

컴퓨터교육학회 논문지 2026년 제29권 제5호
<https://doi.org/10.32431/kace.2026.29.5.010>



양자 알고리즘 교육을 위한 블록 프로그래밍 시스템 개발 연구

Development of a Block-Based Programming System for Quantum Algorithm Education

좌하은[†] · 구덕희^{††}

Haeun Choa[†] · Dukhoi Koo^{††}

요약

본 연구는 양자 알고리즘 교육을 위해 엔트리 기반의 블록 프로그래밍 교육 시스템을 개발하였다. 학습자에게 익숙한 인터페이스를 활용하여 텍스트 기반 환경의 어려움을 해소하고자 하였으며, Qiskit 라이브러리와 연계하여 실제적인 시뮬레이션 경험을 제공하도록 설계하였다. 또한, 엔트리 데이터 분석 블록을 통한 측정 결과 시각화와 파이썬 코드 변환을 통한 향후 텍스트 프로그래밍으로의 전이를 지원하였다. 전문가 대상의 사용자 경험 평가 결과, 6개 하위 척도에서 모두 높은 사용성을 확인하였다. 본 시스템은 비유나 게임을 기반으로 개념을 설명하는 것에서 나아가 실제 블록 기반 프로그래밍을 통해 양자 알고리즘을 구현할 수 있는 환경을 구축했다는 점에서 의의를 가진다.

주제어 양자 알고리즘 교육, 블록 프로그래밍, 엔트리, 컴퓨터 교육, 교육설계연구

ABSTRACT

This study developed an Entry-based block programming educational system to facilitate quantum algorithm education. By utilizing an interface familiar to learners, the system aims to resolve the inherent difficulties of text-based environments and is designed to provide realistic simulation experiences through integration with the Qiskit library. Furthermore, it supports the visualization of measurement results using Entry's data analysis blocks and facilitates a seamless future transition to text programming via Python code conversion. The results of a user experience (UX) evaluation conducted with experts confirmed high usability across all six sub-scales. This system is significant in that it moves beyond mere conceptual explanations based on metaphors or games, establishing a robust environment where quantum algorithms can be directly implemented through actual block-based programming.

Keywords Quantum Algorithm Education, Block-based Programming, Entry, Computer Education, Educational Design Research

†정회원 서울교육대학교 교육전문대학원 컴퓨터
교육전공 박사과정
 ††중신회원 서울교육대학교 정보교육과 교수
(교신저자)
 논문투고 2026년 01월 11일
 심사완료 2026년 03월 27일
 게재확정 2026년 04월 28일
 발행일자 2026년 05월 29일

1. 서론

양자 컴퓨팅(Quantum Computing)은 양자역학적 원리를 활용하여 기존 컴퓨터의 한계를 넘어서는 연산 속도를 제공함으로써 다양한 산업과 사회 전반에 혁신을 가져올 기술로 주목받고 있다[1]. 양자 컴퓨팅이 혁신적인 성능을 발휘하는 중심에는 효율적인 계산 절차를 가능하게 하는 양자 알고리즘(Quantum Algorithm)이 있다[2, 3]. 이에 따라 미래 사회를 이끌어갈 학습자들에게 양자 컴퓨팅 교육은 개념 이해에서 나아가 양자역학적 원리에 기반하여 문제를 해결하는 알고리즘적 사고 과정을 포함할 필요가 있다.

이러한 교육적 요구에 따라 주요 국가들은 양자 컴퓨팅 교육을 K-12 교육과정에 도입하기 위해 노력하고 있다. 미국의 경우 「국가 양자 이니셔티브 법」을 기반으로 National Q-12 Education Partnership을 추진하며 학생들이 학습해야 할 양자 정보 과학의 핵심 개념을 정의하였다[4]. 유럽연합은 QTedu 프로젝트를 통해 학교급별 양자 컴퓨팅 교육 로드맵을 제시하였으며, 여기에는 양자 알고리즘 내용이 포함되어 있다[5]. 국내에서도 「양자과학기술 및 양자산업 육성에 관한 법률」(2024)을 통해 초·중등 교육과정에 있는 학생 대상의 양자과학기술 교육 사업을 지원할 수 있도록 명시하고 있다[6].

그러나 양자 알고리즘은 복잡한 수학적 개념과 게이트 연산을 기반으로 하여 수학적 지식이 부족한 초·중등 단계의 초기 학습자들이 알고리즘의 구조와 절차를 직관적으로 이해하기 어렵다. 특히 기존 도구들이 회로 설계나 텍스트 기반 프로그래밍 언어를 활용하고 있어, 학습자가 양자 알고리즘을 직관적으로 이해하고 결과를 분석할 수 있는 실습 도구는 부족한 실정이다.

이에 본 연구에서는 초·중등 학교 현장에서 널리 활용되는 블록 프로그래밍 환경인 엔트리(Entry)를 기반으로 양자 알고리즘 교육을 위한 블록 프로그래밍 시스템을 설계하였다. 블록 프로그래밍 방식은 양자 회로 설계와 게이트 연산을 블록으로 구체화하여 학습자가 문법적 장벽 없이 알고리즘 설계와 측정 결과 분석에 집중할 수 있게 한다.

본 연구는 초·중등 학습자를 위한 양자 알고리즘 교육용 블록 프로그래밍 시스템을 설계하고, 향후 교육 현장 적용을 위한 기초 자료를 제공하는 것을 목표로 한다. 이를 바탕으로 설정한 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 양자 알고리즘 교육을 위한 블록 프로그래밍 시스템의 설계 원리는 무엇인가?

둘째, 양자 알고리즘 교육을 위한 블록 프로그래밍 시스템에 대한 사용자 경험은 어떠한가?

2. 이론적 배경

2.1 양자 알고리즘 교육

양자 알고리즘은 중첩과 얽힘이라는 양자역학적 원리를

논리적으로 설계하여 기존의 고전 컴퓨터가 해결하기 어려운 복잡한 문제를 효율적으로 해결하는 방식을 의미한다[7]. 이에 따라 양자 알고리즘 교육은 학습자가 양자 알고리즘의 원리를 이해하고, 이를 실제적인 절차로 구현하는 역량을 함양하는 데 중점을 둔다.

