

시각장애 학습자를 위한 LLM API 기반 수학 학습 지원 시스템 연구

배선영*, 정희경*†

A Study on LLM API-Based Mathematical Learning Support System for Visually Impaired Students

Sun-Young Bae*, Hoe-Kyung Jung*†

요 약

본 연구의 목적은 LLM API 기반 상호작용형 설명 및 문제 생성 시스템이 시각장애 학생의 수학 학습력 향상과 학습 접근성 개선에 기여할 수 있는 가능성을 탐색하는데 있다. 이를 위해 학습자의 질문 맥락에 따라 수학 개념을 재구성하고 단계적 예시 문제를 생성하는 생성형 AI 기반 학습 지원 시스템을 설계·개발하였다. 적용 결과, 언어 중심의 순차적 설명과 단계적 문제 생성 구조는 개념 이해를 촉진하고 문제 해결 정확도 향상에 긍정적인 경향을 보였다. 또한 반복적 확인과 상호작용 과정은 학습 통제감과 자기주도성을 강화하여 효율적인 학습 지원 체계의 가능성을 확인하였다. 본 시스템은 단순한 정보의 대체를 넘어 학습 과정 전반을 구조화함으로써 접근성을 실질적으로 확장하고, 디지털 기반 학습 환경에서의 정보 격차를 완화할 수 있다. 다만 소규모 개발 연구라는 한계가 있으므로, 향후 장기적·대규모 실증 연구를 통해 학습 효과와 정책적 적용 가능성을 체계적으로 검증할 필요가 있다.

Abstract

The purpose of this study is to explore the possibility that the LLM API-based interactive explanation and problem generation system can contribute to the improvement of learning ability and learning accessibility of visually impaired students. To this end, a Generative AI-based learning support system was designed and developed to reconstruct mathematical concepts and generate step-by-step example problems according to the context of learners' questions. As a result of application, language-oriented sequential explanations and step-by-step problem-generating structures tended to promote conceptual understanding and improve problem-solving accuracy. In addition, the repetitive confirmation and interaction process strengthened the sense of learning control and self-direction, confirming the possibility of an efficient learning support system. This system can substantially expand accessibility and alleviate the information gap in a digital-based learning environment by structuring the entire learning process beyond simple replacement of information. However, since there is a limitation of small-scale development research, it is necessary to systematically verify the learning effect and policy applicability through long-term and large-scale empirical research in the future.

한글키워드 : LLM API, 수학 성취도, 학습 접근성, 학습 지원, 디지털 정보 격차

keywords : LLM API, math achievement, access to learning, learning support, digital divide

* 배재대학교 컴퓨터공학과

접수일자: 2026.03.01. 심사완료: 2026.03.11.

† 교신저자: 정희경(email: hkjung@pcu.ac.kr)

게재확정: 2026.03.20.

1. 서론

수학 학습에서 그래프와 시각 자료는 학생들이 이 개념을 이해하고 문제 해결 능력을 개발하는데 핵심적인 역할을 한다. 그러나 시각장애 학생에게 이러한 그래프는 본질적으로 접근이 어려운 정보로 남아 있으며, 기존의 텍스트 기반 설명이나 스크린리더는 복잡한 시각 정보를 충분히 전달하지 못한다[1][2]. 이는 수학 학습에서 시각장애 학생이 겪는 중요한 장벽으로, 시각 자료에 대한 정보 격차를 초래하며, 학습 성취도에도 직접적인 영향을 미친다. 특히 수학 그래프는 단순한 수치 정보를 넘어 함수의 변화, 극한, 증가·감소 패턴 등 시각적 패턴 이해가 필수적이므로, 기존 접근 방식만으로는 학습자의 이해를 보장하기 어렵다[3].

선행연구에서는 시각장애 학생의 수학 학습을 지원하기 위해 다양한 보조공학 기반 접근이 시도되어 왔다. 대표적으로 점자, 촉각 그래프, 음성 안내, 구조화된 텍스트 설명 등을 활용한 연구들이 보고되었다. 이러한 연구들은 시각 정보를 단순히 텍스트로 변환하는 것이 아니라, 수학적 구조와 관계를 단계적으로 설명하는 방식이 학습 이해도 향상에 효과적임을 보여준다. 또한 최근의 종설 연구들은 단일 감각 기반 도구보다 음성·촉각·텍스트를 결합한 다중감각 접근 방식이 시각장애 학습자의 수학 이해와 문제 해결 능력에 더 긍정적인 영향을 미친다고 보고하고 있다. 그러나 이러한 연구 대부분은 정적 자료 제공이나 교사 중심의 설명 방식에 초점을 두고 있으며, 학습자의 입력에 따라 실시간으로 개념 설명이나 문제를 생성하는 상호작용형 시스템에 대한 연구는 상대적으로 제한적이다[4-9].

실제로 중·고등학교 수학에서 핵심을 이루는 함수와 그래프 단원은 변화, 관계, 추세와 같은 개념을 시각적으로 표현하는 것이 일반적이다.

하지만 시각장애 학습자의 경우 수학 개념 자체의 난이도보다도 시각 정보에 대한 대체 설명 부족으로 인해 학습에 어려움을 느끼는 경우가 많으며, 이러한 문제는 고학년으로 갈수록 심화되는 경향을 보인다. 이에 따라 시각 정보를 언어적·촉각적·추각적 방식으로 재구성하여 제공하는 교육적 지원의 필요성이 지속적으로 제기되어 왔다[1][10-12]. 일부 연구에서는 그래프를 촉각 자료로 제공하거나 음성으로 설명하는 시도가 이루어졌으나, 이러한 방식은 제작비용이 높거나 설명의 유연성이 떨어지는 한계가 있다. 특히 학습자의 수준이나 이해도에 따라 설명의 깊이와 예시를 조정하기 어렵다는 점에서 개인화된 학습 지원에는 한계가 존재한다[1][9][11-13].

최근 연구들은 이러한 접근성 문제를 해결하기 위해 다양한 기술적 시도를 보여주고 있다. 전통적인 ALT(Alternative) 텍스트나 오디오 기반 설명은 그래프의 일부 정보를 전달할 수 있으나, 전체 구조와 의미를 일관되게 이해시키기에 한계가 있다[14][15]. 또한, 수작업으로 작성되는 설명은 양이 제한적이고 품질이 일정하지 않아, 학습자가 복잡한 수학 그래프를 이해하는데 충분하지 않다[3][16]. 따라서 단순히 그래프를 읽어주는 방식에서 벗어나, 시각 자료를 구조적·논리적으로 이해할 수 있는 통합적 접근 방식이 필요하다[17].

