

# 양자 통신의 원리 이해를 위한 색채 현상 기반의 초등 교육 방안 제안

김진수\*, 정유진\*\*, 박남제\*\*\*

## A Proposal for Elementary Education Methods based on Color Phenomena for Understanding the Principles of Quantum Communication

Jinsu Kim\*, Yujin Jung\*\*, and Namje Park\*\*\*

이 논문은 2022년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2022S1A5C2A04092269)

### 요약

기술의 발전이 급속히 진행됨에 따라 교육과정에서의 기술적 문제 해결 능력에 대한 필요성이 강조되고 있으며, 정보통신이나 인공지능 등의 다양한 영역에 대한 교과 과정이 편성되고 있다. 양자 컴퓨팅은 중첩의 원리를 통해 0과 1의 병렬 연산 수행이 가능하여 프로세스 성능을 향상시키며, 양자 통신 과정에서는 제 3자에 의한 탈취가 수행된 경우에 탈취된 데이터가 수신자에게 전달되어도 정상적인 데이터를 획득할 수 없어 미래 전략기술로서 활발히 연구되고 있다. 본 논문에서는 양자 컴퓨팅의 원리 이해를 통하여 기술적 해결 능력을 향상시키기 위해 두 가지의 색을 가진 단어와 동일한 색상의 필터를 사용하여 다른 색상의 단어를 획득할 수 있는 색 순응/대비 기반의 교육 방안을 제시한다. 교육의 전후 만족도 조사를 수행한 결과 양자 통신에 대한 이해도에 대한 응답이 2.59점에서 3.84점으로 향상되었음을 확인하였다.

### Abstract

As technology advances rapidly, the need for technical problem-solving skills in education is increasingly emphasized, with curricula incorporating fields like information and communication technology and artificial intelligence. Quantum computing, by leveraging the principle of superposition, allows parallel processing of 0 and 1, enhancing performance, while in quantum communication, data intercepted by a third party becomes unusable, making it a strategic future technology. This paper proposes a color adaptation/contrast-based educational approach to improve technical problem-solving skills through understanding quantum computing principles. Post-education satisfaction surveys showed an improvement in understanding quantum communication from 2.59 to 3.84 points.

### Keywords

gamification, quantum communication, quantum key distribution, color phenomena, elementary education

\* 제주대학교 사이버보안인재교육원 연구원

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1009-3928>

\*\* 제주대학교 융합과학기술사회연구소 책임연구원

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9275-1511>

\*\*\* 제주대학교 초등컴퓨터교육전공, 융합정보안학과 교수 (교신저자)

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4434-8933>

· Received: Aug. 26, 2024, Revised: Sep. 19, 2024, Accepted: Sep. 22, 2024

· Corresponding Author: Namje Park

Dept. of Computer Education, Teachers College, Jeju National University, 61 Iljudong-ro, Jeju-si, Jeju Special Self-Governing Province, 63294, Korea

Tel.: +82-64-754-4914, Email: [namjepark@jeju.ac.kr](mailto:namjepark@jeju.ac.kr)

## I. 서 론

변화하는 사회에서 요구되는 미래 기술은 국가의 핵심 기술 역량의 강화를 위해 요구되고 있다. 국내에서는 2015 개정 교육과정에서부터 절차적 사고에 의한 문제 해결 능력인 컴퓨팅 사고력(Computational thinking) 역량 강화를 위한 정보 교과를 편성하였으며, 2022 개정 교육과정에서는 기존의 교육과정에서 인공지능과 빅데이터의 핵심 기술 과정을 편성하여 미래 기술에 대한 조기 교육을 기반으로 기술적 능력을 양성하고 있다[1][2].

기술적 능력 양성은 교과 편성뿐만 아니라, 국가적 차원에서 수행되는 초등학교 방과 후 교육과 돌봄을 통합한 체계인 늘봄 학교에서도 창의과학 영역에서 ChatGPT를 사용한 인공지능 교육이나 엔트리틀 사용한 블록 코딩 교육을 통하여 수행하고 있다. 특히, 늘봄 학교의 경우 교육 대상을 '24년 초등학교 1학년, '25년 초등학교 1~2학년, '26년 모든 초등학생으로 대상을 확대하며 다양한 기술에 대한 교육 과정이 요구되고 있다[3]-[5].

이처럼 미래 기술에 대한 조기 교육은 미래 전력적 가치를 가지는 주요한 기술에 대해 수행되며, 양자 기술은 미국과 영국, 중국 등 주요국에서도 국가 차원에서 전폭적 지원을 수행하고 있는 미래 전략 기술의 하나이다[6][7]. 특히 양자의 원리에 따른 병렬 연산 수행을 통한 프로세스의 획기적인 성능 향상과 관측에 따른 형태 고정으로 보안상 강점을 가진다. 제한적 환경에서 가능한 양자 컴퓨팅은 향후 정보사회에서 중요한 전략 기술이 될 것이다[8][9].

본 논문에서는 양자 컴퓨팅에 대한 기본적인 원리인 중첩 원리와 얽힘 원리, 불확정성에 대한 교육을 수행하기 위해 두 개의 색지와 필터를 사용하여 전송된 단어를 맞추는 게이미피케이션(Gamification) 기반의 교육 방안을 제시한다. 제안 방안에서 지도자는 동일한 길이의 문자를 제시하고, 송신자역의 학습자에 의해 순서별 알파벳을 서로 다른 색으로 구성한다. 공격자역의 학습자가 알파벳을 구성하는 두 색중 하나의 색을 골라 중첩된 알파벳 중 하나를 획득하여 최종적으로 통신 내용을 유추하는 방식을 적용함으로써 통신 과정에 대한 원리 교육을 수행한다.