Seegerer et al.(2021)은 K-12 정보 교육에서 다루어야 할 양자 컴퓨팅의 핵심 개념으로 중첩, 얽힘과 함께 양자 알고리즘을 도출하였다[8]. 그는 양자 알고리즘을 양자 게이트로 큐비트의 상태에 변화를 주고, 이를 통해 정답을 측정할 확률을 높이는 과정으로 정의하였다. 그는 양자 알고리즘을 설명하는 방식을 ‘물리적 접근법’, ‘수학적 접근법’, ‘실험적 접근법’으로 구분하였다. 그중 실험적 접근을 통해 초·중등 단계에서도 양자 알고리즘의 핵심 내용을 충분히 다룰 수 있다고 보았다.

한편, He et al.(2021)은 K-12 수준에서 양자 교육의 조기 도입 필요성을 강조하며, 관련 교육 자료와 체계적인 교육과정 설계가 부족하다는 연구 공백을 지적하였다[9]. 특히 효과적인 교육을 위해 수학적 공식보다는 개념 이해 중심의 접근 등을 제안하였다.

이러한 논의는 양자 알고리즘 교육이 수학적으로 수식화하는 대신 학습자가 양자 게이트를 직접 조작하고 결과를 확인하는 실험적 학습 경험 중심으로 설계될 필요가 있음을 시사한다.

2.2 국내 양자 알고리즘 교육 관련 사례

본 연구는 양자 알고리즘 교육을 위한 블록 프로그래밍 시스템을 구현하고자 한다. 그러나 현재 국내에서 양자 알고리즘 교육을 독립적인 주제로 다룬 연구는 찾기 어렵다. 이에 본 절에서는 양자 알고리즘의 상위 개념인 양자 컴퓨팅 교육 관련 선행 연구를 탐색하고, 이를 알고리즘 교육의 관점에서 분석하였다.

국내 양자 교육 연구는 초기에는 개념 이해 중심의 탐색적 연구에서 출발하여 최근에는 실습을 포함한 교수·학습 프로그램의 개발과 적용으로 점차 확대되고 있다[10]. 조한진과 김애영(2023)은 양자 컴퓨팅을 미래 핵심 기술로 규정하고, 국내 교육과정에 양자 정보 요소를 도입할 필요성을 강조하였다[11]. 이들은 헬로엠피스 양자컴퓨터 코딩, IBM Q Experience, Quantum Flytrap, Scratch 기반 양자 컴퓨팅 콘텐츠 등 국내외 교육 사례를 분석하고 이를 토대로 기초적인 교육안을 제시하였다. 국내 초·중등 학생을 대상으로 수행된 주요 연구의 알고리즘 관련 핵심 개념과 활용 도구는 Table 1과 같다.

Table 1. Concepts and Tools in Korean Quantum Computing Education Research

Authors	Concepts	Tool/Platform
Kim, J., Jung, Y., Park, N. (2024)	Superposition, Entanglement, Uncertainty	Gamification, Physical Manipulatives (Text composed of two colors with front-side filters, and dual light sources matching the text colors)
Kim, Y. (2024)	Superposition, Entanglement, Teleportation	Qiskit
Lee, S. (2024)	Superposition, Entanglement	Azure Quantum

김진수, 정유진, 박남제(2024)는 양자 컴퓨팅의 기본 원리인 중첩, 얽힘, 불확정성을 색채 현상과 게이미피케이션을 활용하여 초등학교 3학년 학생에게 지도하였다[12]. 연구 결과, 학습자의 양자 통신 개념에 대한 이해도와 학습 흥미가 유의미하게 향상된 것으로 나타났다. 김용완(2024)은 기초적인 양자 알고리즘의 작동 원리를 포함한 8차시 프로그램을 설계하고 전문가를 대상으로 타당성을 검증하였다[13].

한편, 이선립(2024)은 중학생을 대상으로 양자 논리 게이트를 활용한 양자 프로그래밍 및 알고리즘 구현 수업을 운영하였다[14]. 연구 결과, 양자 컴퓨터 수업은 학생들의 학습 흥미를 유발하고 양자의 기본 특성을 이해하는 데 긍정적인 효과가 있는 것으로 나타났다. 해당 연구는 Q# 언어를 활용하여 학생들이 직접 코드를 실행해 보는 경험을 제공하였다는 의의가 있다.

그러나 텍스트 기반 프로그래밍의 문법적 장벽으로 인해 학습자가 알고리즘을 직접 구현하기보다는 교사가 제공한 코드를 복사하여 실행하는 수준에 머물렀다는 한계가 있다. 또한, 연구에서 사용한 프로그래밍 환경은 큐비트의 상태 변화를 직관적으로 시각화하는 기능이 부족하여 학습자가 알고리즘의 흐름을 파악하기 어렵다. 따라서 가상의 큐비트를 시뮬레이션하고, 양자 논리 게이트의 결과를 확인할 수 있는 교육용 플랫폼이 필요함을 도출할 수 있다.

국내 연구들은 양자 컴퓨팅과 알고리즘 교육의 필요성을 인식하고 있으나, 텍스트 기반 프로그래밍 환경이나 단순 개념 전달 수준에 그치고 있다. Scratch 기반 양자 컴퓨팅 콘텐츠와 같은 블록 기반 사례도 존재하였으나, 양자 개념을 게임이나 비유를 통해 전달하고 있었다. 이처럼 학습자가 양자 게이트로 큐비트의 상태를 제어하고 측정 결과를 확인할 수 있는 직관적인 시스템은 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 학습자가 실제 양자 회로를 블록으로 구성하고 시뮬레이터를 통해 실행할 수 있는 시스템을 구현하고자 하였다.

2.3 블록 프로그래밍

블록 기반 프로그래밍은 텍스트 기반 프로그래밍 언어에서 요구되는 구문 이해와 문법 오류로 인한 부담을 완화하여 프로그래밍 경험이 없는 초보 학습자도 문제 해결 과정에 집중할 수 있도록 지원하는 교수-학습 도구로 주목받아 왔다.

첫째, 블록 기반 프로그래밍은 프로그래밍 학습의 진입 장벽을 낮추고 오류 발생 가능성을 감소시킨다[15]. 블록 환경은 명령어를 직접 기억하여 입력하는 방식이 아니라, 제시된 블록을 선택하고 조립하여 프로그램을 구성한다. 이러한 방식은 복잡한 계산이나 절차를 블록 단위로 묶어줌으로써 인지 부하를 감소시킨다. 또한 블록의 형태와 연결 규칙을 통해 문법 구조를 시각적으로 보여주고, 호환되지 않는 블록은 연결되지 않도록 제한하여 기본적인 문법 오류를 사전에 방지한다. 이는 학습자가 프로그래밍 학습에서 느끼는 좌절감을 완화하고 프로그램을 구조적으로 이해하는 데 도움을 준다.

