

Design and Development of an Unplugged Board Game for Learning Graph Theory

Jeong-Sook Lee*, Hyun-Jong Choe**

*Doctoral Student, Dept. of Computer Education, Korea National University of Education, Chungbuk, Korea

**Professor, Dept. of Computer Education, Korea National University of Education, Chungbuk, Korea

[Abstract]

As graph theory applications are rapidly increasing in various fields such as social network analysis, big data processing, and artificial intelligence, the 2022 revised curriculum emphasizes graph theory learning as a core competency in the digital transformation era. This study aims to develop an unplugged-based educational board game to support middle school students' learning of graph theory. The developed board game can be played by 2-4 players for approximately 40 minutes and is designed to learn the concepts of shortest path and minimum spanning tree by connecting them with the theme of space travel without using computers. The educational effect and gameplay were verified and improved through expert review by 8 professionals and prototype playtesting with 12 middle school students, with expert evaluation scoring above 4 points (out of 5) in all areas. The final board game incorporates game elements such as magnetic components and card flipping to motivate learning, and enables step-by-step learning through difficulty-leveled problem cards. In particular, considering the learner's level, the game's difficulty and strategy were balanced by adjusting the number range of travel pass cards and introducing dice-based card flipping restrictions. This study is significant in that it developed an educational tool that allows students to learn abstract graph theory concepts through concrete gaming experiences based on unplugged activities.

▶ **Key words:** Graph Theory, Educational Board Game, Shortest Path, Minimum Spanning Tree, Unplugged learning

• First Author: Jeong-Sook Lee, Corresponding Author: Hyun-Jong Choe
*Jeong-Sook Lee (jeongbo2019@knue.ac.kr), Dept. of Computer Education, Korea National University of Education
**Hyun-Jong Choe (chj@knue.ac.kr), Dept. of Computer Education, Korea National University of Education
• Received: 2024. 12. 23, Revised: 2025. 01. 13, Accepted: 2025. 01. 22.

[요 약]

현대 사회는 소셜 네트워크 분석, 빅데이터 처리, 인공지능 등 다양한 분야에서 그래프 이론의 활용이 급증하면서, 2022 개정 교육과정에서도 디지털 전환 시대의 핵심 역량으로 그래프 이론 학습이 강조되고 있다. 이에 본 연구는 중학생들의 그래프 이론 학습을 지원하기 위한 언플러그드 기반의 교육용 보드게임을 개발하는 것을 목적으로 한다. 개발된 보드게임은 2~4명이 약 40분 간 진행할 수 있으며, 컴퓨터 없이도 최단 경로와 최소 신장 트리의 개념을 우주여행이라는 테마와 연결하여 학습할 수 있도록 설계되었다. 8인의 전문가 검토와 12명의 중학생 대상 플레이 테스트를 통해 게임의 교육적 효과와 게임성을 검증하고 개선하였으며, 전문가 평가 결과 모든 영역에서 4점 이상(5점 만점)의 높은 점수를 받았다. 최종 개발된 보드게임은 자석 구성품과 카드 뒤집기 등의 게임적 요소를 통해 학습 동기를 유발하고, 난이도별 문제 카드를 통해 단계적 학습이 가능하게 하였다. 특히 학습자의 수준을 고려하여 통행권 카드의 숫자 범위를 조정하고, 주사위를 통한 카드 뒤집기 제한을 도입하는 등 게임의 난이도와 전략을 균형 있게 설계하였다. 본 연구는 추상적인 그래프 이론 개념을 언플러그드 활동 기반의 게임이라는 구체적 경험을 통해 학습할 수 있는 교육 도구를 개발했다는 점에서 의의가 있다.

▶ **주제어:** 그래프 이론, 교육용 보드게임, 최단 경로, 최소 신장 트리, 언플러그드 교육

I. Introduction

1. Research Background and Necessity

오늘날 사회는 급속히 디지털화되고 있으며, 복잡한 데이터와 네트워크 구조가 일상화되고 있다. 이러한 환경에서 다양한 관계와 상호작용을 분석할 수 있는 그래프 이론의 중요성이 점점 강조되고 있다. 그래프 이론은 컴퓨터 과학, 통신, 사회 네트워크 분석, 경로 최적화 등 다양한 분야에서 데이터의 관계성을 이해하고 문제를 해결하는데 필수적인 도구로 자리 잡고 있다[1]. 특히 4차 산업혁명 시대에서 소셜 네트워크 분석, 빅데이터 처리, 인공지능의 딥러닝 등 다양한 분야에서 그래프 이론의 활용이 급증하고 있다. Facebook의 소셜 그래프는 대규모 네트워크 데이터 구조를 기반으로 관계를 분석하며, 이를 통해 사용자 간의 연결성을 시각화하고 이해할 수 있도록 한다[2]. 또한, Google의 PageRank 알고리즘은 웹 페이지들의 연결 관계를 그래프로 모델링하여, 검색 결과의 순위를 정렬하는데 사용되고 있다[3]. 2022 개정 교육과정은 디지털 대전환 시대에 대응하여 학생들에게 컴퓨팅 사고력, 디지털 문화 소양, 인공지능 소양과 같은 핵심 역량을 기르도록 설계되었다. 특히 알고리즘과 프로그래밍 영역에서는 학생들이 실생활 문제를 발견하고 분석하여 이를 해결할 수 있는 다양한 전략을 학습하도록 강조하고 있다. 그래프 이론은 이러한 맥락에서 문제 해결 과정에서 중요한 도구로 활용될 수 있다. 예를 들어, 최단 경로(Shortest Path) 알고

리즘과 최소 신장 트리(Minimum Spanning Tree)는 데이터의 효율적인 처리와 네트워크 최적화를 다루며, 이는 학생들이 실생활에서 응용할 수 있는 논리적 사고와 문제 해결 능력을 키우는데 기여한다[4-5].