최근 GPT 기반 대규모 언어 모델(Large Language Model)과 멀티모달 AI 시스템은 이러한 한계를 극복할 가능성을 보여준다. 이들 기술은 시각 자료를 자동으로 텍스트로 변환하고, 자연어 기반의 설명과 질의응답 기능을 제공함으로써, 시각장애 학습자가 그래프의 구조와 의미를 능동적으로 이해할 수 있도록 지원한다[18][19]. 특히 LLM 기반 접근은 단순 정보 전달을 넘어, 학습자의 이해 수준에 맞춘 유사 문제 생성, 단계적 해설 제공 등 맞춤형 학습 경험을 가능하게

한다. 이는 기존 보조 기술이 제공하지 못했던 상호작용적 학습 경험을 제공하며, 시각장애 학생의 학습 동기와 참여도를 높이는데 기여할 수 있다[12][20][21].

따라서 본 연구는 저시력자를 포함한 시각장애 학습자를 대상으로 음성 및 텍스트 입력을 통한 문제 제시, LLM API (Large Language Model Application Programming Interface)를 활용한 개념 설명 및 예제·문제 자동 생성, 함수와 그래프의 언어적 설명 및 교차점·변화 특성 해석, TTS 기반 음성 출력 지원을 통합한 수학 학습 지원 시스템을 설계·분석하여 학습자의 수학 학습에서 그래프 및 시각 자료의 접근성 향상 및 통합적 접근이 가능하도록 하는 것을 목표로 한다. 이를 통해 기존 보조 기술의 한계를 보완하고, 학습자가 그래프에서 의미 있는 정보를 직접 이해하며 문제 해결 능력을 향상시킬 수 있는 새로운 교육적 환경을 제시하고자 한다.

2. 연구배경

2.1 LLM과 LLM API

대규모 언어 모델은 대량의 텍스트 데이터를 기반으로 언어 이해 및 생성 능력을 학습한 딥러닝 모델을 말한다. LLM은 문장 생성, 요약, 질의 응답, 번역 등 다양한 자연어 처리 작업을 수행할 수 있으며, 최근에는 교육 분야로의 확장이 활발히 논의되고 있다. 특히 LLM은 개념 설명 생성, 문제 자동 생성, 학습자 질의에 대한 응답 제공 등에서 활용 가능성이 제기되며, 기존의 정적 학습 자료를 동적·상호작용적 학습 콘텐츠로 전환할 수 있는 잠재력을 지닌다[22].

LLM API는 대형 언어 모델의 기능을 외부 소프트웨어 애플리케이션에 연결·제공하기 위한 프로그래밍 인터페이스로, 개발자가 LLM의 자연어

처리 및 생성 기능을 직접 구현하지 않고도 HTTP 요청/응답을 통해 언어 생성, 질의응답, 텍스트 요약 등 기능을 호출할 수 있도록 한다. 이를 통해 모델을 별도의 인프라 없이도 응용 시스템에 통합할 수 있으며, 다양한 실세계 애플리케이션에서 LLM 기반 기능을 손쉽게 활용할 수 있게 한다[23].

2.2 LLM API의 서비스 구조 및 특징

LLM API의 서비스 구조는 그림 1과 같이 크게 Client Layer, API Gateway Layer, Model Layer의 3층 구조로 나타낼 수 있다. Client Layer는 사용자 인터페이스(UI) 및 요청 계층이며 API Gateway Layer는 인증(API Key), 속도 제한(Rate Limiting), 요청·응답 형식을 변환하는 계층이고 Model Layer는 실제 추론을 실행하는 GPU 가속 서버 환경 계층이다[24].

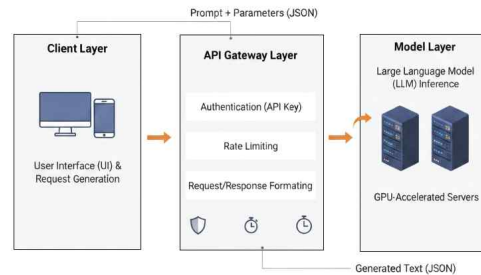


그림 1. LLM API 서비스 구조
Fig. 1. LLM API Service Architecture

LLM API는 클라우드 기반 인프라에서 대형 언어 모델의 추론 기능을 외부 애플리케이션에서 호출할 수 있으므로 RESTful HTTP 요청·응답 구조와 프롬프트 기반 제어 방식을 특징으로 한다[25][26]. 이러한 구조는 대규모 모델을 별도의 인프라 구축 없이 활용할 수 있게 하며, 확장성과 실시간 상호작용성을 제공한다[27]. LLM API로는 OpenAI의 GPT, Google의 Gemini,

Anthropic의 Claude, DeepSeek-AI의 DeepSeek 등이 있다[22].

2.3 LLM의 교육적 활용 가능성

최근 연구들은 LLM 기반 교육 지원 시스템이 학습자의 이해도 향상, 학습 지속성 강화, 개별화 피드백 제공 측면에서 긍정적 효과를 보인다고 보고된다. 특히 지능형 튜터링 시스템과 결합할 경우, 학습자의 반응에 따라 설명 방식을 조정하는 적응형 학습이 가능하다[28].

시각장애를 가지는 학습자의 수학교육 지원을 위해서는 단순한 대체 자료 제공을 넘어 학습자의 입력에 따라 단계적 설명을 생성하고 난이도를 조정할 수 있는 상호작용형 도구가 필요하다. LLM 기반 AI는 접근성을 강화하고 학습자의 개별 요구에 따른 맞춤형 지원을 제공함으로써 이러한 요구에 부합할 수 있다[29][30]. 특히 수학처럼 구조적 이해가 필요한 영역에서는 자연어 기반 설명·요약·문제 분해 기능은 시각장애를 가지는 학습자의 이해를 도울 수 있다. 따라서 AI 기반 언어적 접근 보조가 보조공학 기술과 결합할 때 효과가 클 것으로 전망된다[31].

3. 관련 연구

3.1 수학 교육 프로그램 연구

시각장애 학습자를 대상으로 한 수학 교육 프로그램 연구는 주로 교수·학습 중재 전략의 효과성 검증과 보조공학 활용 가능성 탐색을 중심으로 이루어져 왔다. 초기 연구들은 암산 및 필산 중심의 계산 능력 향상, 촉각 자료를 활용한 개념 지도, 그리고 점자 및 공학기기를 활용한 학습 환경 조성에 초점을 맞추었다.

이러한 연구들은 실제 교육 현장에서 시각장애 학생을 지도한 교사들의 경험적 분석과 면담

을 기반으로, 효과적인 교수 전략과 학습 지원 방안을 도출하는데 기여하였다. 특히 촉각 교구나 점자 자료의 활용은 시각적 정보 접근의 한계를 보완하는 실질적인 대안으로 제시되었다.

그러나 대부분의 연구는 교사 주도형 교수 방식이나 사전에 설계된 정적 학습 자료 제공에 머무르는 경향을 보였으며, 학습자의 질문이나 이해 수준 변화에 따라 실시간으로 상호작용하는 학습 환경에 대한 논의는 제한적이었다는 한계를 지닌다[32].