둘째, 블록 기반 프로그래밍은 텍스트 기반 프로그래밍 언어로의 전이를 지원한다. 소미현과 김자미(2016)의 연구에 따르면, 초등학생을 대상으로 한 블록 프로그래밍 학습은 이후 텍스트 프로그래밍 학습에서 긍정적인 전이 효과를 나타냈다. 이는 블록 프로그래밍 학습이 알고리즘의 구조와 문제 해결 절차를 이해하는 데 기초적인 역할을 했기 때문으로 볼 수 있다[16].

이와 유사하게 Mladenovi et al.(2024)는 초기 단계부터 블록 프로그래밍을 활용한 실험집단이 통제집단에 비해 핵심 프로그래밍 개념에 대한 오개념이 유의미하게 감소하였음을 확인하였다[17]. 이는 양자 알고리즘 교육의 도입 단계에서 블록 기반 프로그래밍을 활용하는 것이 학습자의 개념 이해를 안정적으로 지원할 수 있음을 시사한다.

한편, 우리나라의 경우 초·중등 교육과정에서 블록 기반 프로그래밍 언어로 엔트리(Entry)를 활용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 학습자에게 익숙한 프로그래밍 환경인 엔트리를 교육 도구로 활용하였다. 즉, 새로운 학습 내용으로 인한 인지적 부담을 최소화하고, 추후 텍스트 기반 프로그래밍으로의 전이를 지원하고자 하였다.

3. 연구 방법

본 연구는 양자 알고리즘 교육을 위한 블록 프로그래밍 시스템을 설계하기 위해 McKenney & Reeves(2013)의 교육설계연구(Educational Design Research, EDR) 절차에 따라 첫 번째 설계 주기를 수행하였다[18]. 교육설계연구는 교육 현장 문제에 관해 연구 기반의 해결책을 개발하거나 학습 과정과 환경에 관한 이론을 개발하고 검증하는 것을 목표로 하는 연구 방법이다[18]. 이 방법은 실제 교육 환경에서의 개입을 설계, 개발, 평가 및 보완하는 반복적 주기를 거치며 실무자의 적극적인 참여를 통해 실용성과 이론적 기여를 동시에 추구한다. 교육설계연구의 구체적인 절차는 Fig. 1과 같다.

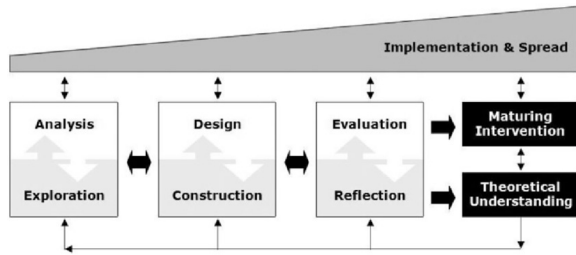


Figure 1. Generic model for conducting Educational Design Research (McKenney & Reeves, 2013)

본 연구에서는 교육설계연구 절차에 따라 다음과 같이 연구를 수행하였다. 첫째, 분석 및 탐색 단계에서는 선행 문헌 분석과 함께 양자 관련 연구 경험이 있는 교사를 대상으로 양자 알고리즘 교육의 어려움과 요구를 파악하였다. 둘째, 프로그램 설계 및 구현 단계에서는 도출된 요구를 반영하여 양자 알고리즘 교육을 위한 블록 프로그래밍 시스템의 설계 원리와 기능을 구체화하고, 이를 바탕으로 프로토타입을 구현하였다. 셋째, 평가 및 반성 단계에서는 개발된 프로토타입의 사용성을 검증하기 위해 전문가를 대상으로 시나리오 기반 사용성 평가를 실시하였다.

4. 연구 결과

4.1 분석 및 탐색

교육설계연구에서 분석 및 탐색 단계는 현재 문제 상황을 이해하고, 교육적 개입의 필요성과 방향을 설정하는 단계이다. 이 단계에서는 교육적 개입 전에 문제의 맥락과 이해관계자들의 관점을 종합적으로 파악한다. 이를 위해 선행 문헌 분석에 기반한 이론을 검토하고 교육 사례 분석 및 면담을 통해 현재 상태를 진단하여 교육적 개입 방향을 탐색한다[19].

본 연구에서는 선행 문헌 분석과 요구 분석을 수행하였다. 요구 분석의 경우, 학교 현장에서 양자 알고리즘 교육을 하기 위한 조건과 기존 방법의 개선점을 파악하고 새로운 교육 시스템에 반영할 시사점을 도출하고자 하였다.

연구 참여자는 초중등 학습자를 대상으로 중첩, 얽힘, 측정 등 양자 개념 교육을 수행한 경험이 있거나, 관련 연구 및 시뮬레이터 활용 경험이 있는 전문가 3인으로 선정하였다. 자료 수집은 반구조화된 심층 인터뷰로 진행하였으며, 수집한 자료는 주제 분석을 통해 분석하였다.

분석 결과, 양자 교육에서의 어려움과 양자 교육을 지원하는 시스템에 대한 요구사항, 그리고 설계 원리를 도출하였다. 분석한 내용은 Table 2와 같이 구조화하였으며, 이는 이후 시스템 설계를 위한 기초 자료로 활용하였다.

Table 2. Themes and sub-themes derived from semi-structured interviews for needs analysis

Main Theme	Sub-theme
Educational Context and Experience	- Instructional experiences - Scope of concepts - Types of tools utilized - Advantages and limitations of tools
Learner-side Challenges	- Difficulty in understanding due to conceptual abstraction - Lack of mathematical background knowledge - Challenges in visualization and intuitive explanation - Limitations of teacher-centered, lecture-based instruction
System Design Requirements	- Visual representation of core concepts - Scaffolded learning - Learner manipulated interaction - Appropriate language and terminology
Educational Values and Design Principles	- Minimization of cognitive load - Experiment-based learning - Stimulating interest and motivation

참여자들은 초등학교 고학년 이상을 대상으로 양자 교육을 수행하였으며, 큐비트, 중첩, 얽힘, 양자 게이트 및 간단한 양자 알고리즘 소개 위주로 진행하였다. 활용 도구로는 IBM Quantum Composer와 Qiskit이 주로 사용되었다. IBM Quantum Composer는 양자 회로를 시각적으로 제시할 수 있다는 장점이 있으나, 초등학생 수준의 학습자에게는 적용하기에 한계가 있다는 의견이 있었다. 특히 IBM Quantum Composer에서 제시되는 히스토그램이나 블로흐 구 형태의 시각화에 대한 추가 설명이 필요하며, 오히려 개념 이해를 어렵게 할 수 있다는 점이 지적되었다.