그러나 그래프 이론은 그 특성상 수학적 배경과 추상적인 사고를 요구하므로, 많은 학생에게는 어려운 학습 영역으로 인식되고 있다. 기존의 이론 중심 교육 방식은 학생들이 그래프 이론의 개념을 직관적으로 이해하는 데 한계를 보이고 있으며, 학습 효과를 저하할 위험이 있다. 따라서, 학생들이 그래프 이론을 쉽고 재미있게 학습할 수 있도록 도와주는 대안적 학습 방법이 필요하다[6-7].

게임 기반 학습은 학습자에게 흥미를 유발하고 적극적인 참여를 이끌어낼 수 있는 교육 방법으로 자리 잡고 있다. 특히 언플러그드 활동은 컴퓨터 없이도 컴퓨터 과학의 개념을 이해하고 문제를 해결하는 경험을 제공한다는 점에서 주목받고 있다. 연구에 따르면, 언플러그드 활동은 학업 성취도와 문제 해결력, 논리적 사고력을 높이는 데 효과가 있으며, 학생들에게 흥미와 동기를 부여하는 정의적 효과도 크다. 이러한 활동은 프로그래밍 언어와 같은 선행 지식이 없어도 학습이 가능하다는 장점이 있으며, 특히 경쟁심과 협동심을 통해 학습자들의 몰입을 유도하는데 효과적이다[6]. 본 연구는 그래프 이론이 현대 사회에서

필수적인 도구라는 점을 인식하고, 학생들이 이론을 쉽게 이해하고 실생활에 적용할 수 있도록 돕는 학습 도구를 개발하는 데 목적을 두고 있다. 특히, 최단 경로와 최소 신장 트리와 같은 개념을 게임을 통해 재미있고 효과적으로 학습할 수 있도록 설계함으로써, 기존 교육 방법의 한계를 극복하고 학습 효과를 증대시키는 데 기여할 것으로 기대된다.

2. Changes and Characteristics of the 2022 Revised Curriculum

2022 개정 교육과정은 학생들이 급변하는 디지털 사회에서 요구되는 창의적 문제 해결 능력과 융합적 사고력을 갖추는 것을 목표로 개편되었다. 이에 따라 정보과 교육과정은 컴퓨터 과학의 기초 지식을 넘어서 학생들이 다양한 상황에서 디지털 리터러시를 발휘할 수 있도록 하는 방향으로 변화하고 있다. 특히 알고리즘과 프로그래밍 영역에서는 학생들이 실생활 문제를 발견하고, 이를 분석 및 추상화하여 해결책을 설계하는 과정을 강조하고 있다. 이 과정에서 학생들은 다양한 알고리즘을 설계하고 적용하며 문제 해결 능력을 키울 수 있다[4]. 이러한 학습 경험은 학생들의 논리적 사고력과 창의적 문제 해결 능력을 향상시키며, 이는 2022 개정 교육과정이 강조하는 핵심 역량인 컴퓨팅 사고력과 디지털 문화 소양의 함양과도 직결된다.

3. Research Purpose and Significance

본 연구의 목적은 그래프 이론 학습을 위한 언플러그드 보드게임을 설계하고 개발하는 데 있다. 이를 통해 학생들은 그래프 이론의 기본 개념인 노드, 간선, 경로 등을 직관적으로 이해하고, 문제 해결에 이를 적용할 기회를 가지게 된다. 특히 놀이를 통한 학습 환경을 제공하여 학생들의 흥미를 유발하고 자발적인 참여를 이끌어내는 교육적 가능성을 탐구하고자 한다.

또한 본 연구는 보드게임을 활용한 학습 방식이 학생들의 그래프 이론에 대한 이해도와 학습 동기에 미치는 영향을 분석하는 것을 목표로 한다. 이를 통해 중·고등학교 정보과 교육과정에서 보드게임이 교육적 도구로서 실질적으로 활용될 가능성을 평가하고, 효과적인 학습 방안을 제안하고자 한다.

2022 개정 교육과정은 학생들의 창의적 문제 해결력과 논리적 사고력 배양을 강조하고 있다. 본 연구는 이러한 교육과정의 목표에 부합하는 학습 방법으로서, 학생들이 실생활 문제를 탐구하고 해결하는 과정에서 컴퓨터 과학 개념을 자연스럽게 이해할 수 있도록 돕는 구체적인 방안

을 제시한다. 특히 알고리즘과 프로그래밍 영역에서 강조되는 문제 해결 중심 학습과 연계하여, 그래프 이론과 같은 추상적 개념의 학습을 지원할 수 있는 도구로서 보드게임의 가능성을 탐구한다.