3.2 함수 및 그래프 지도 관련 연구

함수 및 그래프 지도와 관련된 연구들은 시각장애 학생이 2차원 공간 정보를 이해하는데 직면하는 인지적·기술적 한계를 집중적으로 분석하였다. 기존 연구들은 시청각 대체 기술만으로는 그래프의 전체 구조와 변수 간 관계를 충분히 전달하기 어렵다는 점을 지적한다.

이에 따라 청각 및 촉각 기반 그래프 표현 기술을 활용하여 시각 정보를 다중 감각적으로 재구성하려는 시도가 이루어졌으며, 이는 그래프 정보를 순차적·구조적으로 이해하도록 돕는 가능성을 보여주었다.

그러나 이러한 접근 역시 그래프 설명이 사전에 고정된 방식으로 제공되는 경우가 많아, 학습자의 질문이나 오개념에 즉각적으로 대응하기 어렵다는 한계를 지닌다[1].

3.3 보조공학 기반 수학 학습 지원 시스템 연구

보조공학 기반 수학 학습 지원 시스템 연구는 점자 변환, 촉각 그래픽, 조작형 교구, 전자 공학 기기 등을 중심으로 발전해 왔다. 이러한 시스템들은 시각장애 학생이 수학적 기호와 구조를 인식하고 조작할 수 있도록 돕는데 목적을 두고 있다.

연구 결과, 보조공학 도구의 활용은 학습 접근성을 향상시키는 데 긍정적인 영향을 미치는 것

으로 나타났으나, 대부분의 시스템은 기능 중심적 도구 제공에 초점을 두고 있으며, 학습자의 사고 과정을 지원하는 대화형·인지 지원 기능은 제한적이다[33].

3.4 AI 및 LLM 기반 교육 지원 시스템 연구

최근 AI 및 대규모 언어 모델(LLM)을 활용한 교육 지원 시스템 연구는 교육공학 분야에서 빠르게 확산되고 있다. 이들 연구는 자연어 기반 질의응답, 개별화된 피드백 제공, 지능형 튜터링 시스템 구현 가능성을 중심으로 학습 효과를 분석한다.

체계적 문헌 고찰 연구에 따르면, LLM은 학습자의 질문에 즉각적으로 응답하고, 동일 개념을 다양한 표현 방식으로 설명함으로써 학습 이해도를 향상시키는 데 효과적인 도구로 평가된다. 그러나 이러한 연구들은 주로 일반 학습자 또는 온라인 학습 환경을 대상으로 하며, 시각장애 학습자의 감각적 특성과 접근성을 고려한 연구는 거의 이루어지지 않았다[28].

3.5 국내·외 연구 동향 및 선행연구 분석

국내의 시각장애 수학교육 연구는 학습자의 수학 학습 태도 및 인식, 정의적 특성, 중재 프로그램의 효과성을 중심으로 진행되어 왔다. 특히 시각장애 학생의 수학에 대한 태도와 인식이 학습 동기 및 학업 성취에 유의미한 영향을 미친다는 점이 다수의 연구를 통해 보고되었다.

이러한 연구들은 시각장애 학생의 낮은 학습 성취가 단순히 인지적 한계가 아닌, 학습 경험과 환경적 요인과 밀접하게 연관되어 있음을 밝힘으로써 교육적 지원의 중요성을 강조하였다. 이는 이후 보조공학 활용 연구의 이론적 토대를 제공했다는 점에서 의미가 있다.

다만 국내 연구의 경우, 기술 기반 학습 지원 시스템 자체를 설계·구현한 실증 연구는 상대적

으로 부족하며, 최신 AI 기술이나 자동화된 학습 지원 도구를 적용한 연구는 아직 초기 단계에 머물러 있다[33].

국외 연구에서는 시각장애 수학교육을 보다 기술 중심적 관점에서 접근하는 경향이 두드러진다. 특히 그래프, 도형, 공간 정보와 같이 시각 의존도가 높은 수학적 요소를 비시각적 방식으로 전달하기 위한 기술 개발이 활발히 이루어져 왔다.

그래프 정보 전달 기술에 관한 연구들은 촉각 디스플레이, 음성 안내, 다중 감각 인터페이스 등을 활용하여 시각 정보를 재구성하는 다양한 시도를 제시하였다. 이러한 연구들은 시각장애 학습자가 함수와 그래프 개념을 학습할 수 있는 기술적 가능성을 제시했다는 점에서 중요한 연구 기반을 형성한다.

그러나 이러한 기술들은 주로 정보 전달 자체에 초점을 맞추고 있으며, 학습자의 반응이나 이해 수준에 따라 설명 방식이 변화하는 적응형 학습 시스템으로의 확장은 제한적이었다[34].

이상의 선행연구를 종합하면, 시각장애 수학교육 연구는 보조공학 도구 개발과 교수 전략 탐색을 통해 학습 접근성 향상에 기여해 왔다. 그러나 이러한 연구들은 주로 정적 학습 자료 제공과 도구 중심 접근에 머무르고 있으며, 학습자의 반응에 따라 설명과 상호작용이 변화하는 동적 학습 지원 시스템에 대한 연구는 매우 제한적이다.

특히 함수 및 그래프와 같은 시각 의존도가 높은 수학 개념을 대상으로, 다중 감각적 설명과 LLM 기반 상호작용을 결합한 통합적 학습 지원 시스템 연구는 거의 존재하지 않는다는 점이 명확한 연구 공백으로 도출된다.

이에 본 연구는 LLM API를 활용하여 시각장애 중·고등학생을 위한 함수 및 그래프 학습 지원 시스템을 설계하고, 음성 및 텍스트 중심의 상호작용을 통해 기존 연구의 한계를 보완하고자 한다는 점에서 학문적·실천적 의의를 가진다.

4. 연구방법

4.1 연구개요

본 논문에서는 저시력자를 포함한 시각장애를 가진 중·고등학생들을 대상으로 시각적 정보에 대한 의존도가 높은 수학 교육의 구조적 한계를 개선하고 학습 접근성을 강화하여 학습자의 수학적 이해와 문제 해결 능력을 향상시키기 위해 LLM API 기반의 수학 학습 지원 시스템을 제안한다. 제안한 시스템은 음성 및 텍스트, LLM API 기반 문제 생성을 통해 문제 입·출력이 가능하고 원하는 함수에 대한 개념 및 특징 파악, 그래프 표현 및 설명 등이 포함되어 학습자의 이해를 돕고자 하였다. 그림2는 제안한 시스템의 순서도이다.