참가자들은 양자 개념의 높은 추상성을 가장 큰 어려움으로 인식하였다. 양자 알고리즘은 미시 세계를 다루고 있어, 특히 초등학생에게 이를 연역적으로 설명해야 하는 상황이 교수자에게 부담이 된다고 보았다. 동시에 수학적 지식이 충분하지 않은 학습자에게 양자 상태, 확률적 해석, 다차원적 개념을 이해시키기 어렵다는 의견을 주었다. 동시에 교사 중심의 설명은 개념 전달에 한계가 있으며 동전과 같은 비유는 오히려 오개념을 유발할 수 있다는 우려도 제기되었다.

이러한 어려움으로 인해 양자 알고리즘 교육 시스템은 개념을 시각적으로 표현하고 학습자의 직접적인 조작이 필요하다고 응답하였다. 또한 학습자의 발달 수준에 맞는 언어와 표현을 통해 양자 개념을 단계적으로 제시해야 한다고 보았다. 종합하면, 양자 알고리즘 교육 시스템은 학습자가 인지 부하를 최소화하면서 핵심 개념을 실험적으로 학습하도록 지원해야 한다.

4.2 시스템 설계 및 구현

4.2.1 시스템 설계 원리

본 연구에서 개발한 양자 알고리즘 교육을 위한 블록 프로그래밍 시스템은 학습자가 복잡한 양자역학적 개념을 직

관적으로 탐구하고, 이를 실제 양자 컴퓨팅 프레임워크인 Qiskit과 연계할 수 있도록 설계하였다. 시스템은 다음과 같은 세 가지 원리를 바탕으로 설계하였다.

첫째, Qiskit 라이브러리 기반의 블록을 제공한다. 요구 분석 결과, 양자 알고리즘 교육 시스템은 개념을 시각적으로 표현하고 학습자의 조작을 지원하며 인지 부하를 최소화해야 한다. 이에 본 연구에서는 블록 프로그래밍 언어를 활용하여 시스템을 구성하였다. 특히, 선행 연구의 핵심 개념 프레임워크를 기반으로 중첩과 얽힘을 구현할 수 있으면서 추가적인 수학적 지식 없이도 개념적 이해가 가능한 게이트를 중심으로 블록을 선정하였다.

Seeger et al.(2021)은 K-12 정보 교육에서 다루어야 할 양자 컴퓨팅의 핵심 개념으로 중첩, 얽힘, 양자 알고리즘을 도출하였으며[8], National Q-12 Education Partnership (2020) 또한 양자 정보 과학의 핵심 개념으로 큐비트, 중첩, 측정, 양자 연산, 얽힘을 제시하였다[4]. 이에 따라 중첩 상태 구현에 필요한 H 게이트, 벨 상태 구현을 위한 CNOT 게이트, 큐비트의 상태를 이해하기 위한 X 게이트 등을 핵심 블록으로 구성하였다. 이와 함께 회로 생성, 측정, 실행 블록을 추가하여 학습자가 양자 회로를 구성하고 실행하는 과정을 단계적으로 이해할 수 있도록 하였다.

마지막으로 양자 컴퓨팅 교육 경험이 있는 교사 2인을 대상으로 블록 구성의 적절성에 대한 예비 검토를 진행하였다. 블록의 필요성, 기능의 명확성, 학습 난이도 적합성 위주로 검토하였다. 검토 결과, 블록 구성이 중첩과 얽힘을 다루기에 충분하며, 양자 알고리즘 개념 도입을 위해 적합하다는 의견이 도출되었다. 일부 블록은 Table 3과 같다.

Table 3. Quantum Blocks (The blocks provided in the system include functions like creating a 2-qubit circuit)

Function	Block
Create a quantum circuit with 2 qubit	큐비트 2 회로 생성하기
Apply Hadamard gate	H 게이트 0 번 큐비트에 적용
Add measurement	모든 큐비트 측정
Run the circuit 1024 shots	양자회로 실행 1024 회

실제 Qiskit 라이브러리를 사용하기 위해서는 이를 불러오고, 백엔드를 설정하는 절차가 필요하다. 그러나 본 프로그램에서는 이러한 기술적 복잡성을 블록 형태로 추상화하여 학습자가 블록 조립을 통해 로컬 시뮬레이터 기반으로 양자 회로를 설계하고, 양자 게이트의 동작 원리에 집중할 수 있도록 하였다.

둘째, 엔트리 데이터 분석 환경과의 데이터 연계 및 시각화를 지원한다. 기존 Qiskit 환경은 측정 결과를 시각화하기 위해 파이썬의 Matplotlib 라이브러리를 사용한다. 본 시스템은 엔트리에서 기본적으로 제공하는 데이터 분석 블록을 활용할 수 있도록, 엔트리 내부 데이터 구조와 통합하였다.

백엔드 서버에서 시뮬레이터를 통해 도출된 측정 결과 데이터는 JSON 형태로 프론트엔드에 전달된다. 이를 통해 학습자는 별도의 시각화 라이브러리 없이도 엔트리 내에서 양자 측정 결과를 테이블에 저장하여 그래프로 시각화할 수 있다.

셋째, 텍스트 기반 프로그래밍으로의 전이를 위해 실시간 코드 뷰어를 지원한다. 블록 프로그래밍의 편의성을 유지하며 텍스트 기반 프로그래밍 언어로의 전이를 지원하기 위해 코드를 변환하여 확인할 수 있도록 하였다. QuantumCodeBuilder 모듈은 프로그램 실행 후, 워크스페이스 내 블록을 감지하여 Qiskit 라이브러리에 따른 코드로 변환한다. 학습자는 자신이 조립한 블록이 실제 어떤 코드로 변환되는지 확인할 수 있다.

4.2.2 시스템 구현

본 연구에서는 양자 알고리즘 교육을 위한 블록 프로그래밍 시스템의 프로토타입을 구현하였다. EntryJS 환경은 오픈소스(Apache License 2.0)를 기반으로 연구 목적에 맞게 양자 메뉴와 블록을 추가하여 구현하였다. 시스템 화면은 Fig. 2와 같다.