본 연구에서 개발한 언플러그드 보드게임은 정보과 교육과정에서 추상적 개념 학습의 어려움을 해결하기 위한 대안적 방안이 될 수 있으며, 이를 통해 정보교육의 질적 향상과 학습 효과 증대에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

II. Preliminaries

1. Unplugged Computing Education

Computer Science Unplugged (CS Unplugged)는 컴퓨터를 사용하지 않고도 컴퓨터 과학의 개념을 가르치는 교육 방법으로, 활동, 게임, 마술 트릭, 경쟁 등을 통해 컴퓨터 과학적 사고를 경험하게 하며, ACM K-12 교육과정에서 권장될 만큼 그 교육적 가치를 인정받아 현재 12개국어로 번역되어 전 세계적으로 활용되고 있다. 이는 기존 교육과정에 쉽게 통합될 수 있고, 특별한 컴퓨터 설비 없이도 실행할 수 있으며, 학생들에게 컴퓨터 과학의 핵심 개념을 직관적으로 이해시킬 수 있는 장점이 있다[6,8].

CS Unplugged의 활동 유형은 Table 1과 같이 콘텐츠의 개발 방식과 수업 활동 전략에 따라 이야기 기반, 신체 활동 기반, 도구 기반, 학습지 기반 네 가지로 나눌 수 있다[9].

Table 1. Types of Unplugged Computing

Type	Description
Story-Telling	Using narratives to explain computer science concepts and principles in an easily understandable way
Physical Activity	Understanding computer science concepts and principles through physical movement
Media & Tools	Understanding computer science concepts through games and play activities using various tools (cards, stickers, magnets, tokens, etc.)
Work Sheet	Learning computer science concepts by solving worksheets; effective for assessing and applying understanding of learned concepts and principles

본 연구에서는 언플러그드 컴퓨팅의 다양한 유형 중 이야기 기반과 도구 기반 활동을 통합하여 보드게임을 개발하고

자 한다. 이는 학습자들이 흥미로운 이야기를 바탕으로, 실제 조작이 가능한 구성품들을 활용하여 그래프 이론의 개념을 직접 체험하며 학습할 수 있다는 점에서 교육적 의의가 있다.

2. Analysis of the 2015 and 2022 Revised Informatics Curriculum

2015 개정 정보 교과서 12종의 문제 해결과 프로그래밍 단원 분석 결과 그래프 알고리즘은 모든 교과서에서 다루고 있음을 확인할 수 있다[10]. 또한 2022 개정 교과서 분석 결과는 다음 Table 2와 같다[11-18].

Table 2. Graph algorithm details by textbook

Text Book	Graph Algorithm Details
A	Comparison and Analysis of Item Delivery Algorithms
B	Quickly Grabbing Only the Needed Items at the Store
C	Finding the Fastest Route to the Amusement Park
D	Using All Rides in the Shortest Possible Route
E	Finding the Fastest Route from Home to School
F	Experiencing All the Rides at the Amusement Park
G	Finding the Way from Home to the Train Station
H	Various Challenges You Might Encounter at the Amusement Park

2015 개정 및 2022 개정 정보 교과서의 알고리즘 영역의 분석 결과 그래프 알고리즘은 대부분 교과서에서 다루고 있어 이를 통해 중학교 정보 교육과정에서 그래프 알고리즘을 이해하는 것이 학생들의 주요한 학습 목표 중의 하나임을 확인하였다[10].

3. Graph Theory

그래프 이론은 1736년 쾨니히스베르크의 다리에 관한 Leonhard Euler의 연구에서 출발했으며, 이는 위상학의 시초 논문이자, 그래프에 관한 시작점으로 알려져 있다 [19]. Fig. 1은 쾨니히스베르크의 7개 다리 문제를 그래프로 표현한 것이다.

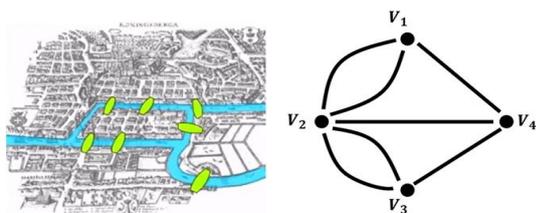


Fig. 1. Seven Bridges of Königsberg

이러한 최초의 응용 이후부터 그래프는 광범위 한 분야에 이용됐다. 즉, 전기 회로의 분석, 최 단 경로 탐색, 연구 계획 설정, 화학 합성물들의 식별, 통계적 기계학, 유전공

학, 인공 두뇌학, 언어학, 사회 과학 등 여러 분야에 응용되고 있다. 사실 모든 수학적 구조 중에서 그래프가 가장 광범위하게 사용된다고 해도 과언이 아니다[20].

컴퓨터과학에서 그래프는 여러 노드와 간선으로 연결된 추상 네트워크를 뜻한다. 즉, 그래프는 노드와 간선의 집합으로 정의되며 $G = (V, E)$ 로 표현할 수 있다. V 는 임의의 노드들 집합이고, E 는 간선 집합이다[21].

2022 개정 중학교 정보 교과서의 알고리즘과 프로그래밍 영역에서 다루는 그래프 이론은 최단 경로와 최소 신장 트리이다. 최단 경로는 두 노드 사이의 가장 효율적인 연결을 찾는 것이며, 최소 신장 트리는 모든 노드를 연결하는 가장 경제적인 방법을 찾는 것이다. 이러한 개념들은 네트워크 설계, 경로 탐색, 비용 최적화 등 실제 문제 해결에 광범위하게 활용되고 있다[11-18].