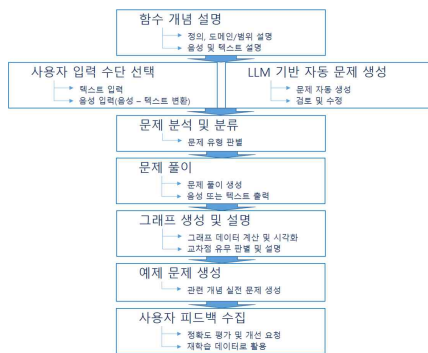


그림 2. 시스템 순서도
Fig. 2. System Flowchart

제안한 시스템은 학습자가 유형별 함수의 특징을 확인할 수 있으며 음성 및 텍스트, LLM API를 이용하여 문제 생성하여 입력 가능하다. 입력된 문제에 대해 문제를 유형별로 분석 및 분류한 다음 문제를 풀어주고 이를 음성이나 텍스트로 출력이 가능하다. 이때 함수의 특징에 따라 그래프가 생성되고 설명이 출력되며 관련 예제 문제를 원할 경우 같은 유형의 문제가 추가되어 함수의 특징 및 관계를 확인할 수 있다. 또한 추

가 예제들에 따라 어려움이 있는 함수 유형에 대해 피드백을 받을 수 있다. LLM API 기반의 학습자의 질의에 따른 함수의 개념 및 문제 생성, 결과 출력, 음성 지원 구조는 시각적 정보 접근이 제한된 학습자에게 실시간 상호작용이 가능한 수학 학습 환경을 제공해줄 수 있다.

4.2 개발환경

제안한 시스템은 Anaconda 25.11.0로 제작하였으며 음성 및 LLM API 지원을 위해 pyttsx3 2.99, speechrecognition 3.14.5, google-genai 1.62.0, google-generativeai 0.8.6 패키지를 설치하였으며 데이터 처리 및 수학 함수 생성 및 표현, 그래프 생성 등을 위해 more-itertools 10.8.0, matplotlib 3.10.6, numpy 2.3.5, sympy 1.14.0 등의 패키지를 설치하였다. 표 1은 시스템의 개발 환경이고 표 2는 설치한 패키지별 역할과 기능을 정리한 목록이다.

그림 3은 시스템을 실행시킨 화면으로 GUI는 저시력자를 포함한 시각장애가 있는 학생들이 사용하기 편리하도록 버튼의 크기와 색을 조절하여 단순하게 제작하였다. 시스템은 사용자가 원하는 개념을 파악하고 예시로 출력되는 함수들의 특성이나 그래프를 확인할 수 있도록 하였다. 또한 원하는 형태의 함수를 추가하여 서로를 비교할

표 1. 시스템 개발 환경

Table 1. System Development Environment

Device	Specifications
Processor	Intel(R) Core(TM) i5-9500
Memory	16.00GB
HDD	SAMSUNG MZNLN256HAJQ000H1
	TOSHIBA DT01ACA100
OS	Windows 11 Home
Cording Tool	Anaconda 25.11.0
Installed Package	openai 2.16.0 google-genai 1.62.0 google-generativeai 0.8.6 speechrecognition 3.14.5 pyttsx3 2.99 more-itertools 10.8.0 matplotlib 3.10.6 numpy 2.3.5 sympy 1.14.0

표 2. 설치 패키지 목록
Table 2. Installed Package List

분류	패키지 · 모듈명	주요 역할 및 기능
인공지능 (AI)	genai	LLM 연동 : Gemini(Google) API를 사용하여 대화형 AI 기능구현
음성 기술 (Audio)	pyttsx3, speech_recognition	TTS & STT : 텍스트 음성 지원(pyttsx3), 사용자 음성 텍스트 변환(speech_recognition)
수학 및 계산 (Math)	sympy, math, numpy, itertools	전문 계산 : 기호 수학 연산(sympy), 기초 수학 함수(math), 행렬 및 수치 계산(numpy), 조합 계산(combinations) 수행
그래프 시각화 (Plot)	matplotlib, FigureCanvasTkAgg	데이터 시각화 : 수학 함수 및 데이터 그래프 생성 및 GUI 지원(tkinter)
사용자 인터페이스 (GUI)	tkinter, msgbox	GUI 제작 : 프로그램의 기본 윈도우 창 생성, 버튼, 입력창, 알림 팝업창 등 배치
텍스트 및 시스템 (System)	re, os, random, time	유틸리티 : 정규 표현식 기반 문자열 처리(re), 파일/경로 제어(os), 난수 발생(random), 시간 지연(time) 기능 수행

수 있도록 하였다. 여기에 음성 지원 기능을 주어 음성으로 듣고 확인할 수도 있다.



그림 3. 시스템 실행 화면
Fig. 3. System Execution Screen

4.3 주요 기능 구현

본 시스템은 시각장애 학습자의 접근성을 고려하여 기능을 설계하였다. 주요 기능으로는 음

성 및 텍스트 입력, TTS 기반 음성 및 텍스트 출력, LLM API 연동, 수학 문제 생성 및 표현, 수학 개념 설명 및 예제 제공, 그래프 생성 및 함수 설명으로 나타낼 수 있다.

1) 음성 및 텍스트 입력

입력은 시각장애 학습자의 신체적인 특성 고려와 사용자 환경의 다양성, 입력 방식의 유연성을 확보하기 위해 음성과 텍스트 직접 입력을 병행 지원하는 구조로 설계하여 내부 수학적 형식화 과정은 통합 구조를 따르도록 하였다.

음성 입력의 경우, Python 기반의 speech_recognition 라이브러리를 활용하여 Google Web Speech API와 연동하여 음성 입력을 텍스트로 변환하는 방식을 사용하였다. 변환된 텍스트는 음성·기호 치환 규칙을 적용하여 정규화를 수행하였다. 예를 들어 “와이”는 $y=$ 으로, “마이너스”는 $-$ 로, “싸인”은 \sin 로, “로그”는 \log 로의 수학 기호 체계로 매핑하여 규칙에 기반한 사전 처리 과정을 거쳤다. 또한 정규화된 텍스트는 정규표현식을 이용하여 각 함수 유형에 따라 분류하였는데 이때 각 수식은 대괄호를 이용하여 수식 영역을 분리하여 ('linear', a, b), ('quadratic', a, b, c), ('log', a, b), ('exp', a, b), ('trig', func, a, b)와 같이 계수 기반 구조로 변

환하여 매개변수를 튜플 형태로 처리하였다.

텍스트 입력의 경우, 사용자가 직접 수학적 식을 입력하며 바로 정규화 및 수식 판별 단계로 넘어가도록 하였다. 괄호를 포함한 표현을 허용하였고 지수 표현인 a^b 을 허용하였으며 다중 함수의 입력이 가능하도록 하였고 중복 함수의 자동식별 및 분리하여 저장하도록 하였다.

2) TTS 기반 음성 및 텍스트 출력

출력은 계산 결과 및 수식 정보를 음성으로 재구성하여 지원하거나 텍스트로 지원하였다.