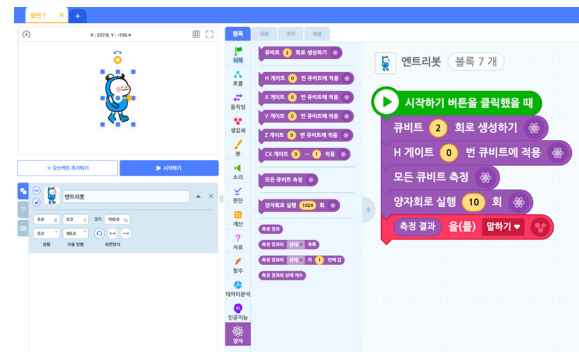


Figure 2. System Interface Overview (Incorporating quantum menus and blocks into the Entry environment)

Fig. 3은 블록 모드에서 파이썬 모드로 전환한 실시간 코드 뷰어 화면을 보여준다. 화면의 '블록/파이썬' 전환 버튼에서 파이썬을 선택하면 시스템은 블록 조립소에 배치된 양자 블록을 실시간으로 분석하여 이에 대응하는 Qiskit 파이썬 코드를 우측 패널에 표시한다. 이를 통해 학습자는 자신이 구성한 양자 회로가 텍스트 기반 프로그래밍 언어로 어떻게 표현되는지 확인할 수 있다.

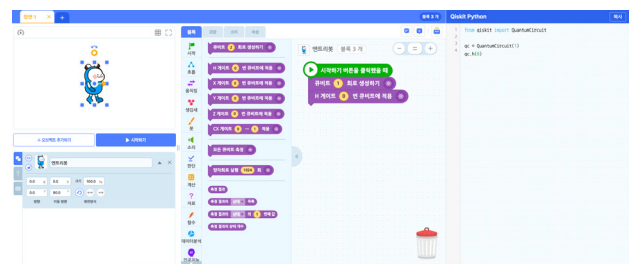


Figure 3. Block-to-Python Code Conversion Interface (Real-time Qiskit code generation from quantum blocks)

4.2.3 시스템 적용 예시

양자 알고리즘 교육은 다양한 알고리즘을 포함하지만, 본 연구에서는 양자 알고리즘 교육의 가장 기초적인 활동으로서 중첩과 얽힘의 원리를 중심으로 시스템 적용 예시를 작성하였다. 이는 추후 복잡한 양자 알고리즘을 이해하기 위한 필수적인 기반이 되며, 구체적인 활동의 예시는 Table 4와 같다. 양자 알고리즘 학습을 위한 활동은 크게 ‘알고리즘 설계(회로 구성)’, ‘알고리즘 실행’, ‘측정 결과 확인 및 시각화’의 세 단계로 이루어진다.

Table 4. Examples of Learning Activities for Quantum Algorithm Education

Topic	Activity
Quantum Random Number Generator Algorithm	- Exploring the concept of superposition - Running quantum circuits and verifying measurement results (1 shot, 100 shots) - Visualizing and interpreting measurement results
Basic Quantum Entanglement Algorithm	- Exploring the concept of entanglement - Implementing Bell states - Running quantum circuits and verifying measurement results (1 shot, 100 shots) - Visualizing and interpreting measurement results

양자 난수 생성 알고리즘을 구성하기 위해서는 먼저 단일 큐비트 기반의 양자 회로를 생성한다. 이는 양자 알고리즘을 처음 접하는 학습자가 복잡한 연산 과정보다는 알고리즘의 기본 구조와 논리를 쉽게 파악하기 위함이다.

알고리즘 설계 단계에서는 해당 큐비트에 H 게이트를 적용하여 중첩 상태를 만들고, 측정 블록을 추가하여 최종적인 측정 결과를 얻는다. 알고리즘 실행 단계에서는 실행 횟수를 조절하며 결과의 변화를 관찰한다. 처음에는 1회 실행하여 측정 결과를 확인한 후, 점차 실행 횟수를 늘리며 결과를 분석한다. 마지막으로 결과 데이터는 엔트리 오브젝트의 생김새 블록을 통해 출력하거나 그래프로 시각화한다. 이 과정에서 활용되는 블록 코드와 실행 결과 예시는 Table 5와 같다.

Table 5. Code and Results of Quantum Random Number Generator Algorithm (The code include blocks like creating a 1-qubit circuit, apply H gate to qubit 0)

Screen	Code
	<pre> 시작하기 버튼을 클릭했을 때 큐비트 1 회로 생성하기 H 게이트 0 번 큐비트에 적용 모든 큐비트 측정 양자회로 실행 1 회 측정 결과 을(를) 말하기 </pre>
	<pre> 시작하기 버튼을 클릭했을 때 큐비트 1 회로 생성하기 H 게이트 0 번 큐비트에 적용 모든 큐비트 측정 양자회로 실행 100 회 측정 결과 을(를) 말하기 </pre>

결과 데이터를 시각화하기 위해서는 이를 테이블에 기록하고, 막대그래프로 표현한다. 엔트리 데이터 분석 블록을 활용하여 알고리즘 실행 결과를 시각화하면 Table 6과 같다.

Table 6. Code and Graph of Quantum Random Number Generator Algorithm (The code include blocks like open the measurement result visualization chart window)



알고리즘의 실행 횟수가 100회에서 1000회로 늘어남에 따라 $|0\rangle$ 과 $|1\rangle$ 이 나타나는 비율이 이론적 확률인 50%에 점진적으로 수렴하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 큐비트가 측정 전에는 중첩 상태로 존재하다가 측정하는 순간 하나의 상태로 확정되는 붕괴 현상을 설명함으로써, 학습자가 양자 알고리즘이 고전 알고리즘과 다른 점을 파악할 수 있게 한다.

다음으로 기초적인 양자 얽힘 알고리즘을 설계하기 위해서는 2-큐비트의 양자 회로를 구성한다. 먼저, 0번 큐비트에 H 게이트를 적용하여 중첩 상태를 생성한다. 그 후, 0번 큐비트를 제어 큐비트(Control), 1번 큐비트를 대상 큐비트(Target)로 설정하여 CX 게이트를 적용한다. 이로써 벨 상태가 구현된다. 이는 이후 양자 암호화 알고리즘으로 확장하는 데 핵심적인 논리 구조가 된다. 이 과정에서 활용되는 블록 코드와 실행 결과 예시는 Table 7과 같다.

