 제고하고, 교사가 보다 본질적인 교육 활동에 집중할 수 있도록 지원한다는 현장 교사들의 인식과도 일치한다(민준홍 외, 2025).

구체적으로 교사는 실습 수업에서 학생들의 수행 과정을 관찰하며, 생성형 AI가 제공하는 정보와 학생의 판단 사이를 중재하는 역할을 수행한다. 즉, 교사는 AI가 제시한 설명이나 해결 방안을 그대로 수용하기보다 그 타당성과 한계를 함께 검토하도록 지도함으로써 학습자의 비판적 사고를 촉진한다. 민준홍 외(2025)의 질적 연구에 따르면, 교사들은 생성형 AI 기반 수업에서 인간 중심적 교수·학습을 유지하기 위해 교사의 주체성과 판단 책임이 오히려 더욱 중요해진다고 인식

하였으며, AI가 생성한 정보의 신뢰성 검증과 윤리적 활용을 지도하는 역할을 교사의 핵심 책무로 인식하고 있었다.

또한 생성형 AI 활용은 교사가 실습 수업에서 보다 고차적인 학습 활동을 설계할 수 있는 여지를 확대한다. 교사는 학생들이 단순히 회로를 구성하고 동작 여부를 확인하는 수준을 넘어, 회로 조건을 변화시키거나 설계를 확장하는 탐구·프로젝트 중심 활동을 기획할 수 있으며, 이 과정에서 학생 간 협력과 의사소통을 촉진하는 역할을 수행할 수 있다. 이는 생성형 AI가 교사의 수업 준비 부담을 경감시키는 동시에, 수업을 보다 탐구적이고 학습자 중심적인 방향으로 전환할 수 있는 가능성을 제공한다는 점에서 의미를 지닌다.

한편, 생성형 AI 활용 수업의 확산을 위해서는 교사의 인식과 수용 수준을 고려한 지원 체계가 필요하다. 유지원(2023)은 대학 교수자를 대상으로 관심기반수용모형(CBAM)을 적용한 연구에서, 다수의 교수자가 생성형 AI 사용 경험은 있으나 교육적 활용 경험은 상대적으로 낮으며, 실제 수업 적용에 대해서는 정보의 신뢰성, 학습윤리 문제, 수업 운영 부담 등에 대한 우려를 지니고 있음을 보고하였다. 연구 결과는 생성형 AI 활용 수업이 성공적으로 정착되기 위해서는 교사의 역할 변화에 대한 인식 제고뿐만 아니라, 구체적인 수업 활용 가이드라인 제공, 교수자 대상 연수, 그리고 제도적·조직적 지원이 병행될 필요가 있음을 시사한다.

이와 같은 교사 역할의 변화는 생성형 AI가 교사를 대체하는 것이 아니라, 교사의 전문성을 보완하고 확장하는 방향으로 작용한다는 점에서 의의가 있다. 따라서 전기·전자 전문교과 실습 수업에서 생성형 AI를 효과적으로 활용하기 위해서는 교사의 역할 변화와 이에 따른 수업 운영 전략, 그리고 교사 지원 체계에 대한 체계적인 논의가 함께 이루어질 필요가 있다.

라. 기존 연구와의 차별점

생성형 AI를 활용한 교육 연구는 최근 다양한 교과에서 활발하게 이루어지고 있으나, 대부분 프로그래밍 및 소프트웨어 교육을 중심으로 수행되어 왔다. 기존 연구에서는 생성형 AI를 활용한 코드 생성 및 디버깅 지원, 프로젝트 기반 학습, 개별화된 피드백 제공 등을 통해 학습자의 문제 해결 능력, 자기주도 학습, 학습 참여 및 컴퓨팅 사고력 향상에 긍정적인 효과가 있음을 보고하였다. 또한 생성형 AI를 교수·학습 설계에 적용하거나 학습자의 수준에 맞는 맞춤형 피드백을 제공함으로써 학습 효율성과 학습 동기를 높일 수 있음을 제시하였다.

그러나 이러한 연구들은 대부분 가상환경에서 이루어지는 소프트웨어 실습이나 프로그래밍 교육을 대상으로 하고 있어, 실제 부품을 다루는 전기·전자 하드웨어 실습에 생성형 AI를 적용한 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. 하드웨어 실습은 학습자가 실제 부품을 선택하고 회로를 구성한 후 계측과 오류 수정 과정을 반복하는 실습 중심의 학습 환경으로, 소프트웨어 실습과는 학습 과정과 문제 해결 방식에서 근본적인 차이를 가진다. 특히 부품의 규격과 특성을 이해하고 적절한 부품을 선택하는 능력, 회로 연결 상태를 점검하며 오류의 원인을 분석하는 능력, 측정 결과를 바탕으로 회로를 반복적으로 수정·보완하는 능력은 하드웨어 실습에서 요구되는 자기주도 학습의 핵심 요소라 할 수 있다. 따라서 생성형 AI 역시 단순히 정답이나 코드를 제시하는 역할을 넘어, 실습 과정에서 발생하는 다양한 문제를 학습자가 스스로 탐색하고 해결할 수 있도록 지원하는 방식으로 활용될 필요가 있다.

이러한 관점에서 본 연구는 기존의 생성형 AI 기반 소프트웨어 교육 연구와 차별성을 가진다. 생성형 AI를 전기·전자 하드웨어 실습 수업에 적용하여 회로 설계, 부품 탐색, 납땜 실습, 회로 연결 및 오류 진단 과정에서 학습자의 자기주도적 문제 해결을 지원하도록 교수·학습을 설계하였으며, 그 효과를 자기주도 학습 역량의 변화와 실제 학습 과정에서 나타난 생성형 AI와 학습자의 상호작용을 함께 분석하여 실증적으로 검증하였다. 이는 생성형 AI 활용 연구의 적용 범위를 소프트웨어 중심 교

육에서 하드웨어 실습 교육으로 확장하였을 뿐만 아니라, 전기·전자 전문 교과 실습 수업에서 생성형 AI 활용의 교육적 가능성을 제시하였다는 점에서 기존 연구와 차별성을 가진다.

[표 3] 생성형 AI 활용 기존 연구와 본 연구의 비교

기존 연구	본 연구
김수정 외(2022) : ChatGPT 기반 AI 코딩 도우미를 개발하여 코드 생성과 디버깅을 지원하고 프로그래밍 학습의 효율성을 향상시키고자 하였다.	생성형 AI를 활용하여 회로 구성, 부품 선택, 납땜 실습 및 오류 진단을 지원하고, 하드웨어 실습에서의 자기주도 학습 역량 향상 효과를 분석하였다.
이명숙(2024) : 생성형 AI를 활용한 소프트웨어교육 수업모델을 제안하고 AI 기반 맞춤형 피드백을 통한 자기주도 학습 환경을 설계하였다.	생성형 AI를 실제 전기·전자 납땜 실습 과정에 적용하여 학습자가 AI와 상호작용하며 문제를 해결하는 과정을 분석하였다.
이준기(2024) : 생성형 AI를 개별 학습 피드백 도구로 활용하여 파이썬 프로젝트 수업에서 자기효능감과 컴퓨팅 사고력 향상 효과를 검증하였다.	생성형 AI와 학습자의 상호작용 데이터를 분석하여 질문 생성, 피드백 해석, 수정 시도 및 결과 확인으로 이어지는 자기주도 학습 과정을 구체적으로 분석하였다.
김세민(2024) : 생성형 AI를 활용한 마이크로컨트롤러 프로그래밍 수업의 교육적 효과를 확인하였다.	전기·전자 하드웨어 제작 중심의 납땜 실습 수업에 생성형 AI를 적용하여 자기주도 학습 역량 향상 효과를 실증적으로 검증하였다.
김슬기(2023) : ChatGPT를 활용한 프로그래밍 교육의 활용 가능성을 탐색하고 코드 작성 및 오류 수정 과정에서의 교육적 효과를 제시하였다.	회로 연결 오류, 부품 규격 선택, 납땜 불량 등 실제 실습 과정에서 발생하는 문제를 생성형 AI를 활용하여 해결하도록 설계하였다.

III. 생성형 AI를 활용한 전기·전자 실습 수업 설계

1. 수업 설계의 기본 방향

본 수업 설계는 학습자가 실습 과정에서 스스로 문제를 정의하고 해결해 나가는 학습자 주도성 함양을 최우선 목표로 한다. 이를 위해 생성형 AI는 정답을 대신 제시하는 도구가 아니라, 학습자의 사고와 판단을 돕는 ‘지적 동반자’로 설정한다. 교사는 생성형 AI 활용 전반을 설계하고 조율하는 역할을 수행하며, 학생이 AI를 활용해 학습 과정에 능동적으로 참여하도록 지원한다. 이러한 관점은 생성형 AI를 학습의 주체가 아닌 학습을 지원하는 도구로 활용해야 한다는 선행연구의 논의와도 맥을 같이한다.

본 수업 설계의 기본 원칙은 다음과 같다.

첫째, 프롬프트 활용을 수업 활동에 자연스럽게 통합한다. 학생이 생성형 AI에 게 질문을 던지는 과정은 곧 문제 상황을 정확히 파악하고 핵심을 정리하는 과정임을 인식하도록 한다. 이를 위해 수업 초기에는 실습 상황을 문장으로 정리하고, 필요한 정보를 구체적으로 질문하는 연습을 실시하여, 올바른 질문 작성이 공학적 문제 정의 능력과 직결됨을 경험하도록 한다. 이는 생성형 AI 활용 수업에서 프롬프트 탐색과 연습을 교수·학습의 출발점으로 배치할 필요성을 강조한 논의와도 일치한다(신봉섭, 2025).

둘째, 학습 단계에 따라 생성형 AI의 지원 수준을 점진적으로 줄여 나간다. 실습 초기에는 생성형 AI가 비교적 상세한 설명과 안내를 제공하도록 하되, 학습이 진행될수록 학생이 스스로 판단하고 결정해야 하는 비중을 확대한다. 이를 통해 학생은 AI의 도움에 의존하기보다 자신의 이해와 경험을 바탕으로 문제를 해결하는 주도적인 학습자로 성장하게 된다. 이러한 단계적 지원 조절은 생성형 AI와 학습자의 협력을 통해 학습자 주도성을 실현할 수 있음을 보여 준 선행 실험연구의 시사점을 반영한 것이다.

셋째, AI 응답에 대한 검증 과정을 수업의 필수 단계로 포함한다. 학생은 생성형 AI가 제시한 설명이나 해결 방안을 실습 결과와 비교하고, 교과서나 데이터시트와 같은 신뢰 가능한 자료를 통해 재확인하도록 한다. 이러한 과정은 생성형 AI의 환각 현상과 정보 오류 가능성을 교육적으로 보완하기 위한 전략으로, 교사

검증 및 또래 평가와 같은 다층적 검증 절차를 병행할 필요성을 강조한 선행연구의 제언과도 부합한다.

이와 같은 수업 설계 원칙은 생성형 AI 활용을 통해 학습자의 문제 해결 경험을 확장하는 동시에, 전기·전자 실습 수업에서 요구되는 공학적 사고와 비판적 판단 능력을 함께 함양하는 데 목적이 있다.

[표 4] 생성형 AI 활용 전기·전자 실습 수업 설계의 기본 원칙

설계 원칙	적용 내용
AI 역할 설정	정답 제시 도구가 아닌 학습 보조 도구
프롬프트 활용	문제 상황을 문장으로 정리하여 질문 작성
지원 수준 조절	학습 진행에 따라 AI 안내 점진적 축소
검증 과정	실습 결과·교과서·데이터시트와 대조

2. 생성형 AI 기반 실습 수업 모형 제안

본 연구는 ADDIE 모형을 전기·전자 실습의 특성에 맞춰 재구성하고, 각 단계에 AI를 통합한 수업 모형을 제안한다.

가. 분석(Analysis) 단계

분석 단계에서는 2022 개정 교육과정 총론 및 전기·전자 계열 전문교과 교육과정 문서를 검토하여, 학습자 주도성의 교육적 의미와 전문교과 실습 수업에서 요구되는 성취기준 및 교수·학습 방향을 도출하였다. 또한 전기·전자 실습 수업의 운영 특성(실습 환경, 안전 요소, 기자재 활용, 교사 1인 지도 구조 등)과 학습자 특성(사전 개념 수준의 편차, 실습 숙련도 차이, 디지털 리터러시 수준)을 분석하여 생성형 AI의 활용이 필요한 지점(즉각 피드백, 오류 진단 보조, 반복 설명 지원 등)을 구체화하였다. 더불어 생성형 AI 활용에 따른 위험 요소(할루시네이션, 과의존, 개인정보 및 저작권 이슈)를 분석하여 수업 설계 시 반드시 포함되어야 할 안전장치(검증 절차, 출처 확인, 교사 확인 규칙 등)를 요구사항으로 정리하였다. 이는 ADDIE 모형의 분석 단계에서 생성형 AI를 활용하여 학습자 특성, 학습 내용, 학습 환경 및 제약 조건을 체계적으로 파악할 수 있음을 제시한 선행연구의 결과와 맥을 같이한다(임성태 외, 2024).

나. 설계(Design) 단계

설계 단계에서는 분석 결과를 바탕으로 수업의 목표, 내용 구성, 학습 활동, 평가 방식이 2022 개정 교육과정의 취지와 정합성을 갖도록 수업 설계 원리를 수립하였다. 특히 실습 수업의 흐름을 ‘도입-전개-정리’로 구조화하고, 각 단계에서 생성형 AI가 수행할 역할을 학습 지원(개념 이해), 수행 지원(과정 안내·오류 탐색), 성찰 지원(결과 해석·확장 과제)으로 구분하여 적용 기준을 마련하였다. 또한 생성형 AI 활용이 학습자 주도성을 강화하도록, AI가 정답을 직접 제시하기보다 학습자의 사고를 촉진하는 질문형 피드백을 제공하도록 프롬프트 설계 전략을 수립하였다(예: 확인 질문, 가정 검증, 단계적 힌트, 오류 원인 후보 제시 등). 아울러 학생용·교사용 프롬프트를 구분하고, 수업 중 AI 사용 규칙(질문 전 자기 점검, 답변 검증 체크리스트 적용, 교사 확인이 필요한 상황 명시)을 설계 요소로 포함하였다. 이러한 설계는 생성형 AI의 교육적 효과가 질문의 구체성과 구조에 따라 크게 달라진다는 연구 결과를 반영한 것으로, ADDIE 모형의 설계 단계에서 ChatGPT를 교수설계 조력자로 활용할 수 있는 가능성과 활용 방안을 제시한 선행연구의 논의와 일치한다(임성태 외, 2024).

다. 개발(Development) 단계

개발 단계에서는 설계 단계에서 마련한 수업 모형을 실제 적용 가능한 형태로 구체화하였다. 구체적으로, 납땜을 기반으로 한 전기·전자 회로 제작 실습을 중심으로 수업 지도안(차시 구성, 활동지, 실습 절차서)을 개발하였다. 지도안은 납땜 준비, 부품 배치, 납땜 수행, 검사 및 디버깅의 단계로 구성하여 학습자가 실습 전 과정을 체계적으로 경험할 수 있도록 설계하였다.

또한 각 단계에서 생성형 AI를 효과적으로 활용할 수 있도록 단계별 활용 시나리오와 프롬프트 템플릿을 제작하였다. 예를 들어, 납땜 전 단계에서는 부품의 극성과 회로 연결 방식에 대한 질의, 납땜 수행 단계에서는 적절한 납땜 온도 및 작업 요령에 대한 안내, 실습 후 단계에서는 회로 동작 오류에 대한 원인 분석과 개선 방안 도출을 위한 질문이 이루어지도록 구성하였다.

학생이 생성형 AI의 응답을 무비판적으로 수용하지 않도록 하기 위해 ‘AI 답변 검증 체크리스트’를 개발하여 학습 자료에 포함하였다. 해당 체크리스트는 전기·전자 실습의 특성을 반영하여 ‘부품 극성 확인’, ‘납땀 상태 (브리지, 냉납) 점검’, ‘전원 연결 여부’, ‘회로도 와 실제 구현 비교’, ‘측정 값 확인’ 등의 항목으로 구성하였다. 이를 통해 학습자가 AI의 응답을 스스로 검증하고 판단하는 과정을 경험하도록 하였다.

또한 납땀 실습 과정에서 빈번하게 발생하는 오류 상황을 분석하여 대표 사례를 선정하고, 오류 유형별 학습 지원 자료를 개발하였다. 주요 오류 유형으로는 납땀 불량(냉납, 과다 납땀), 인접 패드 간 쇼트(short), 부품 극성 반대 삽입, 부품 위치 오삽입, 회로 단선 등이 포함된다.

각 오류 유형에 대해 생성형 AI가 효과적으로 지원할 수 있도록 ‘증상 확인 → 가능 원인 제시 → 점검 절차 안내 → 재측정 및 재작업 유도’의 구조로 피드백 프레임을 설계하였다. 이를 통해 학생들은 단순히 오류를 수정하는 데 그치지 않고, 문제 해결 과정을 단계적으로 이해하며 자기주도적으로 실습을 수행할 수 있도록 하였다.

라. 실행(Implementation) 단계

실행 단계에서는 개발된 수업 설계안을 실제 수업 상황에 적용하여 생성형 AI 활용 실습 수업을 운영하였다. 본 연구는 실험집단과 대조집단을 구성한 준실험설계를 기반으로, 생성형 AI 활용 수업의 효과를 검증하기 위한 실제 수업 처치를 수행하였다.

실험집단에서는 납땀을 중심으로 한 전기·전자 회로 제작 실습 과정에서 생성형 AI를 학습 도구로 활용하도록 하였으며, 대조집단에서는 기존의 교사 중심 실습 수업(표준 실습 매뉴얼 및 교사 피드백 중심)을 적용하였다. 두 집단 모두 동일한 학습 내용과 실습 과제를 수행하도록 구성하여 수업 처치 외 변인을 통제하였다.

실험집단의 수업은 납땀 실습의 흐름에 따라 생성형 AI 활용이 단계적으로 이루어지도록 설계하였다. 먼저 실습 전 단계에서는 학생들이 AI를 활용하여 회로 구성 계획을 수립하도록 하였다. 이 과정에서 부품의 종류

와 극성, 납땜 순서, 주의사항 등을 사전에 점검하며 실습에 대한 이해를 높이도록 하였다.

실습 수행 단계에서는 납땜 작업 과정에서 발생하는 다양한 문제 상황에 대해 AI를 활용하여 원인을 탐색하도록 하였다. 예를 들어, 회로가 정상적으로 동작하지 않는 경우 학생들은 측정값이나 증상을 AI에 입력하고, 제시된 가능 원인과 점검 절차를 바탕으로 스스로 오류를 수정하도록 하였다. 특히 냉납, 납땜 브리지(쇼트), 부품 극성 오류, 회로 단선 등의 납땜 실습에서 빈번하게 발생하는 문제를 중심으로 AI를 활용한 문제 해결 활동이 이루어지도록 하였다.

실습 후 단계에서는 학생들이 AI를 활용하여 실습 결과를 정리하고, 오류 발생 원인과 해결 과정, 개선 방안을 중심으로 학습 내용을 성찰하도록 하였다. 이를 통해 단순한 기능 수행을 넘어 학습 과정에 대한 메타인지적 이해를 강화하도록 하였다.

또한 수업 운영 과정에서 교사는 생성형 AI 사용을 허용하되, 학생의 과의존을 방지하기 위해 ‘질문-검증-기록’의 절차를 요구하였다. 학생들은 AI의 응답을 그대로 수용하는 것이 아니라, 체크리스트를 활용하여 결과를 검증하고 학습일지에 기록하도록 지도하였다.

특히 납땜 실습의 특성상 안전이 중요한 요소이므로, 전원 인가, 쇼트 가능성 확인, 고온 인두 사용과 같은 위험 요소가 수반되는 작업은 반드시 교사의 사전 확인을 거치도록 운영 규칙을 설정하였다.

이와 같은 실행 과정을 통해 생성형 AI는 교사의 역할을 대체하는 것이 아니라, 교사의 지도를 보조하면서 학습자의 자기주도적 문제 해결 과정을 촉진하는 도구로 기능하도록 하였다.

마. 평가(Evaluation) 단계

평가 단계에서는 제안된 생성형 AI 기반 전기·전자 실습 수업 설계 모형의 타당성과 효과성을 검증하기 위해 전문가 검토와 실증적 수업 적용을 병행하여 평가를 수행하였다.

먼저, 전기·전자 전문교과 교사를 대상으로 전문가 검토를 실시하였다.

이를 통해 (1) 교육과정과의 정합성, (2) 수업 단계별 생성형 AI 활용의 적절성, (3) 프롬프트 전략의 교육적 타당성, (4) 안전 및 윤리 측면의 적합성, (5) 실제 수업에서의 적용 가능성에 대한 의견을 수렴하였다. 수렴된 피드백은 수정·보완 사항으로 반영하여 수업 모형의 구성 요소를 재조정하고, 수업 자료 및 프롬프트 템플릿을 개선하였다.

다음으로, 개선된 수업 설계안을 실제 수업에 적용하여 총괄평가를 수행하였다. 실험집단과 대조집단을 대상으로 사전·사후 검사를 실시하여 자기주도학습 역량의 변화를 분석하였으며, 이를 통해 생성형 AI 활용 수업의 효과성을 검증하였다.

또한 학습일지와 수업 관찰 자료를 함께 분석하여, 학습자의 문제 해결 과정, AI 활용 방식, 자기주도적 학습 행동의 변화를 질적으로 해석하였다. 이를 통해 양적 분석 결과를 보완하고, 수업 모형의 실제 적용 과정에서 나타나는 특징과 교육적 시사점을 도출하였다.

