Check for updates

Journal of KIIT. Vol. 23, No. 8, pp. 171-181, Aug. 31, 2025. pISSN 1598-8619, eISSN 2093-7571
http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2025.23.8.171

뉴로모픽 칩 핵심원리 기반 미래 컴퓨팅 보드게임 개발

김푸름*, 박남제**

Design of a Future Computing Board Game based on the Core Principles of Neuromorphic Chips

Pureum Kim*, Namje Park**

이 논문은 2025학년도 제주대학교 교육·연구 및 학생지도비 지원에 의해서 연구되었음

요 약

본 논문은 초등학생이 폰 노이만 구조와 뉴로모픽 칩 간의 구조적 차이를 직관적으로 이해할 수 있도록 설계된 교육용 보드게임을 제안한다. 뉴로모픽 칩은 연산과 기억 기능이 통합된 병렬·이벤트 기반 구조로, 데이터 이동 없이 연산이 가능한 차세대 컴퓨팅 기술이다. 본 보드게임은 연산 방식, 병목 현상, 에너지 소모 등 구조적 특징을 물리적 상호작용을 통해 체험할 수 있도록 구성되었다. 학습자는 주사위 결과에 따라 연산 흐름과 경로를 결정하며, 두 구조의 차이를 전략적으로 반복 경험하게 된다. 파일럿 활동에서는 학생들이 구조적 개념을 자연스럽게 인식하고, 칩의 차이에 따라 사고방식을 조정하는 모습을 보였다. 알고리즘 중심의 기존 언플러그드 활동과 달리, 본 활동은 장비 없이 하드웨어 개념을 직관적으로 익힐 수 있는 교육 모델로, 차세대 기술 개념 학습에 효과적으로 활용될 수 있다.

Abstract

This study proposes an educational board game that helps elementary students intuitively understand the structural differences between the von Neumann architecture and neuromorphic chips. Neuromorphic chips use a parallel, event-driven structure that integrates memory and computation, allowing operations without data movement. The game allows students to experience computation methods, bottlenecks, and energy use through physical interaction. Learners repeatedly compare both architectures by making decisions based on dice rolls. In pilot tests, students recognized key differences and adjusted their thinking based on chip characteristics. Unlike algorithm-focused unplugged activities, this game helps students grasp hardware concepts without extra equipment and supports intuitive learning of future technologies.

Keywords

neuromorphic computing, board game learning, computing education, unplugged learning, future tech education

* 제주대학교 대학원 융합정보보안학협동과정 박사과정
- ORCID: https://orcid.org/0009-0001-5287-053X
** 제주대학교 초등컴퓨터교육전공, 융합정보보안학과 교수 (교신저자)
- ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4434-8933

· Received: May 20, 2025, Revised: Jun. 18, 2025, Accepted: Jun. 21, 2025

· 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@jejunu.ac.kr

Ⅰ. 서 론

인공지능(AI, Artificial Intelligence)을 비롯한 첨단 기술이 빠르게 발전함에 따라, 이를 효과적으로 처리할 수 있는 차세대 컴퓨팅 하드웨어의 중요성이 커지고 있다. 그러나 현재 널리 사용되는 하드웨어는 기존의 폰 노이만 구조에 기반하고 있으며, 연산과 저장이 분리된 구조적 한계로 인해 데이터 이동과 병목현상이 발생하여 성능 향상에 제약을 받고 있다[1][2]. 이러한 한계를 극복하기 위한 대안으로, 인간의 뇌를 모방한 뉴로모픽 칩(Neuromorphic chip)이 주목받고 있다. 뉴로모픽 칩은 연산과 저장이 동일한 위치에서 수행될 수 있어 데이터 이동 없이 병렬 연산이 가능하다는 점에서 기존 컴퓨팅 방식과 차별화된다[3][4]. 이 기술은 인공지능, 자율 주행, 로보틱스 등 다양한 분야에서 높은 효율성과 실시간 처리 능력을 제공할 수 있는 핵심 하드웨어로 부상하고 있다.

하지만 이러한 기술적 변화와 달리, 현재 교육 현장에서는 여전히 소프트웨어 중심의 활동에 집중되어 있으며, 하드웨어 구조나 연산 방식의 차이를 학습자가 체험적으로 이해할 수 있는 기회는 제한적이다. B. G. Yoo et al.[5]은 하드웨어와 소프트웨어가 조화를 이루는 탐구 중심 수업이 학습자의 문제 해결력과 창의적 사고력 향상에 긍정적인 영향을 미친다고 보고하였으며, Grover와 Pea는 컴퓨팅 사고력이 소프트웨어뿐 아니라 하드웨어 구조와 시스템적 사고를 통해서도 강화될 수 있음을 강조하였다. 특히 CS Principles(Computer Science Principles) 과목에서는 디지털 기기와 시스템의 구조적 이해가 컴퓨팅 기반 문제 해결의 핵심 요소로 명시되고 있다[6].

이러한 이론적 배경을 바탕으로, 본 연구는 하드웨어 구조의 차이를 체험하고 비교하는 활동이 학습자의 정보 처리 방식에 대한 이해를 높이고, 기술의 원리를 구조적으로 사고하는 역량을 기르는 데 효과적일 수 있다는 점에 주목하였다. 이를 통해 학생들은 변화하는 기술을 단순히 받아들이는 데 그치지 않고, 이를 비판적으로 분석하고 창의적으로 활용할 수 있는 기반을 마련할 수 있다.