## II. 양자 컴퓨팅과 게이미피케이션

### 2.1 양자 컴퓨팅의 원리

양자 컴퓨팅은 양자의 원리를 기반으로 수행하는 컴퓨팅 기술을 의미한다. 기존의 컴퓨팅 기술은 데이터 전송 과정을 0 또는 1이라는 이진수를 사용하여 데이터를 처리하지만, 양자 컴퓨팅에서는 0과 1이 중첩된 큐비트를 사용한다[10][11]. 큐비트의 중첩 특성 덕분에 양자 컴퓨터는 기존 컴퓨터보다 훨씬 더 복잡한 연산을 동시에 수행할 수 있다. 얽힌 양자들은 관측에 따라 다른 입자의 상태가 즉시 결정되며, 이 현상은 원격에서도 즉각적으로 일어난다. 양자 불확정성의 원리는 특정한 쌍의 물리적 특성에 대해 동시에 정확히 알 수 없다는 양자의 기본 원리로, 양자 시스템의 연산 과정에 중요한 영향을 미친다[12][13].

### 2.2 양자키분배(QKD, Quantum Key Distribution)

양자 컴퓨팅의 원리를 기반으로 진행되고 있는 대표적인 연구는 기존의 통신 방식과 융합하여 적용 가능한 양자키분배가 있다. 양자키분배는 A가 B에게 전송한 데이터에 대해 B는 무작위의 편광(Polarization)을 대입하고, 대입한 편광을 송신자인 A와 B가 공유함으로써 일치하는 데이터를 비밀키로 사용하는 키 분배 과정을 의미한다[14][15]. 양자 불확정성의 원리를 기반으로 도청의 위험성을 낮추는 양자키분배 프로토콜인 BB84 프로토콜은 다음과 같은 전개 과정에 의해 키를 분배한다[16][17].

송신자는 전송할 데이터에 대해 직교 또는 대각이라는 편광을 사용하여 상태를 무작위로 선정한다. 상태는 직교에 대해  $\rightarrow(0)$ 과  $\uparrow(1)$ , 대각에 대해  $\swarrow(0)$ ,  $\nearrow(1)$ 과 같은 상태를 가진다. 수신자는 송신자에 의해 전송된 큐비트에 대해 무작위의 편광을 적용하여 데이터를 획득한다. 이때, 송신자와 동일한 편광을 사용한 경우에는 송신자가 전송한 상태를 획득하며, 다른 편광을 사용한 경우에는 무작위의 데이터를 얻게 된다. 송신자와 수신자는 큐비트에 대해 적용한 편광을 기존의 방식을 사용하여 공유

하고, 동일한 편광을 사용하여 얻은 상태를 비밀키로 활용한다[18].

### 2.3 색채 이론 분석

제안 방안에서는 빨간색과 파란색의 대비되는 두 가지 색상을 사용하였으며, 글씨에 맞는 색상을 필터로 사용하는 경우에 다른 색상의 글자가 강조된다. 제안하는 교육 방안에 적용되는 색채 이론은 크게 색 순응, 동시 대비로 구성된다. 색 순응 (Chromatic adaptation)이란 광원이 달라짐에 의해서 생기는 색의 차이를 조절하여 물건의 색을 원래의 색으로 인지하도록 하는 상태 또는 현상을 의미한다[19]. 동시 대비(Simultaneous contrast)란 하나의 색이 주변의 색에 의해 다르게 보이는 현상을 의미한다[20]-[22].

즉, 필터와 동일한 색상의 글자에 대해서는 색 순응 현상으로 인해 배경으로 인지되며, 필터와 다른 색상의 글자는 동시 대비 효과에 의해 다른 색이 강조되어 한 필터에 의해 두 색 중 하나의 글자를 획득하는 것이다. 그림 1은 색상 필터에 따라 강조되는 글자를 보이는 것이다.

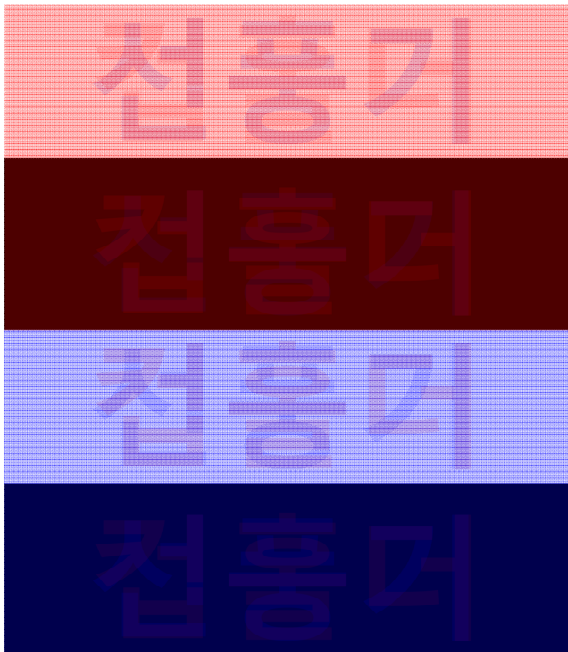


그림 1. 색상 현상에 따른 시각적 인지  
Fig. 1. Visual perception according to color phenomena

검은색 배경을 적용하는 경우에는 필터의 색상에 따라 강조되는 글자가 다름을 확인할 수 있다. 단, 실제 환경에서 빨간색의 광원을 사용하는 경우에 파란색이 강조되며, 반대의 경우에도 빨간색이 강조된다.