이와 같은 평가 과정을 통해 본 연구는 생성형 AI 기반 전기·전자 실습 수업 모형의 교육적 타당성과 현장 적용 가능성을 동시에 확보하고자 하였다.

ADDIE 교수설계 모형을 적용한 생성형 AI 활용 전기·전자 실습 수업 설계의 단계별 구성은 [표 4]와 같다.

[표 5] ADDIE 기반 생성형 AI 활용 전기·전자 실습 수업 설계 모형

단계	주요 교수·학습 활동	생성형 AI 활용 포인트
분석(Analysis)	학습자 수준·실습 특성 분석, 교육과정 성취기준 검토	학습 난이도 예측, 핵심 개념 요약 지원
설계(Design)	수업 목표 설정, 실습 흐름 구성, 평가 기준 마련	질문 예시 제시, 프롬프트 설계 지원
개발(Development)	지도안·활동지·실습 자료 제작	예시 생성, 오류 사례 생성
실행(Implementation)	실습 수업 운영, 학생 수행 관찰	실시간 질문 응답, 문제 해결 힌트 제공
평가(Evaluation)	학습 결과·과정 점검, 수업 개선	결과 요약, 성찰 질문 생성

ADDIE 교수설계 모형을 전기·전자 전문교과 실습 수업의 특성에 맞게 재구성하고, 각 단계에 생성형 AI를 통합한 수업 설계 모형을 제안하였다. 분석 단계에서는 교육과정 요구와 학습자·수업 환경 특성을 토대로 생성형 AI 활용의 필요성과 잠재적 위험 요소를 도출하였으며, 설계·개발 단계에서는 학습자 주도성을 강화하기 위한 프롬프트 전략과 납땜 실습 중심의 학습 자료를 구체화하였다.

또한 실행 단계에서는 개발된 수업 모형을 실제 수업에 적용하여 생성형 AI 활용 실습 수업을 운영하였으며, 평가 단계에서는 전문가 검토와 함께 실험집단과 대조집단 간 사전·사후 검사를 통해 수업 모형의 교육적 효과와 타당성을 검증하였다.

이러한 설계는 생성형 AI를 교사의 역할을 대체하는 기술이 아니라, 학습자의 사고 과정과 문제 해결을 보조하는 교수·학습 도구로 위치짓는 데 의의가 있다. 다음 절에서는 본 모형을 토대로 전기·전자 실습 수업의 단계별로 생성형 AI를 어떻게 활용할 수 있는지에 대한 구체적인 전략을 제시한다.

3. 수업 단계별 생성형 AI 활용 전략

가. 도입 단계

도입 단계에서는 학습자가 실습 주제의 맥락과 학습 목표를 명확히 인식할 수 있도록 생성형 AI를 활용한 브레인스토밍 활동을 설계한다. 학습자는 납땜을 기반으로 한 회로 제작 실습에 앞서 생성형 AI에게 실습 주제와 관련된 질문을 제시하고, 이를 통해 회로의 동작 원리, 사용 부품의 특성, 납땜 시 주의사항 등 핵심 개념을 사전에 탐색한다. 이러한 과정은 학습자가 단순히 교사의 설명을 수동적으로 수용하는 것이 아니라, 실습 과정에서 발생할 수 있는 문제 상황을 스스로 예측하고 개념적 틀을 형성하도록 지원하는 데 목적이 있다.

특히 납땜 실습의 경우 부품의 극성, 납땜 순서, 안전 요소 등에 대한 사전 이해가 실습의 성공 여부에 큰 영향을 미치므로, 도입 단계에서의 개념 형성과 문제 인식은 이후 실습 수행의 질을 결정짓는 중요한 요소로

작용한다. 이에 따라 생성형 AI를 활용한 사전 탐색 활동은 학습자가 실습 과정에서 보다 능동적으로 판단하고 대응할 수 있는 기반을 마련하는데 기여한다.

이와 같은 도입 단계에서의 생성형 AI 활용은 선행연구에서도 그 교육적 가능성이 확인되고 있다. 이명숙(2024)은 ChatGPT를 활용한 소프트웨어 교육 수업 모델에서 도입 단계의 AI 활용이 용어 이해와 개념 정리를 지원하여 학습자의 문제 해결 참여를 촉진한다고 보고하였다. 또한 김슬기(2023)는 학습 초기 단계에서의 대화형 상호작용이 학습자의 질문 생성과 문제 이해를 돕고, 사고 구조화를 촉진하는 역할을 수행할 수 있음을 제시하였다.

아울러 프로젝트 기반 및 교과 융합 수업 맥락에서도 생성형 AI를 도입 단계의 사고 촉진 도구로 활용한 사례가 보고되고 있다. 김송희 외(2024)는 생성형 AI를 활용한 자료 탐색과 아이디어 발산 활동이 학습자의 문제 정의와 학습 목표 설정을 구체화하는 데 기여한다고 분석하였으며, 김현정 외(2024)는 생성형 AI 기반 아이디어 탐색 활동이 학습자의 사고 범위 확장과 탐구 참여를 촉진한다고 보고하였다.

이러한 선행연구들은 생성형 AI가 도입 단계에서 학습자의 사고를 대체하는 것이 아니라, 문제 인식과 개념 구조화를 지원하는 인지적 도구로 기능할 수 있음을 시사한다. 이에 본 연구에서는 전기·전자 납땜 실습 수업의 도입 단계에서 생성형 AI를 활용한 브레인스토밍 활동을 통해 학습자가 회로 구성과 실습 절차를 사전에 이해하고, 이후 전개 단계의 실습 과정에 자기주도적으로 참여할 수 있도록 수업을 설계하였다.

나. 전개 단계(실습 수행 단계)

전개 단계에서는 학습자가 생성형 AI를 ‘가상 디버깅 엔지니어’로 활용하여 납땜 기반 회로 제작 실습 과정에서 발생하는 문제를 스스로 해결해 나가도록 설계하였다(Zhong 외, 2023). 전기·전자 실습 수업에서는 납땜 불량(냉납, 과다 납땜), 인접 패드 간 쇼트(short), 부품 극성 오류, 회로 단선, 부품 오삽입 등 다양한 오류가 빈번하게 발생하며, 이러한 문제는

학습자의 실습 수행을 저해하는 주요 요인으로 작용한다.

이러한 맥락에서 생성형 AI는 단순한 정답 제공자가 아니라, 문제 해결 과정을 지원하는 보조 도구로 활용된다. 학습자는 실습 과정에서 발생한 증상(예: LED 미점등, 전압 미측정 등)과 측정값을 AI에 입력하고, AI가 제시하는 ‘가능 원인 → 점검 순서 → 수정 방안’의 단계적 안내를 바탕으로 스스로 오류를 탐색하고 수정하도록 한다.

이와 관련하여 김수정 외(2022)는 ChatGPT 기반 AI 코딩 도우미 시스템을 적용한 연구에서, AI가 오류의 정답을 직접 제시하기보다 원인 분석과 점검 절차를 안내하는 방식이 학습자의 문제 해결 과정에 효과적임을 보고하였다. 이러한 결과는 전기·전자 실습에서도 동일하게 적용될 수 있으며, 특히 측정값과 이론값의 차이를 비교·분석하고 회로 상태를 점검하는 과정에서 생성형 AI가 학습자의 사고 과정을 구조화하는 데 기여할 수 있음을 시사한다.

또한 본 연구에서는 생성형 AI 활용이 학습자의 과의존으로 이어지지 않도록, ‘증상 기술 → 원인 추론 → 검증 → 재측정’의 절차를 중심으로 실습 활동을 구성하였다. 학습자는 AI의 응답을 그대로 수용하는 것이 아니라, 체크리스트를 활용하여 실제 회로 상태와 비교·검증하고, 필요 시 재측정을 수행함으로써 문제 해결 과정을 반복적으로 경험하도록 하였다. 특히 납땜 실습의 특성상 시각적·물리적 요소에 대한 점검이 중요하므로, 생성형 AI의 텍스트 기반 안내를 실제 회로 상태 확인과 결합하여 활용하도록 지도하였다. 이를 통해 학습자는 단순한 오류 수정 수준을 넘어, 문제 발생 원인을 논리적으로 추론하고 해결 전략을 수립하는 자기주도적 실습 수행 능력을 기를 수 있도록 하였다.

다. 정리 단계(성찰 및 확장)

정리 단계에서는 실습 수행 과정에서 도출된 결과와 판단 과정을 체계적으로 정리하고, 학습자가 자신의 문제 해결 경험을 성찰하도록 생성형 AI를 활용한다(신봉섭, 2025). 전기·전자 납땜 실습 수업에서 정리 단계는 단순히 회로의 동작 여부를 확인하는 데 그치지 않고, 실습 과정에서 발

생한 오류와 수정 과정을 되짚으며 학습 내용을 재구성하는 중요한 단계로 기능한다.

이 단계에서 생성형 AI는 학습자가 수집한 측정값과 실습 결과를 구조화하고, 이론값과 실제 측정값 간의 차이에 대해 가설을 설정하도록 돕는 보조 도구로 활용된다. 학습자는 납땜 과정에서 발생한 문제(예: 냉납으로 인한 접착 불량, 쇼트 발생, 부품 극성 오류 등)를 중심으로 결과를 정리하고, 생성형 AI와의 상호작용을 통해 오차 발생 원인을 추론하며 회로 구성 및 측정 과정에서의 개선 요소를 도출하게 된다. 이러한 과정은 실습 결과를 단순한 수치 확인에 머무르지 않고, 공학적 판단의 근거로 재구성하도록 지원한다.

이와 같은 생성형 AI 활용 방식은 자기성찰과 자기조절 학습을 촉진한다는 점에서 선행연구의 결과와도 맥을 같이한다. 김현경 외(2025)는 ChatGPT를 활용한 글쓰기 수업에서 학습자가 AI의 피드백을 바탕으로 산출물을 반복적으로 점검·수정하는 과정에서 자기 점검과 성찰적 사고가 강화되었음을 보고하였다. 이는 실습 수업에서도 생성형 AI를 활용한 결과 정리와 성찰 활동이 학습자의 자기주도적 학습 행동을 촉진할 수 있음을 시사한다.

또한 생성형 AI는 실습 보고서 작성을 지원하는 도구로 활용될 수 있다. AI가 실험 목적, 절차, 결과를 바탕으로 보고서의 구조를 제안하면, 학습자는 자신의 실제 실습 과정(회로 구성, 납땜 수정 이력, 오류 해결 과정 등)을 중심으로 내용을 보완·수정하여 최종 산출물을 완성하도록 한다. 이 과정에서 학습자는 AI가 제시한 내용을 그대로 수용하는 것이 아니라, 자신의 실습 경험과의 일치 여부를 검토하고 비판적으로 수정함으로써 학습 내용을 능동적으로 재구성하게 된다.

생성형 AI 활용 수업에 대한 질적 연구에서도 교사들은 AI가 학습 결과 정리와 성찰 질문 생성에 유용하며, 학습자가 자신의 학습 과정을 되돌아보는 데 긍정적인 영향을 미친다고 인식한 것으로 나타났다(민준홍 외, 2025). 특히 생성형 AI가 제공하는 성찰 질문은 학습자가 자신의 판단과 선택 과정을 명시적으로 설명하도록 유도하는 데 효과적인 것으로 보고되

었다.

더 나아가 생성형 AI는 실습 결과를 바탕으로 확장 학습을 제안함으로써 학습의 연속성을 지원할 수 있다. 예를 들어 회로 조건 변화에 따른 동작 예측, 유사 회로 구조 탐색, 추가 실습 과제 제안 등을 통해 학습자가 심화 탐구를 수행하도록 유도할 수 있으며, 이는 학습자의 지속적인 문제 해결 경험을 확장하는 데 기여한다. 이러한 활용은 교과 융합 프로젝트 수업에서 생성형 AI가 성찰과 확장 탐구를 지원한다는 선행연구 결과와도 맥을 같이한다(김송희 외, 2024).

이와 같은 정리 단계에서의 생성형 AI 활용은 학습자가 낱땀 실습 과정 전반을 되돌아보고 자신의 판단과 문제 해결 전략을 구조화하도록 지원한다는 점에서 의의가 있다. 이는 학습자가 실습을 통해 얻은 경험을 지식으로 내면화하고, 이후 학습에서 스스로 활용할 수 있는 자기주도 학습 역량을 형성하는 데 기여한다.

[표 6] 실습 후 단계에서의 생성형 AI 활용 활동

구분	학습자 활동
결과 정리	실험 데이터 요약, 오차 원인 추론
성찰	문제 해결 과정 설명 및 수정 판단 정리
확장	조건 변경, 심화 주제 탐색

본 절에서는 전기·전자 전문교과 낱땀 중심 실습 수업에서 생성형 AI를 도입·전개·정리 단계에 따라 어떻게 활용할 수 있는지를 구체적으로 제안하였다. 도입 단계에서는 생성형 AI를 활용한 브레인스토밍을 통해 학습자가 실습 주제의 맥락과 학습 목표를 사전에 인식하도록 지원하고, 전개 단계에서는 낱땀 과정에서 발생하는 다양한 오류와 문제를 스스로 해결할 수 있도록 즉각적인 피드백과 점검 구조를 제공하는 도구로 활용하였다. 정리 단계에서는 실습 결과와 판단 과정을 성찰하고 학습 경험을 구조화하는 과정에서 생성형 AI를 학습 보조 도구로 활용함으로써, 실습 경험이

다음 학습으로 확장될 수 있는 기반을 마련하였다.

이와 같은 단계별 활용 전략은 생성형 AI가 학습자의 사고를 대신하는 존재가 아니라, 학습 과정 전반에서 사고를 촉진하고 문제 해결을 구조화하는 스캐폴딩 도구로 기능할 수 있음을 보여준다. 특히 전기·전자 납땜 실습과 같이 오류 진단과 반복적 수정이 요구되는 학습 맥락에서 생성형 AI의 활용은 학습자의 주도적 탐구 활동을 지속시키는 데 효과적인 지원 체계로 작용할 수 있다. 이는 2022 개정 교육과정이 강조하는 학습자 주도성 및 과정 중심 학습의 취지와도 부합한다.

또한 본 연구에서 제안한 단계별 활용 전략은 실제 수업 적용을 통해 그 효과를 검증한 수업 설계 모형의 구체화라는 점에서 의의를 지닌다.

다음 절에서는 이러한 단계별 활용 전략을 실제 전기·전자 실습 수업에 적용하기 위한 구체적인 수업 설계 모형과 사례를 제시함으로써, 생성형 AI 활용 수업의 현장 적용 가능성을 보다 명확히 하고자 한다.

4. 수업 사례 적용

전기·전자 전문교과 실습 수업을 가정하여, 납땜을 기반으로 한 회로 제작 실습 수업 사례를 제시하고 생성형 AI의 활용 방안을 구체적으로 살펴보고자 한다. 본 수업 사례는 앞서 제시한 ADDIE 기반 수업 설계 모형과 단계별 생성형 AI 활용 전략을 실제 실습 맥락에 적용한 예로, 학습자가 실습 전·중·후 과정 전반에서 생성형 AI를 활용하여 주도적으로 문제를 해결하도록 설계되었다. 특히 본 사례는 회로 구성 및 납땜 과정에서 발생하는 오류를 진단하고 수정하는 과정에서 생성형 AI가 학습자의 사고와 판단을 지원하는 역할에 초점을 둔다.

가. 사전 탐구 단계

사전 탐구 단계에서는 학습자가 납땜 실습에 필요한 기초 개념과 전자부품의 특성을 이해하고, 향후 실습 과정에서 활용할 생성형 AI의 사용 방법을 익히도록 하였다. 이 단계에서는 단순한 이론 전달을 넘어 실제 실

습에서 사용되는 부품을 직접 관찰하고, 부품의 기능과 특징을 스스로 탐색할 수 있도록 구성하였다.

구체적으로 교사는 저항, LED, 콘덴서 등 실습에 사용되는 주요 전자부품을 제시하고, 학습자가 각 부품의 명칭과 역할, 극성 여부 및 사용 시 주의사항을 스스로 탐색하도록 유도하였다. 이후 학습자는 생성형 AI를 활용하여 부품의 기능과 특징, 회로에서의 역할 등을 질문하며 정보를 탐색하였다. 이를 통해 학습자는 단순히 교사의 설명을 수동적으로 듣는 것이 아니라, 스스로 필요한 정보를 찾아보고 비교·이해하는 과정을 경험하였다.

예를 들어, 한 학습자는 “LED는 왜 방향을 맞춰서 연결해야 하나요?”라는 질문을 생성형 AI에 입력하였고, AI는 LED의 극성 구조와 전류 흐름의 방향, 극성이 반대로 연결될 경우 점등되지 않는 이유 등을 설명하였다. 또 다른 학습자는 “저항의 색 띠는 무엇을 의미하나요?”라고 질문하였으며, AI는 색 띠에 따른 저항값 읽는 방법과 허용오차의 의미를 제시하였다. 이를 통해 학습자는 부품의 외형만 인식하는 수준을 넘어, 각 부품이 회로에서 수행하는 기능과 사용 원리를 이해할 수 있었다.

이러한 활동을 통해 학습자는 실습 전에 전자부품의 특성과 사용 방법을 미리 탐색하고 이해하는 경험을 하였으며, 이후 납땜 및 회로 제작 과정에서 생성형 AI를 활용한 자기주도적 문제 해결의 기초를 마련할 수 있었다.

[그림 2] 생성형 AI를 활용한 전자부품 탐색 활동



나. 회로 구상 단계

회로구상 단계에서는 학습자가 실제 납땜 실습을 수행하기에 앞서 회로 구성과 작업 계획을 수립하도록 하였다. 이 단계에서는 단순히 회로도를 이해하는 것을 넘어, 작업 과정에서 발생할 수 있는 문제를 사전에 예측하고 이에 대한 대응 전략을 마련하는 데 중점을 두었다.

학습자는 주어진 회로도를 바탕으로 부품의 위치와 납땜 순서를 계획하였으며, 이 과정에서 생성형 AI를 활용하여 작업 방법에 대한 추가적인 정보를 탐색하였다. 예를 들어, 일부 학습자는 “납땜 순서를 어떻게 하면 좋을까요?”와 같은 질문을 생성형 AI에 입력하여 보다 효율적인 작업 순서를 구성하였다.

또한 학습자는 예상되는 오류 상황에 대해 생성형 AI를 활용하여 사전 점검을 수행하였다. 예를 들어, “부품이 흔들리면 어떻게 되나요?”와 같은 질문을 통해 부품 고정의 중요성을 인식하고, 실습 과정에서 이를 주의 깊게 확인하려는 태도를 보였다.

이러한 활동은 학습자가 실습을 단순 수행 과제가 아닌 계획적 활동으로 인식하도록 하였으며, 이후 실습 단계에서 보다 체계적인 문제 해결을 수행하는 데 기여하였다.

[그림 3] 생성형 AI 기반 회로 구상 활동



다. 실습 및 교정 단계

실습 교정 단계에서는 학습자가 실제 납땜 작업을 수행하면서 발생하는 오류를 생성형 AI를 활용하여 수정하는 활동이 이루어졌다. 이 단계는 본 연구에서 학습자의 행동 변화가 가장 뚜렷하게 나타난 핵심 단계이다.

수업 초기에는 납땜 과정에서 문제가 발생할 경우 학습자가 교사에게 직접 도움을 요청하는 경우가 많았으나, 생성형 AI 활용을 반복적으로 경험하면서 점차 AI를 활용하여 문제를 해결하려는 시도가 증가하였다.

예를 들어, 한 학습자는 납이 접합부에 고르게 퍼지지 않고 동그랗게 뭉치는 현상이 발생하자 다음과 같이 질문하였다.

학생 A: “납이 동그랗게 뭉쳐요. 왜 그런 거죠?”

생성형 AI: “가열이 충분하지 않거나 인두가 접합부에 제대로 닿지 않을 수 있습니다.”

해당 학습자는 AI의 피드백을 바탕으로 인두의 위치를 조정하고 가열 시간을 늘려 재작업을 수행하였으며, 이후 납이 보다 균일하게 퍼지는 결과를 확인하였다.

또 다른 사례에서는 납이 과도하게 사용된 상황에서 다음과 같은 상호작용이 나타났다.

학생 B: “납이 너무 많이 붙었어요. 어떻게 해야 하나요?”

생성형 AI: “납을 제거한 후 적절한 양으로 다시 작업하는 것이 좋습니다.”

이 학생은 AI의 안내에 따라 납을 제거하고 재작업을 수행하였으며, 이전보다 안정적인 접합 상태를 형성할 수 있었다.

이와 같은 과정에서 학습자는 문제 인식, 질문 생성, 피드백 적용, 수정 시도, 결과 확인으로 이어지는 순환적 학습 과정을 경험하였다. 특히 일부 학습자는 초기에는 단순한 오류 원인 질문을 중심으로 AI를 활용하였으나, 이후에는 작업의 완성도를 높이기 위한 심화 질문으로 확장되는 모습을 보였다.

이는 생성형 AI가 학습자의 사고를 확장시키고 자기주도적 문제 해결을 촉진하는 도구로 기능할 수 있음을 보여준다.

[그림 4] 납땜 및 회로 제작 활동



라. 확장 단계

확장 단계에서는 학습자가 실습 과정에서 경험한 문제 해결 과정을 바탕으로 자신의 학습을 성찰하고, 보다 높은 수준의 작업 수행을 위한 전략을 탐색하도록 하였다.

학습자는 자신의 납땜 결과를 점검하고 개선할 점을 도출하였으며, 생성형 AI를 활용하여 보다 정교한 작업 방법에 대해 탐색하였다. 예를 들어, 일부 학습자는 “납땜을 더 깔끔하게 하는 방법은 무엇인가요?”와 같은 질문을 통해 작업의 완성도를 높이기 위한 전략을 탐색하였다.