3.1 Shortest Path Algorithm

최단 경로 알고리즘은 컴퓨터 과학에서 대표적인 그래프 알고리즘 문제로, 주어진 그래프에서 특정 출발 정점에서 목표 정점까지 가중치의 합이 최소인 경로를 찾는 것이다. 이러한 최단 경로 문제를 해결하기 위한 대표적인 방법으로 Dijkstra 알고리즘이 있다.

Dijkstra 알고리즘은 에지와 노드로 구성된 가중 그래프에서 최단 경로를 찾기 위해 사용되는 최적화 알고리즘이다. Edsger W. Dijkstra가 처음 제안한 알고리즘은 두 정점 간의 최단 경로를 찾는 것이었지만, 더 일반적인 형태는 하나의 정점을 '출발점'으로 고정하고 이 출발점에서 그래프의 다른 모든 정점까지의 최단 경로를 찾아 최단 경로 트리를 생성한다. 이 알고리즘의 실제 적용 예시를 들면, 그래프의 정점이 도시를 나타내고 에지의 가중치가 직접 연결된 도시 쌍 사이의 운행 거리를 나타낼 때, Dijkstra 최단 경로 알고리즘을 사용하여 한 도시에서 다른 모든 도시까지의 최단 경로를 찾을 수 있다. 목표 정점까지의 최단 경로가 결정되면, 알고리즘은 단일 출발점에서 단일 도착점까지의 최단 경로를 찾는 것으로 종료될 수 있다[22].

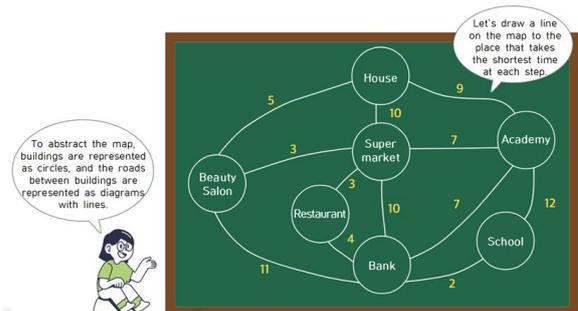


Fig. 2. Shortest path algorithm problem

Fig. 2는 2022 개정 중학교 정보 교과서의 알고리즘과 프로그래밍 영역에서의 최단 경로 알고리즘 문제이다. 이 그래프는 일상생활에서 발생하는 최단 경로 문제를 시각화한 예시로, 학생의 주요 생활 동선을 그래프 구조로 표현하고 있다. 집, 은행, 식당, 학원, 학교 등의 장소를 노드로, 이들을 연결하는 길을 간선으로 나타내었으며, 각 간선에 표시된 숫자는 경로의 가중치를 의미한다.

3.2 Minimum Spanning Tree

최소 신장 트리(Minimum Spanning Tree)는 가중치가 부여된 무방향 그래프에서, 그래프의 모든 노드를 포함하면서 간선들의 가중치 합이 최소가 되는 부분 그래프를 의미한다. 이러한 최소 신장 트리를 찾는 데는 Kruskal, Prim, Sollin의 세 가지 알고리즘이 있으며, 이들은 모두 탐욕법(Greedy Method)을 기반으로 한다. 최소 신장 트리는 주어진 그래프에서 모든 정점을 최소 비용으로 연결하는 부분 그래프를 찾는 것이다. 이는 전기 배선 설계, 통신망 구축, 교통 네트워크 설계 등 실생활의 다양한 분야에서 활용된다. Kruskal 알고리즘은 1956년에 제안된 그리디 알고리즘으로, 간선들을 가중치 순으로 정렬하여 사이클을 만들지 않는 선에서 차례로 선택하는 방식이다. 이

후 R. Prim이 제안한 알고리즘은 시작 정점에서부터 트리를 확장해 나가는 방식을 사용한다[22,23].

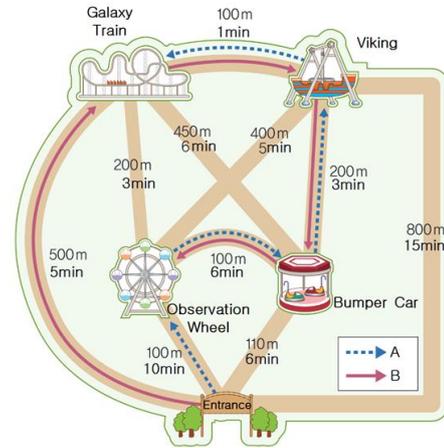


Fig. 3. Problems using all rides

Fig. 3은 2022 개정 중학교 정보 교과서의 알고리즘과 프로그래밍 영역에서의 최소 신장 트리 알고리즘 문제이다. 이 그래프는 놀이공원에서의 모든 놀이기구를 이용하기 위해 최소의 비용으로 이동하는 방법을 찾는 문제를 시각화한 예시로, 이동 동선을 그래프 구조로 표현하고 있