본 연구에서는 뉴로모픽 칩의 병렬 연산 구조와 폰 노이만 구조의 순차 연산 방식을 비교 체험할 수 있도록 보드게임을 개발하였다. 해당 보드게임은 연산 구조의 차이를 물리적인 활동을 통해 직관적으로 이해할 수 있도록 설계되었으며, 이를 통해 초등학생이 추상적인 연산 구조 개념을 쉽고 흥미롭게 학습할 수 있는 기회를 제공하는 것을 목표로 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 폰 노이만 구조와 뉴로모픽 칩의 특징을 중심으로 한 이론적 배경을 설명하고, 3장에서는 이를 토대로 보드게임의 설계와 개발 절차 및 적용 결과를 제시한다. 4장에서는 연구의 결론과 교육적 시사점을 논의한다.

Ⅱ. 이론적 배경

2.1 폰 노이만 구조

폰 노이만 구조는 헝가리 출신 수학자 존 폰 노이만(John Von Neumann)이 1945년 제안한 컴퓨터 아키텍처로, 명령어와 데이터를 동일한 메모리에 저장하고, 중앙처리장치(CPU, Central Processing Unit)가 이를 순차적으로 처리하는 구조를 따른다. 이 아키텍처는 설계가 단순하고 범용성이 높아 현대 대부분의 컴퓨터 시스템에 적용되고 있으며, 현재까지도 널리 사용되는 표준적인 컴퓨팅 구조로 자리 잡고 있다.

그러나 폰 노이만 구조는 연산 장치와 메모리가 물리적으로 분리되어 있어, 연산 과정에서 데이터를 반복적으로 메모리로부터 불러오고 다시 저장해야 한다. 이로 인해 발생하는 데이터 전송 지연은 '폰 노이만 병목현상(Von Neumann bottleneck)'이라 불리며, 전체 시스템 성능을 저하시킬 수 있는 주요 요인으로 작용한다. 또한 이 구조는 구조적으로 순차적인 처리 방식에 기반하기 때문에, 병렬 처리가 어렵고 대규모 데이터 연산에 비효율적이라는 한계가 있다.

이러한 문제를 보완하기 위해 병렬 연산에 특화된 그래픽처리장치(GPU, Graphics Processing Unit)가 도입되었다. GPU는 수천 개의 연산 유닛을 통해 다량의 데이터를 동시에 처리할 수 있도록 설계되었으며, 특히 인공지능 연산에서 대규모 행렬 계산이나 반복

연산의 병렬 처리를 지원함으로써 AI 가속에 널리 활용되고 있다. 그러나 GPU 역시 기본적으로는 폰 노이만 구조를 기반으로 하고 있기 때문에, 여전히 메모리와 연산 장치 간의 데이터 이동으로 인한 병목 문제를 완전히 해결하지는 못하고 있다[7][8].

2.2 뉴로모픽 칩

뉴로모픽 칩(Neuromorphic chip)은 인간의 뇌 신경망 구조에서 영감을 받아 설계된 차세대 컴퓨팅 아키텍처로, 뉴런과 시냅스를 모사한 회로를 통해 연산과 저장을 동시에 수행할 수 있도록 구성되어 있다. 전통적인 폰 노이만 구조와 달리, 뉴로모픽 아키텍처는 연산과 메모리가 분리되어 있지 않기 때문에, 데이터를 이동시키지 않고도 연산이 가능하며, 이는 병목 현상을 근본적으로 줄일 수 있는 구조적 장점을 제공한다. 특히 뉴로모픽 칩은 뉴런(Neuron), 시냅스(Synapse), 그리고 이들 간의 통신(Communication)으로 구성되며, 각 요소가 연산·저장·전달 기능을 통합적으로 수행한다.

그림 1은 폰 노이만 구조와 뉴로모픽 반도체 구조의 차이를 비교한 것으로, 전자가 연산 장치와 메모리 간 반복적 데이터 전송에 기반하는 반면, 후자는 개별 노드에서 입력 신호를 받고 그 자리에서 연산 및 학습이 동시에 일어나는 스파이킹 뉴런 기반 구조를 따른다.

뉴로모픽 칩은 특히 머신러닝, 패턴 인식, 실시간 데이터 처리와 같은 분야에서 강점을 보이며, 기존 디지털 연산 방식에 비해 월등히 낮은 전력 소모로 고속 처리를 가능하게 한다[9][10]. 이는 저전력 모바일 기기, 엣지 컴퓨팅 장치, 자율주행 시스템 등에서의 응용 가능성을 확대시키고 있다.

이러한 뉴로모픽 칩은 개념적 기술에 그치지 않고, 실제로 전 세계 주요 기술 기업들에 의해 활발히 개발되고 있다. 이는 뉴로모픽 칩이 이론적인 연구 단계를 넘어, 차세대 인공지능 연산 기술로서의 현실적 가능성과 산업적 가치를 입증하고 있다는 점에서 주목할 만하다.

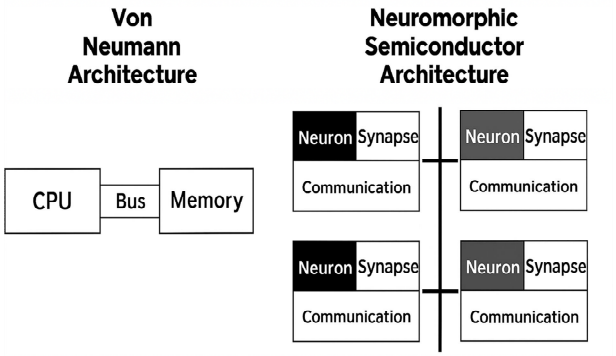

그림 1. 폰 노이만 구조와 뉴로모픽 반도체 구조의 비교
Fig. 1. Comparison of Von Neumann architecture and Neuromorphic semiconductor structure

표 1은 뉴로모픽 칩 개발에 참여하고 있는 대표 기업들과 해당 기술의 핵심 특징을 정리한 것이다[11]-[15].