### 2.4 게이미피케이션 기반 교육 연구 동향 분석

게임과 교육의 합성어인 게이미피케이션은 2002년 영국 출신의 게임 개발자인 Nick Pelling에 의해 제시된 개념이다. 피학생자에게 도전적인 과제를 제시하고, 과제를 수행하는 다른 피학생자와의 경쟁적 요소를 통해 성취감을 획득하며, 보상을 통한 원동력을 제공할 수 있는 방안이다[23][24].

A. Vrcelj et al.의 연구[25]에서는 게이미피케이션의 효과성을 분석하기 위해 20편의 게이미피케이션 논문 분석을 수행하였으며, 게이미피케이션 기법이 피학생자의 동기 부여에 긍정적인 영향을 미치고 있으며, 게이미피케이션의 주요 이점이 피학생자의 동기 부여와 참여율 증가에 있음을 확인하였다.

B. rayan et al.의 연구[26]에서는 디지털 도구인 Kahoot!이라는 디지털 도구를 활용하여 학습 환경을 적용한 실험군과 기존의 교육적 접근 방식을 적용한 대조군을 두고 동기부여, 자기 효능감, 관심의 영역에서 더 높은 수치를 기록하였으며, 연구기간이 종료되는 시점에서의 평균 점수가 실험군이 평균 94.15점, 대조군이 평균 88.62점으로 게이미피케이션을 적용한 결과의 효과성에 대해 분석하였다.

S. Bang et al.의 연구[27]에서는 게이미피케이션을 적용한 스마트 줄넘기 콘텐츠를 개발하였으며, 스마트 줄넘기를 블루투스를 기반으로 모바일 어플리케이션과 연동하여 다른 반이나 타학교와의 활동 통계를 기반으로 경쟁 요소를 적용한 결과, 100개 이상을 수행하는 피학생자는 교내의 타 학생을 대상으로, 100개 미만의 피학생자는 타 학교의 학생을 대상으로 경쟁 의지가 더 높음을 확인하였다.

주로 게이미피케이션은 피학생자에게 익숙하지 않은 주제에 대해 몰입도를 제공하는데 활용되며, 일반적인 전달방식에 비하여 직접적인 참여를 수행하기에 피학생자에게 몰입감과 성취도를 제공할 수 있다는 점에서 유의미하다는 장점을 가진다.

따라서 피학습자에게 익숙하지 않은 미래 기술에 대한 교육을 수행하기 위해서는 이론적 측면에서의 접근보다는 활동적 측면에서 접근하는 것이 학습자의 의욕을 고취시켜 참여도를 증강시키고, 적극적인 참여 과정에서 교육에 대한 이해도를 향상시킬 수 있다.

## 2.5 본 연구의 차별성

본 논문에서는 게이미피케이션 기법을 기반으로 하여 양자 컴퓨팅 원리에 대한 교육 방안을 제안하였다. 제안 방안에서는 양자 중첩, 양자 얽힘, 양자 불확정성에 대한 개념을 색채 현상을 사용하여 설명하였다.

송신자에 의해 전송되는 큐비트는 두 개의 상태를 가지를 가지며, 수신자가 선택한 편광에 따라 관측되는 상태가 결정된다. 중첩 원리는 이때, 큐비트에 두 가지의 상태가 중첩되어 있는 현상을 의미한다. 제안 방안에서는 색상이 서로 다른 두 개의 색지를 사용하여 적용하였다.

송신자에 의해 전송된 큐비트가 수신자의 편광에 의해 관측이 수행될 경우, 관측되지 않은 다른 입자의 상태가 결정됨을 의미하는 양자 얽힘 현상은 일반적인 방법으로 적용이 어렵다는 한계가 존재한다. 따라서 제안 방안에서는 공격자의 입장에서 선택된 입자의 필터에 따라 하나의 문자가 확정되면, 색 순응 현상에 의해 색상의 필터와 동일한 색의 글자는 보이지 않으나 이미 확정된 상태를 가지고 있음을 이용하여 설명하였다.

마지막으로 큐비트를 구성하는 특정한 쌍의 특징에 대한 관측이 정확히 동시에 이뤄질 수 없음을 의미하는 양자 불확정성의 원리는 두 색 중 선택된 색에 대비되는 글자는 강조되는 동시 대비 현상을 적용하여 적용하였다.

이처럼 양자 컴퓨팅의 원리에 대한 교육을 위해 색채 현상을 이용한 교육 방안을 제안하였다. 일반적으로 게이미피케이션 기법은 다양한 영역에서 학습자의 흥미와 의욕을 고취시키기 위한 방안으로 적용되고 있으며, 그 영역 또한 특정 분야에 한정되지 않기에 다양한 측면에서의 연구가 수행되고 있다.

본 연구는 색채 현상에 대한 과학적 원리와 양자 컴퓨팅 통신 과정에서의 기본적인 원리를 융합하여 시각적인 확인을 통해 이해를 유도하고, 공격자와 송수신자를 분리하여 경쟁 요소를 적용하였다. 제안 메커니즘은 양자 컴퓨팅이라는 영역에 대한 원리 이해를 통해 학습자에게 다양한 관점에서 대상을 관찰할 수 있도록 한다.