알고리즘 실행 단계에서는 실행 횟수를 조절하며 얽힘의 결과를 비교한다. 최종적인 측정 결과는 앞선 활동과 유사하게 오브젝트의 생김새 블록을 통해 출력하거나 그래프로 시각화한다. 엔트리 데이터 분석 블록을 활용하여 알고리즘 실행 결과를 시각화하면 Table 8과 같다.

Table 7. Code and Results of Basic Quantum Entanglement Algorithm (The code include blocks like creating a 2-qubit circuit, apply H gate to qubit 0)

Screen	Code

실행 결과, 0번 큐비트와 1번 큐비트 사이의 얽힘으로, $|00\rangle$ 과 $|11\rangle$ 상태만이 측정된다. 이는 두 큐비트 사이에 강한 상관관계가 형성되었음을 보여준다. 학습자는 이를 통해 양자 알고리즘의 핵심 원리를 직관적으로 이해할 수 있다.

Table 8. Code and Graph of Basic Quantum Entanglement Algorithm (The code include blocks like open the measurement result visualization chart window)

Shots = 100	Shots = 1000

나아가 앞선 양자 난수 생성 알고리즘을 엔트리 오브젝트의 움직임과 연동함으로써 활동을 확장할 수 있다. 단일 큐비트 양자 회로를 1회 실행하여 측정된 결과를 조건문과 연결하면 측정 결과가 $|0\rangle$ 일 때 엔트리 오브젝트가 뒤로 이동하고, $|1\rangle$ 일 때 앞으로 이동하는 프로그램을 제작할 수 있다. 이를 반복문 안에서 여러 차례 실행하면 오브젝트가 회로를 실행할 때마다 앞이나 뒤로 이동하며 학습자는 실행할 때마다 이동 경로가 달라지는 것을 통해 양자역학의 무작위성을 직관적으로 경험할 수 있다. 이를 구현하기 위한 블록 코드와 실행 결과 예시는 Table 9에 제시하였다.

Table 9. Code and Results of Quantum Random Walk (The code includes blocks like creating a 1-qubit circuit, applying H gate, and sending signals based on measurement results to move the object)

Screen	Code

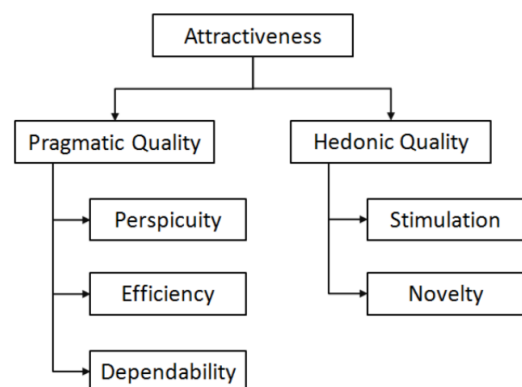
이러한 방식은 기초적인 양자 얽힘 알고리즘으로도 확장할 수 있다. 2-큐비트 얽힘 알고리즘을 실행하면 $|00\rangle$ 과 $|11\rangle$ 상태만이 측정되기 때문에, 0번 큐비트에 대응하는 오브젝트와 1번 큐비트에 대응하는 오브젝트가 동시에 같은 방향으로 이동하는 모습으로 시각화할 수 있다. 학습자는 두 캐릭터가 항상 같은 방향으로 움직이는 것을 통해 얽힘 상태를 직관적으로 이해할 수 있다.

4.3 평가 및 반성

4.3.1 평가 방법

평가 및 반성 단계에서는 개발된 교육용 시스템의 사용성과 효과성을 파악한다. 일반적으로 사용성 평가 방법 중 설문지를 활용하는 방식이 전체의 49.3%를 차지할 정도로 가장 보편적이고 신뢰도가 높다[20]. 이에 본 연구에서도 개발된 시스템의 기본적인 사용성을 평가하고자 사용자 경험 설문지(User Experience Questionnaire, 이하 UEQ)를 도구로 선택하였다.

UEQ는 사용자가 시스템을 이용하며 느끼는 주관적인 경험을 표준화된 수치로 표현하는 도구로, 교육용 시스템을 여러 측면에서 평가하는 데 유용하다. 설문 항목은 서로 반대되는 의미를 지닌 형용사 쌍으로 구성되어 있으며, 사용자는 각 항목을 7점 리커트 척도로 평가한다. 측정 영역을 도식화하면 Fig. 4와 같다[21].

**Figure 4.** Scale structure of the UEQ questionnaire (Schrepp, 2015)

UEQ는 크게 세 가지 개념으로 나뉜다. 먼저, 매력성(Attractiveness)은 독립적인 척도로 시스템에 대한 전반적인 인상을 측정한다. 실용적 품질(Pragmatic Quality)은 명확성, 효율성, 신뢰성으로 구성되며, 사용자가 목표를 달성하는 데 시스템이 얼마나 효과적으로 지원하는지를 측정한다. 쾌락적 품질(Hedonic Quality)은 자극성과 참신성으로 나뉘며, 사용자가 제품을 사용하며 느끼는 감정적, 심미적 경험을 측정한다.

본 연구에서는 이러한 UEQ를 활용하여 개발된 시스템의 사용성을 평가하였으며, 이를 위해 다음과 같이 응답자를 선정하였다. 응답자에 대한 구체적인 정보는 Table 10과 같다.

Table 10. Participant Demographic Information

Category	Item	N
Education (Highest Level)	Bachelor's Degree	3
	Master's Degree	3
	Doctoral Candidate	4
Major (Highest Degree)	Computer Education	5
	AI Education	1
	Other	4
Teaching Experience	5 to less than 10 years	4
	10 to less than 15 years	4
	15 years or more	2

응답자를 위와 같이 선정한 이유는 다음과 같다. 첫째, 본 시스템은 초·중등 학습자를 대상으로 개발되었기 때문에 현장 실무자의 관점에서 사용성을 검증하고자 하였다. 둘째, 양자 알고리즘이 추상적인 개념을 포함하므로 사용자의 경험 수준에 따라 다른 인지 부하를 유발할 수 있다. 따라서 컴퓨터 및 인공지능 교육 경험이 풍부한 집단과 그렇지 않은 집단을 균형 있게 구성하여 다양한 사용자의 관점을 반영하고자 하였다.