이와 같이 뉴로모픽 칩은 단지 미래 기술로서의 잠재력뿐 아니라, 현재 진행형의 기술 혁신으로서 교육 현장에서도 충분한 시의성과 정당성을 가진 주제라 할 수 있다. 따라서 본 연구는 뉴로모픽 칩의 핵심 원리를 초등학생이 직관적으로 체험할 수 있도록 구성하여, 하드웨어 구조 개념의 이해를 돕고자 하는 데 목적을 두고 있다.

표 1. 주요 기업들의 뉴로모픽 칩 개발 현황
Table 1. Major companies and Neuromorphic chip development

Company	Representative Neuromorphic chips & systems
Intel	Loihi: Intel's neuromorphic research chip that models spiking neural networks, supporting energy-efficient learning and inference.
IBM	TrueNorth: A neuromorphic chip developed by IBM that mimics the synaptic structure of the human brain, enabling low power consumption and parallel processing.
BrainChip holdings	Akida: A neuromorphic processor based on spiking neural networks, optimized for edge AI applications.
Samsung electronics	Neuromorphic chip in development: Samsung is working on integrating neuromorphic chip technology into various devices to improve efficiency and processing capabilities.

2.3 뉴로모픽 칩 핵심 원리 기반 보드게임 설계 원리

보드게임은 규칙과 절차를 기반으로 개념을 시각화하고 체험할 수 있는 교육 도구로, 복잡한 기술 개념을 물리적 상호작용을 통해 이해하도록 돕는 데 효과적이다[16][17]. 특히 디지털 장비 없이도 정보 처리 구조나 연산 흐름을 표현할 수 있다는 점에서, 초등 수준의 학습자에게 적합한 형태의 체험형 학습 도구로 활용될 수 있다.

본 연구에서는 뉴로모픽 칩의 병렬 처리 구조와 폰 노이만 구조의 순차 처리 방식을 비교 체험할 수 있도록 보드게임을 설계하였다. 게임의 규칙과 흐름은 두 구조의 연산 방식 차이를 반영하여 구성되었으며, 학습자는 주사위 결과에 따라 이동 방식과 연산 방법이 달라지는 과정을 수행하면서 두 아키텍처의 핵심 차이를 자연스럽게 경험하게 된다.

보드게임의 특성상, 모든 연산은 플레이어의 특정 행동에 따라 발생하도록 구성되어 있다. 두 구조 모두 일정한 조건 하에서 연산을 수행하지만, 뉴로모픽 구조는 수식이 포함된 단일 카드만으로 입력과 출력을 동시에 처리하는 반면, 폰 노이만 구조는 메모리와 연산기 간의 데이터 이동 및 순차적 계산 절차를 요구하도록 설계되었다. 이러한 차이는 단순한 연산 시점의 차이가 아니라, 처리 방식과 구조적 흐름의 차이에 근거한다.

특히 뉴로모픽 칩에서의 대표적 연산 원리인 스파이크 기반 부호화(Spike encoding)와 이벤트 중심 처리(Event-driven operation) 개념은 게임 규칙에 교육적으로 환원되어 반영되었다. 학습자는 뉴로모픽 경로에서 사전 준비된 수식 카드를 열람하고 곧바로 연산을 수행함으로써, 이벤트 발생 시에만 계산이 이루어지고 결과가 즉시 반영되는 비동기적 처리 구조를 체험할 수 있다. 이는 입력 자극에 반응하여 연산이 그 자리에서 즉시 이뤄지는 뉴런의 동작 원리를 단순화한 것으로, 학습자에게 뉴로모픽 칩의 특성을 직관적으로 체감하게 한다.

선행연구에서도 보드게임 기반 학습이 초등학생의 컴퓨팅 사고력, 구조적 사고력, 추상 개념 구체화에 긍정적 효과를 미친다는 결과가 보고되고 있으며[18]-[25], 본 연구의 보드게임은 이러한 이론적 기반 위에서 뉴로모픽 칩의 원리를 보다 쉽게 이해할 수 있도록 설계된 사례로서, 실천적 교육 도구로 활용될 수 있는 가능성을 보여준다.

2.4 기술 원리의 교육적 환원 및 게임 요소 대응 구조

본 보드게임은 각 구성 요소가 뉴로모픽 칩과 폰 노이만 구조의 핵심 연산 개념을 교육적으로 환원한 방식으로 설계되었다. 기술 개념과 게임 메커니즘 간의 1:1 대응을 통해, 학습자는 복잡한 연산 구조를 직접 조작하며 그 차이를 체험할 수 있도록 구성하였다.

특히 뉴로모픽 칩의 병렬 처리, 연산-저장 통합, 이벤트 중심 처리 등은 대부분 정량적·시간적 변수 기반의 개념으로 추상화되어 있기 때문에, 이를 초등학생 수준에서 이해하기 위해서는 구조적 비유와 절차적 비유를 활용한 설명이 필요하다.