Table 3. Key Insights and Limitations of Prior Studies

Study Title	Authors (Year)	Key Insights	Limitations
A Game for Learning How to Model in Graph Theory	A. Cordero et al. (2022)	Introduces graph theory and shortest path algorithms using a game-based approach to enhance modeling and problem-solving skills.	Limited Scope of Application: The study focuses primarily on university-level students, limiting its applicability to other educational levels or diverse learner groups.
Learning Kruskal's Algorithm, Prim's Algorithm and Dijkstra's Algorithm by Board Game	W. C. Chang et al. (2008)	Integrates Kruskal's, Prim's, and Dijkstra's algorithms into a modified board game to enhance graph theory learning.	Requires prior knowledge of graph theory, and the complexity of integrating algorithms may overwhelm beginners.
Games on Graphs	B. Allen & M. Nowak (2014)	Explores evolutionary game dynamics on graphs, focusing on how spatial population structures influence cooperation and strategy selection.	Focuses on abstract mathematical models and proofs, making it less accessible for beginners without advanced mathematical backgrounds.
Board game supporting Learning Prim's Algorithm and dijkstra's Algorithm	W. C. Chang et al. (2012)	Introduces a board game to teach Prim's and Dijkstra's algorithms, enhancing learning interest and efficiency through interactive gameplay.	Requires prior understanding of graph theory, and the integration of algorithms may increase game complexity, potentially overwhelming less experienced learners.
Taking Students Out for a Ride: Using a Board Game to Teach Graph Theory	Lim, D. (2007)	Uses Ticket to Ride to teach graph theory concepts and algorithms, engaging students through hands-on demonstrations and programming assignments.	Requires advanced programming skills and heavily depends on a commercial board game, limiting accessibility for younger or less experienced learners.
Board Game Strategies in Introductory Computer Science	Ivona Bezáková et al. (2013)	Utilizes board games to teach data structures and algorithms, allowing students to design player strategies and enhance their problem-solving skills.	Introduces basic data structures and algorithms, with limited graph theory coverage, using pre-built engines to guide player strategy design.

다. 각 간선은 이동 장소 간의 거리와 시간이라는 두 가지 조건에 대한 정보를 가지고 있다.

4. Review of Prior Studies and Research Differentiation

그래프 이론 교육을 위한 게임 기반 학습에 관한 선행 연구들은 다양한 접근 방식을 보여준다. 그러나 Table 3의 분석에 따르면, 일부 연구는 특정 문제나 대학 수준의 학습자를 대상으로 설계되어 학습 대상의 폭과 적용 가능성에서 한계를 보였으며, 사전 지식이 부족한 학습자를 충분히 고려하지 못한 경우도 있었다[24-29].

이와 달리, 본 연구는 중학생 정보 교과를 위한 보드게임으로, 최단 경로와 최소 신장 트리를 통합적으로 학습할 수 있는 환경을 제공하며 기존 연구와 차별성을 보인다. 난이도별로 설계된 문제 카드를 통해 사전 지식이 부족한 학습자도 단계적으로 학습할 수 있도록 지원하여 초보 학습자의 이해를 돕고, 학습자의 다양성을 포용하였다. 또한, 단계별 학습 활동과 동료와의 협력적인 문제 해결 과정을 통해 학습자는 그래프 이론 개념에 대한 깊은 이해와 문제 해결 능력을 함께 발전시킬 수 있다. 더불어, 중학교 학습자의 수준과 흥미를 고려한 시각적 도구와 스토리텔링 요소를 활용하여 그래프 이론을 쉽게 이해하고 적용할 수 있도록 설계하였다. 본 연구는 단순히 알고리즘을 구현하는 것을 넘어, 중학교 학습자의 수준에 맞는 체계적이고 포괄적인 학습 환경을 제공함으로써 기존 연구가 가진 한계를 보완한다.

III. Research Method

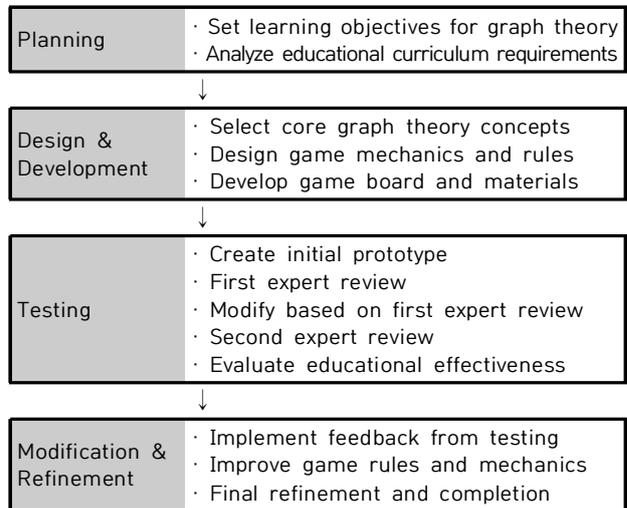
1. Development Process Model

본 연구의 그래프 이론(최단 경로, 최소 신장 트리) 학습을 위한 보드게임 개발 절차는 신명주, 김종우, 이상원(2012)이 제시한 모형을 Table 4와 같이 재구성하였다[30].