또한 학습자는 자신이 경험한 오류 사례와 해결 과정을 정리하고 공유함으로써, 다른 학습자들과의 상호작용을 통해 문제 해결 전략을 확장하는 모습을 보였다.

이러한 활동은 학습자가 단순히 과제를 수행하는 수준을 넘어, 자신의 학습 과정을 성찰하고 개선하는 자기주도적 학습 경험으로 이어졌으며, 생성형 AI 활용이 지속적인 학습 확장으로 연결될 수 있음을 보여준다.

[그림 5] 회로 동작 확인 및 문제 해결 활동



3장에서 제안한 생성형 AI 기반 전기·전자 실습 수업 설계 모형은 본 연구의 실증적 검증을 위한 교수·학습 처치(treatment)로 활용되었다. 다음 장에서는 이 수업 설계를 실제 연구 상황에 적용하기 위한 연구 대상, 도구, 절차 및 분석 방법을 구체적으로 기술한다.

IV. 연구 방법 및 결과

1. 연구설계

본 연구는 생성형 AI를 활용한 전기·전자 실습 수업이 학습자의 자기주도학습 역량에 미치는 영향을 분석하기 위해 준실험설계(quasi-experimental design)를 적용하였다.

구체적으로, 동일 학년의 두 학급을 대상으로 실험집단과 대조집단을 구성하였다. 실험집단에는 생성형 AI(GPT)를 활용한 실습 수업을 적용하고, 대조집단에는 기존의 교사 중심 실습 수업(표준 실습 매뉴얼 및 교사 피드백 중심)을 적용하였다.

두 집단 모두 동일한 기간 동안 동일한 학습 내용을 다루었으며, 수업 처치 전·후에 자기주도학습 역량 검사를 실시하여 집단 내 변화와 집단 간 차이를 비교하였다. 이를 통해 생성형 AI 활용 수업의 효과성을 실증적으로 검증하고자 하였다.

2. 연구 도구

본 연구에서는 생성형 AI를 활용한 전기·전자 실습 수업에서 나타나는 학습자의 자기주도학습 역량 변화를 측정하기 위하여, 이석재 외(2003)가 개발한 '성인용 자기주도적 학습능력 측정도구'를 본 연구의 목적과 실습 환경에 맞게 수정·보완하여 사용하였다. 특히, 생성형 AI와의 주도적 문제해결 과정을 반영하기 위해 Zhong(2023)과 Li(2025)가 제시한 AI 기반 학습 환경의 역량 구성 요소를 참고하여 문항의 맥락을 조정하였다.

해당 척도는 자기주도학습의 핵심 과정인 '학습 계획', '학습 실행', '학습 평가'의 세 가지 하위 영역으로 구성되어 있다(Zimmerman, 2000). 구체적으로 '학습 계획' 영역에서는 실습 목표 설정 및 AI 활용 전략 수립 능력을, '학습 실행' 영역에서는 실습 과정에서의 몰입과 AI를 통한 능동적 정보 탐색 및 문제 해결 과정을, '학습 평가' 영역에서는 실습 결과에 대한 성찰 및 AI 답변의 비판적 검토 능력을 측정한다.

각 문항은 리커트(Likert) 5점 척도로 구성되었으며, 점수가 높을수록 생성형

AI 활용 환경에서의 자기주도학습 역량이 높음을 의미한다. 본 연구에서는 사전·사후 검사에 동일한 설계 체계를 가진 설문 도구를 활용하여 학습자의 역량 변화 정도를 양적으로 비교 분석하였다.

또한, 양적 자료가 지니는 단편적 해석의 한계를 보완하고 학습자의 심층적인 변화 양상을 파악하기 위해 질적 자료를 병행 수집하였다.

[표 7] 질적 자료 수집 및 주요 활동

질적 자료	주요 활동
학습일지	학습 과정에서의 사고 과정 및 자기 성찰 기록
수업 관찰 기록	질문빈도, 자기주도학습, 시행착오, 과제완성도 등

이러한 자료는 자기주도학습의 실제 행동 변화를 심층적으로 분석하기 위한 보조 자료로 활용하였다.

3. 연구 절차

본 연구는 총 4주간에 걸쳐 진행되었으며, 구체적인 절차는 다음과 같다.

첫째, 연구 시작 전 학생과 보호자를 대상으로 연구 목적과 절차를 안내하고, 서면 동의를 확보하였다. 이후 연구 참여 학생을 대상으로 사전 검사를 실시하여 자기주도학습 역량의 기초 자료를 수집하였다.

둘째, 실험집단에는 생성형 AI를 활용한 전기·전자 실습 수업을 적용하고, 대조 집단에는 기존의 교사 중심 실습 수업을 동일 기간 동안 실시하였다. 실험집단에서는 AI를 활용한 회로 설계, 오류 분석, 피드백 활용 등의 활동을 중심으로 수업을 구성하였다.

셋째, 수업 진행 과정에서 연구자는 학생들의 학습 과정과 상호작용을 관찰·기록하였으며, 학생들은 학습일지를 작성하여 자신의 학습 과정을 성찰하도록 하였다.

넷째, 사전 검사는 학생들의 기존 학습 경험을 파악하는 데 초점을 두었으며, 사후 검사는 수업 이후의 변화와 학습 내용에 대한 이해도를 측정할 수 있도록 문항을 구성하였다.

마지막으로, 수집된 자료를 분석하여 생성형 AI 활용 수업이 자기주도학습 역량에 미치는 영향을 종합적으로 해석하였다.

본 연구의 절차 및 구체적인 연구 활동은 [표 7]에 제시된 바와 같이 진행되었다.

[표 8] 연구 절차 및 활동

단계	주차	주요 활동 내용
준비	1주차	연구 안내, 윤리 교육, 참여 동의서 수집, 사전 설문 실시 (자기주도 학습 역량)
기초 교육 및 실습	2주차	전기·전자 기초 이론 및 GPT 프롬프트 생성 훈련
	3주차	GPT 가이드를 활용한 기초 회로 구현 및 오류 분석 실습
정리 및 분석	4주차	사후 설문 실시, 학습일지 수거 및 최종 결과물 발표

4. 자료 분석 방법

본 연구에서는 생성형 AI(GPT)를 활용한 전기·전자 실습 수업이 특성화고등학교 학생의 자기주도 학습 역량에 미치는 영향을 분석하기 위하여 수집된 자료를 통계 프로그램 SPSS를 활용하여 분석하였다.

먼저 연구대상의 일반적 특성을 파악하기 위하여 빈도분석과 기술통계 분석을 실시하였으며, 평균, 표준편차, 왜도 및 첨도를 산출하였다. 또한 연구도구의 신뢰도를 검증하기 위하여 Cronbach's α 계수를 산출하였다.

다음으로 실험집단과 대조집단의 사전 동질성을 검증하기 위하여 독립표본 t검정과 Mann-Whitney U 검정을 실시하였다. 표본 수가 50명 미만인 점을 고려하여 Shapiro-Wilk 검정을 기준으로 정규성을 판단하였으며, 정규성 가정을 충족한 경우에는 독립표본 t검정을 실시하고, 정규성 가정을 충족하지 않은 경우에는

비모수 검정인 Mann-Whitney U 검정을 실시하였다.

또한 집단 내 사전·사후 변화 정도를 확인하기 위하여 차이점수에 대한 정규성 검정을 실시하였다. 정규성 가정을 충족한 경우에는 대응표본 t검정을 실시하였으며, 정규성 가정을 충족하지 않은 경우에는 윌콕슨 부호순위 검정을 실시하였다.

한편 본 연구에서는 실험 영역의 사전 동질성이 확보되지 않았으므로, 사전점수의 영향을 통제된 상태에서 실험 효과를 보다 정확하게 검증하기 위하여 공분산 분석(ANCOVA)을 실시하였다. 공분산분석 실시 이전에는 회귀기울기의 동일성 검정과 잔차의 정규성 검정을 실시하여 분석의 전제조건 충족 여부를 확인하였다.

마지막으로 실험집단과 대조집단의 사후 학습역량 차이를 보다 구체적으로 확인하기 위하여 추정 주변 평균(Estimated Marginal Means)을 산출하여 비교·분석하였다.

5. 연구대상의 일반적 특성

본 연구는 생성형 AI(GPT)를 활용한 전기·전자 실습 수업이 특성화고등학교 학생의 자기주도 학습 역량에 미치는 영향을 분석하기 위하여 실시되었다. 전남대학교 생명윤리위원회(Chonnam National University Institutional Review Board)의 심의를 거쳐 연구 윤리 승인을 받았으며 승인번호는 (1040198-260305-HR-051-03)에 근거하여 실시하였다. 또한 본 연구는 미성년자를 대상으로 수행되므로, 학생 본인과 보호자의 사전 동의를 모두 확보하여 연구의 윤리성을 확보하였다. 연구 참여 여부는 학생의 성적 및 학교생활기록부와 무관함을 명시하였다. 연구대상은 특성화고등학교 1학년 학생 총 40명으로 구성되었으며, 전통적인 실습 수업을 적용한 A반을 대조군, 생성형 AI(GPT)를 활용한 실습 수업을 적용한 B반을 실험군으로 설정하였다.

A반은 남학생 16명, 여학생 4명으로 구성되었으며, B반은 남학생 17명, 여학생 3명으로 구성되었다. 두 집단 모두 동일 학년 학생으로 구성되어 있으며, 전기·전자 실습 교과를 대상으로 동일 기간 동안 수업이 진행되었다.

[표 9] 연구대상의 일반적 특성

구분	남학생(명)	여학생(명)	전체(명)
A반(전통적 실습)	16	4	20
B반(GPT 활용 실습)	17	3	20
합계	33	7	40

6. 연구도구의 타당도 및 신뢰도

본 연구에서는 자기주도 학습 역량을 측정하기 위하여 계획, 평가, 실행 영역으로 구성된 검사 도구를 활용하였다. 각 문항은 Likert 5점 척도로 구성되었으며, 학생들의 자기주도적 학습 특성을 측정할 수 있도록 설계되었다.

연구도구의 타당도 확보를 위하여 내용타당도(content validity)를 검토하였다. 내용타당도는 전기·전자 교육 분야 전문가와 현직 교사의 검토를 통해 문항의 적절성, 이해 가능성 및 연구목적과의 부합성을 중심으로 확인하였다. 검토 결과,

모든 문항이 자기주도 학습 역량을 측정하는 데 적절한 것으로 판단되어 최종 문항으로 선정하였다.

또한 검사 도구의 내적 일관성을 확인하기 위하여 사전 검사를 대상으로 Cronbach's α 계수를 산출하였다. 분석 결과, 계획 영역은 .848, 평가 영역은 .824, 실행 영역은 .802로 나타나 모든 영역에서 양호한 수준 이상의 신뢰도가 확보된 것으로 확인되었다.

[표 10] 연구도구의 신뢰도 분석 결과

영역	문항 수	Cronbach's α
계획	10	.848
평가	10	.824
실행	10	.802

7. 기술통계 분석

본 연구에서는 실험군과 대조군의 자기주도 학습 역량 수준을 확인하기 위하여 사전·사후 검사에 대한 기술통계 분석을 실시하였다. 분석 결과는 평균, 표준편차, 왜도 및 첨도를 중심으로 확인하였다.

먼저 전체 학습역량 평균을 살펴보면, 대조군(A집단)은 사전 평균 3.67에서 사후 평균 3.62로 소폭 감소한 반면, 실험군(B집단)은 사전 평균 3.56에서 사후 평균 3.86으로 증가하였다. 이는 생성형 AI(GPT)를 활용한 실습 수업이 자기주도 학습 역량 향상에 긍정적인 영향을 미쳤을 가능성을 보여준다.

하위영역별로 살펴보면, 계획 영역의 경우 A집단은 사전 3.72에서 사후 3.78로 소폭 증가하였고, B집단은 사전 3.82에서 사후 3.87로 증가하였다. 평가 영역에서는 두 집단 모두 다소 감소하는 경향이 나타났으나, 실행 영역에서는 큰 차이가 나타났다. 특히 B집단의 실행 영역은 사전 평균 3.12에서 사후 평균 4.11로 크게 향상되어 GPT 활용 수업이 실제 수행 및 실행 역량 향상에 효과적이었음을 시사하였다.

또한 왜도와 첨도 값을 확인한 결과, 모든 변수의 왜도와 첨도 값이 일반적으로

허용되는 기준 범위 내에 포함되는 것으로 나타나 자료의 정규성이 전반적으로 확보된 것으로 판단하였다.

[표 11] 집단별 자기주도 학습 역량 기술통계량

집단	영역	N	범위	최소값	최대값	평균	표준 편차	왜도		첨도	
		통계량	통계량	통계량	통계량	통계량	통계량	통계량	표준 오류	통계량	표준 오류
A	학습 역량 사전	20	1.2	3.07	4.27	3.67	0.34	0.08	0.51	-0.7	0.99
	학습 역량 사후	20	1.2	2.97	4.17	3.62	0.33	-0.2	0.51	-0.6	0.99
	계획 사전	20	1.8	2.9	4.7	3.72	0.53	0.18	0.51	-0.9	0.99
	계획 사후	20	1.7	3	4.7	3.78	0.46	0.16	0.51	-0.3	0.99
	평가 사전	20	1.7	3	4.7	3.73	0.44	0.47	0.51	0.04	0.99
	평가 사후	20	2	2.5	4.5	3.55	0.50	-0.3	0.51	0.27	0.99
	실행 사전	20	2.4	2.6	5	3.57	0.60	0.62	0.51	0.17	0.99
	실행 사후	20	2.2	2.7	4.9	3.55	0.56	0.58	0.51	0.33	0.99
	유효 N (목록별)	20									

B	학습 역량 사전	20	1.47	2.93	4.4	3.56	0.38	0.14	0.51	-0.2	0.99
	학습 역량 사후	20	1.4	3.27	4.67	3.86	0.33	0.22	0.51	0.81	0.99
	계획 사전	20	2.1	2.7	4.8	3.82	0.70	-0.2	0.51	-1.3	0.99
	계획 사후	20	1.9	3	4.9	3.87	0.62	0.16	0.51	-1.2	0.99
	평가 사전	20	2	3	5	3.75	0.59	0.98	0.51	0.27	0.99
	평가 사후	20	1.9	2.8	4.7	3.61	0.56	0.84	0.51	0.03	0.99
	실행 사전	20	1.5	2.5	4	3.12	0.38	0.92	0.51	0.90	0.99
	실행 사후	20	1.5	3.5	5	4.11	0.38	0.96	0.51	0.90	0.99
	유효 N (목록별)	20									

8. 정규성 검정

본 연구에서는 통계 분석에 앞서 자료의 정규성 충족 여부를 확인하기 위하여 Kolmogorov-Smirnov 검정과 Shapiro-Wilk 검정을 실시하였다. 일반적으로 표본 수가 50명 미만인 경우 Shapiro-Wilk 검정을 기준으로 정규성을 판단하였다. 분석 결과, 학습역량 전체와 계획 영역, 실행 영역은 정규성 가정을 충족하는 것으로 확인되었다. 반면 평가 영역의 B집단은 Shapiro-Wilk 검정 결과 $p=.023$ 으로 나타나 정규성 가정을 충족하지 않는 것으로 나타났다.

이에 따라 정규성을 충족한 변수는 독립표본 t검정을 실시하였으며, 정규성을 충족하지 않은 변수는 비모수 검정인 Mann-Whitney U 검정을 실시하였다.

[표 12] 사전점수 정규성 검정 결과

영역	집단	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
		통계	자유도	CTT 유의확률	통계	자유도	CTT 유의확률
학습역량 _사전	A집단	0.086	20	.200*	0.974	20	0.83
	B집단	0.12	20	.200*	0.973	20	0.818
계획 _사전	A집단	0.127	20	.200*	0.963	20	0.614
	B집단	0.152	20	.200*	0.921	20	0.104
평가 _사전	A집단	0.136	20	.200*	0.959	20	0.516
	B집단	0.175	20	0.11	0.886	20	0.023
실행 _사전	A집단	0.143	20	.200*	0.959	20	0.524
	B집단	0.17	20	0.133	0.925	20	0.122

9. 사전 동질성 검정

실험 처치 이전에 실험군과 대조군의 자기주도 학습 역량 수준이 동질적인지를 확인하기 위하여 사전 동질성 검정을 실시하였다.

분석 결과, 학습역량 전체($t=.962$, $p=.342$)와 계획 영역($t=-.508$, $p=.614$)은 두 집단 간 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않아 동질성이 확보된 것으로 확인되었다. 또한 평가 영역의 Mann-Whitney U 검정 결과에서도 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($U=196.000$, $p=.913$).

반면 실행 영역에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며($t=2.835$, $p=.008$), 이는 실험 이전부터 두 집단 간 실행 역량 수준에 차이가 존재하였음을 의미한다.

따라서 본 연구에서는 사전점수의 영향을 통제하여 집단 간 차이를 보다 정확하게 분석하기 위하여 공분산분석(ANCOVA)을 실시하였다.

[표 13] 사전 동질성 검정 결과

		Levene의 등분산 검정		평균의 동일성에 대한 T 검정						
		F	유의 확률	t	자유도	유의 확률 (양측)	평균 차이	표준 오차 차이	차이의 95% 신뢰구간	
									하한	상한
학습량 사전	등분산가정	0.125	0.726	0.962	38	0.342	0.11	0.1143	-0.121	0.3414
	등분산가정 하지 않음			0.962	37.59	0.342	0.11	0.1143	-0.122	0.3415
계획 사전	등분산가정	2.664	0.111	-0.508	38	0.614	-0.1	0.1968	-0.498	0.2985
	등분산가정 하지 않음			-0.508	35.27	0.615	-0.1	0.1968	-0.50	0.2995
실행 사전	등분산가정	4.354	0.044	2.835	38	0.007	0.45	0.1587	0.1287	0.7713
	등분산가정 하지 않음			2.835	31.96	0.008	0.45	0.1587	0.1267	0.7733

10. 공분산분석(ANCOVA)의 전제조건 검토

가. 회귀기울기의 동일성 검정

공분산분석 실시 이전에 회귀기울기의 동일성 가정을 확인하기 위하여 집단과 사전점수 간 상호작용 효과를 검증하였다.

분석 결과, 집단과 사전점수의 상호작용 효과는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다($F=.432$, $p=.515$). 이는 집단별 회귀기울기가 동일함을 의미하며, 공분산분석의 기본 가정이 충족되었음을 보여준다.

[표 14] 회귀기울기 동일성 검정 결과

종속변수: 학습역량_사후					
소스	제 III 유형 제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
수정된 모형	3.635a	3	1.212	40.059	0
절편	0.287	1	0.287	9.477	0.004
집단	0.045	1	0.045	1.487	0.231
학습역량_사전	3.07	1	3.07	101.498	0
집단 학습역량_사전 *	0.013	1	0.013	0.432	0.515
오차	1.089	36	0.03		
전체	564.727	40			
수정된 합계	4.724	39			

나. 잔차의 정규성 검정

공분산분석의 전제조건을 추가적으로 확인하기 위하여 잔차의 정규성 검정을 실시하였다.

분석 결과, 학습역량 사후점수의 잔차에 대한 Shapiro-Wilk 검정 결과 $p=.360$ 으로 나타나 정규성 가정을 충족하는 것으로 확인되었다. 따라서 본 연구의 자료는 공분산분석을 적용하기에 적절한 것으로 판단하였다.

[표 15] 잔차의 정규성 검정 결과

	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	통계	자유도	CTT 유의확률	통계	자유도	CTT 유의확률
학습역량 _사후의 잔차	0.085	40	.200*	0.97	40	0.36

11. 공분산분석 결과

본 연구에서는 생성형 AI(GPT)를 활용한 전기·전자 실습 수업이 자기주도 학습 역량에 미치는 영향을 검증하기 위하여 사전점수를 공변인으로 통제한 공분산분석(ANCOVA)을 실시하였다.

분석 결과, 수정된 모형은 통계적으로 유의한 것으로 나타났으며($F=60.805$, $p<.001$), 모형의 설명력은 약 76.7%($R^2=.767$)로 나타났다. 또한 사전 학습역량 점수는 사후 학습역량에 유의한 영향을 미치는 것으로 확인되었다($F=102.804$, $p<.001$).

특히 집단에 따른 사후 학습역량의 차이는 통계적으로 유의한 것으로 나타났다($F=34.206$, $p<.001$). 이는 사전 학습역량 수준을 통제한 이후에도 GPT 활용 실습 수업에 참여한 실험군과 전통적 실습 수업에 참여한 대조군 간 자기주도 학습 역량에 유의한 차이가 존재함을 의미한다.

따라서 생성형 AI(GPT)를 활용한 전기·전자 실습 수업은 학생들의 자기주도 학습 역량 향상에 긍정적인 효과를 미친 것으로 판단된다.

[표 16] 공분산분석 결과

종속변수: 학습역량_사후					
소스	제 III 유형 제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
수정된 모형	3.622a	2	1.811	60.805	.000
절편	0.306	1	0.306	10.267	0.003
집단	1.019	1	1.019	34.206	.000
학습역량_ 사전	3.062	1	3.062	102.804	.000
오차	1.102	37	0.03		
전체	564.727	40			
수정된 합계	4.724	39			
a R 제곱 = .767 (수정된 R 제곱 = .754)					

12. 추정 주변 평균 분석

사전 학습역량 점수를 통제한 상태에서 집단별 사후 학습역량의 차이를 확인하기 위하여 추정 주변 평균(Estimated Marginal Means)을 산출하였다.