## III. 색채 현상 기반의 양자 통신 원리 교육

본 논문에서는 색채 현상을 기반으로 하여 양자 통신의 원리에 대한 이해를 돕는 교육 방안을 제안하였다. 본 논문에서 제안하는 교육 방안의 양자 원리는 양자 입자는 여러 상태로 동시에 존재함을 의미하는 중첩 원리와 두 개 이상의 입자가 얽힌 양자가 관측되는 경우에 다른 입자의 상태가 즉시 결정된다는 양자 얽힘 원리, 특정 쌍의 물리적 특징은 동시에 정확히 관측할 수 없다는 양자 불확정성의 원리를 적용하였다. 또한, 양자 통신 과정에서 큐비트를 해석하는 과정의 이해를 유도하기 위해 두 개의 글자가 중첩된 글자에서 하나의 필터만을 적용하여 얻은 글자를 기반으로 송신자역의 피학습자가 선정한 문자를 추측하는 과정 포함하였다.

### 3.1 양자 통신 원리 교육 방안의 구성요소

본 논문에서 제안하는 교육 방안에서는 크게 전면부 필터, 두 가지의 상반되는 색을 가진 투명한 색지, 선정된 색지에 따른 광원 장치가 요구된다.

전면부 필터는 직접적인 문자 확인을 차단하며, 광원을 후면에 위치할 경우 문자가 확인될 수 있도록 빛이 통과해야하는 후면은 흰색, 전면부는 빛이 통과하기 어려운 검은색으로 구성한다. 제안 교육 방안에서는 한 면이 검은색, 한 면이 흰색인 색종이를 사용하였다.

두 가지의 상반되는 색을 가진 투명한 색지는 양자 입자를 의미하며, 시각적으로 강한 대비를 보일 수 있는 색상의 선정이 요구된다. 제안 교육 방안에서는 두 가지의 상반되는 색으로 빨간색과 파란색을 선정하였다.

따라서 피학습자는 선택하는 색상 필터에 따라 상반되는 색상을 가진 문자를 획득함으로써 편광을 적용함에 따라 하나의 상태만을 정확히 관측할 수 있는 양자의 역할을 수행한다.

광원 장치는 양자 컴퓨팅에서 편광의 역할을 수행한다. 광원 장치는 RGB를 기준으로 빨간색(255,0,0)과 파란색(0,0,255)의 표현이 가능한 장치를 의미한다. 피학습자에 의해 선정된 색상 필터(편광)에 따라 송신자가 보낸 글자를 확인할 수 있다.

### 3.2 색채 현상 기반의 양자 원리 개념

먼저 양자의 중첩 원리는 일반적으로 0 또는 1이라는 명확한 값이 존재하는 비트와는 달리 전송되는 큐비트라는 하나의 단위가 0과 1을 모두 포함한다. 중첩된 큐비트는 직교 상태에서  $\rightarrow(0)$ ,  $\uparrow(1)$ 이라는 두 개의 상태를 가진다. 수신자는 직교 편광과 대각 편광을 사용하여 큐비트의 상태를 획득하며, 송신자와 동일한 편광을 적용한 경우에 송신자와 같은 상태를 획득한다. 그림 2는 양자 컴퓨팅에서 구성되는 큐비트의 예시를 보이는 것이다.

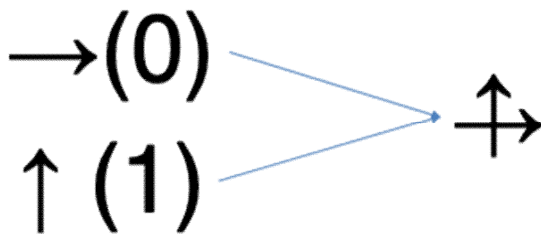


그림 2. 큐비트 예시  
Fig. 2. Example of a qubit

중첩된 큐비트는 직교 상태에서  $\rightarrow(0)$ ,  $\uparrow(1)$ 이라는 두 개의 상태를 가진다. 수신자는 직교 편광과 대각 편광을 사용하여 큐비트의 상태를 획득하며, 송신자와 동일한 편광을 적용한 경우에 송신자와 같은 상태를 획득한다. 제안 교육 방안에서는 중첩된 큐비트의 개념에 대하여 색이 다른 두 가지의 글자를 겹치는 것으로 표현한다. 그림 3은 제안 교육 방안에서 적용하는 중첩된 큐비트의 개념을 보이는 것이다.

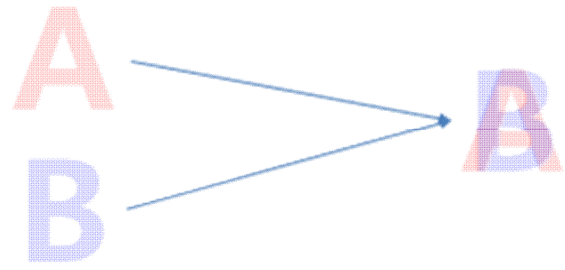


그림 3. 색채 현상 기반의 큐비트 표현  
Fig. 3. Qubit representation based on chromatic phenomena

양자 얽힘 원리는 관측자가 선택한 편광에 따라 입자에 대한 관측이 수행되는 경우에 다른 입자의 상태가 결정됨을 의미한다. 제안 교육 방안에서는 송신자에 의해 이미 정해진 서로 다른 색상의 두 개의 문자라는 상태를 가지고 있으며 전달 과정에서 전면 필터에 의해 관측되지 않은 상태를 유지한다. 공격자역을 수행하는 피교육자가 색상 필터를 적용하여 대비되는 하나의 글자를 확인하며, 색 순응 현상에 의해 확인되지 않는 글자는 고정된 형태를 가지고 있음을 통해 양자 얽힘 원리를 적용하였다.