음성 지원의 경우, 수학적 객체를 다시 자연어 음성 표현으로 역변환하여 지원되도록 하였다. 예를 들어, ('linear', a, b)는 "y는 a x 더하기 b인 일차함수입니다."와 같이 표현하였다. 이 과정에서 계수 보호 처리 및 계수가 0이면 해당 표현식 삭제, 계수가 1이면 간략화, 음수 자연어 변환 등의 규칙을 적용하여 수학적 형식을 음성 친화적으로 재매핑하였다. 또 지수 함수의 경우, 모든 a^x 는 $a^x = e^{(\ln a)x}$ 형태로 통합되지만 음성 출력 시에는 다시 사용자 친화적 표현으로 변환하였다.

3) LLM API 연동

본 연구에서 제안하는 시스템은 시각장애를 가지는 학습자의 접근성을 고려한 LLM API 연동 기반 수학교육 지원 구조이다. 사용자의 요청은 google-genai (ver. 1.62.0) 엔진을 통해 통합 관리되도록 하였으며 LLM Engine과의 API 통신을 거쳐 실시간으로 처리하였다. 특히, 레거시 모델과의 호환성을 위해 google-generativeai (ver. 0.8.6)를 하위 호환 계층으로 두어 안정적인 서비스를 지원하였다.

학습자가 음성이나 텍스트를 통해 직접 문제를 입력하거나 LLM API를 통해 학습 범위와 문제 유형을 반영한 단계적인 문제 생성 및 입력도

가능하다. LLM API를 통해 생성된 문제들은 SymPy 라이브러리[35]를 이용하여 구조적 수식 표현으로 변환하여 수학적 기호 및 연산 구조를 분석하였다.

4) 수학 문제 생성 및 표현

본 연구에서는 다양한 수학 개념을 학습자에게 제공하기 위해 확률 기반 수학 문제 생성 및 표현 모듈을 설계하였다. 제안된 모듈은 저시력자를 포함한 시각장애 학습자를 대상으로 하는 수학 문제 생성 및 표현 시스템의 초기 모델로서 1차 방정식, 2차 방정식, 로그함수, 지수함수, 삼각함수의 다섯 가지 유형만을 대상으로 한정하였다. 이러한 범위 설정은 단순한 교육과정 선택이 아니라, 수학적 구조의 대표성, 함수족의 확장성, 그리고 표현 체계의 형식적 완결성을 기준으로 결정하였으며 모듈화를 통해 이후 추가 확장가능하다.

먼저, 각 문제 유형을 다음과 같이 형식화하였다.

$$\text{1차 방정식 : } L(x; a, b) = ax + b, \quad a \neq 0$$

$$\text{2차 방정식 : } Q(x; c, d, e) = cx^2 + dx + e, \quad c \neq 0$$

$$\text{로그함수 : } \Lambda(x; a, b) = a \log(x + b), \quad x > -b$$

$$\text{지수함수 : } E(x; a) = a^x, \quad a > 0, a \neq 1$$

$$\text{삼각함수 : } T(x; f, a, b) = af(bx), \quad f \in \{\sin, \cos, \tan\}$$

문제유형별 형식화에 따라 매개변수화가 명확한 함수 구조를 가지도록 프로그램 내부에서 (type, parameters) 형태의 객체로 저장하여, 문제 생성·그래프 생성·음성 변환 모듈이 동일한 데이터 구조를 참조하도록 설계하고 유형에 대해 수학적 제약 조건을 추가하였다. 예를 들어, 1차·2차 방정식의 최고차항의 계수는 0이 아니며, 로그 정의역의 조건으로는 $x > -b$ 이어야 한다. 지수함수의 밑 $a > 0, a \neq 1$ 이고 삼각함수의 주기 조건 등이다. 이와 같은 조건은 난수 생성 단계에서 필터링 규칙을 명확히 하고자 함이다.

본 시스템은 수식을 단순 문자열이 아니라 구조적 객체로 저장하여 수식 텍스트 출력, 그래프 렌더링, 음성 기반 선형 표현 변환을 수행하였다. 문제 유형은 모두 단일 함수 형태로 표현 가능하여 음성 변환 시 중첩 구조가 과도하게 증가하지 않도록 하여 청각 정보로 변환하는 과정에서 구문 복잡도를 통제하고자 하였다.

또한 상위 추상 클래스를 정의하고 하위 클래스에서 매개변수와 제약 조건만 확장하도록 설계하여 이후 고차 다항식, 합성함수, 역삼각함수 등으로 확장이 가능하도록 하였다. 그리고 계산 복잡도가 안정되도록 문제유형들을 모두 단한 형태를 가지게 하였는데 이는 실시간으로 다양한 형태의 문제 생성 및 피드백 시스템 구현에 적합하다.

5) 수학 개념 설명 및 예제 제공

수학 개념 설명 및 예제 제공 모듈은 문제 생성 함수와 연동되어 동작하는 통합 구조로 설계하였으며 수학 문제의 매개변수 기반 생성, 생성된 문제의 내부 객체 저장, 해당 개념에 대한 구조적 설명 제공을 동시에 수행하도록 하여, 문제 생성과 개념 설명이 분리되지 않고, 하나의 함수 호출 과정 안에서 통합적으로 처리되도록 구현되었다. 또한 예제 문제를 추가할 경우 기존에 생성된 그래프, 함수 설명이 있는 노트패드에 누적되도록 하여 기존의 함수와 비교해 볼 수 있으며 교점이 발생한다면 교점 역시 추가된다. 이때 그래프와 노트패드에 누적된 함수들이 서로 다른 유형의 함수들일지라도 ‘연습하기’ 기능을 통해 누적된 유형의 함수들과 같은 유형으로 함수 간의 관계를 확인할 수 있어 이해도를 향상시킬 수 있다.

6) 그래프 생성 및 함수 설명

본 시스템의 그래프 생성 및 함수 설명 모듈은

내부 수학 객체 저장소, equations를 중심으로 동작하는 시각화 - 해석 - 설명을 통합하여 처리하도록 설계하였으며 시스템의 처리 흐름은 그림 4와 같다.

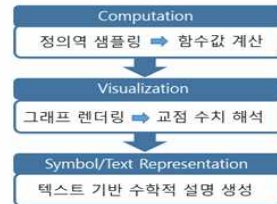


그림 4. 그래프 생성 및 함수 설명 모듈 흐름

Fig. 4. Graph creation and function description module flow

단순 시각화 기능이 아니라 수학 객체를 수치적으로 해석하고 그 결과를 시각적·텍스트적 표현으로 동시에 변환하고자 하였다.

그래프 생성 과정에서 정의역 구간 $[-10,10]$ 을 1000개로 균등 분할해 이산화하여 (type, parameters) 구조를 가지는 함수 객체를 기반으로 벡터 연산을 수행하였고 교점 정보는 두 함수의 차가 0이 되는 것을 만족하는 x 를 수치적으로 근사하여 구하였다. 또한 $ax.plot()$ 을 통해 다중 함수를 일괄 시각화하였고 교점은 빨간색을 통해 강조하였으며 좌표 값은 실시간 텍스트를 주석으로 표시하였고 범위는 계산 결과의 안정성을 보장하기 위해 각각 $-10 \leq x \leq 10$, $-50 \leq y \leq 50$ 로 제한하였다.