분석 결과, 대조군(A집단)의 조정된 사후 평균은 3.580(SE=.039), 실험군(B집단)의 조정된 사후 평균은 3.903(SE=.039)으로 나타났다. 이는 사전 학습역량 수준의 영향을 통제한 이후에도 GPT 활용 실습 수업에 참여한 실험군의 자기주도 학습 역량이 대조군보다 높았음을 의미한다.

또한 원점수 기준 사후 평균은 A집단 3.623, B집단 3.860으로 나타났으며, 사전점수를 통제한 이후에는 두 집단 간 차이가 더욱 명확하게 나타났다.

[표 17] 집단별 추정 주변 평균

종속변수: 학습역량_사후				
집단	평균	표준오차	95% 신뢰구간	
			하한	상한
A집단	3.580a	0.039	3.501	3.659
B집단	3.903a	0.039	3.825	3.982
a 모형에 나타나는 공변량은 다음 값에 대해 계산됩니다.: 학습역량_사전 = 3.6167.				

13. 집단 내 사전·사후 변화 분석

본 연구에서는 실험군과 대조군 각각의 사전·사후 변화 정도를 추가적으로 확인하기 위하여 대응표본 t검정과 윌콕슨 부호순위 검정을 실시하였다.

차이점수에 대한 정규성 검정 결과를 바탕으로, 평가 영역은 대응표본 t검정을 실시하였으며, 학습역량 전체, 계획 영역 및 실행 영역은 비모수 검정인 윌콕슨 부호순위 검정을 실시하였다.

분석 결과, 일부 영역에서는 평균의 증가가 나타났으나 집단 내 변화 검정에서는 통계적으로 유의한 수준의 차이가 나타나지 않았다. 이는 표본 수가 제한적이고 개인차가 존재하기 때문으로 해석할 수 있다.

그러나 본 연구의 핵심은 집단 내 변화 여부보다 GPT 활용 여부에 따른 집단

간 차이를 검증하는 데 있으며, 공분산분석 결과 실험군과 대조군 간 차이가 통계적으로 유의하게 나타났다는 점에서 GPT 활용 실습 수업의 효과를 확인할 수 있었다.

[표 18] 차이점수 정규성 검정 결과

영역	집단	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
		통계	자유도	CTT 유의확률	통계	자유도	CTT 유의확률
학습역량 차이점수	A집단	0.18	20	0.087	0.928	20	0.144
	B집단	0.203	20	0.03	0.89	20	0.027
계획 차이점수	A집단	0.198	20	0.038	0.89	20	0.027
	B집단	0.14	20	.200*	0.933	20	0.174
평가 차이점수	A집단	0.123	20	.200*	0.964	20	0.619
	B집단	0.146	20	.200*	0.954	20	0.432
실행 차이점수	A집단	0.332	20	0	0.757	20	0
	B집단	0.527	20	0	0.351	20	0

[표 19] 대응표본 t검정 결과(A집단)

대응차	평균	표준화 편차	표준오차 평균	차이의 95% 신뢰구간		t	자유도	유의확률 (양측)
				하한	상한			
학습역량 사전 - 학습역량 사후	0.048	0.170	0.038	-0.03	0.128	1.273	19	0.218
계획 사전 - 계획 사후	-0.06	0.298	0.067	-0.20	0.085	-0.83	19	0.420
평가 사전 - 평가 사후	0.185	0.480	0.107	-0.04	0.410	1.722	19	0.101

[표 20] 대응표본 t검정 결과(B집단)

대응차	평균	표준화 편차	표준오차 평균	차이의 95% 신뢰구간		t	자유도	유의확률 (양측)
				하한	상한			
학습역량_사전 - 학습역량_사후	-0.30	0.203	0.045	-0.39	-0.20	-6.57	19	0.000
계획_사전 - 계획_사후	-0.05	0.496	0.111	-0.28	0.182	-0.45	19	0.657
평가_사전 - 평가_사후	0.145	0.296	0.066	0.006	0.284	2.188	19	0.041

[표 21] 윌콕슨 부호순위 검정 결과(A집단)

	학습역량_사후 - 학습역량_사전	계획_사후 - 계획_사전	평가_사후 - 평가_사전	실행_사후 - 실행_사전
Z	-1.254 ^c	-.505 ^d	-1.589 ^c	-.593 ^c
근사 유의확률 (양측)	0.210	0.614	0.112	0.553

[표 22] 윌콕슨 부호순위 검정 결과(B집단)

	학습역량_사후 - 학습역량_사전	계획_사후 - 계획_사전	평가_사후 - 평가_사전	실행_사후 - 실행_사전
Z	-3.813 ^c	-.394 ^c	-2.028 ^d	-4.300 ^c
근사 유의확률 (양측)	0.000	0.693	0.043	0.000

14. 연구결과 종합

본 연구는 생성형 AI(GPT)를 활용한 전기·전자 실습 수업이 특성화고등학교 학생의 자기주도 학습 역량에 미치는 영향을 분석하기 위하여 실시되었다.

공분산분석 결과, 실험집단은 대조집단에 비해 사후 점수가 유의하게 높게 나타났다. 특히 실행 영역에서 두드러진 변화가 확인되었다. 또한 실습 과정에서 학생들은 GPT를 활용하여 문제 원인을 탐색하고 해결 방안을 시도하는 행동을 보였다. 다만 일부 학생들은 AI의 답변을 충분한 검토 없이 활용하는 경향도 함께 나타났다.

15. 학습행동 관찰 분석

본 연구에서는 생성형 AI(GPT)를 활용한 실습 수업 과정에서 나타나는 학습자의 행동 변화를 확인하기 위하여 차시별 학습 행동 관찰을 실시하였다. 관찰 항목은 질문 빈도, 자기주도학습 행동, 시행착오 행동 빈도 및 과제완성도로 구성하였으며, 총 4차시에 걸쳐 실험집단과 대조집단의 행동 변화를 비교하였다.

가. 질문 빈도 변화

질문 빈도 분석 결과, 대조군(A반)은 1차시 28회에서 4차시 13회로 감소하였으며, 실험군(B반)은 1차시 10회에서 4차시 2회로 크게 감소하였다.

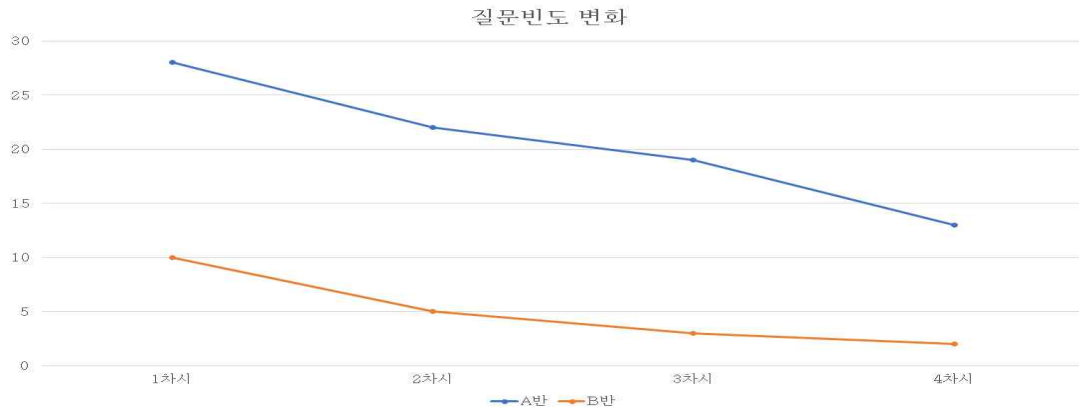
본 연구에서 질문 빈도는 학생 수 기준이 아닌 실제 발생한 질문 횟수를 기준으로 측정하였으며, 동일 학생이 반복적으로 질문한 경우도 모두 포함하여 기록하였다. 따라서 질문 빈도는 학생들의 교사 의존 정도와 도움 요청 행동의 빈도를 반영하는 지표로 해석할 수 있다.

특히 실험군은 초기부터 질문 빈도가 낮게 나타났으며, 수업이 진행될수록 교사에게 반복적으로 질문하는 행동이 현저히 감소하는 경향을 보였다. 이는 GPT 활용 과정에서 학생들이 필요한 정보를 즉시 탐색하거나 오류 원인을 스스로 확인할 수 있었기 때문으로 해석된다.

반면 대조군은 실습 과정에서 교사의 설명과 직접적인 도움을 요청하는 행동이 지속적으로 나타났으며, 동일 학생이 반복적으로 질문하는 사례도 관찰되었다. 이에 따라 실험군에 비해 상대적으로 높은 질문 빈도를 유지하였다.

이러한 결과는 생성형 AI(GPT)를 활용한 실습 수업이 학생들의 자기주도적 문제 탐색과 독립적인 학습 수행을 촉진하였음을 시사한다.

[그림 6] 질문빈도 변화 그래프



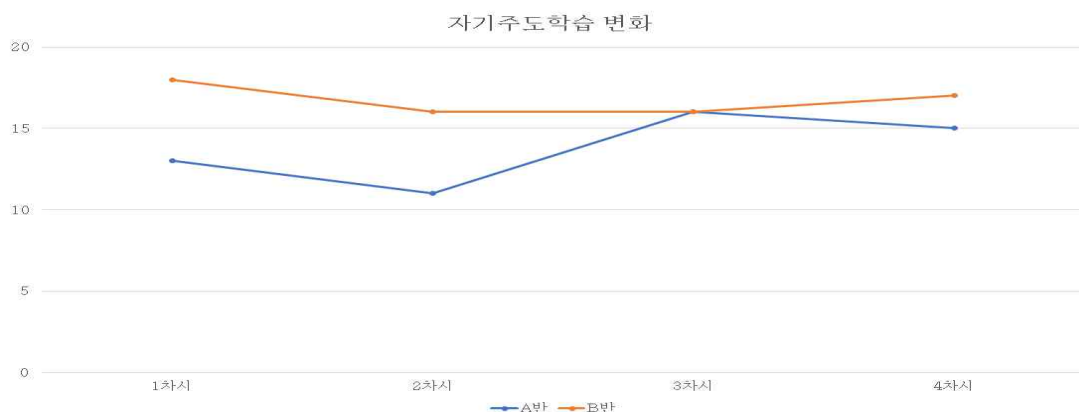
나. 자기주도학습 변화

자기주도학습 행동 분석 결과, 실험군(B반)은 전 차시에 걸쳐 높은 수준의 자기주도학습 행동을 유지하였다. 특히 1차시 18회, 4차시 17회로 나타나 스스로 학습을 계획하고 과제를 수행하려는 행동이 지속적으로 관찰되었다.

반면 대조군(A반)은 차시별 변동 폭이 상대적으로 크게 나타났으며, 일부 학생들은 교사의 안내 이후에야 과제를 수행하는 경향을 보였다.

이러한 결과는 GPT 기반 실습 수업이 학생들의 자기주도적 탐색 활동과 독립적인 학습 행동을 촉진하였음을 시사한다.

[그림 7] 자기주도학습 변화 그래프



다. 시행착오 행동 빈도 변화

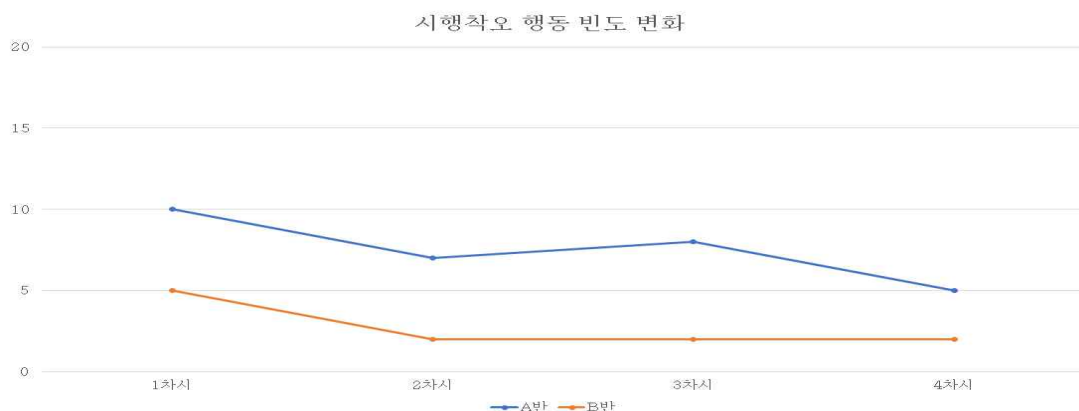
시행착오 행동 빈도 분석 결과, 대조군(A반)은 1차시 10회에서 4차시 5회로 감소하였으며, 실험군(B반)은 1차시 5회에서 이후 차시에서는 2회 수준으로 유지되는 것으로 나타났다.

본 연구에서 시행착오 행동은 학생이 첫 시도에서 과제를 성공적으로 수행하지 못하여 반복적으로 수정하거나 해결 방법을 다시 탐색하는 행동을 의미한다. 또한 문제 해결을 위해 다양한 방법을 시도하는 행동까지 포함하여 관찰하였다.

분석 결과, 실험군은 전 차시에 걸쳐 대조군보다 낮은 시행착오 행동 빈도를 보였다. 반면 대조군은 실습 과정에서 회로 연결 수정이나 수행 절차 재확인과 같은 반복적 수정 행동이 상대적으로 많이 관찰되었다.

또한 실험군은 시행착오 행동 빈도가 낮았음에도 불구하고 과제완성도는 높은 수준으로 유지되었다. 이는 실험군 학생들이 과제를 보다 안정적으로 수행하였음을 시사한다.

[그림 8] 시행착오 행동 빈도 변화 그래프



라. 과제완성도 변화

과제완성도 분석 결과, 대조군(A반)은 1차시 9회에서 4차시 14회로 증가하였으며, 실험군(B반)은 1차시 15회에서 4차시 17회로 높은 수준을 유지하였다.

특히 실험군은 모든 차시에서 대조군보다 높은 과제완성도를 보였으며, 과제를 끝까지 수행하는 비율이 안정적으로 유지되었다. 이는 GPT 활용 수업이 학생들의 과제 수행 지속성과 학습 몰입 향상에 긍정적인 영향을 미쳤음을 보여준다.

[그림 9] 과제완성도 변화 그래프



마. 학습행동 관찰 결과 종합

학습행동 관찰 결과, 실험군과 대조군 모두 차시가 반복될수록 과제완성도가 점진적으로 향상되는 경향이 나타났다. 또한 두 집단 모두 초기 차시에 비해 질문 빈도와 시행착오 행동 빈도가 감소하는 모습을 보였다. 이는 반복적인 실습 경험 이 학생들의 실습 적응과 수행 안정성 향상에 긍정적인 영향을 미쳤기 때문으로 해석할 수 있다.

그러나 두 집단의 학습 수행 방식에는 차이가 나타났다. 대조군(A반)의 경우 실습 과정에서 교사에게 반복적으로 질문하거나 교사의 도움을 기다리는 행동이 자주 관찰되었다. 특히 회로 연결 오류나 실습 절차 수행 과정에서 교사의 설명과 피드백에 대한 의존도가 높게 나타났으며, 교사의 즉각적인 개입 여부에 따라 과제 수행 속도에도 차이가 발생하였다.

반면 실험군(B반)은 문제 상황이 발생하였을 때 학생들이 스스로 해결 방법을 탐색하려는 행동이 상대적으로 많이 관찰되었다. 학생들은 필요한 정보를 직접 검색하거나 생성형 AI(GPT)를 활용하여 해결 방안을 확인하였으며, 교사의 도움 없이 과제를 수행하려는 경향을 보였다. 또한 교사의 설명만으로 문제 해결이 충분하지 않은 경우에는 GPT를 추가적으로 활용하여 오류 원인이나 해결 절차를 재확인하는 행동도 관찰되었다.

다만 일부 학생들은 문제 해결 과정을 충분히 탐색하기보다는 GPT가 제시한 답이나 절차를 그대로 따라 수행하는 경향도 나타났다. 이는 생성형 AI(GPT)가

학습자의 자기주도적 탐색을 촉진하는 긍정적 측면이 있는 반면, 과도하게 의존할 경우 학습 과정 자체를 단순화하거나 사고 과정을 생략하게 만들 가능성도 있음을 시사한다.

종합적으로 볼 때, 생성형 AI(GPT)를 활용한 실습 수업은 학생들의 독립적 과제 수행과 자기주도적 탐색 행동을 촉진하는 데 긍정적인 역할을 하였으나, 동시에 AI 활용 과정에서 학습 의존성이 증가할 가능성 역시 함께 나타난 것으로 해석할 수 있다.

V. 논의 및 결론

1. 연구의 의의

생성형 AI를 전기·전자 납땜 실습 수업에 적용하여 자기주도 학습 역량에 미치는 영향을 실증적으로 분석하였다는 점은 본 연구의 중요한 의의이다. 기존 생성형 AI 활용 연구가 주로 소프트웨어 기반 프로젝트 수업이나 개념 학습 환경을 중심으로 이루어진 것과 달리, 실제 하드웨어 제작 중심의 실습 수업에 생성형 AI를 체계적으로 적용하여 그 교육적 효과를 검증하였다는 점에서 기존 연구의 적용 범위를 확장하였다.

또한 단순히 사전·사후 설문 결과를 비교하는 데 그치지 않고, 실제 수업 과정에서 생성형 AI와 학습자 간의 상호작용 데이터를 분석하여 자기주도 학습이 형성되는 과정을 구체적으로 확인하였다. 분석 결과, 학습자의 문제 해결 과정은 '문제 인식 → 질문 생성 → AI 피드백 해석 → 수정 시도 → 결과 확인'의 순환적 구조로 나타났으며, 수업이 진행될수록 질문 수준이 단순한 오류 확인에서 품질 개선과 원리 탐구 중심으로 심화되는 경향을 보였다. 이는 생성형 AI가 자기주도 학습을 지원하는 과정을 과정 중심에서 실증적으로 제시하였다는 점에서 의미가 있다.

아울러 2022 개정 교육과정에서 강조하는 학습자 주도성, 맞춤형 교육 및 핵심 역량 함양을 전기·전자 전문교과 실습 수업에 구체적으로 적용하고 그 효과를 확인하였다는 점에서도 교육적 의의를 가진다. 특히 자기주도 학습 역량의 실행 영역에서 유의미한 향상($Z=-4.300$, $p<.001$)이 나타난 것은 학습자가 스스로 문제를 탐색하고 해결하는 경험을 반복하면서 자기주도성을 실천하였음을 보여준다.

이는 생성형 AI를 활용한 실습 수업이 학습자 주도성을 실현할 수 있는 효과적인 교수·학습 방안이 될 수 있음을 시사한다.

마지막으로 생성형 AI를 활용한 전기·전자 하드웨어 실습 수업의 실제 적용 사례와 운영 방안을 제시함으로써, 전기·전자 교육뿐만 아니라 기계, 자동차, 메카트로닉스 등 다양한 실습 중심 직업교육 분야에서도 생성형 AI를 활용한 교수·학습 설계의 기초 자료를 제공하였다는 점에서 학술적·실천적 의의를 가진다.

2. 연구 결과의 교육적 시사점

생성형 AI를 전기·전자 전문교과 실습 수업에 활용하는 것은 학습자와 교사 모두에게 긍정적인 교육적 효과를 기대할 수 있는 동시에, 해결해야 할 과제 또한 수반한다.

먼저 생성형 AI의 활용은 실습 수업에서 오랫동안 지적되어 온 '피드백의 지연'과 '학습자의 수동성' 문제를 개선할 수 있다. 기존 수업에서는 교사 1인이 다수의 학생을 동시에 지도해야 하는 구조로 인해 즉각적인 피드백이 어려웠으나, 생성형 AI는 낱땀 불량, 부품 극성 오류, 회로 단선 등 빈번하게 발생하는 오류를 학습자 스스로 점검하도록 지원함으로써 실습 흐름의 단절을 최소화한다. 이준기(2024)는 생성형 AI가 오류를 즉각적인 피드백으로 전환함으로써 학습자의 좌절을 완화하고 학습 지속성을 유지하는 데 기여하였다고 보고하였으며, 본 연구의 결과도 이와 일맥상통한다.

또한 생성형 AI의 도입은 수업 운영의 효율화를 가능하게 한다. 반복적인 개념 설명이나 단순 오류 점검이 AI를 통해 일부 보조됨으로써 교사는 보다 고차적인 학습 활동 설계와 개별 지도에 집중할 수 있으며, 민준홍 외(2025)의 연구에서도 교사들이 이러한 역할 변화를 긍정적으로 인식하였음이 보고된 바 있다. 아울러 학습자는 생성형 AI와 협업하며 회로 설계 및 오류 수정 과정을 수행하는 가운데, 인간과 AI가 역할을 분담하여 문제를 해결하는 협업 역량(Human-AI Collaboration)을 자연스럽게 체득하게 된다(Zhong 외, 2023).

한편, 본 연구에서 평가(성찰) 역량이 소폭 감소한 결과(사전 3.75 → 사후 3.61)는 생성형 AI의 즉각적 피드백과 자기성찰 기회 사이에 상충 관계가 존재할 수 있음을 시사한다. AI 기반 수업에서는 학습자가 AI의 피드백에 의존하여 스스로 사고하는 과정을 생략하려는 경향이 나타날 수 있으므로(민준홍 외, 2025), 향후 수업 설계 시 AI 피드백 이후 학습자가 스스로 결과를 평가하고 성찰하는 단계를 구조적으로 내재화할 필요가 있다. 더불어 생성형 AI가 제공하는 정보의 신뢰성 문제, 디지털 기기 접근성 차이에 따른 디지털 격차, 정보 재검증 절차의 명시적 포함 등도 수업 설계 시 함께 고려해야 할 과제이다.