양자 불확정성의 원리는 큐비트를 구성하는 특정 쌍의 물리적 특징을 동시에 정확히 관측할 수 없음을 의미한다. 제안 교육 방안에서는 불확정성의 원리 이해를 위해 색채 이론의 색 순응과 동시에 대비를 적용하여 색상 필터와 동일한 색상의 글자는 확인이 어려우나, 대비되는 색상은 강조되어 하나의 글자만을 획득할 수 있다.

### 3.3 색채 현상 기반의 양자키분배의 원리 교육

제안 교육 방안에서는 전송되는 큐비트의 두 가지 상태에 대해 두 개의 단어를 선정하여 할당하였으며, 하나의 큐비트에 대해 색이 다른 두 단어의 글자를 순서대로 전면부 필터 뒤에 부착하도록 하여 관측되기 전까지는 확인할 수 없는 양자의 상태를 표현하였다. 전달되는 글자를 확인하는 경우에는 매 순서마다 색을 선택하도록 하여 편광에 따라 다른 데이터를 획득하는 내용을 포함하였다.

수신자역 피학습자에게 공격자역 피학습자가 획득한 색상 필터와 반대되는 글자를 제공하고, 송수

신지역 피학습자 간 색상 필터를 비교하여 도청 여부를 판별하고 공격지역 피학습자가 단어를 맞췄는지 유추하는 과정을 추가하였다.

그림 4는 제안 교육 방안에 대한 전개 과정을 보이는 것이다. 교육자는 학습자가 게임에 사용하기 위한 단어 리스트를 생성한다. 이때, 교육자는 학습자의 수준에 따라 단어를 이루는 글자의 개수, 두 단어의 유사 글자 수, 단어 내의 글자 색상 통일 여부, 학습자의 단어에 대한 친숙도를 기반으로 단어 선택의 난이도를 조절한다.

단어 선택 단계 후에는 학습자에게 단어를 제공한다. 제안 방안은 서로 다른 두 문자에 대해 공격지역의 학습자가 색상 필터를 적용하여 문자를 추론하는 과정까지를 한 라운드(Round)로 구성한다.

학습자는 두 개의 단어를 구성하는 글자의 개수 (Word)만큼 각 단어에 대한 색상 선정, 중첩된 글자의 전송, 중첩된 글자에 색상 필터를 적용하여 글자 획득을 반복하여 수행한다. 모든 라운드가 종료되면 각 학습자들이 문자를 추론하는 과정에서 얻은 점수를 확정하고, 해당 그룹 내에서의 순위 또는 학습자 집단 내에서의 순위를 결정한다.

제안 교육 방안은 다음과 같은 규칙에 의해 수행

된다.

송신지역의 피학습자는 글자의 개수가 동일한 두 개의 단어를 선택한다. 이때, 교육의 난이도 조절을 위해 지도자에 의해 선정된 단어를 사용할 수 있다.

송신지역의 피학습자는 두 단어의 첫 번째 글자에 대해 각각 빨간색과 파란색으로 색지를 잘라 알파벳을 만들어 전면부 필터의 후면에 부착하여 큐비트를 생성한다.

그림 5는 두 상반된 색의 글자 중첩 상태와 색상 필터에 의해서만 확인할 수 있도록 검은색 필터를 적용한 경우를 보이는 것이다.



그림 5. 중첩(좌)과 전면부 필터(우) 예시  
Fig. 5. Examples of superposition(Left) and frontal filter (Right)

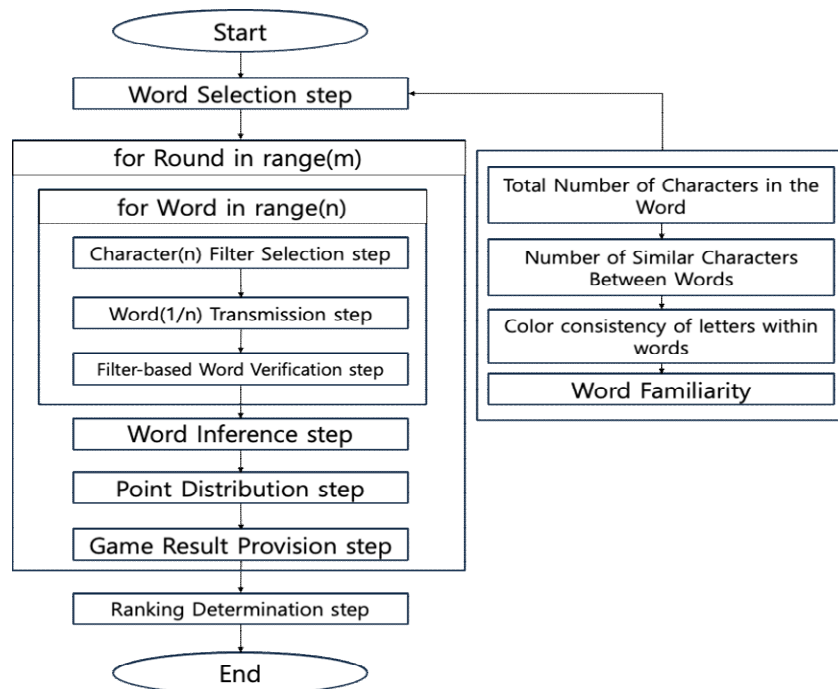


그림 4. 제안 교육방안 개념도  
Fig. 4. Proposed educational plan concept map

공격지역의 피학습자는 빨간색 필터와 파란색 필터 중 하나를 선택한다.