예를 들어, 병렬 처리는 경로 선택의 자유로움으로, 연산기의 통합은 단일 카드 연산으로, 병목 현상은 에너지 소모 차이로 환원되었다. 이러한 교육적 환원은 단순한 설명보다는 규칙 기반의 활동 경험을 통해 이해를 유도하는 방식으로 작동하며, 개념의 내면화와 비교 사고를 촉진하는 데 효과적이다[26]-[32].

또한, 이러한 설계 방식은 컴퓨팅 시스템의 동작 원리를 물리적 규칙에 반영함으로써, 정보 구조와 절차의 개념을 추상에서 구체로 전환하는 역할을 수행한다. 이는 Grover와 Pea가 언급한 컴퓨팅 사고력의 핵심 요소인 시스템 사고와 구조적 이해를 키우는 데 기여할 수 있다.

각 기술 개념과 게임 요소 간의 구체적 대응 방식은 다음 장에서 보드게임의 실제 구성과 함께 상세히 설명한다.

III. 보드게임 설계 및 개발

3.1 개발절차

보드게임은 초등학생 학습자의 인지 수준과 연산 능력을 고려하여 폰 노이만 구조와 뉴로모픽 칩의

차이를 체험적으로 학습할 수 있도록 설계되었다. 이를 통해 학습자는 개념 비교에 그치지 않고 직접적인 경험을 통해 두 아키텍처의 작동 원리를 이해할 수 있다. 특히, 연산 과정의 높은 난이도로 인해 핵심 원리의 이해를 방해하는 것을 방지하기 위해, 게임 내 연산 과정은 간단한 더하기 연산을 기반으로 설계되었다. 이러한 방식은 학습자의 인지 용량에 비례한 과제 설계를 강조하는 인지 부하 이론(Cognitive load theory)에 부합한다[20]. 이를 통해 불필요한 인지적 부담을 줄이고, 학습자가 핵심 개념 비교에 집중할 수 있는 인지적 여유를 확보함으로써 뉴로모픽 칩의 특성과 폰 노이만 연산 방식의 차이를 명확하게 체험할 수 있도록 한다. 보드게임의 개발은 그림 2에 제시된 절차에 따라 단계적으로 이루어졌다.

Selection of learning objectives and key concepts	Define educational goals and identify key concepts to be learned through the board game, such as computational methods, data movement, and bottlenecks
↓	
Design of board game mechanism	Establish the flow and rules of the board game according to the learning objectives, ensuring that game elements naturally facilitate concept acquisition
↓	
Prototype development	Create an initial version of the board game, including components such as the game board, computation cards, and dice, to enable testing
↓	
Pilot testing and feedback implementation	Conduct testing with actual learners to evaluate difficulty, pacing, and learning effectiveness, then incorporate feedback for improvements

그림 2. 뉴로모픽 칩 핵심 원리 기반 보드게임의 개발 절차

Fig. 2. Development procedure of a board game based on core principles of neuromorphic chips

3.2 게임요소

본 보드게임은 각 컴퓨팅 구조의 핵심 연산 원리를 실제 게임 플레이 과정 속에 반영하여, 학습자가 단순한 설명이 아닌 체험을 통해 구조적 차이를 인식하도록 설계되었다.

예를 들어, 플레이어가 메모리에서 숫자 카드를 선택하여 연산 칸으로 옮기고, 계산을 수행한 후 카드를 다시 메모리에 돌려놓는 일련의 절차를 거친다. 이 흐름은 전통적인 폰 노이만 구조의 순차 처리 방식, 즉 명령어 인출, 실행, 결과 저장의 절차를 반영한 것이다[33]-[41].

반면 뉴로모픽 구조에서는 플레이어가 수식이 완성된 카드를 바로 열람하고 계산을 즉시 수행하며, 계산 결과만큼 자유롭게 이동할 수 있다. 이는 연산과 저장이 동일 위치에서 동시에 이루어지는 뉴런 기반 처리 원리를 반영한 것이다.

또한 게임 내 에너지 시스템은 경로에 따라 자원 소모량과 회복 기회를 차등화함으로써, 병목 현상과 자원 효율성 차이를 전략적으로 체험할 수 있도록 설계되었다.

이처럼 실제 게임 흐름은 각 구조의 기술적 특성을 반영하는 요소들로 구성되어 있으며, 학습자는 이를 수행하며 자연스럽게 두 구조의 차이를 비교하고 체험하게 된다.

3.2.1 연구 경로

연구소를 최종 목적지로 설정하며, 연구소에 가장 먼저 도착해서 AI 칩 개발을 완성하는 게임이다. 연구 경로는 게임판 중간의 여러 노드로 구성되며, 특정 노드끼리 연결된 경로를 따라 이동한다.

폰 노이만 경로(Von Neumann path, sequential progress): 기존의 순차적인 연구 방식으로, 플레이어는 정해진 순서대로 연구 단계를 거쳐야 한다. 검은색으로 구분하였다.

뉴로모픽 칩 경로(Neuromorphic path, parallel progress): 병렬적인 연구 방식을 적용하여, 연결된 노드라면 자유롭게 이동할 수 있다. 초록색으로 구분하였다.

3.2.2 연산 방식

각 플레이어는 주사위를 던져 나온 색에 따라 이동 방식과 연산 방법을 결정한다. 실제 보드게임에서 사용되는 연산 방식에 따른 게임요소는 표 2와 같다.