3. 산업 현장 요구를 반영한 실습 수업의 변화

최근 산업 현장은 자동화, 디지털화, 인공지능 기술의 확산으로 인해 전기·전자 분야의 직무 내용과 수행 방식이 빠르게 변화하고 있다. 이에 따라 직업계 고등학교의 전기·전자 실습 수업 역시 기존의 기능 중심·절차 중심 실습에서 벗어나, 산업 현장에서 요구하는 문제 해결 역량과 디지털 활용 능력을 반영한 방향으로 재구조화될 필요성이 제기되고 있다.

오주은(2023)은 인공지능 시대를 대비한 전기·전자 교육과정 개선 연구에서, 기존 교육과정이 산업 현장의 기술 변화 속도를 충분히 반영하지 못하고 있으며, 특히 실습 수업이 회로 조립이나 장비 조작 중심으로 운영되는 경향이 강하다고 지적하였다. 또한 자동화 설비 확대와 설계·분석 중심 업무 증가 등 산업 환경의 변화에 비해 교육과정이 상대적으로 정체되어 있음을 문제로 제기하며, 전기·전자 교과가 단순 기능 습득을 넘어 문제 해결과 설계 사고 중심으로 재구성될 필요가 있음을 강조하였다. 이는 전기·전자 실습 수업이 산업 현장의 실제 업무 흐름을 반영하는 방향으로 전환되어야 함을 시사한다.

이러한 논의는 인공지능 기반 설비 운영과 자동화 환경이 확대되는 산업 흐름 속에서, 전기·전자 실습 수업 역시 문제 해결과 설계 중심 학습으로 전환되어야 함을 보여주며, 생성형 AI를 활용한 실습 수업 설계의 필요성과도 연결된다.

또한 노유나(2020)는 전자기기기능사 실기시험을 중심으로 학교 실습과 국가기술자격 평가 체제가 산업 현장의 기술 변화 흐름을 충분히 반영하지 못하고 있음을 분석하였다. 연구에 따르면 학교 실습과 실기시험은 여전히 납땜 중심의 반복적 작업 수행에 초점을 두고 있는 반면, 실제 전자 제조 산업에서는 PCB 설계 기반의 생산 공정과 디지털 도구 활용 비중이 확대되고 있다. 이러한 괴리는 학교 실습과 산업 현장 간의 연계성을 약화시키는 요인으로 작용하며, 이에 따라 연구에서는 설계 기반 실습과 디지털 도구 활용을 포함한 수업으로의 전환 필요성을 제안하였다.

이러한 선행연구들은 전기·전자 전문교과 실습 수업이 산업 현장의 요구를 충실히 반영하기 위해서는, 단순한 조립·제작 중심 실습을 넘어 설계, 분석, 검증, 개선의 전 과정을 경험할 수 있는 수업 구조로 변화해야 함을 공통적으로 시사한다. 특히 납땜 실습과 같이 실제 제작 활동이 포함된 수업에서도, 단순 작업 수

행에 그치지 않고 오류 진단과 수정 과정을 포함한 문제 해결 중심 활동으로 재구성할 필요가 있다.

이러한 맥락에서 생성형 AI를 활용한 실습 수업은 산업 현장 요구를 교육적으로 반영할 수 있는 실질적인 대안으로 기능할 수 있다. 생성형 AI는 학습자가 설계 단계에서 다양한 회로 구성 방안을 탐색하도록 지원하고, 실습 수행 중 발생하는 오류를 분석·추론하는 과정에서 가상의 조력자로 작용함으로써 산업 현장에서 요구되는 문제 해결 방식과 유사한 학습 경험을 제공할 수 있다.

이는 전기·전자 실습 수업을 산업 현장과 단절된 기술 훈련이 아닌, 실제 직무 수행과 연계된 문제 해결 중심 학습으로 전환하는 데 중요한 시사점을 지닌다. 나아가 본 연구에서 제안하고 적용한 생성형 AI 기반 수업 설계는 이러한 산업 현장의 요구를 실제 교수·학습 상황에 반영한 사례라는 점에서 의의를 가진다.

종합하면, 인공지능과 자동화 기술의 확산으로 변화하는 산업 현장은 전기·전자 전문교과 실습 수업에 설계 기반 사고, 문제 진단 및 해결 능력, 디지털 도구 활용 역량의 강화를 요구하고 있다. 기존의 반복·조작 중심 실습 수업과 자격 평가 방식은 이러한 변화를 충분히 반영하지 못하고 있으며, 이에 따라 실습 수업은 산업 현장의 실제 직무 흐름을 반영한 문제 해결 중심 학습으로 전환될 필요가 있다. 이러한 맥락에서 생성형 AI를 활용한 실습 수업은 산업 현장에서 요구되는 사고 과정과 유사한 학습 경험을 제공할 수 있는 대안으로서 의의를 가지며, 전기·전자 전문교과 실습 수업의 방향성을 재정립하는 데 중요한 시사점을 제공한다.

4. 연구의 한계

본 연구에서 제안한 수업 설계를 실제 수업에 적용한 결과 역시 생성형 AI 활용이 학습자의 자기주도적 문제 해결 과정과 학습 참여를 촉진하는 데 긍정적인 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다.

반면 생성형 AI 활용 수업은 몇 가지 한계와 과제를 내포하고 있다. 가장 대표적인 문제는 생성형 AI가 제공하는 정보의 신뢰성이다. 생성형 AI는 그럴 듯 하지만 부정확한 정보를 생성할 가능성이 있으며, 특히 전기·전자 분야와 같이 회로 구성과 전원 인가가 안전과 직결되는 실습 상황에서는 이러한 오류가 학습자

에게 혼란을 줄 뿐만 아니라 안전 문제로 이어질 수 있다. 따라서 생성형 AI 활용 수업에서는 AI의 응답을 교과서, 데이터시트, 측정값 등을 통해 재검증하는 절차를 수업 구조에 명시적으로 포함할 필요가 있다.

본 연구의 실증적 결과에서도 나타난 바와 같이, 생성형 AI의 즉각적 피드백은 실행 역량 향상에는 효과적이었으나 평가(성찰) 역량을 오히려 소폭 감소시키는 결과로 이어졌다. 이는 AI 기반 수업에서 '즉각적 피드백'과 '자기성찰 기회' 사이에 상충 관계가 존재할 수 있음을 시사하며, 향후 수업 설계 시 AI 피드백 이후 학습자가 스스로 결과를 평가하도록 유도하는 성찰 단계를 구조적으로 내재화할 필요가 있다.

또한 학습자가 생성형 AI에 과도하게 의존하여 스스로 사고하는 과정을 생략하려는 경향 역시 중요한 과제로 지적된다. 일부 교사들은 생성형 AI가 학습자의 사고 기회를 약화시키거나 비판적 사고를 대신할 수 있다는 점을 우려하고 있으며, 이에 따라 AI 활용의 범위와 기준을 교사가 명확히 설정해야 한다고 인식하였다. 이는 생성형 AI 활용 수업이 단순한 기술 활용을 넘어 학습자의 공학적 사고와 학습 윤리를 함께 지도해야 함을 시사한다(민준홍 외, 2025).

더 나아가 디지털 기기 접근성과 활용 능력 차이에 따른 디지털 격차 문제도 고려해야 한다. 생성형 AI 활용에 익숙하지 않은 학습자의 경우, AI 기반 학습 환경이 오히려 학습 부담으로 작용할 가능성도 존재한다. 이에 따라 교사 연수와 제도적 지원을 통해 교수자의 활용 역량을 강화하고, 학습자의 디지털 리터러시를 함께 향상시키는 노력이 병행될 필요가 있다(유지원, 2023).

종합적으로 볼 때, 생성형 AI를 활용한 전기·전자 실습 수업은 학습자의 주도성과 실습 효율성을 높이고, 미래 산업 환경에 부합하는 역량을 기르는 데 긍정적인 효과를 기대할 수 있다. 그러나 이러한 효과가 교육 현장에서 안정적으로 구현되기 위해서는 정보 신뢰성 확보, 안전 관리 체계 구축, 윤리적 활용 기준 마련, 교사 전문성 강화, 디지털 격차 해소를 위한 제도적 지원이 함께 이루어져야 할 것이다.

5. 후속 연구를 위한 제언

본 연구 결과를 바탕으로 다음과 같은 교육적 시사점 및 후속 연구 방향을 제시하고자 한다.

첫째, 전기·전자 실습 수업에서 생성형 AI를 단순한 보조 도구로 활용하는 수준을 넘어, 학습자의 문제 해결 과정을 지원하는 핵심 교수·학습 도구로 적극 도입할 필요가 있다. 특히 납땜 실습과 같이 오류 발생이 빈번하고 반복적인 수정이 요구되는 학습 상황에서 생성형 AI는 학습자가 스스로 문제를 탐색하고 해결하는 경험을 제공하는 데 효과적으로 활용될 수 있다.

둘째, 생성형 AI 활용 수업에서는 교사의 역할 변화가 요구된다. 기존의 교사 중심 수업에서는 교사가 지식을 전달하고 문제 해결의 정답을 제시하는 역할을 수행하였다면, 생성형 AI 기반 수업에서는 학습자가 AI를 활용하여 문제를 해결할 수 있도록 지원하고 학습 방향을 안내하는 촉진자로서의 역할이 중요해진다. 이를 위해 교사는 학습자가 효과적인 질문을 생성하고 AI의 피드백을 적절히 해석할 수 있도록 지도할 필요가 있다.

셋째, 학습자 숙련도에 따라 차별화된 생성형 AI 활용 전략을 수업 설계에 체계적으로 반영할 필요가 있다. 본 연구에서 숙련도가 낮은 학습자는 '납땜이 안 되는 이유가 무엇인가?'와 같은 원인 파악 중심 질문을, 숙련도가 높은 학습자는 '접합부의 광택을 높이려면 어떻게 해야 하는가?'와 같은 품질 개선 중심 질문을 주로 생성하는 차이가 관찰되었다.

이러한 결과를 바탕으로 후속 연구에서는 ① 숙련도 하위 학습자를 위한 단계별 프롬프트 가이드(예: 오류 유형 분류표와 연동된 질문 틀 제공), ② 숙련도 상위 학습자를 위한 개방형 탐구 프롬프트(예: 대안적 납땜 방식 비교 탐색 질문), ③ 교사가 학습자 수준에 따라 AI 활용 범위를 조절할 수 있는 수업 운영 지침 개발을 구체적인 연구 과제로 설정하는 것이 필요하다.

넷째, 생성형 AI 활용이 학습자의 장기적 학습 효과에 미치는 영향을 종단적으로 검증하는 연구가 필요하다. 본 연구는 4차시(약 200분) 수업 환경에서 수행되었으므로, 단기 개입의 효과를 넘어 학습 역량이 지속되는지를 확인하기 어렵다는 한계가 있다.

이를 보완하기 위해 후속 연구에서는 ① 최소 1개 학기(15주) 이상의 기간 동

안 동일 학습자를 추적하는 종단 연구를 수행하여 자기주도 학습 역량의 지속성을 검증하고, ② 전기·전자 외에 기계, 건설, 식품 등 다른 직업계고 실습 교과로 적용 범위를 확장하여 효과의 일반화 가능성을 탐색하며, ③ 학교 졸업 후 산업 현장에서의 문제 해결 역량과의 연계성을 추적 조사하는 전환 연구(transition study)로 이어지는 단계적 연구 설계가 요구된다.

다섯째, 본 연구는 특정 학교와 학년을 대상으로 제한된 기간 동안 수행되었다는 점에서 연구 결과를 일반화하는 데 한계가 있다. 따라서 향후 다양한 교육 환경과 학습자를 대상으로 한 연구를 통해 생성형 AI 활용 수업의 효과를 보다 폭넓게 검증할 필요가 있다.

그럼에도 불구하고 본 연구는 생성형 AI를 활용한 실습 수업이 기존의 교사 중심 교육을 보완하고, 학습자가 학습의 주체로 참여하는 교육 환경을 조성하는 데 기여할 수 있음을 보여주었다는 점에서 의의를 가진다. 이는 향후 실습 중심 직업교육에서 생성형 AI 활용이 중요한 교수·학습 요소로 자리 잡을 가능성을 시사한다.

참고문헌

교육부. (2022). 2022 개정 교육과정 총론.

김남희, 변숙영, 최동선. (2021). 직업계고 전문교과 교사들의 원격수업 경험과 의미 탐색. 직업교육연구, 40(1), 1-32.

김동일. (2013). 시뮬레이션 소프트웨어를 활용한 전자회로 교육 활성화에 관한 연구 [석사학위논문, 국민대학교].

<http://www.riss.kr/link?id=T13101755>

김세민. (2024). 생성형 AI를 활용한 마이크로컨트롤러 프로그래밍 수업의 회복탄력성 개선 방안. 정보교육학회논문지, 28(2), 233-241.

김송희, 김현정, 신유리, 장운재. (2024). 생성형 AI를 활용한 SDGs 기반 교과융합 교육 프로그램 설계에 대한 협력적 실행연구. 컴퓨터교육학회 논문지, 27(3), 1-13.

김수정, 송희재, 노동원, 김미혜, 전수빈, 서동만. (2022). ChatGPT 기반 AI 코딩 도우미 시스템. 한국정보과학회 학술발표논문집.

김슬기. (2023). 프로그래밍 교육을 위한 생성형 인공지능 활용 가능성 탐색: ChatGPT를 중심으로. 한국컴퓨터교육학회 학술발표대회논문집.

김정아, 강두식, 고용철. (2023). 생성형 AI의 교육적 활용 방안 연구: ChatGPT 활용을 중심으로. 정보교육학회논문지, 27(6), 691-704.

김현경, 이명호. (2025). ChatGPT를 활용한 중학생 글쓰기가 자기주도학습능력에 미치는 영향에 대한 연구. 문화기술의 융합, 11(5), 469-484.

김현정, 김영민. (2024). AI를 활용한 중학교 발명교육 프로그램의 개발 및 효과 분석: ChatGPT를 중심으로. 한국기술교육학회지, 24(1), 131-151.

노유나. (2020). 전자기기기능사 실기시험 PCB 설계 도입 필요성에 관한 연구 [석사학위논문, 인천대학교].

<http://www.riss.kr/link?id=T15676745>

민준홍, 김미량. (2025). 생성형 AI 기반 교수·학습에 관한 질적 연구: 학교 현장의 교사 경험을 중심으로. 컴퓨터교육학회 논문지, 28(8), 25-40.

박명석. (2015). 전자회로 이론 학습을 위한 클라우드 서비스 기반 혼합형 학습 자료 개발 [석사학위논문, 한양대학교].

<http://www.riss.kr/link?id=T13667541>

박형근. (2017). 공학교육을 위한 이러닝 콘텐츠의 활용에 관한 사례 연구. 실천 공학교육논문지, 9(2), 133-137.

박현경. (2018). 플립러닝 환경에서 자기주도 학습능력, 협력적 자기효능감, 교사의 자율성지지, 학습 성과 간의 관계 [석사학위논문, 이화여자대학교].

<http://www.riss.kr/link?id=T14718309>

배현영, 조재희. (2025). 대규모 언어모델(LLM) 사용 빈도가 자기주도적 학습역량에 미치는 영향과 AI 리터러시의 조절효과: 구조방정식모형 분석. 디지털콘텐츠학회논문지, 26(8), 2281-2292. 10.9728/dcs.2025.26.8.2281

손정웅. (2013). 공업계 고등학교의 PLC 실습 수업과 개별 학급 특성에 관한 질적 연구 [석사학위논문, 한국교원대학교].

<http://www.riss.kr/link?id=T13091627>

안솔피, 이정윤, 박정민, 정소영, 송지훈. (2024). 초중등교육에서 생성형 AI의 교육적 활용에 대한 주제 범위 문헌고찰. 컴퓨터교육학회 논문지, 27(6), 11-24.
10.32431/kace.2024.27.6.002

오주은. (2023). 인공지능 시대를 위한 전기·전자 교육과정 개선 [석사학위논문, 전남대학교].

<https://www.riss.kr/link?id=T16834723>

우상득, 김충식. (2022). 생생한 전자실기/실습 (3판). 일진사.

윤주연. (2024). 초·중학교 AI교육을 위한 교육과정기준 개발 연구 [박사학위논문, 고려대학교]. <https://www.riss.kr/link?id=T16956376>

유지원. (2023). 대학 교수자의 생성형 AI 사용 경험과 수업 활용에 대한 관심도 분석: 관심기반수용모형(CBAM)을 중심으로. 교양교육연구.

이명숙. (2024). 생성형 AI를 활용한 소프트웨어교육 수업모델 연구: ChatGPT를 중심으로. 실천공학교육논문지, 16(3), 387-401.

이석재, 장유경, 이헌남, 박광엽. (2003). 생애능력측정도구 개발 연구: 의사소통 능력, 문제해결능력, 자기주도적 학습능력을 중심으로. 한국교육개발원.

이승미, 이수정. (2024). 학생 주도성 함양을 위한 학교 교육과정 설계 및 실행에 있어 학생 참여 탐구. 교육과정평가연구, 27(4), 49-77.

<https://doi.org/10.29221/jce.2024.27.4.49>

이은상. (2021). 아두이노를 활용한 디지털 논리회로 실습 방법. 한국컴퓨터교육학회 학술발표대회논문집.

이준기. (2024). 생성형 AI를 개별 학습 피드백 도구로 활용한 파이썬 프로젝트 수업이 고등학생의 자기효능감 및 컴퓨팅 사고력 향상에 미치는 영향: ChatGPT 활용을 중심으로 [석사학위논문, 한국교원대학교].

<https://www.riss.kr/link?id=T16941946>

이지현. (2013). 디지털 학습 환경에서 학습자 중심 피드백 설계 원리 및 전략에 대한 이론적 탐색. 교육공학연구, 29(3), 517-540.

임성태, 김은희. (2024). ADDIE 모형의 교수설계 단계별 ChatGPT 활용방안 연구. 컴퓨터교육학회 논문지, 27(1), 171-184. 10.32431/kace.2024.27.1.013

최숙영. (2024). 생성형 AI 시대의 미래 인재를 위한 핵심역량 프레임워크와 교육 방안. 컴퓨터교육학회 논문지, 27(9), 23-33. 10.32431/kace.2024.27.9.003

최진우. (2025). 생성형 AI를 개발도구로 활용한 인공지능 모델 개발 프로젝트 수업이 고등학생의 인공지능 리터러시와 자기주도적 학습에 미치는 영향 [석사학위논문, 한국교원대학교]. <https://www.riss.kr/link?id=T17168833>

한국교육신문. (2025). 학습자 주도성 기르는 수업전략(1): 신봉섭 나사렛대 중등특수교육과 교수.

<https://www.hangyo.com/news/article.html?no=103468>(2026년 2월 9일 검색)

Han, Y. O. (2022). Analysis of the meaning of the 2022 revised curriculum. The Journal of the Convergence on Culture Technology, 8(5), 59-69.

<https://doi.org/10.17703/JCCT.2022.8.5.59>

Knowles, M. S. (1975). Self-directed learning: A guide for learners and teachers. Association Press.

Li, D. (2025). Construction and practical exploration of a generative AI-driven “human-computer collaboration” teaching model in higher education: Taking the course “Electrical and Electronic Technology and Applications” as an example. *International Educational Research*, 8, 73.
10.30560/ier.v8n6p73.

Zhong, Z., Wijenayake, C., & Edussooriya, C. U. S. (2023). Exploring the performance of generative AI tools in electrical engineering education. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering* (pp. 1-6).
doi: 10.1109/TALE56641.2023.10398370.

Zimmerman, B. J. (2000). Self-efficacy: An essential motive to learn. *Contemporary Educational Psychology*, 25(1), 82-91.
<https://doi.org/10.1006/ceps.1999.1016>

Analysis of the Effects of Generative AI (ChatGPT)-Assisted Electrical and Electronics Hardware Practical Instruction on Self-Directed Learning Competency

Han A-Reum

Chonnam National University Graduate School of Education

Department of Computer Education

(Supervised by Professor Choi Kwang-Hoon)

(Abstract)

This study empirically examines the effects of generative AI (ChatGPT)-assisted electrical and electronics hardware practical instruction on learners' self-directed learning competency. While existing research on generative AI and self-directed learning has focused predominantly on software programming contexts, the present study is distinguished by being the first to verify these effects within the domain of electrical and electronics hardware practical instruction. Forty first-year students at a vocational high school (n = 20 per group) participated in a four-session (approximately 200 minutes) soldering-based practical course over four weeks. Quantitative data were analyzed using analysis of covariance (ANCOVA), and qualitative data

were collected through learner–AI interaction logs.

Results indicated that the experimental group demonstrated a statistically significant improvement in self-directed learning competency (ANCOVA: $F = 34.206$, $p < .001$), with a particularly notable gain in the execution domain (pre: 3.12 $\rightarrow$ post: 4.11; Wilcoxon $Z = -4.300$, $p < .001$). Qualitative analysis revealed that learners independently explored component selection rationale and error causes through AI interaction, resulting in decreased teacher dependency and sustained self-directed learning behavior.

By demonstrating how generative AI facilitates self-directed learning within the unique characteristics of electrical and electronics hardware practical instruction—including component selection, physical error diagnosis, and repetitive skill refinement—this study highlights the potential of AI integration in practice-centered vocational education.

Keywords: Generative AI (ChatGPT), Electrical and Electronics Hardware Practical Instruction, Self-Directed Learning Competency, Vocational High School, Soldering Practice

부록 목차

[부록 1] 설문지 안내서.....	87
[부록 2] 실습 학습일지.....	94
[부록 3] 수업지도안 1차시-전통적인 수업.....	99
[부록 4] 수업지도안 2차시-전통적인 수업.....	100
[부록 5] 수업지도안 3차시-전통적인 수업.....	101
[부록 6] 수업지도안 4차시-전통적인 수업.....	102
[부록 7] 수업지도안 1차시-GPT 활용 수업.....	103
[부록 8] 수업지도안 2차시-GPT 활용 수업.....	104
[부록 9] 수업지도안 3차시-GPT 활용 수업.....	105
[부록 10] 수업지도안 4차시-GPT 활용 수업.....	106
[부록 11] GPT 프롬프트 캡처본.....	107
[부록 12] 수업 교재.....	110
[부록 13] 납땜 실습 작품.....	118
[부록 14] 활동 사진.....	120

[부록 1] 설문지 안내서

안녕하십니까?

