

경계선지능 학생의 한글 문해 학습 지원을 위한 다축 학술 자원과 AI 보조 시스템의 통합

‘AI 보조 다감각 적응형 학습 시스템 설계와 학교-가정-치료 연계 생태계 모델’

Integrating Multi-Axis Academic Resources and AI-Assisted Systems to Support Hangul Literacy Learning of Students with Borderline Intellectual Functioning: An AI-Assisted Multi-Sensory Adaptive Learning System and a School-Home-Clinic Integrated Ecosystem Model

국문 초록

본 연구는 경계선지능(Borderline Intellectual Functioning, BIF) 학생의 한글 문해 학습을 지원하기 위해, 교수 설계·다층 지원·보편 설계·다감각 학습·인지과학 등 서로 다른 축에서 검증되어 온 학술 자원(이하 '다축 학술 자원')과 AI 보조 시스템을 통합하는 이론적 모델을 제안한다. 본 연구는 “BIF 학생의 한글 문해 학습은 실질적 진전에 이를 수 있는가”라는 핵심 질문에 대해, 이 통합이 다감각·다모달·다환경에 걸쳐 임상적으로 구현될 때 조건부로 가능하다는 이론적 응답을 제시한다. 본 연구가 설계한 디지털·다감각 적응형 학습 시스템은 직접교수법(Direct Instruction), 중재반응모형(Response to Intervention), 보편적 학습 설계(Universal Design for Learning), 다감각 학습(VAKT), 전신 반응(Total Physical Response), 다중성분 작업기억 모형, 멀티미디어 학습 인지이론 등 다축 학술 자원을 시스템 설계의 각 층위에 분담 배치하여 통합한다. 본 연구는 (가) 패드 환경에서 작동하는 4단계 모듈—기초선 검사(Phase A), 적응형 한글 교육(Phase B), 자기조절 및 정서적 지지(Phase C), 교육적 미세 진단을 포함한 진전도 평가·재조정(Phase D)—을 제시하고, (나) 비전 인식 기반 실물 교구를 통한 신체화·촉각 모달리티 보강 및 (다) 학교-가정-치료기관 연계 학습 생태계로의 확장 모델을 함께 제안한다. 특히 Phase D는 시각 변별 오류 패턴, 자기교정 패턴, 지연 반응, 자모·난이도별 수행 시간 분산 등 임상심리사의 정성적 평가에 준하는 자동화된 미세 진단 차원을 통합한다. 또한 외부 임상 검사 결과지의 OCR·LLM 통합 분석 모듈을 기초선 검사 단계에 도입하여 자체 검사의 한계를 보완하는 설계를 포함한다. 본 시스템은 난독·난서증 영역의 통합 중재를 함께 다루며, AI는 교사 교수법의 대체가 아닌 보조 인프라로 위치 지어진다. 본 연구는 임상 사례 데이터를 동반하지 않은 설계 단계의 이론적 모델 제안이며, 제안 모델의 효과성은 향후 단일대상연구(SSRD) 및 중다기초선설계를 통한 후속 검증을 필요로 한다.

주제어: 경계선지능, 난독증, 난서증, 적응형 학습 시스템, 다감각 학습, 다중모달 교구, 학습 생태계, 다축 학술 자원 통합

Abstract

This study proposes a theoretical model that integrates validated multi-axis academic resources with AI-assisted systems to support Hangul literacy learning of students with Borderline Intellectual Functioning (BIF). Addressing the guiding question—can BIF students make substantive progress in Hangul literacy learning?—it offers a theoretical response of conditional affirmation: such progress is attainable (경계선지능 학생의 한글 문해 학습 지원(제5회 콜로키움 발제문))

when this integration is clinically realized across multi-sensory, multimodal, and multi-environment dimensions. The proposed digital multi-sensory adaptive learning system integrates Direct Instruction, Response to Intervention, Universal Design for Learning, multi-sensory learning (VAKT), Total Physical Response, Baddeley's multi-component working memory model, and Mayer's cognitive theory of multimedia learning, distributing each resource across distinct layers of the system design. The study (a) presents a four-phase pad-based architecture comprising baseline assessment (Phase A), adaptive Korean literacy instruction (Phase B), self-regulation and affective support (Phase C), and progress monitoring and adaptive reconfiguration with educational micro-diagnosis (Phase D); (b) reinforces the kinesthetic and tactile modality via vision-recognition-based physical manipulatives; and (c) proposes a school-home-clinic integrated learning ecosystem model. Phase D, in particular, integrates automated micro-diagnostic dimensions—visual discrimination error patterns (e.g., mirror-image confusions), self-correction patterns, response latency, and performance-time variance across grapheme types and difficulty levels—approximating the qualitative evaluation of clinical psychologists. A key design feature is the integration of OCR- and LLM-based analysis of external clinical assessment reports into the baseline assessment phase, complementing in-app screening. The system also incorporates integrated intervention for dyslexia and dysgraphia, and positions AI as an assistive infrastructure for—rather than a replacement of—teacher instruction. This study is a theoretical design proposal without accompanying clinical case data; the proposed model's effectiveness requires future empirical validation through single-subject research designs and multiple-baseline studies.

Keywords: borderline intellectual functioning, dyslexia, dysgraphia, adaptive learning system, multi-sensory learning, multimodal manipulatives, learning ecosystem, multi-axis academic integration

I. 서론

경계선지능 학생(BIF) 또는 '느린 학습자'는 지능지수 70~84 구간에 속하며, DSM-5 체계에서는 별도의 장애 진단명을 갖지 않는 V코드 범주에 위치한다. 학령기 전체의 약 13.59%가 이 범주에 속하는 것으로 추산되고 있음에도 불구하고, 「장애인 등에 대한 특수교육법」상 명확한

특수교육대상자로 분류되지 않아 적절한 조기 개입의 사각지대에 놓여 있다(강옥려, 2016; 김동일·이연재·한은혜·안예지, 2022). 국내 연구 동향을 분석한 체계적 문헌고찰 또한 BIF 학생에 대한 중재 연구가 2016년 「느린학습자 지원법」 제정을 기점으로 활발해지고 있으나 여전히 초기 단계임을 지적한다(허은, 2022; 박소화·이은주, 2022).