폰 노이만 방식: 메모리에서 숫자 카드를 한 장씩 뽑아, 연산기에 올려놓고 계산한다. 계산 결과만큼 말을 순차적으로 이동한다. 계산 후에는 숫자 카드를 메모리에 다시 돌려놓는다.

뉴로모픽 방식: 뉴로모픽 칩 카드에 제시된 수식을 즉시 계산한다. 카드에 완전한 수식이 적혀있으며, 해당 위치에서 연산과 저장이 함께 이루어질 수 있다. 계산 결과만큼 연결된 경로 내에서 자유로운 방향 선택이 가능하다.

표 2. 연산 방식에 따른 게임 요소
Table 2. Game elements based on computational methods

Computational methods	Board game elements
Von Neumann method	
Neuromorphic method	

3.2.3 연구 진행 노드

연구 진행 노드는 게임판 중간에 배치되며, 각 노드에 해당 연구 단계의 내용을 표시한다.

초기 연구: 연구를 시작하는 단계로, 데이터를 수집하고 기초적인 연구를 수행한다.

중간 연구: 연구를 최적화하는 단계로, 알고리즘과 모델을 개선한다.

최종 연구: 뉴로모픽 칩을 완성하는 마지막 단계로, 연구 성과를 정리하고 칩 개발을 마무리한다.

3.2.4 특수 이벤트 카드

특정 노드에 도착하면 이벤트 카드를 오픈하여 랜덤한 상황이 발생한다. 일부 이벤트는 추가적인 에너지를 제공할 수 있다.

데이터 오류: 연구 데이터가 손상되어 연구를 다시 수행해야 하는 상황이 발생할 수 있다.

연구 업그레이드: 연구 장비가 향상되거나 새로운 기술을 적용하여 추가 이동 기회를 얻는다.

에너지 충전: 연구 성과가 인정되어 추가 에너지를 획득할 수 있다.

투자 유치: 연구 성과가 인정받아 추가 연구 자금을 획득하고 연구를 가속화할 수 있다.

3.2.5. 에너지 시스템

게임 시작 전에 모든 플레이어는 동일한 에너지를 코인 형태로 부여받는다. 플레이어는 이동할 때마다 코인을 소모해야 하며, 에너지가 소진되면 이동할 수 없다. 에너지가 소진된 경우, 에너지를 획득할 때까지 카드를 뽑아 이벤트를 수행해야 한다. 획득한 '연구 보너스'를 활용하여 에너지를 회복할 수 있다.

3.2.6 승리 조건

최종 목적지인 연구소 노드에 가장 먼저 도달한 플레이어가 우승하게 된다. 하지만 본 게임의 승리 조건은 단순한 도착 경쟁에 그치지 않는다. 각 플레이어는 주사위 결과에 따라 경로가 결정되며, 선택된 경로에 따라 서로 다른 연산 방식과 에너지 전략을 경험하게 된다.

이 과정에서 연산 구조의 효율성과 처리 방식의 차이를 인식하고, 주어진 조건을 전략적으로 활용하

는 능력이 승부에 직접적인 영향을 미친다. 예를 들어, 폰 노이만 경로는 연산 절차가 복잡하고 에너지 소모가 많아 상대적으로 이동 속도가 느려질 수 있는 반면, 뉴로모픽 경로는 빠른 계산과 자유로운 경로 이동이 가능하다.

이처럼 본 게임은 단순한 속도 경쟁이 아닌, 연산 구조에 대한 이해와 상황에 따른 전략적 활용 능력을 통해 승패가 갈리도록 설계되어 있다.

그림 3은 뉴로모픽 칩 핵심 원리 기반 보드게임 배치도이다.

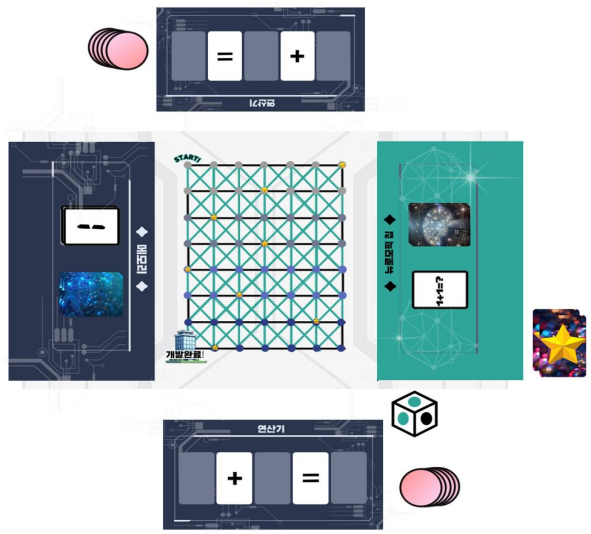

그림 3. 뉴로모픽 칩 원리 기반 보드게임 배치도
Fig. 3. Layout of a board game based on core principles of Neuromorphic chips

3.3 연구결과

뉴로모픽 칩 핵심 원리 기반 보드게임 활동은 학습자가 게임을 수행하는 과정에서 폰 노이만 구조와 뉴로모픽 칩 구조의 작동 방식을 체험적으로 비교할 수 있도록 구성되었다.

학습자의 게임 흐름은 표 3에 제시된 단계별 절차에 따라 진행되며, 에너지 지급, 경로 선택, 연산 수행, 이벤트 카드 처리 등 각 단계가 명확히 구조화되어 있다. 또한 그림 4는 보드게임 전개의 과정을 시각적으로 표현한 흐름도로, 학습자가 어떤 규칙과 조건 하에서 연산을 수행하고 결과에 따라 이동하는지를 직관적으로 이해할 수 있도록 돕는다.