송신지역의 피학습자는 공격지역의 피학습자에 의해 선택된 필터의 위에 큐비트를 올리고, 공격지역의 피학습자가 확인할 수 있도록 한다.

송신지역의 피학습자는 큐비트를 선택되지 않은 필터 위에 올리고 수신지역의 피학습자가 확인할 수 있도록 한다.

그림 6에서는 검은색 필터에 중첩된 두 글자에 대해 각각 빨간색과 파란색의 색상 필터를 적용하여 상반되는 색상의 글자가 확인됨을 볼 수 있다.



그림 6. 빨간색 필터(좌)와 파란색 필터(우)  
Fig. 6. Red filter(Left) and blue filter(Right)

2-5까지의 과정을 모든 글자를 확인할때까지 반복한다.

모든 단어를 확인한 수신지역의 피학습자는 송신지역의 피학습자와 동일한 필터를 적용한 글자를 확인한다.

수신지역의 피학습자는 공격지역의 피학습자가 탈취한 정보를 기반으로 단어를 유추하였는지에 대해 먼저 선택한다.

공격지역의 피학습자는 유추한 단어를 공개하며, 정답인 경우에는 공격지역의 피학습자가 점수를, 오답인 경우에는 송신지역의 피학습자와 수신지역의 피학습자가 점수를 획득한다. 단, 과정의 난이도에 따라 공격지역의 피학습자가 획득하는 점수를 더 크게 설정한다.

#### IV. 효과성 분석

제안 학습 방안에 대한 효과성 분석을 위해 12명

의 초등학교 3학년 대상으로 시범 수업을 진행하였으며, 수업 전후의 기술 인식조사 수행을 통해 효과성 분석을 수행하였다. 수업 전후 기술 인식 조사 수행을 위해 사용한 항목은 표 1과 같이 구성하였다.

표 1. 기술 인식 조사 항목

Table 1. Technology awareness survey items

Items	
1	Are you familiar with or have you experienced future new technologies?
2	Have you heard about quantum computers in the context of future technologies?
3	How much do you think your dream is related to the field of future technologies?
4	How much impact do you think quantum computers can have on our lives?
5	Have you heard about quantum cryptography?
6	How much impact do you think quantum cryptography technology can have on our lives?
7	Do you want to know (more) about quantum cryptography technology?
8	Has this class changed your thoughts about future careers?

#### 수업 참여학생 기술 인식 조사 [수업 전]

안녕하세요? 본 설문지는 이번 수업을 하시기 전에 본 수업의 내용에 대하여 얼마나 알고 있는지를 조사하기 위한 것입니다. 성의껏 답변해 주시면 감사합니다. (해당 항목에 체크하여 주시기 바랍니다.)

문1-8. 아래의 문항은 본 수업 전 수강생의 인식을 조사하기 위한 것입니다. 문항을 읽고 해당 항목에 체크(✓)해 주시기 바랍니다.

문항	선택지				
	①전혀 알지 못한다	②대체로 알지 못한다	③모름이다	④대체로 알고 있다	⑤매우 잘 알고 있다
1 미래 기술을 잘 알고 있거나 경험한 적이 있나요?	1	2	3	4	5
2 미래 기술에서 양자컴퓨터에 대해서 들어본 적 있나요?	1	2	3	4	5
3 나의 꿈이 미래 기술 분야와 관련이 얼마나 있다고 생각하나요?	1	2	3	4	5
4 양자 컴퓨터가 우리 삶에 얼마나 영향을 줄 수 있을까요?	1	2	3	4	5
5 양자 암호에 대해서 들어본 적 있나요?	1	2	3	4	5
6 양자암호 기술이 우리 삶에 얼마나 영향을 줄 수 있을까요?	1	2	3	4	5
7 양자암호 기술에 대해 (더) 알고 싶은가요?	1	2	3	4	5
8 본 수업으로 미래 직업에 대한 생각이 달라졌나요?	1	2	3	4	5

문9. 본 수업을 받기 전의 기대나 느낌 등을 간략히 써 주시면 감사하겠습니다.

그림 7. 기술 인식 조사 예시

Fig. 7. Example of technology awareness survey

시범 수업을 시행하기 전 참여학생을 대상으로 기술 인식 조사를 수행한 결과에 대하여 평균과 표준편차를 구한 결과는 표 2와 같이 확인되었으며, 모든 항목에 대한 평균치가 2.59점임을 확인하였다.

표 2. 시범 수업 전 분석 결과  
Table 2. Analysis results before the pilot lesson

	Average	Variance	Standard deviation
1	3.25	1.02	1.01
2	2.00	1.00	1.00
3	2.25	1.19	1.09
4	2.00	1.33	1.15
5	1.83	0.97	0.99
6	2.00	1.00	1.00
7	4.17	0.97	0.99
8	3.25	1.69	1.30

시범 수업을 시행한 후, 양자 컴퓨팅에 대한 이해도 확인을 위해 수행한 기술 인식 조사 결과에 대하여 평균과 표준편차를 구한 결과는 표 3과 같이 확인되었으며, 모든 항목에 대한 평균치가 3.84점으로 향상되었음을 확인하였다.