귀중한 시간을 내어 설문에 응답해 주셔서 진심으로 감사드립니다.

본 설문지는 『생성형 AI(GPT)를 활용한 전기·전자 실습 수업이 자기주도 학습 역량에 미치는 영향』이라는 석사학위 논문작성을 위한 소중한 연구 자료로 활용됩니다.

본 조사의 목적은 인공지능(AI)을 활용한 새로운 실습 방식이 여러분이 스스로 문제를 해결하고 학습을 이끌어가는 능력에 어떠한 변화를 주는지 확인하는 데 있습니다. 여러분이 응답해주시는 소중한 의견은 정답이나 오답이 없으며, 평소 실습 수업에서 느끼고 생각한 점을 솔직하게 체크해주시면 됩니다.

작성해주신 모든 내용은 통계법 제33조(비밀의 보호)에 따라 오직 학술적인 연구 목적으로만 사용되며, 여러분의 개인적인 신상이나 이름은 철저히 비밀이 보장됩니다. 또한, 본 설문 결과는 여러분의 성적이나 학교 생활에 어떠한 불이익도 주지 않음을 약속드립니다.

여러분의 성실한 답변은 더 나은 전기·전자 실습 교육 환경을 만드는 데 매우 큰 도움이 됩니다. 바쁘신 와중에도 연구에 협조해주셔서 진심으로 감사드립니다.

2026년 4월

전남대학교 교육대학원 전산교육전공

석사과정 한 아 름

<설문 검사 방법>

1. 본 설문지의 검사 소요 시간은 약 15분입니다.
2. 모든 항목에 빠짐없이 답변해 주시기를 바랍니다.
3. 각 문항에 대해 아래 보기 중 가장 적절하다고 생각되는 하나의 응답에 표시해 주시기를 바랍니다.

(① 전혀 그렇지 않다/② 그렇지 않다/③ 보통이다/④ 그렇다/⑤ 매우 그렇다)

사전 설문지(계획 영역)

순 번	문항	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통 이다	그렇다	매우 그렇다
1	전기·전자 실습을 시작하기 전, 내가 달성하고자 하는 목표를 스스로 세우는 편이다.					
2	실습에 필요한 관련 이론(전압, 전류, 저항 등)을 사전에 스스로 찾아본 경험이 있다.					
3	실습 과제를 완수하기 위해 필요한 시간과 순서를 미리 정해본 적이 있다.					
4	생성형 AI(GPT)가 학습 계획을 세우는 데 도움을 줄 수 있다는 사실을 알고 있다.					
5	복잡한 회로도 분석을 위해 어떤 순서로 공부해야 할지 스스로 결정할 수 있다.					
6	실습 중 발생할 수 있는 문제 상황을 미리 예상하고 대비책을 생각해본 적이 있다.					
7	나의 현재 전기·전자 전공 지식 수준이 어느 정도인지 객관적으로 파악하고 있다.					
8	학습 효율을 높이기 위해 GPT에게 학습 로드맵을 물어본 경험이 있다.					
9	실습 도구(멀티미터, 오실로스코프 등)의 사용법을 익히기 위한 나만의 계획이 있다.					
10	새로운 기술이나 지식을 습득할 때 AI 도구를 활용하는 방법을 알고 있다.					

사전 설문지(실행 영역)

순 번	문항	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통 이다	그렇다	매우 그렇다
1	실습 중 막히는 부분이 생기면 스스로 해결하기 위해 다양한 자료를 찾아본다.					
2	전기 회로를 구성할 때 매뉴얼의 지시 사항을 주의 깊게 따르며 실천한다.					
3	생성형 AI(GPT)에게 질문을 던져 내가 모르는 개념을 확인해본 경험이 있다.					
4	실습 시간 동안 과제 수행에 집중하는 편이다.					
5	AI가 제안한 코딩이나 회로 구성 방식을 실제 실습에 적용해본 적이 있다.					
6	실습 과정에서 어려운 용어가 나오면 포기하지 않고 끝까지 이해하려고 노력한다.					
7	계획했던 실습 일정이 지연되지 않도록 스스로 속도를 조절할 수 있다.					
8	GPT를 활용해 실습 중 발생한 오류(에러)의 원인을 검색해본 적이 있다.					
9	실습 결과가 잘 나오지 않더라도 여러 번 반복하여 다시 시도한다.					
10	AI와 대화하며 실습에 필요한 새로운 아이디어를 얻어본 경험이 있다.					

사전 설문지(평가 영역)

순 번	문항	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통 이다	그렇다	매우 그렇다
1	실습이 끝난 후, 당초 계획했던 목표를 얼마나 달성했는지 확인하는 습관이 있다.					
2	실습 결과물에 대해 스스로 잘된 점과 부족한 점을 분석해본 적이 있다.					
3	생성형 AI(GPT)가 내놓은 정보가 정확한지 비판적으로 검토해본 경험이 있다.					
4	실습 중 실수를 했을 때, 그 원인이 무엇인지 기록하거나 되새겨본다.					
5	내가 만든 회로나 프로그램이 제대로 작동하는지 검증하는 방법을 알고 있다.					
6	다른 사람의 실습 결과와 내 것을 비교하며 배울 점을 찾는 편이다.					
7	실습 과정에서 AI를 활용한 방식이 효율적이었는지 스스로 평가해본 적이 있다.					
8	교수님이나 친구들의 피드백을 수용하여 내 학습 방식에 반영한다.					
9	실습 노트를 작성하며 그날 배운 핵심 내용을 정리하는 습관이 있다.					
10	다음 실습에서 더 나은 결과를 얻기 위해 개선할 점을 스스로 찾아낼 수 있다.					

사후 설문지(계획 영역)

순 번	문항	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통 이다	그렇다	매우 그렇다
1	학습도구와의 상호작용을 통해 실습 목표를 이전보다 더 구체적으로 세울 수 있게 되었다.					
2	전기·전자 실습 전, 학습도구를 활용해 필요한 준비물과 이론을 정리하는 법을 익혔다.					
3	실습의 난이도에 따라 시간 배분을 어떻게 해야 할지 더 명확하게 판단하게 되었다.					
4	복잡한 실습 과제를 작은 단 계로 나누어 계획하는 능력이 향상되었다.					
5	실습 전 학습도구에게 질문하여 내 계획의 논리적 오류를 점검하는 습관이 생겼다.					
6	새로운 실습 주제를 접했을 때, 학습도구를 활용해 학습 방향을 잡는 데 자신감이 생겼다.					
7	실습 환경에 맞춰 나의 학습 전략을 유연하게 수정하는 방법을 이해하게 되었다.					
8	학습도구를 활용하여 실습에 필요한 참고 자료를 효율적으로 수집하는 법을 알게 되었다.					
9	실습 목표 달성을 위해 내가 보완해야 할 지식이 무엇인지 더 잘 알게 되었다.					
10	앞으로의 전공 학습에서도 학습도구를 계획 수립의 파트너로 활용할 의지가 생겼다.					

사후 설문지(실행 영역)

순 번	문항	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통 이다	그렇다	매우 그렇다
1	실습 중 오류가 발생했을 때 학습도구 또는 선생님께 질문하여 해결책을 찾아내는 속도가 빨라졌다.					
2	학습도구를 참고하여 회로 구성이나 코딩 실무에 적용하는 과정이 익숙해졌다.					
3	학습도구를 활용하며 실습 중 생기는 궁금증을 즉각적으로 해결하는 능력이 좋아졌다.					
4	어려운 전기·전자 이론을 학습도구에게 사용하여 깊이 있게 이해하게 되었다.					
5	실습 과정에서 집중력이 흐트러질 때 학습도구를 활용해 다시 동기를 부여하는 법을 배웠다.					
6	학습도구가 제안한 다양한 해결 방식을 실무에 직접 시도해보며 문제 해결력을 키웠다.					
7	실습 중 막막했던 순간에도 스스로 끝까지 완수하는 경험을 했다.					
8	피드백을 바탕으로 실습 도중 발생한 변수에 기민하게 대응하게 되었다.					
9	문답을 통해 실습 절차의 원리를 논리적으로 이해하며 수행하게 되었다.					
10	실습 시간을 더 효율적으로 관리하며 과제를 수행하는 요령을 터득했다.					

사후 설문지(평가 영역)

순 번	문항	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통 이다	그렇다	매우 그렇다
1	실습 완료 후, 나의 결과물을 리뷰하며 개선점을 찾는 능력이 향상되었다.					
2	학습도구가 제시한 정답과 나의 결과를 비교하며 내가 무엇을 놓쳤는지 명확히 이해하게 되었다.					
3	실습 과정 전체를 되돌아보고 나의 자기주도적 태도가 얼마나 변했는지 체감한다.					
4	오류를 스스로 찾아내고 검증하려는 비판적 사고 능력이 생겼다.					
5	실습 일지에 학습도구 활용 경험을 기록하며 나의 성장을 객관적으로 평가하게 되었다.					
6	이번 실습을 통해 전기·전자 분야에 대한 나의 이해도가 얼마나 높아졌는지 확신한다.					
7	학습도구를 활용하는 과정 자체가 나의 학습 효율을 높였는지 스스로 판단할 수 있게 되었다.					
8	실습 중 겪은 시행착오를 다음 단계의 학습 자산으로 연결하는 방법을 깨달았다.					
9	내가 도달한 학습 수준이 목표에 얼마나 부합하는지 정교하게 측정할 수 있게 되었다.					
10	이번 수업 이후, 학습도구를 활용해 스스로 학습 성과를 점검하는 방식이 익숙해졌다.					

[부록 2] 실습 학습일지

[실습 학습일지]

참여번호:

① 오늘 실습 목표

·오늘 실습의 목표는 무엇이었나요?

·목표를 스스로 어떻게 이해했나요?

② 오늘 실습 과정에서의 어려움

·어떤 문제나 오류가 발생했나요?

·그 원인은 무엇이라고 생각하나요?

③ 문제 해결 과정

·문제를 해결하기 위해 어떤 시도를 했나요?

·AI를 사용했다면, 어떤 질문을 했고 어떤 도움을 받았나요?(B반만)

·AI의 답변을 그대로 사용했나요? 아니면 수정·검토했나요?(B반만)

④ 오늘 배운 점과 느낀 점

·오늘 새롭게 이해한 개념은 무엇인가요?

·다음 실습에서 개선하고 싶은 점은 무엇인가요?

⑤ AI 활용에 대한 생각 (B반만)

·오늘 AI 사용이 도움이 되었나요? 왜 그렇게 생각하나요?

·AI 없이도 해결할 수 있었을 것 같나요?

[부록 2] 실습 학습일지

[실습 학습일지]

참여번호: 2

① 오늘 실습 목표

·오늘 실습의 목표는 무엇이었나요?

트랜지스터 회로의 동작원리를 이해하고 회로를 직접 제작하여 LED 점멸 동작을
확인하는 것이 목표였다.
·목표를 스스로 어떻게 이해했나요?
트랜지스터와 콘덴서의 역할을 이해하고 일정한 주기로 LED가 깜빡아도록
회로를 만드는 과정이라고 이해하였다.

② 오늘 실습 과정에서의 어려움

·어떤 문제나 오류가 발생했나요?

LED가 점등되지 않는게 한쪽만 점등되는 문제가 발생하였다.

·그 원인은 무엇이라고 생각하나요?

남대양 부양이나 부품 극성 방향 오류 때문이라고 생각하였다.

③ 문제 해결 과정

·문제를 해결하기 위해 어떤 시도를 했나요?

회로도를 다시 확인하고 남대양 상태와 부품 방향을 점검하였다.

·AI를 사용했다면, 어떤 질문을 했고 어떤 도움을 받았나요?(B반반)

"회로 회로에서 LED가 한쪽만 켜지는 이유는 무엇인가?" 라고 질문하였고,
트랜지스터 연결상태와 콘덴서 극성을 확인하라는 도움으로 받았다.

·AI의 답변을 그대로 사용했나요? 아니면 수정·검토했나요?(B반반)

AI 답변을 그대로 사용하지 않고 식서 회로 상태와 비교하면서 필요한
변경을 하였다.

④ 오늘 배운 점과 느낀 점

·오늘 새롭게 이해한 개념은 무엇인가요?

콘덴서의 충전과 방전시에 따라 LED 점멸속도가 달라짐을 깨닫는 점을
이해하였다.

·다음 실습에서 개선하고 싶은 점은 무엇인가요?

남대양 시간을 줄이고 회로를 더 간단하게 제작하고 싶다.

⑤ AI 활용에 대한 생각 (B반반)

·오늘 AI 사용이 도움이 되었나요? 왜 그렇게 생각하나요?

모든 원인을 빠르게 확인할 수 있어서 도움이 되었다.

·AI 없이도 해결할 수 있었을 것 같나요?

가능은 했지만 시간이 더 오래 걸렸을 것 같다.

[부록 2] 실습 학습일지

[실습 학습일지]

참여번호: 6

① 오늘 실습 목표

·오늘 실습의 목표는 무엇이었나요?

단언경 멀티바이트레이터의 동작 원리를 이해하고 회로를 제작하여 일정 시간 동안 출력이 유지되는 회로를 확인하는 것이 목표였다.

·목표를 스스로 어떻게 이해했나요?

스위치를 누르면 LED가 일정 시간 켜졌다가 다시 꺼지는 회로를 직접 만들어보는 활동이라고 이해하였다.

② 오늘 실습 과정에서의 어려움

·어떤 문제나 오류가 발생했나요?

스위치를 누르면 LED가 켜져 있거나 바로 꺼지는 문제가 발생하였다.

·그 원인은 무엇이라고 생각하나요?

콘센트 극성 방향이나 납땜 상태에 문제가 있었기 때문이라고 생각하였다.

③ 문제 해결 과정

·문제를 해결하기 위해 어떤 시도를 했나요?

회로도를 다시 확인하고 콘센트 방향과 납땜 상태를 점검하였다.

·AI를 사용했다면, 어떤 질문을 했고 어떤 도움을 받았나요?(B반만)

단언경 멀티 바이트 레이어에서 LED가 바로 꺼지는 이유는 무엇인가요? 라고 질문하였고 콘센트 방향과 연결상태를 확인하라는 답을 받았다.

·AI의 답변을 그대로 사용했나요? 아니면 수정·검토했나요?(B반만)

AI 답변을 참고하여 실제 회로와 비교하면서 오류를 수정하였다.

④ 오늘 배운 점과 느낀 점

·오늘 새롭게 이해한 개념은 무엇인가요?

콘센트의 충전과 방전에 따라 출력 시간이 달라진다는 점을 이해하였다.

·다음 실습에서 개선하고 싶은 점은 무엇인가요?

부품 방향을 더 꼼꼼히 확인하고 납땜 실수를 줄이고 싶다.

⑤ AI 활용에 대한 생각 (B반만)

·오늘 AI 사용이 도움이 되었나요? 왜 그렇게 생각하나요?

회로 오류 원인을 빠르게 확인할 수 있어서 도움이 되었다.

·AI 없이도 해결할 수 있었을 것 같나요?

회로 이해하려면 회로를 여러 번 다시 확인 해야 했을 것 같고 시간이 많이 걸렸을 것 같다.

[부록 2] 실습 학습일지

[실습 학습일지]

참여번호: 4

① 오늘 실습 목표

·오늘 실습의 목표는 무엇이었나요?

상상적 멀티비브레이터의 동적 원리를 이해하고 일각에 따라 동적 상태가 변하는 회로를 제안하는 것이 목표였다.

·목표를 스스로 어떻게 이해했나요?

스스로 누름 때 이차 LED 상태가 바뀌는 회로를 직접 제작하는 활동이라고 이해하였다.

② 오늘 실습 과정에서의 어려움

·어떤 문제나 오류가 발생했나요?

LED가 한쪽만 계속 켜져서 동적 상태가 바뀌지 않는 문제가 발생하였다.

·그 원인은 무엇이라고 생각하나요?

트랜지스터 연결 오류나 납땜 불량 때문이라고 생각하였다.

③ 문제 해결 과정

·문제를 해결하기 위해 어떤 시도를 했나요?

회로를 다시 확인하고 트랜지스터와 저항 연결 상태를 점검하였다.

·AI를 사용했다면, 어떤 질문을 했고 어떤 도움을 받았나요?(B반만)

"상상적 멀티비브레이터에서 LED 상태가 바뀌지 않는 이유는 무엇일까요?"라고 질문하였고, 납땜 연결 상태나 트랜지스터 극성을 확인하라는 답변을 받았다.

·AI의 답변을 그대로 사용했나요? 아니면 수정·검토했나요?(B반만)

AI 답변을 참고하여 실제 회로 상태를 비교하면서 수정하였다.

④ 오늘 배운 점과 느낀 점

·오늘 새롭게 이해한 개념은 무엇인가요?

일각 신호에 따라 동적 상태가 유지되고 변화하는 원리를 이해할 수 있었다.

·다음 실습에서 개선하고 싶은 점은 무엇인가요?

회로 연결 상태를 더 꼼꼼하게 점검하고 납땜 품질을 높이고 싶다.

⑤ AI 활용에 대한 생각 (B반만)

·오늘 AI 사용이 도움이 되었나요? 왜 그렇게 생각하나요?

오류 원인을 스스로 탐색하고 해결 방법을 찾는 데 도움이 되었다.

·AI 없이도 해결할 수 있었을 것 같나요?

시간이 오래 걸렸지만 해결할 수 있는 것 같다.

[부록 2] 실습 학습일지

[실습 학습일지]

참여번호: 7

① 오늘 실습 목표

· 오늘 실습의 목표는 무엇이었나요?

· OR 논리 회로의 동작 원리와 진리표를 이해하고 입력에 따른 출력 ~~변~~ 변화를 확인하는 것이 목표였습니다.

· 목표를 스스로 어떻게 이해했나요?

· 입력 중 하나라도 ON이면 출력이 ON 되는 원리를 직접 회로로 확인하는 활동이라고 이해했습니다.

② 오늘 실습 과정에서의 어려움

· 어떤 문제나 오류가 발생했나요?

· 입력을 바꾸어도 LED 출력이 정상적으로 동작하지 않았다.

· 그 원인은 무엇이라고 생각하나요?

· 스위치 연결 오류나 LED 극성 문제 때문인 것 같아요.

③ 문제 해결 과정

· 문제를 해결하기 위해 어떤 시도를 했나요?

· 회로도 를 다시 확인하고 입력 스위치와 LED 연결 상태를 점검했어요.

· AI를 사용했다면, 어떤 질문을 했고 어떤 도움을 받았나요?(B반만)

· "OR 논리 회로에서 LED가 켜지지 않는 이유는 무엇인가요?"라고 질문하였고, 입력 연결과 극성을 다시 확인하라는 도움을 받았습니다.

· AI의 답변을 그대로 사용했나요? 아니면 수정·검토했나요?(B반만)

· AI 답변을 참고하였지만 실제 회로 상태를 직접 비교하여 수정하였다.

④ 오늘 배운 점과 느낀 점

· 오늘 새롭게 이해한 개념은 무엇인가요?

· OR 논리 회로에 입력과 출력 관계 및 진리표를 이해할 수 있었다.

· 다음 실습에서 개선하고 싶은 점은 무엇인가요?

· 회로 연결 실수를 줄이고 더 빠르게 오류를 찾고 싶습니다.

⑤ AI 활용에 대한 생각 (B반만)

· 오늘 AI 사용이 도움이 되었나요? 왜 그렇게 생각하나요?

· 회로 오류 원인을 스스로 찾는데 도움이 되었고 다양한 해결 방법을 알 수 있었다.

· AI 없이도 해결할 수 있었을 것 같아요?

· 진리표를 표면서 해결 할 수 있다.