표 3. 뉴로모픽 칩 핵심 원리 기반 보드게임의 진행 절차
Table 3. Game procedure based on core Neuromorphic chip principles

Step	Description
1. Start the game	All players receive the same number of energy coins. The goal is to reach the research lab.
2. Roll the dice	Each player rolls the dice to determine which path to follow: Von Neumann or Neuromorphic.
3. Choose path & move	- Von Neumann path: Move sequentially through each node. - Neuromorphic path: Freely move between connected nodes.
4. Perform computation	- Von Neumann method: Draw number cards one by one, perform addition, return cards, and move based on the result. - Neuromorphic method: Open a neuromorphic card with a complete equation, calculate instantly, and move flexibly according to the result.
5. Draw special event card	When landing on an event node, draw a card: - Data error: Repeat the research process. - Research upgrade: Gain an extra move. - Energy recharge: Gain energy coins. - Investment funding: Gain a research bonus.

이러한 구조는 보드게임을 통해 연산 구조의 핵심 개념을 직관적으로 탐색할 수 있도록 설계된 것으로, 학습자는 연산 흐름과 데이터 처리 방식의 차이를 규칙 기반의 물리적 활동을 통해 경험하게 된다. 특히 각 경로에 따른 계산 방식과 이동 규칙은 뉴로모픽 칩과 폰 노이만 구조의 작동 원리를 시각적·절차적으로 비교할 수 있는 기반을 제공한다.

이는 학습자가 추상적인 개념을 단순히 설명받는 것이 아니라, 행동을 통해 자연스럽게 개념 구조를 유추하고 사고하도록 유도하기 위한 의도적 설계 결과이다.

본 보드게임은 초등학생 4명을 대상으로 파일럿 테스트를 실시하였으며, 참가자는 3학년 2명과 5학년 2명으로 구성되었다. 활동 전후 인터뷰를 통해 학습자의 이해도와 체험 반응을 확인하였다.

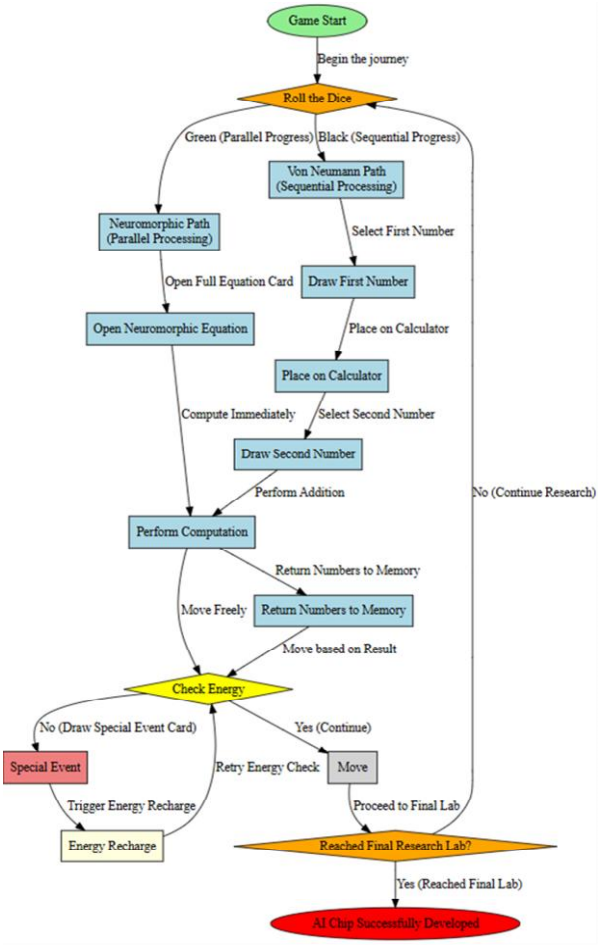

그림 4. 뉴로모픽 칩 핵심 원리 기반 보드게임의 흐름도
Fig. 4. Flowchart of a board game based on core principles of Neuromorphic chips

저학년 학생들은 처음에는 연산 방식의 차이를 이해하는 데 다소 어려움을 보였으나, 게임을 반복하면서 뉴로모픽 칩은 '한 번에 계산이 되는 칩'이라는 개념을 직관적으로 인식하게 되었다. 고학년 학생들은 연산과 메모리의 이동 없이 계산이 이루어지는 구조를 빠르게 이해하였으며, 메모리와 계산이 하나로 연결되어 작동하는 느낌이라고 표현하였다. 이를 통해 병렬 처리와 연산-저장 통합 개념에 대한 기본적인 이해가 이루어졌음을 알 수 있었다. 인터뷰에서 공통적으로 언급된 반응 중 하나는 "컴퓨터가 다 똑같이 계산하는 줄 알았는데, 칩마다 방식이 다르다는 걸 알게 되었다"는 응답이었다.

이러한 결과는 보드게임이 추상적인 개념을 구체적으로 체험하는 데 유의미한 도구가 될 수 있음을 보여준다. 또한 테스트 과정에서 발견된 용어 난이도 문제나 이동 규칙의 일부는 간단한 문구 수정을 통해 보완되었으며, 전반적으로 게임 구조가 학습자 수준에서 효과적으로 작동함을 확인할 수 있었다. 향후 연구에서는 정량적 평가와 대조군 설계를 통해 교육적 효과를 보다 명확히 검증할 필요가 있다.