표 3. 시범 수업 후 분석 결과  
Table 3. Analysis results after the pilot lesson

	Average	Variance	Standard deviation
1	3.67	0.72	0.85
2	3.92	2.41	1.55
3	3.08	1.91	1.38
4	4.17	1.31	1.14
5	3.92	2.24	1.50
6	3.83	1.47	1.21
7	4.50	0.58	0.76
8	3.67	2.22	1.49

기술 인식 조사 수행 결과 수업 전에는 2.59점에서 수업 후 3.84점으로 학생들에 대한 양자 컴퓨팅 친밀도가 향상되었음을 확인하였다.

## V. 결 론

본 논문에서는 초등 교과과정의 학생을 대상으로 양자 컴퓨팅에 대한 원리 교육을 위해 색채 이론을 기반으로 하는 게이미피케이션 교육 방안에 대하여 제안하였다. 양자의 중첩, 얽힘, 불확정성에 대하여

서로 다른 두 가지 색을 가진 알파벳을 중첩하고, 알파벳을 구성하는 두 가지의 색상 필터를 사용함으로써 초등 교과과정에서도 흥미를 유발할 수 있도록 하였다.

또한, 전면부 필터와 두 가지 색상으로 구성된 단어, 단어의 색과 동일한 두 가지 광원을 사용하여 교육 방안을 제안하였으며, 통신 과정에서 요구되는 일반적인 송수신자 역할과 통신 과정을 도청하는 공격자 역할을 추가하여 양자키분배 과정의 안정성에 대한 내용을 포함하였다.

제안 교육방안을 초등 교육과정 학생 12명을 대상으로 수행한 결과, 수업 전 기술 인식 평가에 대해 평균적으로 2.59점으로 양자 컴퓨팅 수업 내용에 대해 크게 흥미를 가지지 못하였으나, 제안 교육 방안을 적용한 시범 수업을 수행한 결과 평균적으로 3.84점으로 향상되며 학생의 동기 유발에 유의미함을 확인하였다. 향후, 교육 방안을 개선하고 명확한 효과성 분석을 수행하기 위해 추가적인 시범 수업 및 개선 과정 수행이 요구된다. 또한, 양자 얽힘에 대해 보다 명확히 설명할 수 있는 교육 방안의 개선 수행이 요구된다.

## References

- [1] Y. Lee, I. Yo, Y. Bae, and W. Kim, "A Proposal of Informatics curriculum content system for kindergarten and elementary school in connection with the 2022 revised curriculum", Journal of The Korean Association of Information Education, Vol. 26, No. 6, pp. 491-505, Dec. 2022. <https://doi.org/10.14352/jkaie.2022.26.6.491>.
- [2] J. Kim, E. Choi, B. G. Kim, and N. Park, "Proposal of a Token-Based Node Selection Mechanism for Node Distribution of Mobility IoT Blockchain Nodes", Sensors, Vol. 23, No. 19, Oct. 2023. <https://doi.org/10.3390/s23198259>.
- [3] Ministry of Education, "2024 Neulbom School Promotion Plan", Feb. 2024.
- [4] E. Choi, J. Kim, and N. Park, "A Case Study of SW· AI Education for Multicultural Students in Jeju, Korea: Changes in Perception of SW·AI",



- Applied Sciences, Vol. 13, No. 17, pp. 9844, Apr. 2023. <https://doi.org/10.3390/app13179844>.
- [5] D. Ali, Y. Fatemi, E. Boskabadi, M. Nikfar, J. Ugwuoke and H. Ali, "ChatGPT in Teaching and Learning: A Systematic Review", *Education Sciences*, Vol. 14, No. 6, 643, Jun. 2024. <https://doi.org/10.3390/educsci14060643>
- [6] Ministry of Science and ICT, "Quantum Technology R&D Investment Strategy", Apr. 2021.
- [7] C. Walsh, "The past, present, and future of US Government investment in quantum information science", *Science Policy*, Vol. 48, pp. 979-980, Oct. 2023. <https://doi.org/10.1557/s43577-023-00609-1>.
- [8] J. Kim, E. Choi, and N. Park, "A Proposal for a Mobility-Control Data Transfer Mechanism Based on a Block Network Utilizing End-to-End Authentication Data", *Mathematics*, Vol. 12, No. 13, Jul. 2024. <https://doi.org/10.3390/math12132073>.
- [9] J. Kim, "Research on the current state of practical applications and limitations of quantum computing technology", *Journal of The Korea Society of Computer and Information* Vol. 28, No. 3, pp. 1-9, Mar. 2023. <https://doi.org/10.9708/jksoci.2023.28.03.001>.
- [10] C. Lee, I. Sohn, and W. Lee, "Eavesdropping Detection in BB84 Quantum Key Distribution Protocols", *IEEE Transactions on Network and Service Management*, Vol. 19, No. 3, pp. 2689-2701, Apr. 2022. <https://doi.org/10.1109/TNSM.2022.3165202>.
- [11] E. Choi, J. Kim, and N. Park, "An Analysis of the Demonstration of Five-Year-Long Creative ICT Education Based on a Hyper-Blended Practical Model in the Era of Intelligent Information Technologies", *Applied Sciences*, Vol. 13, No. 17, pp. 9718, Apr. 2023. <https://doi.org/10.3390/app13179718>.
- [12] J. Bae, "Concurrence of Rank-two Multipartite Quantum States", *Korean Journal of Optics and Photonics*, Vol. 29, No. 2, pp. 64-69, Apr. 2018. <https://doi.org/10.3807/KJOP.2018.29.2.064>.
- [13] J. Kim and N. Park, "Lightweight knowledge-based authentication model for intelligent closed circuit television in mobile personal computing", *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 26, No. 2, pp 345-353, Apr. 2022. <https://doi.org/10.1007/s00779-019-01299-w>.
- [14] H. Y. Lee, C. Hong, D. H. Lee, H. Yang, and J. Lim, "Authenticated quantum key distribution protocol", *Journal of The Korea Institute of Information Security and Cryptology*, Vol. 14, No. 2, pp. 49-55, 2004.
- [15] Y. Kim, K. Shim, C. Lee, and W. Lee, "An Quantum Key Expansion Structure and Service KeyManagement Scheme For Providing Reliable QuantumKeyDistribution Network Service", *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 47, No. 8, pp. 1068-1080, Aug. 2022. <https://doi.org/10.7840/kics.2022.47.8.1068>.
- [16] P. W. Shor and J. Preskill, "Simple Proof of Security of the BB84 Quantum Key Distribution Protocol", *Physical Review Letters*, Vol. 85, No. 441, Jul. 2000. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.85.441>.
- [17] S. Ryu, J. Kim, and N. Park, "Study on Trends and Predictions of Convergence in Cybersecurity Technology Using Machine Learning", *Journal of Internet Technology*, Vol. 24, No. 3, pp. 709-725, May 2023. <https://doi.org/10.53106/160792642023052403016>.
- [18] S. K. Chong and T. Hwang, "Quantum key agreement protocol based on BB84", *Optics Communications*, Vol. 283, No. 6, pp. 1192-1195, Mar. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2009.11.007>.
- [19] S. Y. Yoon, Y. S. Kwak, Y. J. Seo, and H. S. Kim, "Preferred Display White Point Change According to Display Size", *Journal of Korea Society of Color Studies*, Vol. 34, No. 4, pp.