이 사각지대의 임상적 비용은 가볍지 않다. 초기 읽기 발달 과정에서의 음운인식(phonological awareness)과 자소-음소 대응(Grapheme-Phoneme Correspondence: GPC) 학습의 결함은 학년이 올라갈수록 일반 독자와 부진 독자의 간극을 기하급수적으로 벌리는 매튜 효과(Matthew Effect)를 강력하게 유발한다(Stanovich, 1986; Pfost, Hattie, Dörfler, & Artelt, 2014). Ehri(2005)는 읽기 학습의 발달 단계 이론에서 GPC의 명시적 학습이 자동화된 단어 인식과 유창성 확보의 필수 기제임을 정립하였으며, Foorman, Francis, Fletcher, Schatschneider와 Mehta(1998)는 음운인식과 알파벳 원리에 대한 명시적·체계적 지도가 읽기 실패 위험 아동의 격차 누적을 효과적으로 차단함을 종단 자료로 입증하였다. Lyon, Shaywitz와 Shaywitz(2003)는 난독증의 신경생물학적 기원과 음운 처리 결함을 정의하며, 난독증이 종종 난서증(dysgraphia)과 공동 출현(comorbidity)함을 함께 짚은 바 있다.

한편 교육부와 교육청은 2022 개정 교육과정 및 2024년 4월 시행된 학생맞춤통합지원법 등을 통해 학생 개개인의 특성을 고려한 '맞춤형 교육'을 정책적으로 강하게 요구하고 있다(김수진, 2024). 그러나 김지선·유나은·오유진·이재덕(2024)이 학생맞춤통합지원 체계 구축 1차년도(2023년) 초등학교 53개교의 컨설팅 결과를 분석한 결과, 발굴·진단·지원 과정의 표준화된 매뉴얼 부재, 업무담당자의 업무 조정 곤란, 단위학교 차원의 사업 이해 부족 등이 공통 개선 과제로 나타났다. 통합학급 교사 1인당 학생 수의 과밀과 특수교사의 절대적 부족까지 겹치면서(OECD, 2020), 정책적 요구와 현장 실현 조건 간의 극심한 괴리는 교사의 심각한 번아웃과 현장 이탈을 구조적으로 초래하고 있다(Brunsting, Sreckovic, & Lane, 2014; Skaalvik & Skaalvik, 2016). 국내 실증 연구에서도 박알린·양영선(2016)은 특수교사 389명을 대상으로 한 구조방정식 모형 분석을 통해 자아탄력성이 직무만족도와 교사효능감을 매개로 심리적 소진에 영향을 미치는 완전매개 구조를 입증하였고, 황지원·최진혁(2022)은 직무 스트레스·소진의 유발 요인을 학생 지도의 어려움, 과도한 업무, 부당한 대우와 차별, 관계의 어려움으로 압축한 바 있다.

이러한 정책·현장 괴리 속에서 인공지능(AI)을 교육 현장에 도입하는 문제는 시대적 추세 차원이 아니라 윤리적 정당성의 차원에서 재구성될 필요가 있다. 즉 AI는 교사의 교수법을 대체하는 도구가 아니라, 정책·현장 괴리를 해소하고 맞춤형 교육을 실현 가능하게 만드는 '보조 인프라'로서 도입되어야 한다(Holmes, Bialik, & Fadel, 2019; UNESCO, 2021). 김동일 외(2022)가 잠재프로파일 분석을 통해 서울·경기 지역 느린 학습자 의뢰 초·중등생 49명을 5개 하위 집단으로 분류한 결과는, BIF 학생군의 이질성이 단일한 처방을 불가능하게 만들며 데이터 기반의 정밀 진단 도구가 인간 교사의 임상 판단을 보완하는 형태로 결합될 필요성을 시사한다.

이러한 배경에서 본 연구는 다음의 핵심 질문을 제기한다: **경계선지능 학생의 한글 문해 학습은 실질적 진전에 이를 수 있는가, 만약 가능하다면 어떤 조건 위에서 가능한가.**

본 연구는 이 질문에 대해 "검증된 다층 학술 자원이 시스템 설계의 각 층위에 분담 배치되고, 다감각·다모달·다환경의 통합 작동이 임상적으로 구현될 때 조건부로 가능하다"는 이론적 응답을 제시한다.

이를 위해 본 연구는

- (1) 다축 학술 자원의 이론적 통합 구조를 정립하고,
- (2)패드 환경의 4단계 적응형 한글 학습 시스템(Phase A~D)을 설계하며,
- (3) 비전·음성 인식 기반 다중모달 실물 교구 및 학교-가정-치료기관 연계 학습 생태계로의 확장 모델을 제안한다.

본 연구가 다루는 한글 문해 영역은 BIF 학생의 인지 기능 향상을 검증하기에 적합한 임상적 출발점으로, 음운인식·작업기억·자기조절·운동 통제 등 인지 기능의 핵심 하위 영역을 동시에 자극하는 통합 과제로서의 학술적 위상을 갖는다.

II. 이론적 배경: 다축 학술 자원의 통합

본 연구는 단일 교수법을 절대화하지 않으며, 직접교수법(DI)·중재반응모형(RTI)·보편적 학습 설계(UDL)·다감각 학습(VAKT)·전신 반응(TPR)·작업기억 모형·멀티미디어 학습 인지이론 등 검증된 다축 학술 자원의 통합적 적용을 이론적 토대로 삼는다. '다축(多軸)'이란 이 자원들이 교수 설계(DI), 다층 지원(RTI), 보편 설계(UDL), 다감각·신체화(VAKT·TPR), 인지 처리(작업기억·멀티미디어), 한국어 음운 발달이라는 서로 다른 축에서 각각 검증되어 왔으며, 본 시스템 설계의 서로 다른 층위를 나누어 말한다는 뜻이다.