단계별 전개 내용을 살펴보면 기획 단계에서는 그래프 이론 중 최단 경로와 최소 신장 트리의 학습 목표를 설정한다. 교육과정 분석을 통해 중학교 수준에서 학습해야 할 최단 경로와 최소 신장 트리의 핵심 개념과 학습 범위를 결정한다. 또한 교육과정 요구사항을 분석하여 학습자의 수준과 교육적 필요성을 파악한다. 특히 그래프의 기본 개념인 정점, 간선, 가중치에 대한 이해를 바탕으로 그래프 알고리즘 원리를 학습할 수 있도록 계획한다.

설계 및 개발 단계에서는 선정된 학습 목표를 달성하기 위한 게임 요소들을 구체화한다. 첫째, 최단 경로의 핵심 원리인 '시작 정점으로부터의 최단 거리 계산'과 최소 신장 트리의 '사이클을 형성하지 않는 최소 가중치 간선 선택' 과정을 게임 메커니즘으로 설계한다. 둘째, 이러한 알고리즘적 원리를 게임 규칙으로 변환하여 학습자들이 자연스럽게 그래프 이론을 체험할 수 있도록 한다. 셋째, 게임 보드, 카드, 토큰 등의 실제 교구를 개발하여 학습자들이 직접 조작하며 학습할 수 있도록 한다.

Table 4. Development Procedure for Graph Theory Learning Unplugged Board Game



테스트 단계에서는 개발된 프로토타입의 교육적 효과성을 검증하기 위해, 첫째, 초기 프로토타입을 제작하여 최단 경로와 최소 신장 트리의 원리가 게임을 통해 효과적으로 전달되는지 확인한다. 둘째, 정보교육 전문가, 현직 수학, 정보 교사로 구성된 전문가 집단의 검토를 통해 교육 내용의 정확성과 게임 메커니즘의 적절성을 평가한다. 전문가들은 학습 목표의 부합성, 게임 규칙의 명확성, 교구 디자인의 적절성 등을 중점적으로 검토한다. 셋째, 전문가 검토 결과를 바탕으로 게임의 교육적 가치와 실행 가능성을 종합적으로 평가한다.

마지막으로 수정 및 보완 단계에서는 테스트 결과를 바탕으로 게임을 개선한다. 첫째, 전문가 검토에서 수집된 피드백을 분석하여 게임의 문제점을 파악한다. 둘째, 최단 경로와 최소 신장 트리의 학습 효과를 높이기 위해 게임 규칙과 메커니즘을 수정한다. 셋째, 교구의 사용성과 내구성을 개선하여 최종 버전의 보드게임을 완성한다.

IV. Design and Development of the Board Game

1. Overview and Components of the Board Game

그래프 이론 학습을 위한 보드게임 'Graph Adventure'는 최단 경로와 최소 신장 트리의 개념을 게임을 통해 자연스럽게 학습하는 것이 목적이다. 플레이 대상은 알고리즘과 프로그래밍 영역의 그래프 이론 학습하는 중학생을 주 대상으로 하며, 그래프 알고리즘 교육이 필요한 초등학생, 고등학생까지 포함한다. 플레이 인원은 2~4명까지 가능하며, 플레이 타임은 40분으로 학습자의 수준과 플레이어 구성에 따라 차이가 있을 수 있다.

게임 플레이를 위한 구성은 양면으로 제작된 게임 보드 1개(최단 경로/최소 신장 트리), 가중치 카드 30장(1~10까지 각 3장씩), 모래시계 4개(플레이어 수에 따라 준비), 7-segment 카드로 구성하였으며, 상세 이미지는 다음의 Table 5와 같다.

Table 5. Components of Graph Theory Learning Board Game

Division	Components
Card	<ul style="list-style-type: none"> Space Travel Pass Cards(1~9 points, 30 cards) Problem Cards (25 cards: 15 Shortest Path, 10 MST)
Magnetic Components	<ul style="list-style-type: none"> Planet Tokens(8 different planets) Bridge Connectors (20 magnetic bridges) Mini Magnets (30 pieces)
Board	<ul style="list-style-type: none"> Magnetic Whiteboard with Space Theme Design
Game Tools	<ul style="list-style-type: none"> Number Board (0-9) 3-minute Sand Timer

우주 여행 자유이용권 카드는 1~9점까지의 비용이 표시된 카드로 설계하고, 카드의 크기와 두께를 고려하여 손쉽게 다룰 수 있도록 제작하였다. 문제 카드는 최단 경로와 최소 신장 트리로 구분하여 각각 15장, 10장으로 구성하였다. 제시되는 문제의 난이도는 Easy, Normal, Hard의 세 단계로 설정하였다.

자석 구성품은 행성 타일과 다리 타일로 구분된다. 행성 타일은 8개의 서로 다른 특징을 가진 행성으로 디자인하여 코팅 후 자석을 부착한 형태로 제작하였으며, 다리 타일은 20개의 서로 다른 길이로 설계하여 행성 간 연결이 자유롭게 가능하도록 개발하였다. 모든 자석 구성품은 내구성과 부착력을 고려하여 제작되었다.

게임 보드는 우주 테마의 자석 화이트보드로 제작하여 자유로운 문제 구성과 함께 추가 표시가 가능하게 하였다. 게임 도구로는 비용 계산을 위한 7-세그먼트 메모 용지와 문제 해결 시간제한을 위한 3분 모래시계를 포함하였다. 이러한 구성은 학습자들이 그래프 이론의 핵심 개념을 효과적으로 학습할 수 있도록 설계되었다.