Weston et al.(1995)는 응답자가 학습자, 비평가, 수정자의 역할을 수행할 수 있다고 보았다[22]. 이들은 시스템의 교육적 가치를 판단하는 비평가인 동시에, 양자 알고리즘이라는 새로운 주제를 처음 접하는 학습자의 역할을 겸한다. 특히 양자 알고리즘 교육과 같은 새로운 분야에서는 다른 영역의 전문가라도 초기 단계에서는 학습자의 관점에서 시스템을 경험한다. 이러한 관점은 실제 학습자의 학습 과정을 예측하고 사용성을 검증하는 데 중요한 자료가 된다[22].

4.3.2 평가 결과

본 연구에서 개발한 시스템의 사용자 경험을 측정하기 위해 UEQ를 활용하여 분석한 결과는 Table 11과 같다. 분석 결과, 6개 하위 척도 중 5개 척도에서 평균 2점 이상의 수치를 기록하였다. 이는 7점 리커트 척도의 중립값인 0보다 높은 결과로, 사용자들이 시스템에 대해 전반적으로 긍정적인 경험을 하였음을 시사한다.

Table 11. Confidence intervals ($p=0.05$) per scale

Scale	M	SD	Confidence Interval	
Attractiveness	2.100	0.486	1.799	2.401
Perspicuity	2.125	0.615	1.744	2.506
Efficiency	2.225	0.595	1.857	2.593
Dependability	1.975	0.759	1.505	2.445
Stimulation	2.325	0.657	1.918	2.732
Novelty	2.375	0.852	1.847	2.903

평가 결과, 참신성(Novelty) 항목에서 가장 높은 평균값을 보였다. 이는 양자 알고리즘이라는 새로운 주제를 블록 프로그래밍 인터페이스로 구현한 본 시스템이 학습자에게 신선한 동기를 부여할 수 있음을 의미한다. 효율성(Efficiency)과 명확성(Perspicuity)도 높은 평균값을 보이며, 시스템이 직관적이고 효율적으로 조작할 수 있었음을 보여준다. 이를 시각화하면 Fig. 5와 같다.

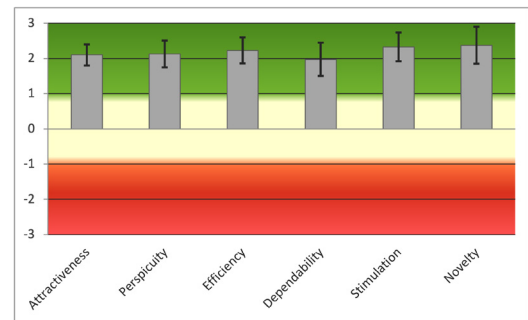


Figure 5. Mean scores and confidence intervals of the UEQ scales

Schrepp et al.(2017)이 제시한 UEQ 벤치마크와의 비교 결과는 Fig.6과 같다. 벤치마크는 기존의 연구에서 평가된 다양한 시스템의 데이터를 기반으로 상대적인 사용자 경험 수준을 결정하는 지표로, 신규 시스템의 경우 모든 척도에서 최소 'Good'이상의 범주에 도달하는 것을 권장한다[21].

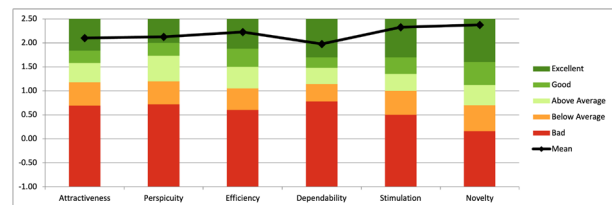


Figure 6. Comparison of the UEQ scales of the system with the UEQ benchmark dataset

본 연구의 시스템을 벤치마크와 대조한 결과, 6개 모든 척도에서 'Excellent' 등급에 해당하였다. 이는 본 시스템이 기존의 시스템들과 비교하였을 때 높은 사용자 경험을 제공하고 있음을 나타낸다. 현직 초등학교 집단이 평가자이면서 학습자로서 시스템의 교육적 가치와 사용 편의성을 모두 높

게 평가하였다는 점에서, 향후 실제 교육 현장으로의 도입 가능성과 교육적 사용성에 대한 긍정적인 지표로 해석할 수 있다.

5. 결론 및 제언

본 연구는 초보 학습자가 양자 알고리즘을 직관적으로 탐구할 수 있도록 국내 컴퓨터 교육에서 널리 활용되는 블록 프로그래밍 환경인 엔트리(Entry) 기반의 양자 컴퓨팅 교육 시스템을 설계하고 개발하였다. 이를 위해 선행 문헌 분석과 현직 교사 대상의 요구 분석을 수행하여 양자 알고리즘 교육 시스템의 설계 원리를 도출하였다. 도출된 원리에 따라 실제 양자 컴퓨팅 프레임워크인 Qiskit과 연계된 프로토타입을 구현하였으며, 전문가 집단을 대상으로 사용자 경험(UEQ) 평가를 실시하여 시스템의 사용성을 검증하였다.

연구 결과, 본 연구에서 개발한 시스템은 UEQ의 6개 하위 척도에서 모두 'Excellent' 등급을 기록하여 높은 사용자 경험을 제공하는 것으로 나타났다. 특히, 효율성과 명확성 측면에서 긍정적인 평가를 받았으며, 이는 시스템의 인터페이스가 효율적이고 직관적으로 이해할 수 있도록 설계되었음을 의미한다.

본 연구의 의의는 다음과 같다. 첫째, 기존의 양자 알고리즘 교육이 단순한 비유적 상황으로 개념을 설명하거나 게임 요소를 적용하여 개념적 오해를 불러일으킬 수 있었던 한계를 극복하고, 알고리즘 구성과 측정을 통한 실제적인 학습 경험을 제공하였다. 둘째, 엔트리의 데이터 분석 기능을 통합하여 알고리즘 실행 결과를 시각적으로 확인함으로써 학습자가 측정 결과를 쉽게 이해할 수 있게 하였다.

그러나 본 연구는 다음과 같은 한계점을 가진다. 첫째, 교육 내용을 고도화할 필요가 있다. 현재 시스템은 기초적인 알고리즘 설계와 구현에 집중되어 있다. 따라서 향후 그로버 알고리즘과 같은 복잡한 수준의 알고리즘까지 다룰 수 있도록 양자 메뉴 블록을 정교화할 필요가 있다.