1. 직접교수법(Direct Instruction)

Engelmann과 Carnine(1991)이 정립한 직접교수법(DI)은 과제를 가장 작은 단위로 세분화하여 명시적 시범 → 안내된 연습 → 학습자 단독 수행 → 점검 및 피드백의 4단계로 구조화하는 교수 설계 체계이다. Adams와 Engelmann(1996)이 25년간의 누적 연구를 메타분석한 결과, DI는 학습 부진, 경계선지능, 학습장애 학생 전반에 걸쳐 일관된 효과를 보였으며, 특히 Project Follow Through의 대규모 비교 연구에서 다른 모든 교수 접근을 능가하는 학업 성취 및 인지 성장을 산출함이 보고되었다. 국내에서도 직접교수법을 축으로 한 학습부진 학생 지도의 이론과 실체가 체계화되어 있다(이대식·황매향, 2011).

2. 다감각 학습과 신체화

Fernald(1943)가 정립한 VAKT(Visual-Auditory-Kinesthetic-Tactile) 접근은 글자 학습 과정에서 시각·청각·운동감각·촉각이 동시에 활성화될 때 신경 회로의 연결이 강화된다는 신경학적 근거에 기반한다. Asher(1969)의 전신 반응(Total Physical Response; TPR) 이론은 학습자가 신체 움직임을 통해 언어 자극을 처리할 때 기억 보유율이 유의미하게 상승함을 보여주었다. 독일 사이코모토리크(Psychomotorik) 전통(Zimmer, 1999)은 동일한 원리를 신체-감각-정서-인지의 통합적 작동이라는 관점에서 정립한 학문적 자원으로, 본 연구의 다감각 설계에 이론적 기반을 제공한다.

3. 보편적 학습 설계(UDL)와 중재반응모형(RTI)

보편적 학습 설계(Universal Design for Learning; UDL)는 표상(Representation), 행동·표현(Action and Expression), 참여(Engagement)의 다양한 수단을 처음부터 모든 학습자를 고려해 설계하는 보편 설계 철학이다(CAST, 2018; Rose & Meyer, 2002; 김남진·김용욱, 2017). 본 연구가 제안하는 시스템은 의도하지 않게 UDL의 3대 원리를 모두 구현한다. 동화 글밥 조절·일러스트 이중 단서·자모음 그리드 시각화는 표상의 다양화에, 터치 드래그·블록 조작·음성 발화·손가락 쓰기는 행동·표현의 다양화에, 적응형 난이도와 정서 피드백은 참여의 다양화에 각각 대응한다. 이러한 보편 설계는 Fuchs와 Fuchs(2006)가 정립한 중재반응모형(RTI)의 1단계 보편 교수에 해당하며, 학습자의 진전도 데이터에 따라 2단계 표적 중재와 3단계 개별 집중 중재로 자동 전환되는 다층 통합 도구로 기능할 수 있다. 국내 특수교육에서도 한국형 중재반응 접근의 도입 조건이 일찍이 정리된 바 있으며(이대식, 2009), 본 시스템의 다층 지원 구조는 그 논의의 연장선에 있다.

4. 작업기억과 멀티미디어 인지이론

본 시스템의 다중모달 설계는 인지과학적 기반 또한 탄탄하다. Baddeley(2003)의 다중성분 작업기억 모형은 음운 루프와 시공간 잡기장이 별도 하위 시스템으로 작동함을 보여주며, 이는 시각·청각·발화·촉각 채널로 학습 자극을 분산시킬 때 BIF 학생의 작업기억 부담이 단일 채널에 집중되지 않는 신경인지적 근거를 제공한다. Mayer(2009)의 멀티미디어 학습 인지이론은 시각과 청각 채널의 동시 활성화가 학습 효과를 극대화함을 12가지 설계 원리로 정리한 바 있다.

5. 난서증 중재의 통합

본 연구는 난독증과 함께 난서증(dysgraphia) 영역을 본격적으로 포함한다. Berninger와 Wolf(2009)는 난독증과 난서증이 종종 공동 출현하며, 음운 처리·철자 표기(orthography)·형태소 인식(morphology)·작업기억의 운동 출력 통제까지 통합된 중재가 필요함을 강조한 바 있다. 본 시스템의 손가락 쓰기·연필 쓰기 단계는 단순한 글자 모양 재현이 아니라 난서증 중재의 핵심 단계로 위치 지어진다.

6. 한국어 음운인식의 발달적 특수성

한국어 음운인식의 발달적 특수성은 본 시스템의 한국어 적용에 결정적이다. 김애화(2012)는 한국 아동의 음운인식이 음절(syllable) → 음절체-종성(body-coda) → 음소(phoneme) 단위로 위계적으로 발달함을 실증적으로 보고하였다. 본 시스템의 3행 그리드(초성·중성·종성)와 자모음절식 결합 게임은 바로 이 한국어 음운인식의 발달 위계를 시각적·조작적으로 구현한 것이며, 영어권 음운인식 훈련 도구를 한국어로 단순 번역한 결과물과 본질적으로 구분된다.

7. 지능형 튜터링 시스템(ITS)과 감성적 튜터

지능형 튜터링 시스템(Intelligent Tutoring System; ITS)이 단순한 지식 전달을 넘어 학습자의 동기와 정서를 함께 매개하는 감성적 튜터(Affective ITS)로 작동할 때 학습 효과가 극대화된다. VanLehn(2011), Kulik과 Fletcher(2016)의 메타분석은 ITS가 전통적 교실 수업 대비 0.66 표준편차에 해당하는 효과크기를 일관되게 산출함을 보고하였으며, Steenbergen-Hu와

Cooper(2014)의 후속 메타분석에서도 0.32~0.37의 효과크기가 확인되어 ITS의 효과성은 학습 영역·대상을 막론하고 견고하다.

III. 시스템 설계: 패드 환경의 4단계 적응형 한글 학습 모듈

본 시스템은 앱 내에서 완결되는 순환 구조의 학습 체계로 설계된다 — 기초선 검사 → 학습자 프로파일 → 적응형 콘텐츠 → 학습자 수행 → 다중모달 데이터 → AI 분석 → 콘텐츠 재조정의 순환 구조이다. 본 장에서는 한글·문해 교육 영역의 네 단계(Phase A~D)를 차례로 기술한다.

1. Phase A. 기초선 검사 모듈

본 시스템은 학습자가 본격 학습에 진입하기 전, 두 축의 기초선 검사를 통해 개별 프로파일을 자동 구축한다.