[부록 3] 수업지도안 1차시-전통적인 수업

수업지도안(1차시)

수업 주제	납땜 기초 및 안전한 인두 사용법		
학습 목표	1. 납땜의 원리를 이해하고 인두를 안전하게 사용할 수 있다. 2. 기본적인 납땜 동작을 수행할 수 있다.		
단계	활동 내용	시간(분)	교수·학습 자료
도입	• 출석 확인 및 실습 준비 상태를 점검한다. • 전기·전자 실습에서 납땜의 중요성과 활용 사례를 설명한다. • 인두기 사용 시 주의사항과 안전수칙을 안내한다. • 실습 목표를 제시한다. • 실습 부품을 제시하고 각 부품의 특징을 관찰하도록 한다.	5분	PPT, 영상 자료, 회로도
전개	(1) 납땜 기초 설명 • 납땜의원리와 전류 흐름의 중요성을 설명한다. • 올바른 인두기 사용 방법을 시범 보인다. • 올바른 납땜 상태와 불량 납땜 상태를 비교 설명한다. (2) 납땜 실습 활동 • 2석 뱀커 회로	35분	인두기, 거치대, 납, 납땜재료
정리	• 납땜 결과 확인하기 • 실습 도구 및 주변 환경 정리하기	10분	체크리스트

[부록 4] 수업지도안 2차시-전통적인 수업

수업지도안(2차시)

수업 주제	단안정 멀티바이브레이터		
학습 목표	1. 콘덴서와 LED의 극성을 이해하고 올바르게 납땜할 수 있다. 2. 단안정 멀티바이브레이터의 회로 동작 상태를 확인할 수 있다.		
단계	활동 내용	시간(분)	교수·학습 자료
도입	- 출석 확인 및 실습 준비 상태를 점검한다. - 이전 차시 내용을 복습한다. - 단안정 멀티바이브레이터의 개념과 활용 사례를 설명한다. - 실습 목표를 제시한다. - 회로도와 사용 부품을 제시하고 각 부품의 역할을 확인하도록 한다.	5분	PPT, 부품 샘플, 회로도
전개	(1) 회로 원리 이해 - 단안정 멀티바이브레이터의 기본 동작 원리를 설명한다. - 트랜지스터, 저항, 콘덴서 등의 역할을 설명한다. - 회로도를 보며 부품 연결 위치와 극성을 확인하도록 지도한다. (2) 회로 제작 및 납땜 실습 - 회로도를 참고하여 부품을 기판에 배치하도록 한다. - 교사는 순회 지도하며 극성 오류, 납땜 불량 및 부품 연결 상태를 점검한다.	35분	인두기, 거치대, 납, 납땜재료
정리	- 전원을 연결하여 LED 점등 및 출력 상태를 확인하도록 한다. - 회로가 정상 동작하지 않을 경우 원인을 분석하도록 지도한다.	10분	체크리스트

[부록 5] 수업지도안 3차시-전통적인 수업

수업지도안(3차시)

수업 주제	쌍안정 멀티바이브레이터		
학습 목표	1. 쌍안정 멀티바이브레이터의 동작 원리와 회로의 특성을 설명할 수 있다. 2. 회로도를 바탕으로 쌍안정 멀티바이브레이터 회로를 제작하고 동작 상태를 확인할 수 있다.		
단계	활동 내용	시간(분)	교수·학습 자료
도입	- 출석 확인 및 실습 준비 상태를 점검한다. - 이전 차시 내용을 복습한다. - 쌍안정 멀티바이브레이터의 개념과 특징을 설명한다. - 실습 목표를 제시한다. - 회로도와 사용 부품을 제시하고 각 부품의 역할을 확인하도록 한다.	5분	PPT, 부품 샘플, 회로도
전개	(1) 회로 원리 이해 - 쌍안정 멀티바이브레이터의 기본 동작 원리를 설명한다. - 스위치 입력에 따라 출력 상태가 변화하는 과정을 설명한다. - 회로도를 보며 부품 연결 위치와 극성을 확인하도록 지도한다. (2) 회로 제작 및 납땜 실습 - 회로도를 참고하여 부품을 기판에 배치하도록 한다. - 교사는 순회 지도하며 극성 오류, 납땜 불량 및 부품 연결 상태를 점검한다.	35분	인두기, 거치대, 납, 납땜재료
정리	- 전원을 연결하여 LED 점등 및 출력 상태를 확인하도록 한다. - 회로가 정상 동작하지 않을 경우 원인을 분석하도록 지도한다.	10분	체크리스트

[부록 6] 수업지도안 4차시-전통적인 수업

수업지도안(4차시)

수업 주제	OR 논리 회로		
학습 목표	1. OR 논리 회로의 동작 원리와 진리표를 설명할 수 있다. 2. 회로도를 바탕으로 OR 논리 회로를 제작하고 입력에 따른 출력 변화를 확인할 수 있다.		
단계	활동 내용	시간(분)	교수·학습 자료
도입	- 출석 확인 및 실습 준비 상태를 점검한다. - 이전 차시 내용을 복습한다. - OR 논리 회로의 개념과 활용 사례를 설명한다. - 실습 목표를 제시한다. - 회로도와 사용 부품을 제시하고 각 부품의 역할을 확인하도록 한다.	5분	PPT, 부품 샘플, 회로도
전개	(1) 회로 원리 이해 - OR 논리 회로의 기본 동작 원리를 설명한다. - 입력과 출력의 관계를 진리표를 통해 설명한다. - 스위치 입력에 따라 LED 출력 상태가 변화하는 과정을 설명한다. (2) 회로 제작 및 납땜 실습 - 회로도를 참고하여 부품을 기판에 배치하도록 한다. - 교사는 순회 지도하며 극성 오류, 납땜 불량 및 부품 연결 상태를 점검한다.	35분	인두기, 거치대, 납, 납땜재료
정리	- 전원을 연결하여 LED 점등 및 출력 상태를 확인하도록 한다. - 회로가 정상 동작하지 않을 경우 원인을 분석하도록 지도한다.	10분	체크리스트

[부록 7] 수업지도안 1차시-GPT 활용 수업

수업지도안(1차시)

수업 주제	납땜의 기초 및 안전한 인두 사용법		
학습 목표	1. 납땜의 원리를 이해하고 인두를 안전하게 사용할 수 있다. 2. GPT를 활용하여 납땜 절차와 안전 요소를 탐색할 수 있다.		
단계	활동 내용	시간(분)	교수·학습 자료
도입	- 출석 확인 및 실습 준비 상태를 점검한다. - 전기·전자 실습에서 납땜의 중요성과 활용 사례를 설명한다. - 인두기 사용 시 주의사항과 안전수칙을 안내한다. - 실습 목표를 제시한다. - 실습 부품을 제시하고 각 부품의 특징을 관찰하도록 한다.	5분	PPT, 영상 자료, 회로도
전개	(1) 납땜 기초 설명 (2) 생성형 AI 활용 탐구 활동 - 생성형 AI 질문 예시를 안내한다. - 생성형 AI 답변을 바탕으로 실습 시 주의해야 할 점을 정리하도록 한다. (3) 납땜 실습 활동 2석 뱃지 회로	35분	인두기, 거치대, 납, 납땜재료, 스마트기기
정리	- GPT 답변과 실제 실습 비교하기 - 실습 도구 및 주변 환경 정리하기	10분	학습일지

수업지도안(2차시)

수업 주제	단안정 멀티바이브레이터		
학습 목표	1. 콘덴서와 LED의 극성을 이해하고 올바르게 납땜할 수 있다. 2. 단안정 멀티바이브레이터의 회로 동작 상태를 확인할 수 있다.		
단계	활동 내용	시간(분)	교수·학습 자료
도입	- 출석 확인 및 실습 준비 상태를 점검한다. - 이전 차시 내용을 복습한다. - 단안정 멀티바이브레이터의 개념과 활용 사례를 설명한다. - 실습 목표를 제시한다. - 회로도와 사용 부품을 제시하고 각 부품의 역할을 확인하도록 한다.	5분	PPT, 부품 샘플, 회로도
전개	(1) 회로 원리 이해 (2) 생성형 AI 활용 탐구 활동 - 생성형 AI 질문 예시를 안내한다. - 생성형 AI 답변을 바탕으로 실습 시 주의해야 할 점을 정리하도록 한다. (3) 회로 제작 및 납땜 실습 - 회로도를 참고하여 부품을 기판에 배치하도록 한다. - 교사는 순회 지도하며 극성 오류, 납땜 불량 및 부품 연결 상태를 점검한다.	35분	인두기, 거치대, 납, 납땜 재료, 스마트기기
정리	- 생성형 AI를 활용한 문제 해결 경험과 느낀 점을 발표하도록 한다. - 실습 도구 및 주변 환경 정리하기	10분	학습일지

수업지도안(3차시)

수업 주제	쌍안정 멀티바이브레이터		
학습 목표	1. 쌍안정 멀티바이브레이터의 동작 원리와 회로의 특성을 설명할 수 있다. 2. 회로도를 바탕으로 쌍안정 멀티바이브레이터 회로를 제작하고 동작 상태를 확인할 수 있다.		
단계	활동 내용	시간(분)	교수·학습 자료
도입	- 출석 확인 및 실습 준비 상태를 점검한다. - 이전 차시 내용을 복습한다. - 쌍안정 멀티바이브레이터의 개념과 특징을 설명한다. - 실습 목표를 제시한다. - 회로도와 사용 부품을 제시하고 각 부품의 역할을 확인하도록 한다.	5분	PPT, 부품 샘플, 회로도
전개	(1) 회로 원리 이해 (2) 생성형 AI 활용 탐구 활동 - 생성형 AI 질문 예시를 안내한다. - 생성형 AI 답변을 바탕으로 실습 시 주의해야 할 점을 정리하도록 한다. (3) 회로 제작 및 납땜 실습 - 회로도를 참고하여 부품을 기판에 배치하도록 한다. - 교사는 순회 지도하며 극성 오류, 납땜 불량 및 부품 연결 상태를 점검한다.	35분	인두기, 거치대, 납, 납땜 재료, 스마트기기
정리	- 생성형 AI를 활용한 문제 해결 경험과 느낀 점을 발표하도록 한다. - 실습 도구 및 주변 환경 정리하기	10분	학습일지

수업지도안(4차시)

수업 주제	OR 논리 회로		
학습 목표	1. OR 논리 회로의 동작 원리와 진리표를 설명할 수 있다. 2. 회로도를 바탕으로 OR 논리 회로를 제작하고 입력에 따른 출력 변화를 확인할 수 있다.		
단계	활동 내용	시간(분)	교수·학습 자료
도입	- 출석 확인 및 실습 준비 상태를 점검한다. - 이전 차시 내용을 복습한다. - OR 논리 회로의 개념과 활용 사례를 설명한다. - 실습 목표를 제시한다. - 회로도와 사용 부품을 제시하고 각 부품의 역할을 확인하도록 한다.	5분	PPT, 부품 샘플, 회로도
전개	(1) 회로 원리 이해 (2) 생성형 AI 활용 탐구 활동 - 생성형 AI 질문 예시를 안내한다. - 생성형 AI 답변을 바탕으로 실습 시 주의해야 할 점을 정리하도록 한다. (3) 회로 제작 및 납땜 실습 - 회로도를 참고하여 부품을 기판에 배치하도록 한다. - 교사는 순회 지도하며 극성 오류, 납땜 불량 및 부품 연결 상태를 점검한다.	35분	인두기, 거치대, 납, 납땜 재료, 스마트기기
정리	- 생성형 AI를 활용한 문제 해결 경험과 느낀 점을 발표하도록 한다. - 실습 도구 및 주변 환경 정리하기	10분	학습일지

[부록 11] GPT 프롬프트 캡처본

22uf대신 33uf써도되?

상황에 따라 달라요.

보통 22 μ F 전해콘덴서 대신 33 μ F를 사용하는 건 가능한 경우가 많지만, 회로 목적에 따라 영향이 생길 수 있습니다.

예를 들면:

- 전원 평활용(노이즈 제거)
 - 33 μ F 사용해도 대부분 문제 없음
 - 오히려 리플 감소에 도움이 되기도 함.
- 타이머 회로(예: 단안정, 쌍안정, 555타이머)
 - 용량이 커지면 시간 지연이 길어짐
 - 33 μ F는 22 μ F보다 약 1.5배 정도 커서 동작 시간이 늘어남.
- 필터/주파수 관련 회로
 - 차단 주파수가 변할 수 있음.

추가로 확인해야 하는 것:

- 정격전압(V) 은 원래 것보다 같거나 높아야 함.
- 전해콘덴서라면 극성(+/-) 맞춰야 함.

지금 어떤 회로에서 바꾸려는 건지 알려주면 더 정확하게 말해줄게요.

📄 📌 🔍 ↻ ⌂ ...

납땜

납땜 자체는 가능합니다.

즉, 기판에 꽂아서 납땜하는 건 문제 없어요.

링커회로에서 LED가 한쪽만 켜지는 이유는?

링커회로에서 LED가 한쪽만 켜진다면 보통 아래 경우가 많아요.

1. LED 극성 반대로 연결
 - LED는 방향이 있어서 +, -가 바뀌면 안 켜짐
 - 긴 다리 = (+), 짧은 다리 = (-)

단안정멀티바이브레이터에서 LED가 바로 꺼지는 이유는?

단안정 멀티바이브레이터에서 LED가 바로 꺼지는 이유는
대부분 시정수(RC 값)가 너무 작기 때문이에요.

단안정 회로는 버튼을 누르면 콘덴서가 충전·방전되면서 잠깐만 출력이 유지되는데,
저항(R)이나 콘덴서(C) 값이 작으면 충전이 매우 빨라져서 LED가 바로 꺼져 보입니다.

대표적인 원인:

- 콘덴서 용량이 너무 작음
 - 예: 22 μ F 대신 더 작은 값 사용
- 저항값이 작음
- 콘덴서 불량
- 배선 오류
- 납땜 불량
- 트랜지스터 방향 오류

쌍안정 멀티바이브레이터에서 LED 상태가 바뀌지 않는 이유는 무엇인
가요?

쌍안정 멀티바이브레이터에서 LED 상태가 바뀌지 않는 이유는
트랜지스터가 서로 교대로 전환되지 못하기 때문입니다.

주요 원인은 다음과 같아요.

- 스위치 입력 불량
 - 버튼을 눌러도 상태 전환 신호가 전달되지 않음
- 배선 오류
 - 교차 연결이 잘못되면 한쪽 상태로만 고정됨
- 트랜지스터 방향 오류 또는 불량
 - 스위칭 동작이 일어나지 않음
- 납땜 불량
 - 회로 일부가 연결되지 않아 상태 유지됨
- 전원 또는 접지(GND) 문제
 - 정상적인 동작 전압이 공급되지 않음
- 저항값 오류
 - 베이스 전류가 부족하거나 과도해 전환 실패

쌍안정 멀티바이브레이터는 한 번 상태가 정해지면
외부 입력이 들어오기 전까지 그 상태를 유지하는 회로예요.

따라서 입력 신호가 제대로 전달되지 않으면 LED 상태가 바뀌지 않습니다.

OR논리회로에서 LED가 켜지지 않는 이유는 무엇인가요?

OR 논리회로에서 LED가 켜지지 않는 이유는

입력 조건이 충족되지 않았거나 회로 연결에 문제가 있기 때문입니다.

주요 원인:

- 입력 스위치가 모두 OFF 상태
→ OR 회로는 하나 이상 입력이 HIGH여야 LED가 켜짐
- LED 극성 오류
→ +, - 방향이 반대로 연결됨
- 배선 오류
→ 입력이나 출력 연결이 잘못됨
- IC 방향 오류 또는 불량
→ 논리게이트가 정상 동작하지 않음
- 전원 연결 문제
→ VCC 또는 GND 연결 누락
- 저항값 오류
→ LED에 충분한 전류가 흐르지 않음
- 납땜 불량
→ 회로가 끊어져 출력이 전달되지 않음

OR 회로의 원리는:

- 입력 A 또는 B 중 하나만 1이어도 출력이 1
- 출력이 1이면 LED가 켜짐

즉,

A=0, B=0 일 때만 LED가 꺼져야 정상이에요.

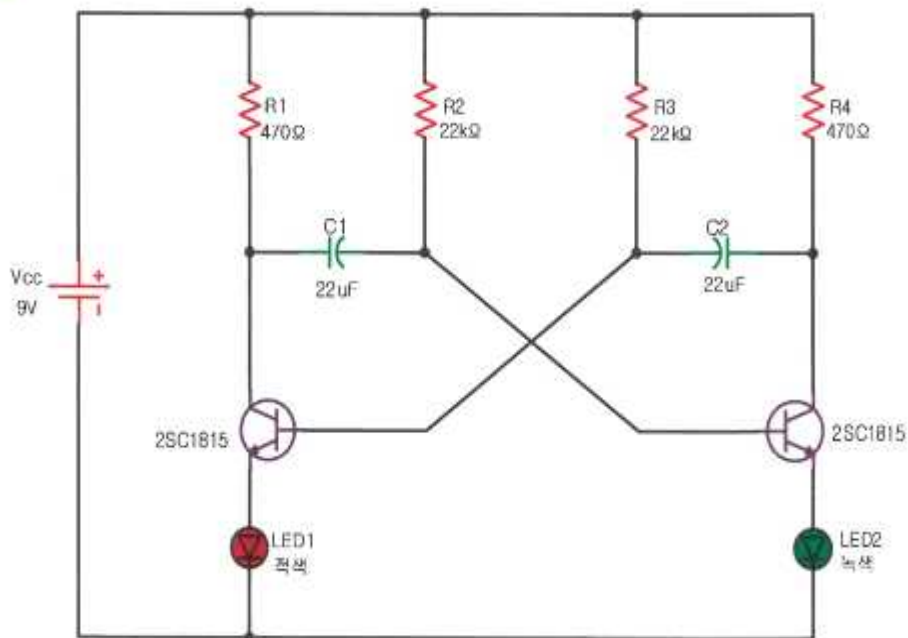
» 기초 실습 과제

작품명	2석 워커 (TR를 이용한 비안정 멀티바이브레이터)	분 류	기초 전자 회로
-----	---------------------------------	-----	----------

1 재료 목록

부품명	규 격	수 량
트랜지스터	2SC1815	2
LED	적색/녹색, 5φ	각 1
전해 콘덴서	22 μ F/16 V	2
저항(R1, R4)	470 Ω	2
저항(R2, R3)	22 k Ω	2
만능 기판	13 × 23	2
건전지 스냅	기가용	1

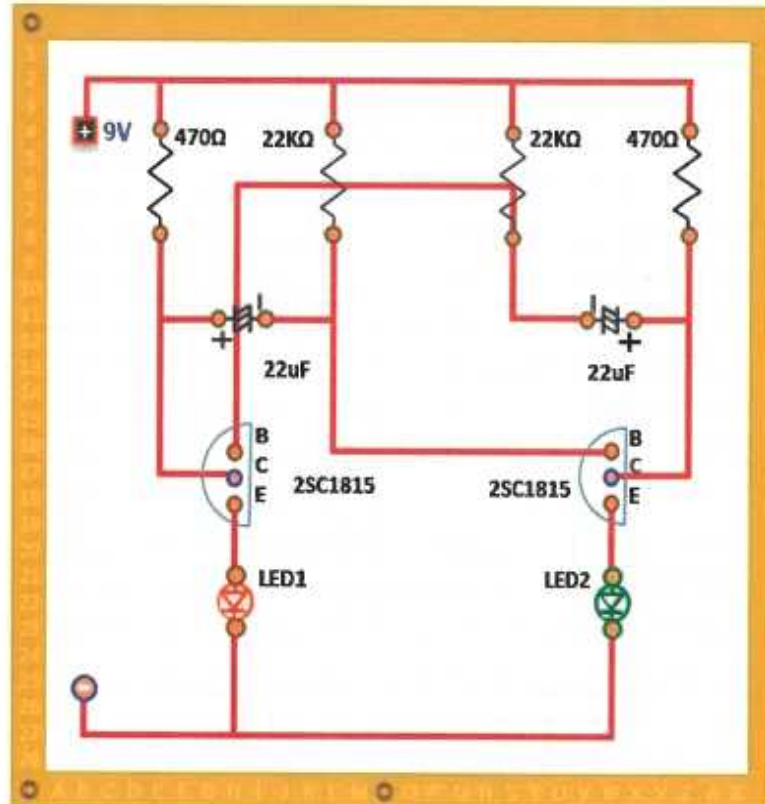
2 회로도



3 패턴도(부품면)

회로 설명

이 회로는 트랜지스터 2개(TR1, TR2)가 교대로 동작(ON)-차단(OFF)을 계속적으로 반복하여 LED 2개(LED1, LED2)가 교대로 ON/OFF한다.