2. Core Mechanics Design

2.1 Game Setup

그래프 이론 학습을 위한 우주여행 네트워크 게임은 문제 출제 학생과 문제를 해결하는 학생으로 나뉘어 역할 분담을 통해 진행된다. 이를 위해 먼저 게임 공간을 자석 화이트보드, 문제 출제 공간, 문제 해결 공간으로 구분한다. 문제 출제 학생은 선택한 문제 카드에 따라 행성 타일과 다리 타일을 자석 화이트보드에 배치하고, 각 다리에 해당하는 비용을 자유이용권 카드로 설정한다. 문제를 해결하는 학생들은 각자의 7-세그먼트 메모 용지를 준비하고, 3분 모래시계를 세팅한다. 게임 구성 요소를 시각적으로 설명하기 위해 Canva를 사용하여 이미지를 제작하였으며, 개발된 프로토타입 보드판은 Fig. 4와 같다.



Fig. 4. Game Board Prototype

2.2 Game Flow and Procedures

그래프 이론 학습을 위한 우주여행 네트워크 게임은 문제 출제자와 문제 참가자로 역할을 나누어 진행된다. 한 명의 출제자와 2~4명의 참가자로 구성되며, 참가자들은 서로 경쟁하는 방식이다.

게임이 시작되면 문제 출제자는 난이도(Easy, Normal, Hard)가 표시된 문제 카드 중 하나를 선택하여 카드의 지시에 따라 행성 타일과 다리 타일을 자석 화이트보드에 배치한다. 이후 각 다리에 해당하는 비용(1~9)을 자유이용권 카드를 뒤집어 설정한다. 준비가 완료되면 참가자들은 3분 모래시계를 시작으로 비용이 적힌 자유이용권 카드를 한 장씩

확인하며 최적의 해답을 찾는다. 이때 각 참가자는 1부터 9까지 숫자가 적힌 숫자 보드와 자석을 받아, 확인된 비용에 해당하는 숫자 칸에 자석을 놓아 빈도를 표시하며 계산에 활용한다. 모든 행성을 가장 적은 비용으로 연결(MST)하거나 출발 행성에서 도착 행성까지의 최단 경로를 찾아야 한다. 제한 시간 내에 해답을 찾은 참가자는 자신의 답안을 제시하고, 문제 출제자는 제시된 해답의 정확성을 확인하여 가장 먼저 정답을 찾은 참가자가 승리한다. 만약 제한 시간 내에 아무도 정답을 찾지 못한 경우, 문제 출제자가 정답을 설명하고 다음 라운드로 넘어간다. 이러한 게임 진행 방식을 통해 학습자들은 자연스럽게 그래프 이론의 핵심 개념을 이해하고, 문제 해결 능력을 향상시킬 수 있다.

2.3 Primary Expert Review

전문가 집단의 구성은 Table 6에 제시된 것처럼 컴퓨터 교육 분야의 전문성과 현장 경험을 고려하여 총 8명으로 구성하였다. 구체적으로 컴퓨터교육 전공 교수 1명, 컴퓨터교육 박사과정 수료생 1명, 컴퓨터교육 박사과정생 3명, 컴퓨터교육 석사과정생 3명이 참여하였다. 이들은 모두 교육 현장 경험이 있는 현직 교사들로, 정보 교과 또는 수학 교과를 담당하고 있다.

전문가 A는 15년 이상의 경력을 가진 컴퓨터교육 전공 교수로서, 이론적 전문성을 제공하였다. 전문가 B부터 E까지는 10년 이상의 교육 경력을 가진 정보 교사들로, 현장에서의 풍부한 교수 경험을 바탕으로 실제적인 관점을 제시하였다. 전문가 F부터 H까지는 5년 이상의 교육 경력을 보유한 교사들로, 다양한 학교급에서의 교육 경험을 통해 실질적인 피드백을 제공하였다.

Table 6. Composition of Expert Group

Expert	Major/Degree	Career	Current Position
A	Ph.D. in Computer Education	15 years+	Professor
B	Ph.D. Candidate in Computer Education	10 years+	Informatics Teacher
C	Ph.D. Student in Computer Education	10 years+	Informatics Teacher
D	Ph.D. Student in Computer Education	10 years+	Informatics Teacher
E	Ph.D. Student in Computer Education	10 years+	Informatics Teacher
F	M.Ed. Student in Computer Education	5 years+	Informatics Teacher
G	M.Ed. Student in Computer Education	5 years+	Informatics Teacher
H	M.Ed. Student in Computer Education	5 years+	Mathematics Teacher

1차 전문가 검토 결과, 게임의 주제와 구조에 대한 중요한 개선 의견이 제시되었다. 첫째, 초기 게임 보드맵은 '불이 난 동물원에서 동물 구하기'와 '산타의 선물 배달 경로'라는 두 가지 이야기로 구성되었다. 그러나 동물원 맵의 경우, MST 활동 시 학생들이 한번 간 길을 돌아오는 과정에서 비용을 두 번 계산하게 되어 알고리즘의 오개념을 유발할 수 있다는 문제점이 지적되었다. 이를 해결하기 위해 게임의 배경을 우주여행으로 단일화하고, 자유이용권 개념을 도입하여 한번 연결된 경로는 양방향으로 자유롭게 이동할 수 있다는 점을 명확히 하였다.