(1) 자체 검사 모듈: 앱 내에서 다음 네 영역의 미니 검사를 수행한다: 소근육 검사(선긋기 게임 형식의 fine motor skill 평가), 음운인식 검사(김애화(2012)의 발달 위계에 기반한 자모 변별·합성·분리 과제), 시각 변별 검사(시각적으로 유사한 자모 구별), 글자 인식 검사(자모·음절·단어 수준 인식 능력). 이는 Fuchs와 Fuchs(2006)의 RTI 보편 스크리닝 단계가 앱 내에서 구현되는 형태이자, 교육과정 기반 평가(Curriculum-Based Measurement)의 디지털 적용이다.

(2) 외부 검사 결과지 통합 분석: BIF 학생들은 본 시스템 진입 이전에 이미 인지(K-WISC-V·K-WAIS), 언어(KOLRA·REVT·U-TAP), 정서행동(K-CBCL), 부모양육태도(PAT) 등 다수의 검사를 받아 온 경우가 많다. 본 시스템은 이러한 외부 검사 결과지를 사진·PDF 형태로 업로드받아 OCR과 LLM 분석을 통해 정량 점수뿐 아니라 임상심리사의 질적 평가 서술까지 추출·통합한다. "주의집중 시간이 짧음", "지시 이해 어려움", "구어 표현 빈약" 같은 정성적 임상 관찰은 앱 자체 검사로는 얻을 수 없는 결정적 정보이며, 이를 학습자 프로파일에 반영함으로써 자체 검사의 한계를 보완한다. 다만 이 모듈의 임상적 적용에는 의료급 정보 보호·동의 절차·보안 정책의 제도적 합의가 전제된다.

Phase A의 산출물은 (가) 학습자 프로파일(인지·언어·정서·소근육 수준), (나) 시작 단계 자동 결정, (다) 인터랙션 방식의 자동 설정이다. 마지막 요소는 특히 주목할 만하다. 소근육 검사 결과에 따라 드래그/탭(자동 배치)/음성 명령 중 적합한 방식이 기본값으로 설정되며, 교사·학부모가 토글로 수동 변경할 수 있다. 이는 UDL의 '행동·표현의 다양화' 원리가 시스템 첫 진입에서부터 자동 구현되는 형태이다.

2. Phase B. 적응형 한글 교육

Phase A의 프로파일을 토대로 다섯 가지 적응형 학습 모듈이 작동한다. Phase B의 교수 내용과 절차는 경인교육대학교 기초학력지원센터가 개발·검증한 「플레이팅고를 활용한 한글 난독증 지도 프로그램」(이대식 외, 2022)의 24차시 구성과 차시별 10단계 지도 절차를 기반으로 하며, 본 시스템은 이를 디지털 환경의 적응형 모듈로 구현한 것이다.

(1) B-1. **동화 콘텐츠의 인지 수준별 적응(글밥 조절)**: 기존 일반 아동용 동화 콘텐츠를 학습자 프로파일에 맞춰 어휘 난이도와 텍스트 분량을 자동 조절한다. 목표 어휘는 일러스트와 함께 이중 단서로 노출된다(김수진, 2024). 이때 난이도 조절은 어휘 등급·문장 길이·음절 수·받침 및 복잡 모음 포함률 등 한국어 가독성 지표를 기준으로 하며, 대규모 언어모델(LLM) 기반 텍스트 단순화(text simplification·leveling) 기법을 통해 원문의 의미를 보존하면서 동일 서사를 학습자 수준에 맞춰 재구성한다. 사전 구성된 난이도 단계(leveled reading)를 기준으로 삼되 학습자 프로파일에 따라 동적 재작성을 수행하는 이원 구조를 취하며, 재작성 결과는 의미 보존·표현 적절성·목표 음운 단계 위반 여부에 대한 검증을 거친다.

(2) B-2. **자모음절식 결합 게임**: 동화에서 만난 목표 단어를 자모로 분해·재조합한다. 초성·중성·종성의 3행 그리드 UI를 통해 한국어 음운인식의 발달 위계(김애화, 2012)를 시각적·조작적으로 구현한다. 인터랙션은 Phase A에서 결정된 방식에 따라 드래그/탭/음성 중 자동 적용되어, 학습자별 운동 능력 차이가 학습 참여를 가로막지 않도록 설계된다. 또한 본 모듈은 실재 단어뿐 아니라 무의미 음절(nonword)의 조합·해독 과제를 포함한다. 무의미 단어 해독은 어휘 기억에 의존하지 않는 순수 자소-음소 대응(GPC) 능력의 지표로서, 난독증 선별과 해독 기술의 자동화 수준을 측정하는 핵심 과제이다(Ehri, 2005). 본 시스템은 음가가 1:1로 대응된 음원 자원을 활용하여 무의미 음절에도 정확한 음성 피드백을 제공한다.

(3) B-3. **따라 읽기 게임**: 자모 조합과 발음 평가는 별개의 인지 활동이므로 본 시스템은 이를 별도 모듈로 분리한다. 학습자는 자모 조합 게임을 마친 후, 별도의 따라 읽기 게임에서 시범 음성을 듣고 따라 발음한다. AI 음성 인식이 자소-음소 대응(GPC; Ehri, 2005)의 정확도와 받침 음운 변동(평음화·연음·격음화)의 처리를 분석하여 피드백을 제공한다. 최근 트랜스포머 기반 음성 인식 모델의 비약적 발전으로(Korzekwa et al., 2022; El Kheir et al., 2023) 한국어 자모음·받침 음운 변동의 자동 평가가 임상적 활용 가능한 단계로 진입하였다. 다만 음성 인식(STT)이 '무엇을 말했는가'의 인식에 가깝다면, 발음의 정확성 평가는 '얼마나 정확히 산출했는가'를 다루는 별도의 과제이다. 따라서 본 시스템의 발화 평가는 음성 인식을 넘어, 기 구축된 표준발화 음원을 참조로 학습자 발화를 음소 단위로 정렬하고, 모음의 포먼트(formant)와 폐쇄음의 성대진동 시작시간(VOT) 등 음향 지표를 분석하는 방식을 본체로 삼는다. 특히 한국어의 평음·경음·격음 삼중대립은 입모양으로는 변별이 어려워 이 음향 분석이 핵심적인 역할을 한다. 다만 아동의 한국어 음성은 발달적 변이가 크므로, 시스템은 신뢰도가 낮은 구간을 단정하지 않고 표시하는 데 그치며, 그 최종 판단은 교수자(특수교사·언어재활 전문가)의 확인을 거치고 그 판정은 다시 시스템의 기준 보정에 환류된다.