39-46, Nov. 2020. <https://doi.org/10.17289/jksccs.34.4.202011.39>.

[20] J. M. Bosten and J. D. Mollon, "Is there a general trait of susceptibility to simultaneous contrast?", *Vision Research*, Vol. 50, No. 17, pp. 1656-1664, Aug. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2010.05.012>.

[21] J. Kim and N. Park, "Blockchain-based data-preserving AI learning environment model for AI cybersecurity systems in IoT service environments", *Applied Sciences*, Vol. 10, No. 14, pp. 4718, Jul. 2020. <https://doi.org/10.3390/app10144718>.

[22] S. Ratnasingam and B. L. Anderson, "What predicts the strength of simultaneous color contrast?", *Journal of Vision*, Vol. 17, No. 2, pp. 1-17, Feb. 2017. <https://doi.org/10.1167/17.2.13>.

[23] M. Sailer and L. Homner, "The Gamification of Learning: a Meta-analysis", *Educational Psychology Review*, Vol. 23, pp. 77-112, Aug. 2019. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09498-w>.

[24] J. Kim and N. Park, "De-identification mechanism of user data in video systems according to risk level for preventing leakage of personal healthcare information", *Sensors*, Vol. 22, No. 7, pp. 2589, Mar. 2022. <https://doi.org/10.3390/s22072589>.

[25] A. Vrcelj, N. Hoić-Božić, and M. H. Dlab, "Use of Gamification in Primary and Secondary Education: A Systematic Literature Review", *International Journal of Educational Methodology*, Vol. 9, No. 1, pp. 13-27, Feb. 2023. <https://doi.org/10.12973/ijem.9.1.13>.

[26] B. Rayan and A. Watted, "Enhancing Education in Elementary Schools through Gamified Learning: Exploring the Impact of Kahoot! on the Learning Process", *Education sciences*, Vol. 14, No. 3, pp. 277, Aug. 2023. <https://doi.org/10.3390/educsci14030277>.

[27] S. Bang, J. Han, and H. Jung, "Development of

Educational Contents with Smart JumpingRopes: Integrating Screen Sports and Gamification", *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 25, No. 5, pp. 1139-1145, May 2024. <http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2024.25.5.1139>.

### 저자소개

김진수 (Jinsu Kim)



2019년 9월 ~ 현재 : 제주대학교  
융합정보보안학협동과정  
박사과정  
2018년 9월 ~ 현재 : 제주대학교  
사이버보안인재교육원 연구원  
관심분야 : 클라우드, 지능형  
영상감시 시스템, IoT

정유진 (Yujin Jung)



2022년 2월 : 제주대학교  
융합정보보안학협동과정 박사  
2017년 3월 ~ 현재 : 제주대학교  
융합과학기술사회연구소  
책임연구원, 제주대학교  
초등교육학 컴퓨터교육전공 강사  
관심분야 : 초등정보교육,

지능형컴퓨팅, 디지털포렌식

박남제 (Namje Park)



2008년 2월 : 성균관대학교  
컴퓨터공학과(공학박사)  
2003년 4월 ~ 2008년 12월 : ETRI  
정보보호연구원 선임연구원  
2009년 1월~ 2010년 8월 : UCLA  
Post-Doc., ASU Research  
Scientist

2010년 9월 ~ 현재 : 제주대학교 교육대학  
초등컴퓨터교육전공 교수, 대학원  
융합정보보안학협동과정 교수  
관심분야 : 융합기술보안, 컴퓨터교육, 스마트그리드, IoT,  
해사클라우드