함수 설명은 노트패드를 이용하여 표현하였는데 수식 표기 최적화를 위해 계수 1, -1 자동 생략, 부호 자동 정규화, 0항 제거 등 수식을 출력할 때 가독성 향상을 위해 표현 방식의 정규화를 수행하였다. 또한 1차 함수의 경우 기울기, 절편, 2차 함수의 경우 판별식, 근의 개수 분류, 꼭짓점 좌표 계산 등 함수의 유형별 해석 정보를 자동으로 계산하여 설명부분에 도출되도록 설계하였다.

본 시스템은 계산 계층, 시각화 계층, 기호/텍스트 표현 계층을 분리하면서도 동일한 내부 수학 객체를 공유하는 구조로 설계하였다. 이는 일관성과 확장성을 확보하여 음성 변환 등 표현 계층의 결합 과정에서 내부 구조의 변경 없이 확장이 가능하도록 함이다.

5. 연구결과

본 연구에서 설계한 저시력자를 포함한 시각 장애를 가진 학습자를 위한 LLM API 기반 수학 학습 지원 시스템은 학습자의 음성 입력 후 텍스트로의 변환 또는 직접 텍스트 입력, LLM API를 통한 문제 생성 및 입력이 가능하도록 하였다. 입력된 명령어에 대해 수학 개념 및 특징 설명, 예제 문제 및 추가 연습 문제 생성, 그래프 표현 및 함수설명, 교차점 유무와 정보 등을 제공하여 학습자의 개념 이해를 지원하도록 설계하였다.

시스템 테스트 결과, 학습자가 원하는 유형의 문제를 음성 또는 텍스트로 입력하거나 LLM API를 통해 명령어를 전달할 경우 설명의 난이도와 문제의 분량을 조절할 수 있었다. 예를 들어, “...쉽게 설명해줘”와 같은 명령이 입력될 경우, 쉬운 문제 생성이 가능하며, “...1차 방정식과 지수함수에 대해 설명해줘” 라는 명령이 입력될 경우, 1차 방정식과 지수함수에 대한 함수 설명과 함께 예제 문제가 생성되며 그래프 표현 및 관련 설명들이 출력되게 된다. 이는 정적 자료 기반 보조공학과 차별되는 상호작용적 생성 특성으로 해석될 수 있다.

표 3은 텍스트 명령어 입력, 표 4는 음성 명령어 입력, 표 5는 LLM API를 통한 명령어 입력에 따른 출력 결과이다. 학습자가 명령어 실행 이후에도 다른 유형의 문제를 추가할 수 있으며,

새로운 입력이 이루어진 후에도 기존 출력 결과에 누적되어 그래프와 함수 설명이 표현되며 아래 표 6과 같다.

표 3. 텍스트 명령어 입력시 출력 결과 화면
Table 3. Text Command Result Screen

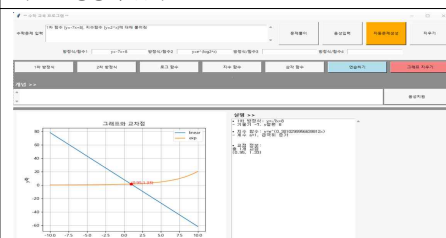
명령어	1차 함수 $[y=-7x+8]$, 지수함수 $[y=2^x]$ 에 대해 풀어줘
타입	텍스트 명령어 입력
결과	

표 4. 음성 명령어 입력시 출력 결과 화면
Table 4. Voice Command Result Screen

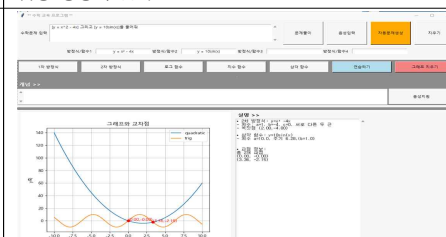
명령어	$[y = x^2 - 4x]$ 그리고 $[y = 10\sin(x)]$ 를 풀어줘
타입	음성 명령어 입력
결과	

표 5. LLM API를 통한 명령어 입력시 출력 결과 화면
Table 5. LLM API Command Result Screen


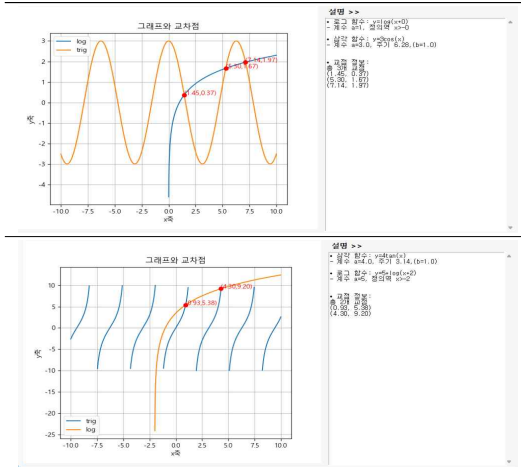
명령어	2차 함수 $[y=x^2-4x+3]$, 삼각함수 $[y=\sin(x)+\cos(x)]$
타입	LLM API를 통한 명령어 입력
결과	

표 6. 추가 기능에 대한 누적 결과 화면
Table 6. Cumulative Results for Additional Functions



Python 기반 speech_recognition 라이브러리와 Google Web Speech API를 활용한 음성-텍스트 변환 과정에서 수학 용어가 포함된 긴 한국어 명령어의 인식률이 낮고 함수 추출 오류가 발생하였다. 이를 개선하기 위해 전처리 및 후처리 과정을 보완하고 Recognizer 파라미터를 조정하였다. 그 결과 기존 코드 대비 약 10~25% 수준의 인식 안정화와 수학적 인식 오류 감소가 확인되었다.

6. 결론 및 제언

6.1 결론

본 연구에서 저시력자를 포함한 시각장애 학습자를 위한 수학 학습 지원 시스템을 설계하고, 음성 입력, 텍스트 입력, LLM API 기반 명령어 입력을 통합적으로 지원하고, 입력된 명령어에 따라 수학 개념 설명, 예제 및 추가 문제 생성, 그래프 표현, 함수 설명, 함수 관계 분석 등을 제공하는 구조를 제안하였다. 기존의 시각 중심의 수학교육 환경에서는 그래프, 수식 배열, 판서 구

조 등 시각적 정보에 대한 의존도가 높아 시각장애 학습자의 개념 이해에 한계가 존재하였다. 따라서 수식의 구조적 표현과 단계적 풀이 중심의 설명을 결합한 학습 지원 방식을 통해 이러한 문제를 해결하고자 하였다.