(4) B-4. **자유 발화 게임**: 학습자가 그림이나 상황 단서를 보고 자발적으로 단어·문장을 발화하는 모듈이다. 음운인식의 점진적 유창성 단계에 해당하며, 따라 읽기 단계에서 자발 발화 단계로의 전이를 매개한다.

(5) B-5. **쓰기 게임 — 난서증 중재 영역의 본격 통합**: 손가락 쓰기와 연필 쓰기는 단순한 글자 모양 재현이 아니라 난서증 중재의 핵심 단계이다. Berninger와 Wolf(2009)가 강조한 바와 같이, 난독증과 난서증은 종종 공동 출현하며, 음운 처리뿐 아니라 철자 표기, 형태소 인식, 작업기억의 운동 출력 통제까지 통합된 중재가 필요하다. 본 시스템은패드 환경에서 손가락·스타일러스 입력의 궤적·획순·필압을 추적하여 글자 모양의 정확성뿐 아니라 난서증 진단까지 가능한 수준의 운동 데이터를 수집한다.

3. Phase C. 자기조절·자기평가와 정서적 지지

UDL의 참여(Engagement) 원리는 단순한 동기 부여를 넘어 학습자의 메타인지를 길러주는 것을 포함한다. 본 시스템은 학습자에게 자신의 진전도를 직관적으로 시각화하여 보여주며, 학습 페이스 통제권을 학습자에게 부여한다. '도와줘'·'초기화' 버튼은 단순한 힌트 기능이 아니라 학습자의 자기조절 도구이며, 학습 종료 시점에 학습자 스스로 응답하는 짧은 자기평가 인터페이스가 작동한다.

특히 BIF 학생들은 잦은 실패 경험으로 학습된 무기력(learned helplessness)을 겪기 쉬우므로, 따뜻한 감성의 수채화풍 UI, 즉각적인 응원 음성, 발화 시도 자체를 격려하는 정서적 피드백을 통해 정서적 안정감을 부여한다. 이는 ITS가 단순한 지식 전달을 넘어 학습자의 동기와 정서를 함께 매개하는 감성적 튜터로 작동하는 설계 원리(Kulik & Fletcher, 2016; VanLehn, 2011)에 부합한다.

4. Phase D. 진전도 평가·재조정과 교육적 미세 진단

본 시스템의 진단적 강점은 단순한 정답률 집계에 있지 않다. 패드 환경의 학습자 행동 데이터는 임상심리사의 정성적 평가에 준하는 자동화된 미세 진단으로 분해 가능하며, 본 시스템은 다음 네 가지 진단 차원을 통합 분석의 토대로 삼는다.

(1) 시각 변별 오류 패턴: 좌우 반전 오류(예: $\neg \leftrightarrow \neg$, $\square \leftrightarrow \square$), 상하 반전 오류(예: $\square \leftrightarrow \pi$), 거울상 자모 혼동(예: $\downarrow \leftrightarrow \uparrow$, $\neg \leftrightarrow \neg$) 등의 체계적 오류 패턴은 시각 처리·공간 인지 차원의 결정적 임상 단서이며, 난독증의 신경학적 특징과 직결된다(Lyon, Shaywitz, & Shaywitz, 2003). 본 시스템은 학습자의 답안에서 거울상 혼동의 빈도·방향·자모 분포를 자동 집계한다.

(2) 자기교정 패턴(질적 반응): 학습자가 답을 놓고 바꾸는 횟수, 교정의 방향(예: $\neg \rightarrow \neg$, $\downarrow \rightarrow \downarrow$), 교정의 종류(자모 교체 vs 위치 이동)는 메타인지·자기조절·작업기억 점검 기능의 임상적 지표가 된다. 한 번에 정답에 도달하는 학습자와, 오답을 거쳐 자기교정으로 정답에 도달하는 학습자는 양적 결과가 동일하더라도 인지 처리 양상이 본질적으로 다르다.

(3) 지연 반응(response latency): 화면 지시 후 학습자가 첫 행동을 개시하기까지의 시간은 처리 속도, 작업기억 부하, 지시 이해 능력의 통합적 지표가 된다(Baddeley, 2003). 본 시스템은 자모별·과제 유형별 지연 시간을 자동 기록하여 학습자의 처리 속도 프로파일을 누적한다.

(4) 자모·난이도별 수행 시간 분산: 받침 유무, 쌍자음(ㄱ·ㄷ·ㅂ·ㅅ·ㅈ·ㅊ)·쌍모음(ㅏ·ㅑ·ㅓ·ㅕ·ㅗ·ㅛ·ㅜ·ㅠ·ㅡ·ㅣ) 사용, 음운 변동 환경(평음화·연음·격음화)별 수행 시간 분산은 한국어 음운 처리 위계(김애화, 2012)상 학습자의 약점 지점을 미세하게 드러낸다.

여기에 더해 발화 정확도(B-3·B-4), 글자 모양·획순·필압의 운동 오류(B-5), 힌트 요청·초기화 빈도, 자기평가 응답 패턴이 함께 누적된다. AI 모듈은 이 통합 데이터를 분석하여 학습자의 취약 영역을 식별하고, 그 취약 영역이 포함된 단어와 동화 콘텐츠를 우선 노출하는 적응형 교재를 자동 재구성한다. 교사·치료사·부모에게는 학습자별 인지·발화·운동·정서 오류 패턴과 진전도를 정리한 리포트가 자동 생성되어 IEP 작성과 진전도 평가를 지원한다. 본 시스템의 진단적 강점은 결국 "학습자의 미세 행동 데이터가 어떤 교육적 진단·평가 차원으로 자동 분해되는가"에 있다.

5. 패드 단독 환경의 본질적 한계

다만 패드 단독 환경은 본질적 한계를 갖는다. 디지털 화면은 시청각 자극과 조작·발화 데이터 수집에는 유리하나, 영유아 및 BIF 학생 발달에 필수적인 소근육 조작(fine motor skill)의 신체적 경험을 완전히 충족하기는 어렵다. 신체·감각의 통합 작동을 전제로 설계된 신체화 단계는 패드 환경만으로는 학술적 정합성을 완전히 구현할 수 없다.