둘째, 학습자 대상의 실증적 연구가 필요하다. 본 연구는 전문가를 대상으로 시스템의 사용성을 확인하였으나 실제 학습자에 대한 교육적 효과는 검증하지 못하였다. 이에 후속 연구에서는 초등학교 고학년 학습자를 대상으로 본 시스템을 활용한 수업을 설계하고, 양자 알고리즘에 대한 개념 이해도와 인지 부하의 변화를 분석할 필요가 있다. 또한 블록 프로그래밍 환경과 기존 텍스트 기반 환경 간의 차이를 비교하는 실험을 통해, 본 시스템의 교육적 효과성을 실증적으로 검증하고자 한다.

참고문헌

- [1] Garcés, M. G., Orzechowski, L. G., & Hernández, J. F. R. (2025). Introducing Quantum Computing to High-School Curricula: A Global Perspective. *arXiv preprint arXiv:2505.14809*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2505.14809>
- [2] Adedoyin, A., Ambrosiano, J., Anisimov, P., Casper, W., Chennupati, G., Coffrin, C., ... & Lokhov, A. Y. (2018). Quantum algorithm implementations for beginners. *arXiv preprint arXiv:1804.03719*. <https://doi.org/10.1145/3517340>
- [3] Nita, L., Mazzoli Smith, L., Chancellor, N., & Cramman, H. (2023). The challenge and opportunities of quantum literacy for future education and transdisciplinary problem-solving. *Research in Science & Technological Education*, 41(2), 564–580. <https://doi.org/10.1080/02635143.2021.1920905>
- [4] National Q-12 Education Partnership. (2020). *QIS key concepts expanded explanations for K-12 educators*. <https://q12education.org/learning-materials/learning-materials-framework>
- [5] Goorney, S., Karydi, E., & Sherson, J. (2025). Building Europe's quantum technology education community. *EPJ Quantum Technology*, 12(1), 61. <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-025-00362-1>
- [6] Act on the Promotion of Quantum Science, Technology, and Industry, Law No. 19990 (2024). <https://www.law.go.kr/LSW/lsInfoP.do?lsId=014525�>
- [7] Masood, A. (2025). Systematic literature review on problem solving with quantum algorithms. *Machines and Algorithms*, 4(2), 100–114. <https://knovell.org/MnA/index.php/ojs/article/view/92>
- [8] Seegerer, S., Michaeli, T., & Romeike, R. (2021). Quantum Computing As a Topic in Computer Science Education. *In Proceedings of the 16th workshop in primary and secondary computing education*, Virtual Event, Germany, 13, 1–6. <https://doi.org/10.1145/3481312.3481348>
- [9] He, Y., Zha, S., & He, W. (2021). A literature review of quantum education in K-12 level. *Proceedings of Innovate Learning Summit*, Online, United States, 418–422. <https://www.learntechlib.org/primary/p/220311>
- [10] Ko, D. (2017). *Development and Application of Game Mechanism on Quantum Mechanics Mechanism on Quantum Mechanics Elementary School* [Master's Thesis]. Jeju National University Graduate School of Education.
- [11] Jo, H., & Kim, A. (2023). Design of domestic and international education plans for understanding quantum computing. *Proceedings of the Korean Association of Computer Education Conference*, 27(1), 65–68.
- [12] Kim, J., Jung, Y., & Park, N. (2024). A Proposal for Elementary Education Methods based on Color Phenomena for Understanding the Principles of Quantum Communication. *The Journal of Korean Institute of Information Technology*, 22(12), 191–200. <https://doi.org/10.14801/jkiit.2024.22.12.191>
- [13] Kim, Y. (2024). Development of an Educational Program

for Quantum Computing Using Simulators [Master's Thesis]. Seoul National University of Education.

- [14] Lee, S. (2024). *Developing a Quantum Computer Lesson for Middle School Students* [Master's Thesis]. Korea University Graduate School of Education. <https://doi.org/10.23186/korea.000000280340.11009.0000383>
- [15] Bau, D., Gray, J., Kelleher, C., Sheldon, J., & Turbak, F. (2017). Learnable programming: blocks and beyond. *Communications of the ACM*, 60(6), 72-80. <https://doi.org/10.1145/3015455>
- [16] So, M., & Kim, J. (2016). Transference from learning block type programming to learning text type programming. *The Journal of Korean Association of Computer Education*, 19(6), 55-68.
- [17] Mladenović, M., Žanko, Ž., & Zaharija, G. (2024). From blocks to text: Bridging programming misconceptions. *Journal of educational computing research*, 62(5), 1082-1106. <https://doi.org/10.1177/07356331241240047>
- [18] McKenney, S., & Reeves, T. C. (2013). *Educational design research*. In Handbook of research on educational communications and technology, 131-140. New York, NY: Springer New York.
- [19] Jacobsen, M., & McKenney, S. (2024). Educational design research: grappling with methodological fit. *Educational technology research and development*, 72(5), 2743-2762. <https://doi.org/10.1007/s11423-023-10282-5>
- [20] Lu, J., Schmidt, M., Lee, M., & Huang, R. (2022). Usability research in educational technology: A state-of-the-art systematic review. *Educational technology research and development*, 70(6), 1951-1992. <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10152-6>
- [21] Schrepp, M., Hinderks, A., & Thomaschewski, J. (2017). Construction of a benchmark for the user experience questionnaire (UEQ). *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 4(4), 40-44. <https://doi.org/10.25968/opus-3397>
- [22] Weston, C., McAlpine, L., & Bordonaro, T. (1995). A model for understanding formative evaluation in instructional design. *Educational technology research and development*, 43(3), 29-48. <https://doi.org/10.1007/BF02300454>



좌하은

- 2016년 한국교원대학교 초등교육과(학사)
- 2023년 서울교육대학교 교육전문대학원 인공지능 교육전공(석사)
- 2016년~2021년 서울덕의초등학교 교사
- 2022년~현재 서울난우초등학교 교사
- 2024년~현재 서울교육대학교 교육전문대학원 컴퓨터교육전공 박사과정

✚ 관심분야 : 양자알고리즘교육, 양자컴퓨팅교육, 데이터 과학

✉ choahaeun@gmail.com



구덕희

- 2000년 한국교원대학교 초등교육과(박사)
- 2000년~2003년 한국교육학술정보원 선임연구원
- 2003년~2009년 대구교육대학교 컴퓨터교육과 교수
- 2009년~현재 서울교육대학교 정보교육과 교수

✚ 관심분야 : 컴퓨터교육, 데이터 과학, 디지털 리터러시

✉ dhk@snue.ac.kr