그림 5는 파일럿 테스트 활동 모습이다.

그림 5. 보드게임 파일럿 테스트 활동 모습
Fig. 5. Board game pilot test activity

Ⅳ. 결론 및 시사점

본 논문은 뉴로모픽 칩의 핵심 연산 구조를 보드게임 형태로 구현하여, 초등학생들이 폰 노이만 구조와의 차이를 직관적으로 비교하고 이해할 수 있도록 설계하였다. 데이터 이동, 병렬 처리 등의 개념을 게임 과정에 반영하여 학습자가 단순한 지식 전달을 넘어 구조적 차이를 체험하도록 하였다. 파일럿 테스트 결과, 학습자들은 서로 다른 경로의 연산 방식과 에너지 소모를 경험하며 시스템 구조의 차이를 인식하고 전략적으로 사고하는 모습을 보였다. 이를 통해 보드게임이 기술 구조 개념을 학습자가 직관적으로 내면화할 수 있음을 확인하였다.

본 논문은 학습 도구의 설계와 체험 효과에 초점을 두었기에, 학습자의 개념 이해나 문제 해결력에 미치는 영향을 실증적으로 분석하지는 못하였다. 향후 연구에서는 수업 적용을 통한 사전·사후 평가와 대조군 비교 등을 통해 교육적 효과를 체계적으로 검증할 필요가 있다.

본 보드게임은 연산 구조, 데이터 흐름, 처리 효율성 등 차세대 컴퓨팅 하드웨어 개념을 물리적 활동으로 경험할 수 있도록 구성되었다는 점에서 의의가 있다. 또한 양자 컴퓨팅, 분산 처리, 엣지 기반 AI 시스템 등 다양한 미래 기술 교육으로 확장 가능성을 보여주며, 기존의 SW 중심 교육을 보완하는 하드웨어 기반 체험 모델로 기여할 수 있을 것이다.

References

[1] K. I. Oh, S. E. Kim, Y. H. Bae, K. H. Park, and Y. S. Kwon, "Trend of AI neuromorphic semiconductor technology", Electronics and Telecommunications Trends, Vol. 35, No. 3, pp. 76-84, Jun. 2020. https://doi.org/10.22648/ETRI.2020.J.350308.

[2] Nature Computational Science, "Boosting AI with neuromorphic computing", Nature Computational Science, Vol. 5, No. 1, pp. 1-2, Jan. 2025. https://doi.org/10.1038/s43588-025-00770-4.

[3] K. Kim, M. S. Song, H. Hwang, S. Hwang, and H. Kim, "A comprehensive review of advanced trends: from artificial synapses to neuromorphic systems with consideration of non-ideal effects", Frontiers in Neuroscience, Vol. 18, Apr. 2024. https://doi.org/10.3389/fnins.2024.1279708.

[4] N. Hampiholi, "Revolutionizing AI and computing: the neuromorphic engineering paradigm in neuromorphic chips", International Journal of Computer Trends and Technology, Vol. 72, No. 1, pp. 92-98, Jan. 2024. https://doi.org/10.14445/22312803/IJCTT-V72I1P115.

[5] B. G. Yoo, J. M. Kim, and W. G. Lee, "Implications from writing the computing systems unit of the 2015 revised curriculum", Journal of the Korean Association of Computer Education, Vol. 19, No. 2, pp. 31-40, Mar. 2016. https://doi.org/10.32431/kace.2016.19.2.004.

[6] S. Grover and R. Pea, "Computational thinking in K−12: A review of the state of the field", Educational Researcher, Vol. 42, No. 1, pp. 38-43, Jan. 2013. https://doi.org/10.3102/0013189X12463051.

[7] J. H. Lee and H. J. Lee, "Trends in AI semiconductor development and customized educational programs", SNU College of Engineering Webzine, No. 131, Jun. 2024.

[8] C.-K. Hong and J.-B. Kim, "Design of in-memory computing adder using low-power 8+T SRAM", Journal of Korea Institute of Electronics and Communication Sciences, Vol. 18, No. 2, pp. 291-298, Apr. 2023.

[9] M.-J. Lee and H.-S. Choi, "Neuromorphic computing for artificial intelligence: A review", Journal of Information Technology Convergence Engineering, Vol. 11, No. 1, pp. 1-9, Jun. 2021. https://doi.org/2021.10.22733/JITAE.2021.11.01.001.

[10] M. Davies, N. Srinivasa, T.-H. Lin, G. Chinya, Y. Cao, and S. H. Choday, "Loihi: A neuromorphic manycore processor with on-chip learning", IEEE Micro, pp. 82-99, Jan.-Feb. 2018. https://doi.org/10.1109/MM.2018.112130359.

[11] Intel, https://www.intel.com/newsroom. [accessed: May 18, 2025]

[12] IBM, https://www.ibm.com/think/topics/neuromorphic-computing. [accessed: Jan. 01, 2025]

[13] BrainChip, https://brainchip.com/akida-generations/. [accessed: Jan. 01, 2025]

[14] Samsung Electronics, https://news.samsungsemiconductor.com/global/samsung-electronics-puts-forward-a-vision-to-copy-and-paste-the-brain-on-neuromorphic-chips/. [accessed: Jan. 01, 2025]

[15] F. Akopyan, et al., "TrueNorth: Design and tool flow of a 65 mW 1 million neuron programmable neurosynaptic chip", IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, pp. 1537-1557, Oct. 2015. https://doi.org/10.1109/TCAD.2015.2474396.