IV. 시스템 확장: 실물 교구를 통한 모달리티 보강과 학교-가정-치료 연계 생태계

1. 실물 교구를 통한 신체화·촉각 모달리티 보강

본 연구는 패드 단독 환경의 본질적 한계 — 특히 BIF·영유아 발달에 필수적인 소근육 조작과 신체화 단계의 부분 구현 — 를 보완하기 위해 실물 교구와 비전 인식 기술이 결합된 모달리티 보강 모델을 제안한다. 학습자가 자모음 블록 72개로 구성된 실물 블록 세트를 손으로 쥐고 3행 그리드 보드 위에 배치하면, 카메라 비전 인식 기술이 블록의 모양·위치·배치 과정을 실시간 추적한다. 특히 본 확장은 실물 보드를 학습자의 발달 수준에 따라 조절 가능한 격자 스캐폴딩(grid scaffolding)으로 설계한다. 초기 단계에서는 큰 네모 칸 안에 한 글자를 배치하게 하여 거친 운동 조작과 공간 정렬의 부담을 낮추고, 학습자의 숙련에 따라 칸의 크기를 점진적으로 축소하며, 최종적으로 격자 없이 자유 배치하는 단계로 이행한다. 이러한 격자의 점진적 소거(fading)는 Fuchs와 Fuchs(2006)의 중재반응모형이 전제하는 단계적 지원 철회의 원리와 보편적 학습 설계의 비계 설정 원리를 물리적 교구 차원에서 구현한 것이다.

여기서 학습 게임의 메커닉 자체는 패드 환경의 B-2 자모 조합 게임과 동일하다. 차이는 입력 모달리티에 있다. 화면 위 드래그·탭이 손에 쥐는 실물 블록의 조작·회전·재배치로 대체됨으로써, 패드 단독으로는 충분히 자극되지 못하는 소근육·촉각·양손 협응·자세·압력 차원이 학습 과정에 통합된다. 음성 인식을 통한 발화 평가는 별도 모듈(B-3 따라 읽기, B-4 자유 발화)에서 시간적·구조적으로 분리되어 작동하며, 본 확장 영역에 동시 결합되지 않는다. 나아가 본 확장은 발성기관의 운동(조음)과 쓰기 발달까지 다감각 채널로 포괄하는 방향으로 나아간다. 학습자가 소리를 낼 때 입술·턱의 모양(입모양)과 혀의 위치를 시각적으로 안내하는 조음 보조 표상은, 시각만으로는 변별이 어려운 평음·경음·격음의 차이를 음향 단서와 함께 보완한다. 또한 쓰기는 끼적이기에서 선·획을 거쳐 자모와 글자에 이르는 발달의 연속으로 보고, 패드의 스타일러스 입력(꺾적·획순·필압)과 더불어 실물 펜으로 쓴 손글씨를 카메라 비전으로 함께 추적함으로써, 자모 블록 조작과 동일한 비전 기반 위에서 쓰기 운동까지 통합한다. 다만 이러한 확장은 정밀 진단이 아니라 학습 지원과 관찰을 목적으로 하며, 최종 판단은 교수자의 몫으로 둔다.

이 확장의 학술적 의의는 다음 두 가지로 좁혀진다.

첫째, 검증된 교수 절차의 신체화 단계가 디지털 환경에서도 절차적으로 완결된다. 패드 단독으로는 부분적으로만 구현되던 신체화 단계(몸으로 표현, 손가락 쓰기)가 실물 블록 조작과 자연스럽게 통합되며, 이는 Fernald(1943)의 VAKT 원리, Asher(1969)의 TPR 원리, Zimmer(1999)의 Psychomotorik 통찰이 디지털 환경에서 임상적으로 보존되는 학술적 조건이 된다.

둘째, 패드의 fine motor skill 자극 한계가 보완된다. 실물 블록을 쥐고 옮기는 촉각·소근육 운동, 블록 회전과 양손 협응, 자세·압력의 운동 데이터는 패드의 스타일러스 입력으로 일부 추적 가능하나, 실물 조작 환경만의 운동 특성은 별도 데이터 채널을 구성한다.

다만 본 확장이 "다중모달 데이터의 동시 통합 진단"을 새로 가능하게 한다고 주장하지는 않는다. 학습자의 시각 변별 오류 패턴, 자기교정 패턴, 지연 반응, 자모·난이도별 수행 시간 분산 등의 교육적 진단·평가 차원은 모두 패드 단독 환경의 Phase D에서도 동등하게 추적·분석 가능하다(III.4 참조). 본 확장의 학술적 가치는 진단 차원의 신규 확보가 아니라, **신체화·촉각 모달리티의 회복을 통한 다층 학술 자원(특히 VAKT·TPR·Psychomotorik)의 절차적 완결성 보장**에 있다.

2. 학교-가정-치료기관 연계 학습 생태계로의 확장

본 시스템의 두 번째 확장 축은 동일한 학습 환경과 학습자 데이터가 학교·가정·치료기관 전반에서 끊임 없이 작동하는 학습 생태계의 구축이다. 디지털·실물 통합 교구의 본질적 강점은 시간·장소·전문가의 제약 없이 일관된 학습 환경을 제공한다는 점에 있다. 학교 통합학급, 방과후 학원, 가정, 발달센터·치료기관의 임상 세션 — 동일한 시스템이 동일한 학습자의 누적 데이터를 공유하며 작동한다.

이러한 다중 환경 통합의 학술적 기반은 Bronfenbrenner(1979)의 **생태학적 체계 이론(Ecological Systems Theory)**에 있다. 아동의 발달은 가정·학교·또래·지역사회·전문기관 등 미시체계(microsystem)들의 상호작용 속에서 일어나며, 이 미시체계들 사이의 관계(mesosystem)가 일관성을 가질 때 발달은 가장 효과적으로 지원된다. BIF 학생의 인지훈련은 특히 이 생태학적 일관성에 민감하다. 학교에서 배운 자모음을 가정에서 다른 방식으로 연습하고, 치료기관에서 또 다른 방식으로 평가받는 단절된 환경은 BIF 학생의 작업기억과 일반화 능력에 큰 부담을 준다.