특히, 수학적 유형과 계수의 조합으로 표현하는 생성 기반 구조를 도입함으로써 다양한 문제를 자동으로 생성할 수 있도록 하였으며, 이를 바탕으로 LLM을 활용한 난이도 조절도 가능하도록 설계하였다. 또한 수식의 구조를 음성 친화적으로 변환할 수 있는 기반을 마련함으로써, 시각장애 학습자의 장애 정도에 따라 입력 방법을 선택할 수 있는 학습 환경이 가능한 시스템을 구현하였다.

제안한 시스템은 먼저 일차·이차방정식, 지수 함수, 로그함수, 삼각함수를 중심으로 적용 범위를 설정하였으며, 이후 범위를 추가·확장이 가능하도록 설계하였는데 이는 수식의 구조적 명확성과 단계적 설명 가능성을 고려한 결과이다. 이를 통해 학습자는 단순한 정답 확인을 넘어 문제 해결 과정에 대한 이해를 강화할 수 있다.

결과적으로 본 연구는 LLM 기반 기술을 활용하여 시각장애 학습자의 수준과 상호작용에 따라 유연하게 교육 환경을 제공함으로써 시각장애 학습자의 수학 학습 접근성을 향상시키고, 자기 주도적 학습이 가능한 시스템 설계 방향을 제시하였다. 다만 소규모 개발 연구라는 한계를 가지므로 향후 다양한 학습 집단을 대상으로 한 추가적인 검증이 필요하다.

6.2 제언

연구 결과를 토대로 다음과 같이 제언한다.

첫째, 시각장애 학생의 수학 학습 효과를 체계적으로 검증하기 위해 장기적인 대규모 후속 연구가 필요하다. 특히 학년 및 개념 영역별로 생성기반 구조가 학습 성취도에 미치는 영향을 분

석할 필요가 있다.

둘째, 접근성 향상을 위해 음성 중심의 설명에 촉각 자료, 구조화된 텍스트, 수식의 단계적 분해 표현을 결합한 다중 감각의 통합적 설계 연구가 요구된다.

셋째, 생성형 AI 기반 학습 지원 시스템을 실제 학교 수업과 연계할 수 있는 운영 모델의 개발이 필요하다. 개별화교육계획과 연동하여 교사와 AI가 협력하는 교수·학습 구조를 마련해야 한다.

넷째, 정보격차 완화를 위해 디지털 학습 인프라 구축과 정책적 지원이 병행되어야 하며, 기술 접근성 및 교사 연수 체계의 개선이 필요하다.

다섯째, 생성형 AI 활용에 따른 정확성, 오류 가능성, 학습 의존성 등을 고려한 교육적·윤리적 기준 마련이 요구된다.

또한 향후 연구에서는 통제집단을 포함한 실험 설계를 통해 효과를 실증적으로 검증할 필요가 있다. 사전·사후 검사와 함께 장기 추적을 실시하여 개념 유지도와 학습 전이 효과를 분석하고, 설명 유형에 따른 학습 성취도 및 문제 해결 과정의 차이를 검증함으로써 연구 결과의 일관성과 재현 가능성을 확보해야 한다.

참 고 문 헌

- [1] J. S. Lee, H. K. Kim, H. S. Shin, C. R. Yoo, H. K. Jee, Y. H. Gil, "Trends and Prospects of Graphs Visualization Technology for the Blind and Visually Impaired People", *Electronics and Telecommunications Trends*, 31(6), pp.127-134, 2016.12, DOI:10.22648/ETRI.2016.J.310614.
- [2] M. Maćkowski, M. Kawulok, P. Brzoza, M. Janczy, D. Spinczyk, "An Alternative Audio Tactile Method of Presenting Structural Information Contained in Mathematical Drawings Adapted to the Needs of the Blind", *Applied Sciences (MDPI)*, 13(17), 9989, 2023.9, DOI:10.3390/app13179989.
- [3] D. Spinczyk, M. Maćkowski, W. Kempa, K. Rojewska, "Factors influencing the process of learning mathematics among visually impaired and blind people", *Computers in Biology and Medicine*, 104, pp.1-9, 2019.1, DOI:10.1016/j.compbimed.2018.10.025.
- [4] S. Burgstahler, "Teaching mathematics to students who are blind or visually impaired", *DO-IT*, University of Washington, 2006, <https://doit.uw.edu/publication/making-math-science-and-technology-instruction-accessible-to-students-with-disabilities/print.2026.02.08>.
- [5] A. J. Smith, C. A. Smothers, "Assistive technology for students with visual impairments in mathematics". *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 106,(7), pp.404 - 416, 2012.
- [6] K. Kapperman, T. Sticken, L. Heinze, "Mathematical problem-solving for students with visual impairments", *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 94(10), pp.646 - 657, 2000.
- [7] E. M. Al-Azawei., P. Serenelli., and K. Lundqvist, "Universal design for learning (UDL): A content analysis of peer-reviewed journals from 2012 to 2015". *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning*, 16(3), pp.39 - 56, 2016, DOI:10.14434/josotl.v16i3.19295.
- [8] M. Okonkwo. and S. Ade-Ibijola, "Chatbots applications in education: A systematic review". *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2, 100033, 2021, DOI:10.1016/j.caeai.2021.100033.
- [9] F. N. Aktas, and Z. Argun, "Students with visual impairments' comprehension of