[16] J. S. Kim and N. J. Park, "A gamification-based board game for understanding AI principles in elementary education", Journal of The Korean Association of Information Education, Vol. 23, No. 4, pp. 425-434, Jun. 2019. https://doi.org/10.14352/jkaie.2019.23.3.229.

[17] G. Huh, "A meta-analysis on the effectiveness of board game programs", Humanities and Social Sciences 21, Vol. 14, No. 3, pp. 1411-1421, Jun. 2023. https://doi.org/10.22143/HSS21.14.3.307.

[18] J. Lee and I. Park, "Relationship between unplugged activities using SW education board

games and elementary students' computational thinking", Journal of Creative Information Culture, Vol. 6, No. 2, pp. 89-99, Aug. 2020. https://doi.org/10.32823/jcic.6.2.202008.89.

[19] E. K. Ha, "Development of a board game creation curriculum for unplugged activities", Jour. of KoCon.a, Vol. 24, No. 2, pp. 487-496, Feb. 2024. https://doi.org/10.5392/JKCA.2024.24.02.487.

[20] J. Sweller, P. Ayres, and S. Kalyuga, "Cognitive load theory", Springer, pp. 1-250, Mar. 2011.

[21] 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.

[22] 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.

[23] 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.

[24] 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.

[25] 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.

[26] 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.

[27] 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.

[28] 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.

[29] N. Park, B.-G. Kim, and J. Kim, "A Mechanism of Masking Identification Information regarding Moving Objects Recorded on Visual Surveillance Systems by Differentially Implementing Access Permission", Electronics, Vol. 8, No. 7, pp. 1-17, Jun. 2019.

[30] N. Park, J. Kwak, S. Kim, Do. Won, and H. Kim, "WIPI Mobile Platform with Secure Service for Mobile RFID Network Environment", Conferences of Asia-Pacific Web Conference, Harbin, China, pp. 741-748, Jan. 2006.

[31] N. Park and N. Kang, "Mutual Authentication Scheme in Secure Internet of Things Technology for Comfortable Lifestyle", Sensors, Vol. 16, No. 1, pp. 1-16, Dec. 2015.

[32] D. Lee and N. Park, "Geocasting- based synchronization of Almanac on the maritime cloud for distributed smart surveillance", The Journal of Supercomputing, Vol. 73, No. 3, pp. 1103-1118, Mar. 2017.

[33] J. Kim, N. Park, G. Kim, and S. Jin, "CCTV Video Processing Metadata Security Scheme Using Character Order Preserving-Transformation in the Emerging Multimedia", Electronics, Vol. 8, No. 4,

Apr. 2019. https://doi.org/10.3390/electronics8040412.

[34] D. Lee, N. Park, G. Kim, and S. Jin, "De-identification of metering data for smart grid personal security in intelligent CCTV-based P2P cloud computing environment", Peer to Peer Networking and Applications, Vol. 11, No. 6, pp. 1299-1308, Nov. 2018.

[35] D. Lee and N. Park, "Blockchain based privacy preserving multimedia intelligent video surveillance using secure Merkle tree", Multimedia Tools and Applications, pp. 1-18, Mar. 2020.

[36] P. Kim and N. Park, "Development and Effectiveness Analysis of a Metadata-Based Digital Forensics Education Program Utilizing Unplugged", JOURNAL OF The Korean Association of information Education, Vol. 29, No. 2, pp. 183-193, 2025.

[37] E. Choi, S. Park, Y. Bae, J. Shim, W. Jun, B. Han, and N. Park, "AI and Digital Literacy Training Support Strategies for Elementary School Teachers in South Korea: Insights from Needs Analysis and Delphi Survey", KSII Transactions on Internet and Information Systems, Vol. 19, No. 2, pp. 488-512, 2025.

[38] J. Kim and N. Park, "Blockchain-based Smart Grid De-Identification Metadata Transmission Mechanism", Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 22, No.7, pp. 169-177, 2024. doi: 10.14801/jkiit.2024.22.7.169

[39] E. Choi and N. Park, "Development of Network Information Security Educational Contents Infused with Folktales in Jeju", Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 22, No.2, pp. 177-193, 2024. doi: 10.14801/jkiit.2024.22.2.177

[40] J. Kim, Y. Jung and N. Park, "A Proposal for Elementary Education Methods based on Color Phenomena for Understanding the Principles of Quantum Communication", Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 22, No.12, pp.191-200, 2024. doi: 10.14801/jkiit.2024.22.12.191

[41] S. Heo, “Issues of EduTech Discourse and Educational challenges in Korea“, The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 23, No. 2, pp.209-214, Apr. 30, 2023.

저자소개

김 푸 름 (Pureum Kim)

2019년 8월 : 제주대학교 초등컴퓨터교육(교육학석사)
2023년 3월 ~ 현재 : 제주대학교 융합정보보안학협동과정 박사과정
관심분야 : 초등정보교육, 미래기술교육, 정보보안교육

박 남 제 (Namje Park)

2008년 2월 : 성균관대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
2003년 4월 ~ 2008년 12월 : ETRI 정보보호연구단 선임연구원
2009년 1월~ 2010년 8월 : UCLA Post-Doc., ASU Research Scientist
2010년 9월 ~ 현재 : 제주대학교 초등컴퓨터교육전공, 대학원 융합정보보안학협동과정 교수,
관심분야 : 융합기술보안, 컴퓨터교육, 스마트그리드, IoT, 해사클라우드