특수교육·재활 분야에서는 이 생태학적 통합을 실천하기 위한 학술적 프레임으로 **초학문적(Transdisciplinary) 접근**이 정립되어 있다. Linder(2008)의 초학문적 놀이 기반 평가(Transdisciplinary Play-Based Assessment; TPBA)는 다학문적·간학문적 접근을 넘어, 평가·계획·역할이 분과 경계를 넘어 공유되는 모델을 제시한다. 즉 교사·치료사·부모가 각자의 영역에서 평행하게 작업하는 것이 아니라(다학문적), 또는 회의에서만 정보를 공유하는 것이 아니라(간학문적), 동일한 학습자 데이터와 동일한 학습 도구를 공유하며 서로의 전문성을 부분적으로 대체할 수 있는 **역할 해제(role release)**가 가능한 구조이다. 본 연구가 제안하는 다중 환경 통합 시스템은 이 초학문적 접근의 기술적 인프라가 된다.

V. 논의

1. 평가 패러다임의 혼합적 통합

본 시스템이 수집하는 데이터는 본질적으로 혼합 평가 패러다임을 자연스럽게 구현한다. 자모음 정답률은 절대 기준에 비춘 **준거 참조(criterion-referenced)** 평가이고, BIF 학생군 평균 대비 학습자의 위치는 **규준 참조(norm-referenced)** 평가이며, 동일 학습자의 시계열 변화는 **개별 진전도(ipsative)** 평가이고, 정서 반응·시도 패턴·좌절 표지·자기평가 응답은 **질적(qualitative)** 평가의 대상이다. 학술적으로 네 접근은 상호 보완적이며, 특히 BIF·중도중복장애 학생의 평가에서는 단일 패러다임으로 충분한 정보를 얻을 수 없다. 본 시스템은 디지털 환경의 특성을 활용해 네 가지 평가 차원을 동시 수집·통합하는 구조를 자연스럽게 구현한다.

2. 다축 학술 자원 통합의 임상적 의의

다축 학술 자원의 통합 적용은 단일 교수법의 극단적 적용이 빠질 수 있는 한계를 보완한다. DI는 절차적 명료성을 보장하나 학습자의 정서·동기 차원을 직접 다루지 않으며, UDL은 보편 설계의 철학적 정당성을 제공하나 구체적 절차의 미시 설계를 가지지 못한다. RTI는 다층 중재의 거시 구조를 제시하나 각 층위에서 어떤 교수법을 적용할지는 별도 결정이 필요하다. 본 연구는 이러한 자원들을 시스템 설계의 각 층위에 분담 배치하여 — DI를 학습 절차의 미시 단위에, UDL을 인터랙션 다양화에, RTI를 진전도 평가·재조정예, VAKT·TPR·Psychomotorik를 다감각 통합에, 작업기억·멀티미디어 인지이론을 모달리티 분산 설계에 — 각 자원의 강점이 충돌 없이 작동하도록 통합하는 모델을 제시한다.

3. 연구의 제한점과 후속 검증 과제

본 연구는 임상 사례 데이터를 동반하지 않은 설계 단계의 이론적 모델 제안이다. 따라서 제안된 시스템의 효과성은 다음과 같은 후속 검증 과제를 거쳐야 한다.

첫째, **임상 효과성 검증**: 단일대상연구(SSRD) 및 중다기초선설계를 통한 효과크기 산출이 필요하다. 김동일 외(2022)가 분류한 BIF 학생군 5개 하위 집단 각각에 대해 차별화된 검증 설계가 요구된다.

둘째, **기술적 타당성 검증**: 비전 인식의 정확도, 한국어 받침·음운 변동에 대한 음성 인식의 임상 타당성, 실물 블록·패드·발화 간 동기화 지연, 진단 알고리즘의 임상 타당성, 외부 검사 결과지 OCR·LLM 분석의 신뢰성 등이 별도 검증되어야 한다.

셋째, **제도적·윤리적 조건의 정비**: 학교·가정·치료기관 간 학습자 데이터 공유의 개인정보 보호·동의 절차, AI 진단 결과의 활용 범위, 알고리즘 투명성, 교사 자율성 보장 등에 대한 제도적 합의가 선행되어야 한다.

향후 본 시스템은 단일대상연구의 누적과 중다기초선설계, 무선통제실험을 거쳐 디지털 치료제(Digital Therapeutics) 차원의 임상적·제도적 확장 가능성을 모색할 수 있다.

VI. 결론

본 연구는 "경계선지능 학생의 한글 문해 학습은 실질적 진전에 이를 수 있는가"라는 핵심 질문에 대해, 검증된 다축 학술 자원이 시스템 설계의 각 층위에 분담 배치되고 다감각·다모달·다환경의 통합 작동이 임상적으로 구현될 때 조건부로 가능하다는 이론적 응답을 제시하였다. 본 연구가 설계한 시스템은 직접교수법·중재반응모형·보편적 학습 설계·다감각 학습·전신 반응·작업기억 모형·멀티미디어 학습 인지이론 등 다축 학술 자원의 통합적 적용 위에서, 패드 환경의 4단계 모듈(기초선 검사·적응형 한글 교육·자기조절 및 정서적 지지·교육적 미세 진단을 포함한 진전도 평가)을 구현하고, 비전 인식 기반 실물 교구를 통한 신체화·촉각 모달리티 보강 모델과 학교·가정·치료기관 연계 생태계로의 확장 모델을 함께 제안하였다.

본 연구의 학술적 기여는 네 가지로 정리된다. **첫째**, 검증된 다축 학술 자원을 디지털 환경의 시스템 설계 층위에 분담 배치하여 각 자원의 강점이 충돌 없이 작동하도록 통합하는 모델을 제시하였다. **둘째**, 외부 임상 검사 결과지의 OCR·LLM 통합 분석을 기초선 검사 단계에 도입함으로써 정량 점수와 임상심리사의 질적 평가 서술을 학습자 프로파일에 동시 반영하는 설계를 제안하였다. **셋째**, Phase D 진전도 평가 단계에 시각 변별 오류 패턴·자기교정 패턴·지연 반응·자모/난이도별 수행 시간 분산 등 임상심리사의 정성적 평가에 준하는 자동화된 미세 진단 차원을 명시적으로 통합함으로써, 학습자의 미세 행동 데이터가 교육적 진단·평가 차원으로 자동 분해되는 분석 체계를 제안하였다. **넷째**, 실물 교구를 통한 신체화·촉각 모달리티 보강과 생태학적 체계 이론·초학문적 접근의 결합을 통해 학교·가정·치료기관에 걸친 학습 데이터 통합과 역할 해제의 기술적 인프라 모델을 제시하였다.