- visual and algebraic representations, relations and correspondence”. *Education Sciences*, 15(8), 1083. 2025, DOI : 10.3390/educsci15081083.
- [10] R. Dobrescu and C. Dardala, “Alternative audio-tactile method of presenting structural information contained in mathematical drawings adapted to the needs of the blind”, *Applied Sciences*, 13(17), 9989. 2025, DOI:10.3390/app13179989.
- [11] M. Maćkowski, P. Brzoza, D. Spinczyk, “An alternative method of audio-tactile presentation of graphical information in mathematics adapted to the needs of blind”, *International Journal of Human-Computer Studies*, 179, 103122. 2023, DOI:10.1016/j.ijhcs.2023.103122.
- [12] M. Shoaib, D. Fitzpatrick, I. Pitt, “Assistive technology-based solutions in learning mathematics for visually impaired people: Exploring issues, challenges and opportunities”, *Springer Nature, Multimedia Tools and Applications*, 82, pp.46153 - 46184, 2023, DOI:10.1007/s11042-023-17409-z.
- [13] A. Nazemi, C. Fernando, I. Murray and D. A. McMeekin, “Accessible and navigable representation of mathematical function graphs to the vision-impaired”, *Computer and Information Science*, 9(1), pp.31 - 45, 2017, DOI : 10.5539/cis.v9n1p31.
- [14] O. Moured, M. Baumgarten Egemole, A. Roitberg, K. Müller, T. Schwarz, R. Stiefelwagen, “Chart4Blind: An Intelligent Interface for Chart Accessibility Conversion”, *arXiv preprint*, 2024. DOI:10.48550/arXiv.2403.0669.
- [15] M. Z. I. Alam, S. Islam, E. Hoque, “SeeChart: Enabling Accessible Visualizations Through Interactive Natural Language Interface For People with Visual Impairments”, *IUI*, 2023. DOI:10.1145/3581641.3584099.
- [16] K. T. Zebehazy, A. P. Wilton, “Graphic reading performance of students with visual impairments and its implication for instruction and assessment”, *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 115(3), pp.215 - 227, 2021. DOI:10.1177/0145482X211016918.
- [17] E. Dzierzgowska, M. Maćkowski, M. Kawulok, P. Brzoza, D. Spinczyk, “Alternative audio graphic method for presenting structural information in mathematical graphs designed for low vision users”, *Scientific Reports*, 15, Article 21972, 2025. DOI:10.1038/s41598-025-07710-2.
- [18] J. S. Park, Y. S. Lee, “Exploring GPT based Multimodal AI for Generating Automated Image Descriptions for Learners with Visual Impairments”, *Korean Journal of Visual Impairment Studies*, 41(3), pp.23 - 44, 2025. DOI:10.35154/kjvi.2025.41.3.23.
- [19] J. Gorniak, Y. Kim, D. Wei, N. W. Kim, “VizAbility: Enhancing Chart Accessibility with LLM based Conversational Interaction”, *UIST*, pp.13 - 16, 2024, DOI:10.1145/3654777.3676414.
- [20] M. Maćkowski, M. Kawulok, P. Brzoza, D. Spinczyk, “Methods and tools supporting the learning and teaching of mathematics dedicated to students with blindness”, *Applied Sciences*, 13(12), Article 7240, 2023. DOI:10.3390/app13127240.
- [21] G. A. Daroni, Gunarhadi, E. Legowo, “Assistive technology in mathematics learning for visually impaired students”, *Tadris: Jurnal Keguruan dan Ilmu Tarbiyah*, 3(1), 2023. DOI:10.24042/tadris.v3i1.2406.
- [22] Z. Wang, “Research in the Application of AI and LLM in Educational Field, Highlights in Science”, *Engineering and Technology, CMLAI 2025*, 138, 2025. DOI:10.54097/5e0e1w47.

- [23] R. D. Caballar, C. Stryker, “LLM API: Tips for Closing the Gap”, IBM Think, 2025.
<https://www.ibm.com/kr-ko/think/insights/lm-apis>.
- [24] OpenAI Developers, “API Overview”, 2023.
<https://developers.openai.com/api/reference/overview/>
- [25] OpenAI, “OpenAI API documentation”, 2023. <https://platform.openai.com/docs>.
- [26] H. Naveed, A. U. Khan, S. Qiu, M. Saqib, S. Anwar, M. Usman, N. Barnes, “A comprehensive overview of large language models”, arXiv, 2023.
<https://arxiv.org/abs/2307.06435>.
- [27] T. B. Brown, B. Mann, N. Ryder, M. Subbiah, J. Kaplan, P. Dhariwal, A. Neelakantan, P. Shyam, G. Sastry, A. Askell, S. Agarwal, A. Herbert-Voss, G. Krueger, T. Henighan, R. Child, A. Ramesh, D. M. Ziegler, J. Wu, C. Winter, C. Hesse, M. Chen, E. Sigler, M. Litwin, S. Gray, B. Chess, J. Clark, C. Berner, S. McCandlish, A. Radford, I. Sutskever and D. Amodei, “Language models are few-shot learners”, *NeurIPS*, 33, pp. 1877 - 1901, 2020, arXiv:2005.14165.
- [28] Y. Shi, K. Yu, Y. Dong, F. Chen, “Large language models in education: a systematic review of empirical applications, benefits, and challenges”, *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 10, pp.100529, 2026, DOI:10.1016/j.caeai.2025.100529.
- [29] I. Lopez-Gazpio, “Integrating large language models into accessible and inclusive education: Access democratization and individualized learning enhancement supported by generative AI”, *Information*, 16(6), 473, 2025, DOI:10.3390/info16060473.
- [30] G. Rossi, C. Fornaro, “Enhancing math education for visually impaired students: Alternative text implementation in LATEX, MathJax, MathML and LAMBDA”, *Communications in Applied and Industrial Mathematics*, 15(2), pp.44 - 59, 2024, DOI: 10.2478/caim-2024-0012.
- [31] E. J. Jung, “A Study on Accessibility Supports for Students with Disabilities in Large-Scale Assessments in the US”, *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 20(3), pp.1011 - 1030, 2020, DOI: 10.22251/jlcci.2020.20.3.1011.
- [32] J. Park, K. Hwang, W. Choi, J. Kim, “Development of digital math tactile graphics for students with visual impairments”, *Journal of Digital Contents Society*, 24(9), pp.1965 - 1975, 2023.
- [33] D. I. Kim, J. Y. Son, J. H. Lee, H. J. Koh, S. R. Jeong, S. Y. Baek, Research on Effective Mathematics Interventions for Students with Visual Impairments, *Research on Visual Impairment*, 29(2), pp.173 - 196, 2013.
 UCI:G704-001803.2013.29.2.003.
- [34] M. Y. Hwang, J. Y. Kim, “The attitudes and perceptions on mathematics of students with visual impairments in special schools”, *Journal of Special Education*, 12(2), pp.161 - 184, 2013, UCI: G704-SER000014606.2013.12.2.005.
- [35] A. Meurer, C. P. Smith, M. Paprocki, O. Čertík, S. B. Kirpichev, M. Rocklin, A. Kumar, S. Ivanov, J. K. Moore, S. Singh, T. Rathnayake, S. Vig, B. E. Granger, R. P. Muller, F. Bonazzi, H. Gupta, S. Vats, F. Johansson, F. Pedregosa, M. J. Curry, A. R. Terrel, Š. Roučka, A. Saboo, I. Fernando, S. Kulal, R. Cimrman, A. Scopatz, “SymPy: symbolic computing in Python”, *PeerJ Computer Science*, 3, e103. 2017, DOI:10.7717/peerj-cs.103.

이 논문은 2025학년도 배재대학교
 교내학술연구비 지원에 의하여 수행됨.

저 자 소 개



배선영(Sun-Young Bae)

2000.8 배재대학교 응용수학과 졸업
2004.2 충남대학교 정보통신공학과 석사
2006.2 충남대학교 정보통신공학과 박사수료
2025.3~현재 배재대학교 컴퓨터공학과 박사과정
2015.3~현재 배재대학교 전기전자공학과 부교수
<주요관심분야> AI, 딥러닝, 빅데이터, IoT, 자동화시스템



정희경(Hoe-Kyung Jung)

1985.2 광운대학교 컴퓨터공학과 졸업
1987.2 광운대학교 컴퓨터공학과 석사
1993.2 광운대학교 컴퓨터공학과 박사
1994.3~현재 배재대학교 컴퓨터공학과 교수
<주요관심분야> 머신러닝, 빅데이터, 임베디드 시스템, U-헬스케어, IoT