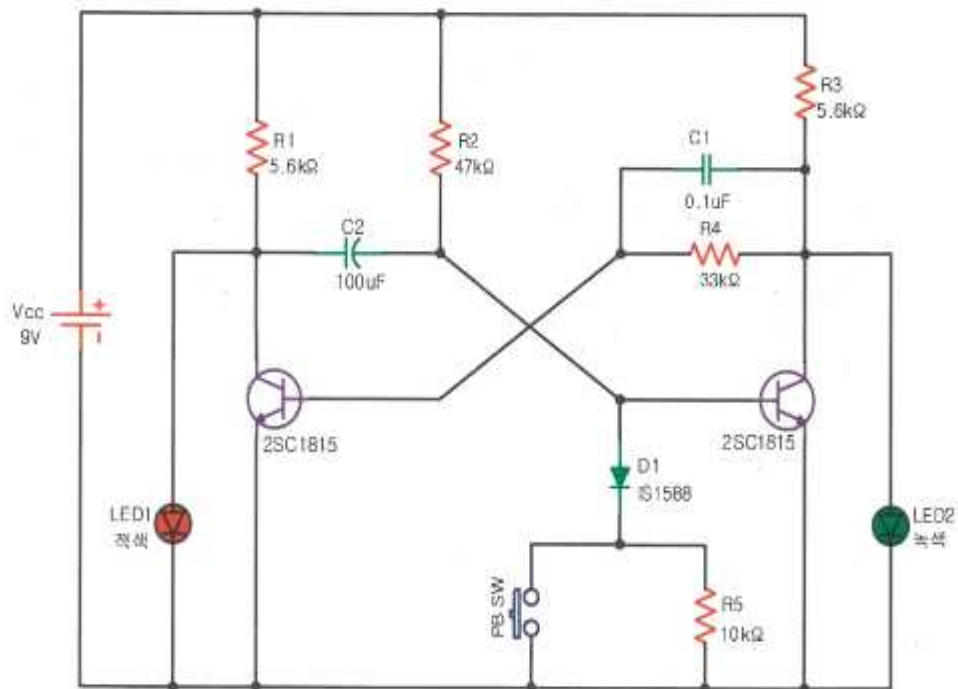


작품명	단안정 멀티바이브레이터	분 류	기초 전자 회로
-----	--------------	-----	----------

1 재료 목록

부품명	규 격	수 량
트랜지스터	2SC1815	2
LED	적/녹, 5φ	각 1
전해 콘덴서	100 μ F/16 V	1
마인러 콘덴서	0.1 μ F	1
다이오드	1S1588	1
저항(R1, R3)	5.6 k Ω	2
저항(R2)	47 k Ω	1
저항(R4)	33 k Ω	1
저항(R5)	10 k Ω	1
스위치	PB-SW(1P2T)	1

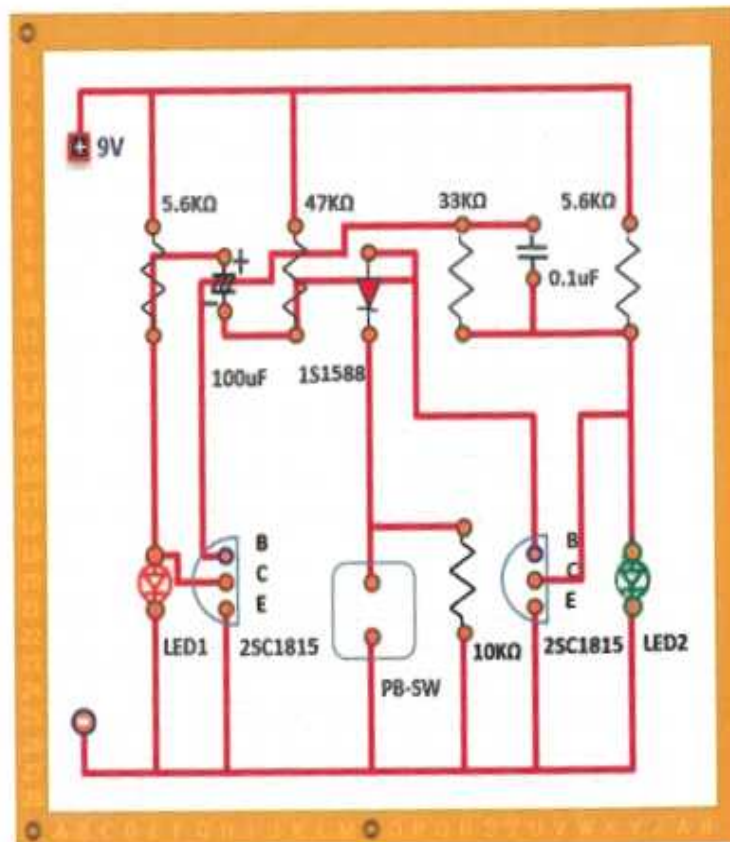
2 회로도



3 패턴도(부품면)

• 회로 설명

이 회로는 전원이 공급된 후 바로 안정 상태(TR1-ON, TR2-OFF, LED1-OFF, LED2-ON)가 된다. 이 안정 상태를 계속 유지하면서 PB SW를 눌렀다 놓게 되면 음(-)의 트리거 펄스가 가해져서 TR1이 차단되고 TR2가 도통되며, LED1이 점등되고 LED2가 소등되어, C2의 방전시간 $T = 0.693R_4C_2(\text{Sec})$ 동안만 반전 상태가 유지되었다가 자동적으로 원래의 안정 상태로 되돌아가서 트리거 펄스가 가해질 때까지 안정 상태를 유지한다.

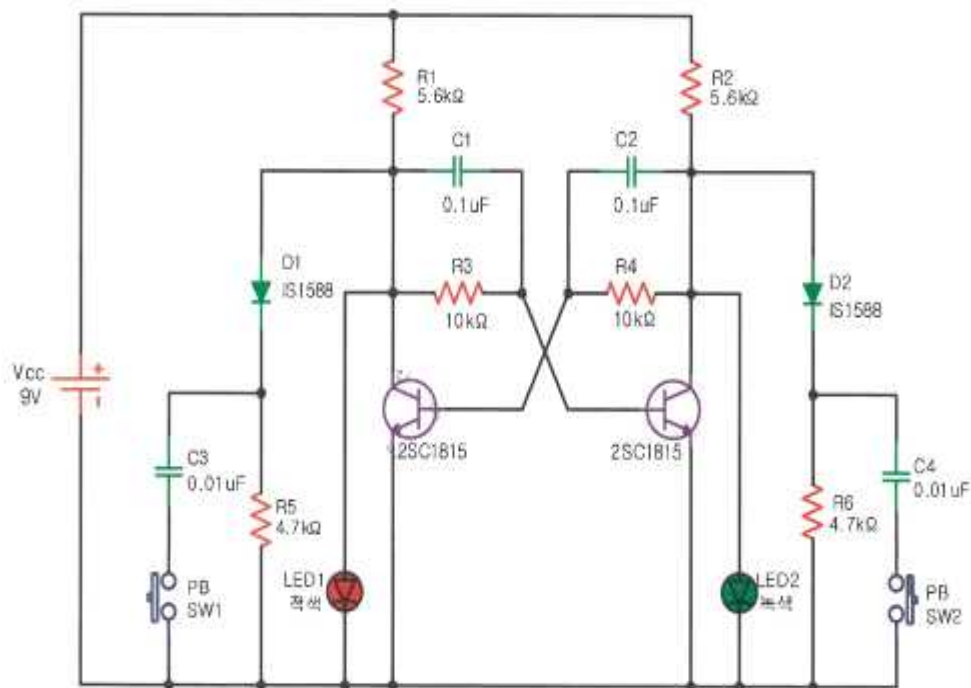


작품명	쌍안정 멀티바이브레이터	분 류	기초 전자 회로
-----	--------------	-----	----------

1 재료 목록

부품명	규격	수량
트랜지스터	2SC1815	2
LED	적/녹, 5φ	각 1
마일러 콘덴서	0.01 μF 103	2
	0.1 μF 104	2
다이오드	1S1588	2
저항(R1, R2)	5.6 k Ω	2
저항(R3, R4)	10 k Ω	2
저항(R5, R6)	4.7 k Ω	2
스위치	PB-SW(1P2T)	2

2 회로도

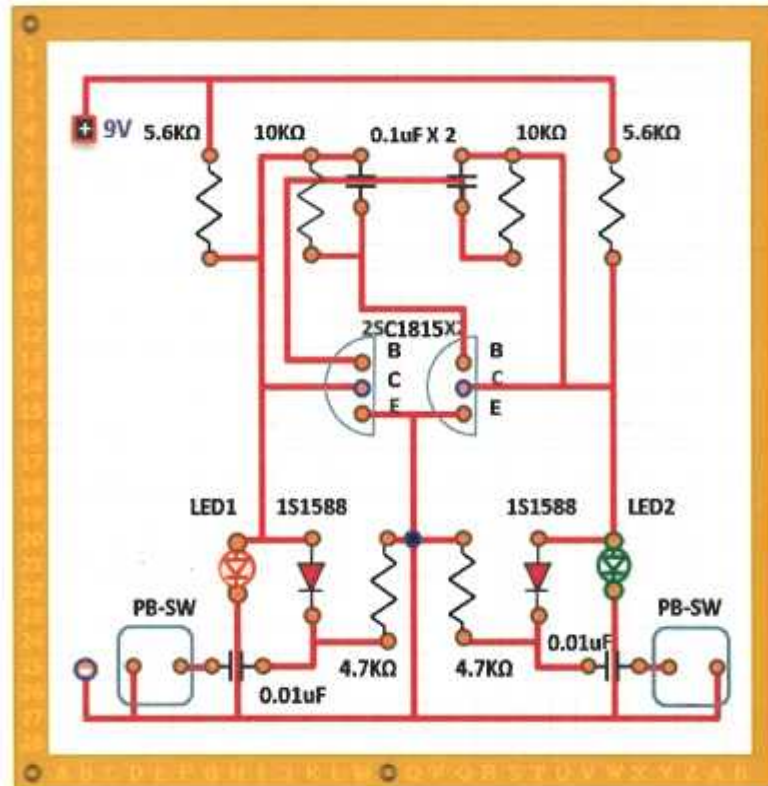


3 패턴도(부품면)

• 회로 설명

이 회로는 전원을 공급하면 TR1, TR2 중 어느 하나가 도통하고 다른 하나는 차단되어, LED1과 LED2 중 차단된 TR 쪽의 LED가 점등된 상태로 그 상태를 계속 유지하며 안정 상태가 된다. 점등된 LED 쪽의 PB SW를 눌러 음(-)의 트리거 펄스를 가하면 반대쪽 TR의 베이스 전위를 낮게(역바이어스) 하여 그 TR를 차단시킴으로써 컬렉터에 연결된 LED를 점등시키고, SW를 누른 쪽 TR를 도통시켜 컬렉터에 연결된 LED를 소등시키게 하여 출력을 반전시키고, 그 상태를 유지하는 회로이다.

이러한 회로를 플립플롭(flip-flop)이라 하며 데이터의 기억장치 등에 응용되기도 한다.

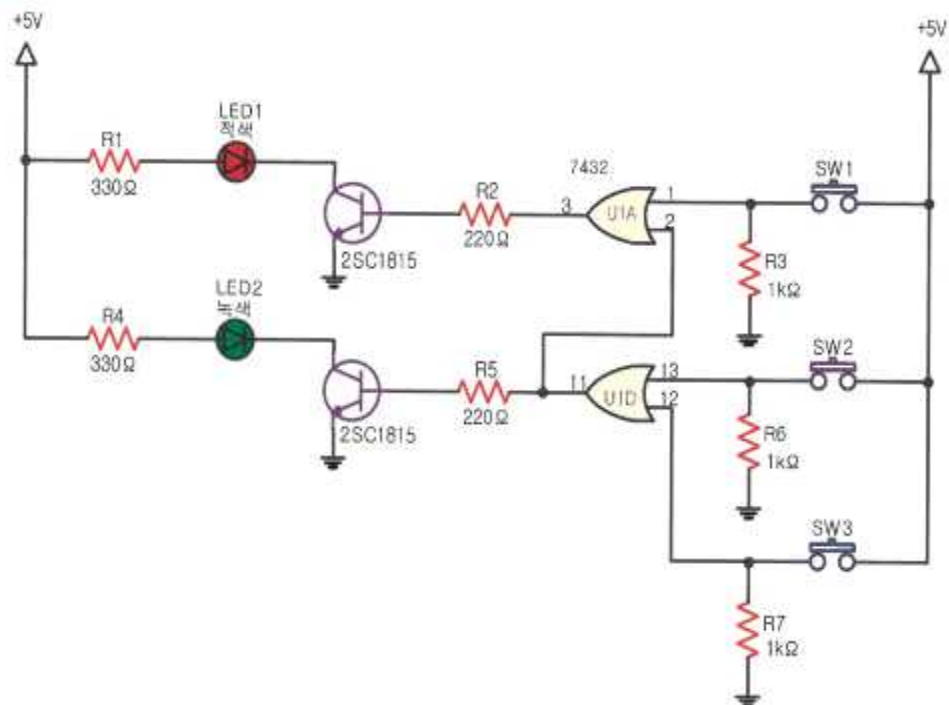


작품명	OR 논리 회로	분 류	기초 전자 회로
-----	----------	-----	----------

1 재료 목록

부품명	규 격	수 량
IC	74LS32	1
IC 소켓	14핀	1
스위치	PB-SW(1P2T)	3
트랜지스터	2SC1815	2
LED	적색/녹색, 5φ	각 1
저항(R3, R6, R7)	1 kΩ	3
저항(R1, R4)	330 Ω	2
저항(R2, R5)	220 Ω	2

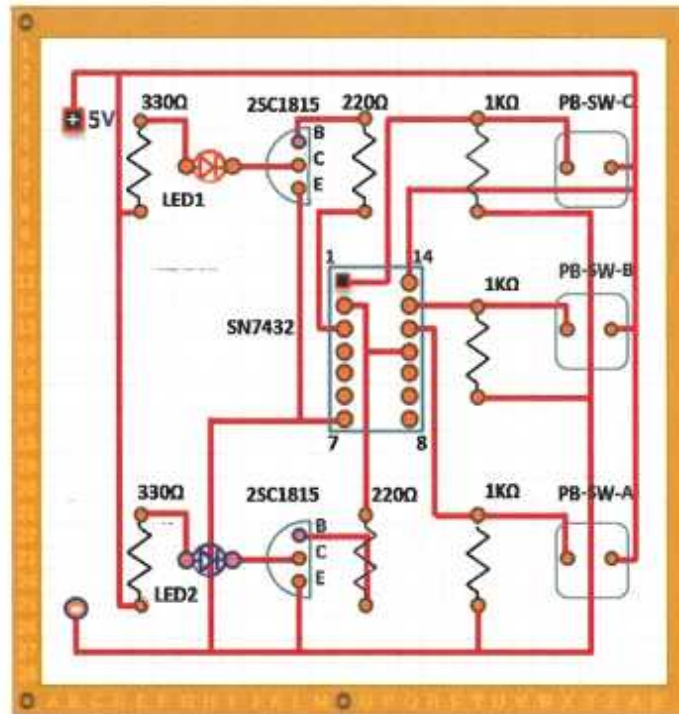
2 회로도



3 패턴도(부품면)

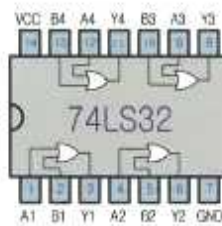
• 회로 설명

이 회로는 SW로 이루어진 입력 신호 SW를 ON 시 H("1"), OFF 시 L("0")에 의하여 G1, G2의 SN7432(OR gate)가 논리합(OR) 연산을 하여 출력을 내보내면 LED 구동 드라이브 TR인 TR1, TR2의 ON/OFF에 따라 LED1과 LED2가 점등 또는 소등된다.

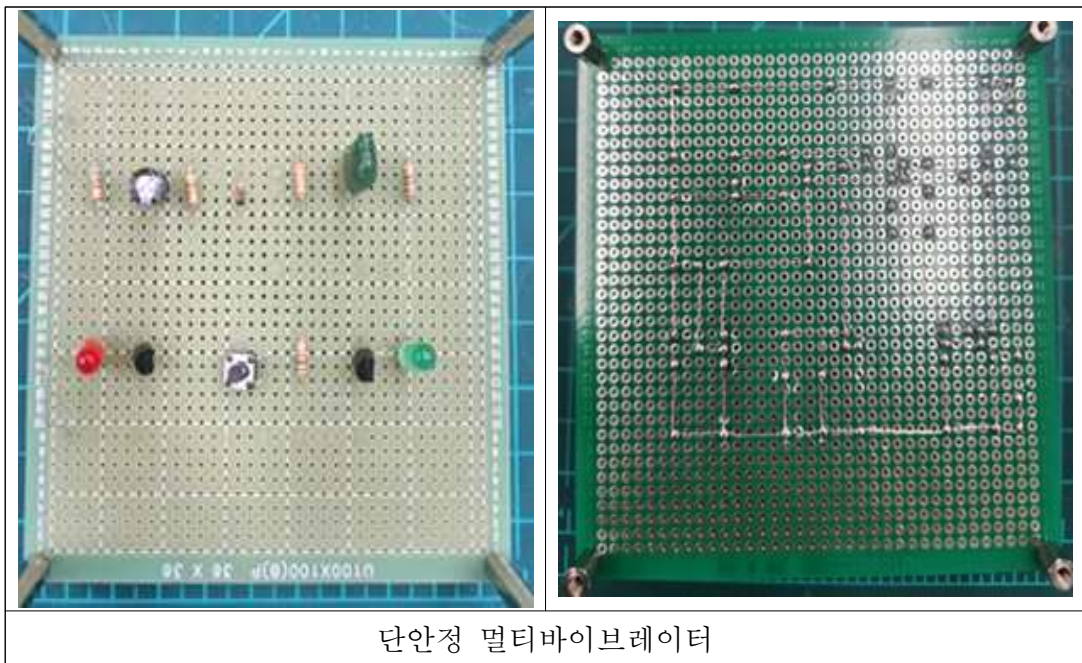
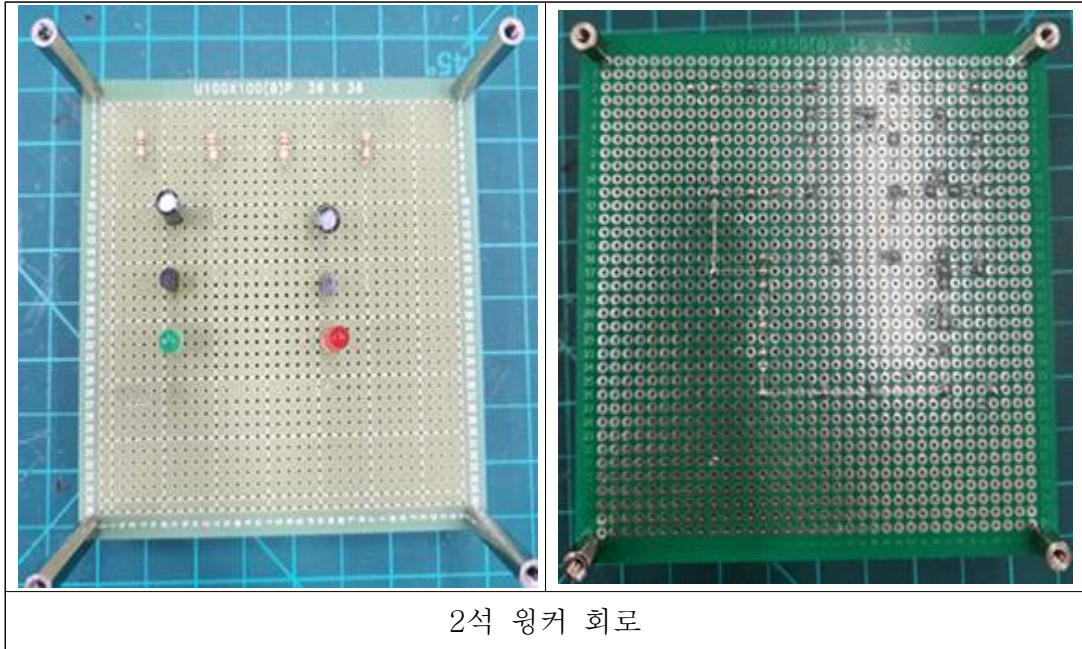


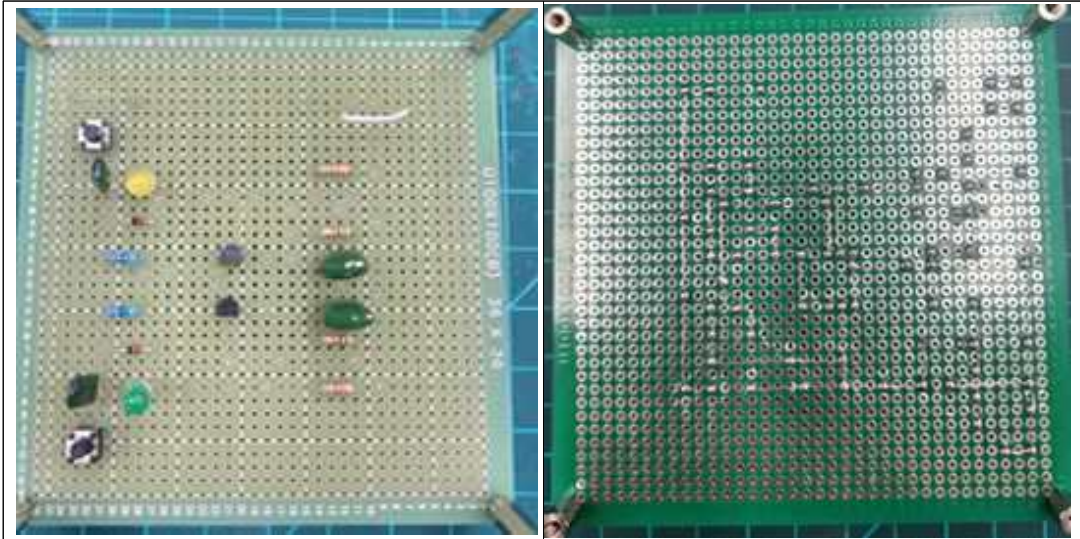
Logic IC Inside Arrangements

• OR 논리 회로

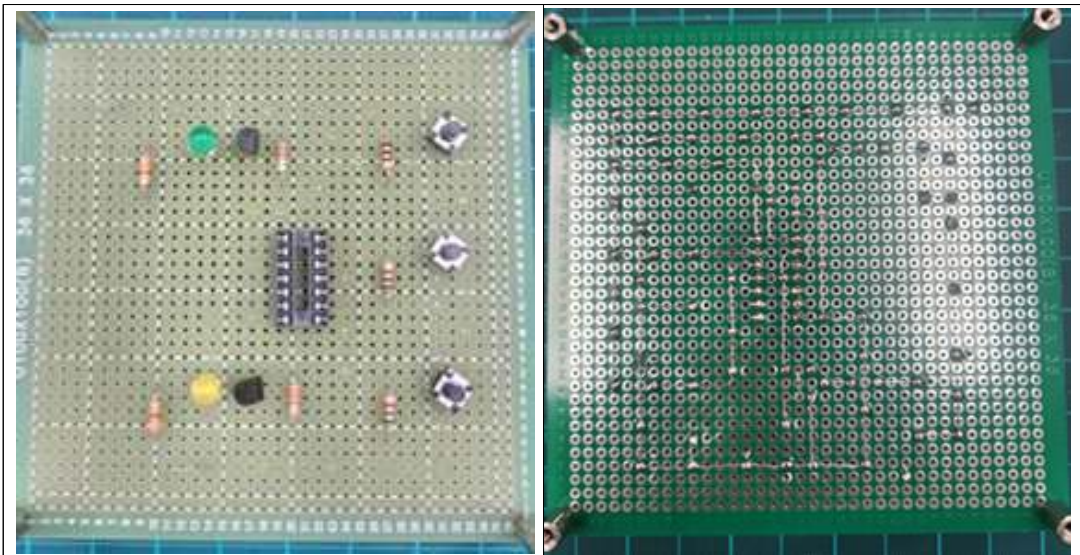


[부록 13] 납땜 실습 작품





쌍안정 멀티바이브레이터



OR 논리 회로

[부록 14] 활동 사진