본 연구는 설계 단계의 이론적 제안이며, 제안된 시스템의 효과성은 후속 임상 연구를 통해 입증되어야 한다. 다만 정책·현장 괴리의 구조적 심화 속에서 검증된 교수법의 다축 자원과 AI 보조 인프라, 그리고 다중 환경 통합이 결합될 때 BIF·난독·난서증 학생을 위한 임상적 정밀성과 생태학적 통합성을 동시에 추구할 수 있다는 가능성을 보이는 데 본 연구의 의의를 둔다.

참고문헌

국내 문헌

강옥려 (2016). 경계선급 지능 아동의 교육: 현황과 과제. *한국초등교육*, 27(1).

김남진·김용욱 (2017). *보편적 학습 설계의 이해와 적용*. 학지사.

김동일·이연재·한은혜·안예지 (2022). 잠재프로파일 분석을 통한 느린 학습자의 하위 유형 분류. *학습장애연구*.

김수진 (2024). 학생맞춤통합지원과 학교 실천의 연결. 한국교육개발원.

김애화 (2012). 한국 아동의 음운인식 발달. *학습장애연구*.

김지선·유나은·오유진·이재덕 (2024). 학생맞춤통합지원 체계 구축 1차년도 사업 분석. 한국교육개발원.

박소희·이은주 (2022). 경계선지능 학생 중재 연구의 체계적 문헌고찰. *특수교육저널: 이론과 실천*.

박알린·양영선 (2016). 특수교사의 자아탄력성, 직무만족도, 교사효능감, 심리적 소진의 구조적 관계. *특수교육학연구*.

이대식 (2009). 한국형 중재-반응(RTI) 접근법의 조건. *특수교육학연구*, 44(2), 343-369.

이대식·황매향 (2011). 학습부진학생의 이해와 지도. 교육과학사.

이대식 외 (2022). 플레이탕고를 활용한 한글 난독증 지도 프로그램(교사용 지도서·학생용 활동지 전 8권). 인천: 경인교육대학교 기초학력지원센터.

허은 (2022). 국내 경계선지능 학생 중재 연구 동향. *학습장애연구*.

황지원·최진혁 (2022). 특수교사의 직무 스트레스와 소진에 관한 질적 연구. *특수교육저널: 이론과 실천*.

해외 문헌

Adams, G., & Engelmann, S. (1996). *Research on Direct Instruction*. Educational Achievement Systems.

Asher, J. J. (1969). The Total Physical Response Approach. *Modern Language Journal*, 53(1), 3-17.

Baddeley, A. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 829-839.

Berninger, V. W., & Wolf, B. J. (2009). *Teaching Students with Dyslexia and Dysgraphia*. Brookes.

Bronfenbrenner, U. (1979). *The Ecology of Human Development*. Harvard University Press.

Brunsting, N. C., Sreckovic, M. A., & Lane, K. L. (2014). Special education teacher burnout. *Education and Treatment of Children*, 37(4), 681-711.

CAST (2018). *Universal Design for Learning Guidelines version 2.2*.

Ehri, L. C. (2005). Learning to read words: Theory, findings, and issues. *Scientific Studies of Reading*, 9(2), 167-188.

El Kheir, Y., et al. (2023). Automatic pronunciation assessment — A review. *arXiv preprint*.

Engelmann, S., & Carnine, D. (1991). *Theory of Instruction: Principles and Applications*. ADI Press.

Fernald, G. M. (1943). *Remedial Techniques in Basic School Subjects*. McGraw-Hill.

Foorman, B. R., Francis, D. J., Fletcher, J. M., Schatschneider, C., & Mehta, P. (1998). The role of instruction in learning to read. *Journal of Educational Psychology*, 90(1), 37-55.

Fuchs, D., & Fuchs, L. S. (2006). Introduction to Response to Intervention. *Reading Research Quarterly*, 41(1), 93-99.

Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial Intelligence in Education*. Center for Curriculum Redesign.

Korzekwa, D., et al. (2022). Computer-assisted pronunciation training — Speech synthesis is almost all you need. *Speech Communication*, 142, 22-33.

Kulik, J. A., & Fletcher, J. D. (2016). Effectiveness of Intelligent Tutoring Systems: A meta-analytic review. *Review of Educational Research*, 86(1), 42-78.

Linder, T. (2008). *Transdisciplinary Play-Based Assessment* (2nd ed.). Brookes.

Lyon, G. R., Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2003). A definition of dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 53, 1-14.

Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning* (2nd ed.). Cambridge University Press.

OECD (2020). *TALIS 2018 Results (Volume II): Teachers and School Leaders as Valued Professionals*.

Pfost, M., Hattie, J., Dörfler, T., & Artelt, C. (2014). Individual differences in reading development: A review of 25 years of empirical research on Matthew effects in reading. *Review of Educational Research*, 84(2), 203-244.

Rose, D. H., & Meyer, A. (2002). *Teaching Every Student in the Digital Age*. ASCD.

Skaalvik, E. M., & Skaalvik, S. (2016). Teacher stress and teacher self-efficacy. *Creative Education*, 7(13), 1785-1799.

Stanovich, K. E. (1986). Matthew effects in reading. *Reading Research Quarterly*, 21(4), 360-407.

Steenbergen-Hu, S., & Cooper, H. (2014). A meta-analysis of the effectiveness of intelligent tutoring systems on college students' academic learning. *Journal of Educational Psychology*, 106(2), 331-347.

UNESCO (2021). *AI and Education: Guidance for Policy-makers*.

VanLehn, K. (2011). The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems. *Educational Psychologist*, 46(4), 197-221.

Zimmer, R. (1999). *Handbuch der Psychomotorik*. Herder.