둘째, 기존에 별도로 구성되었던 최단 경로와 최소 신장 트리(MST) 맵을 하나로 통합하되, 문제 카드는 각 알고리즘의 특성에 맞게 별도로 제작하여 학습 목표를 명확히 하였다. 이는 동일한 그래프 구조에서 서로 다른 알고리즘의 특성을 비교하며 학습할 수 있는 장점이 있다.

셋째, 게임의 정확성과 학습 효과를 향상시키기 위해 문제 카드에 정답을 함께 제시하는 방식으로 변경하였다. 출제자가 문제 카드를 보고 맵을 세팅하고, 나머지 학생들이 문제를 해결하는 방식으로 진행함으로써, 정확한 답안 검증이 가능하고 학습 목표 달성을 더욱 효과적으로 할 수 있게 되었다.

마지막으로, 게임의 흥미와 전략적 사고를 강화하기 위한 두 가지 장치가 추가되었다. 0부터 9까지 표시된 숫자 보드를 제공하여 학생들이 등장한 숫자의 빈도를 표시하며 전략을 수립할 수 있도록 하였으며, 가중치 값이 적힌 카드를 학생들이 순서대로 한 장씩 뒤집어 확인하고 다시 뒤집는 방식을 도입하여 게임의 긴장감과 전략적 재미를 증가시켰다.

이러한 수정 사항들은 알고리즘의 정확한 개념 전달과 게임의 교육적 효과성, 그리고 흥미도를 모두 고려한 것으로, 학생들의 알고리즘 학습을 더 효과적이고 재미있게 만들 것으로 기대된다.

2.4 Second Expert Review

2차 전문가 검토에서는 게임의 난이도 조절과 구성품 실용성을 높여야 한다는 의견이 제시되었다.

첫째, 난이도(Easy, Normal, Hard)에 따라 적절한 학습 수준을 제공하기 위해 행성과 간선의 개수를 차등화해야 한다는 제안이 있었다. 이를 반영하여 행성과 간선을 개별적으로 제작한 뒤 자석을 부착함으로써, 난이도별로 유연하게 구성할 수 있도록 수정하였다.

둘째, 1차 검토에서 제안된 종이 7-segment 출력물을 대체하기 위해, 숫자보드에 자석을 부착하는 방식으로 개

선하였다. 이를 통해 가중치 빈도를 확인하는 과정을 더욱 더 직관적이고 효율적으로 만들어, 학생들의 문제 해결 과정을 지원함과 동시에 게임의 완성도를 높였다.

셋째, 게임의 몰입도와 실용성을 강화하기 위해 우주 배경을 인쇄하여 자석 보드에 부착하였다. 이로써 행성과 간선을 붙였다 떼었다 하는 작업이 더욱 수월해졌으며, 우주여행이라는 게임의 주제를 시각적으로 한층 강조할 수 있었다.

또한 보드게임에 대한 타당성을 확보하기 위해 전문가 집단에게 게임 보드판, 문제 카드, 구성품의 예시를 제시하고 이를 기반으로 보드게임의 타당성을 검증받았다. 전문가 타당도 분석 결과, 적절성(4.38), 유용성(4.25), 흥미성(4.50), 디자인(4.13)의 모든 영역에서 4점 이상으로 나타나 보드게임의 타당성을 확인하였다. 8명의 전문가로 구성된 내용타당도 비율(CVR)의 최소 기준값 0.75를 기준으로, 모든 항목이 0.75~0.90 범위에 분포되어 있어 내용 타당도가 충분히 확보되었음을 보여준다. 특히 흥미성 항목에서는 CVR 값이 0.90으로 가장 높게 나타나 대부분의 전문가가 타당하다고 평가했음을 확인할 수 있었다. 자세한 분석 결과는 Table 7과 같다.

Table 7. Expert Validity Analysis Results of the Board Game (N=8)

Category	Mean	SD	CVR
Appropriateness	4.38	0.52	0.75
Usefulness	4.25	0.46	0.80
Interest	4.50	0.53	0.90
Design	4.13	0.64	0.77

전문가 타당도 분석 결과를 바탕으로, 본 연구에서 개발한 교육용 보드게임은 교육적 효과와 실용성 측면에서 모두 긍정적인 평가를 받았다. 특히 자석을 활용한 게임 구성 요소의 체계적인 설계는 게임의 진행을 원활하게 하였으며, 학습자의 수준에 따른 난이도 조절이 가능하게 하여 교육 현장에서의 실제적 활용 가능성을 높였다. 전문가들은 이러한 설계가 학습 목표 달성과 학습자 참여도 향상에 효과적일 것이라고 평가하였다.

3. Prototype-Based Play-testing

본 연구에서는 개발된 그래프 이론 학습용 보드게임의 교육적 효과와 게임 규칙의 적절성을 검증하기 위해 프로토타입 플레이 테스트를 시행하였다. 테스트는 게임의 학습 목표 달성도, 난이도의 적절성, 그리고 학습 동기 유발 효과를 평가하는 데 중점을 두었다.

테스트는 방과 후 보드게임 동아리에 참가하는 중학생

12명을 대상으로 진행되었다. 모든 테스트는 학교 컴퓨터 실 내 별도 공간에서 동일한 조건으로 진행되었다. 게임 프로토타입은 게임 보드, 난이도별 문제 카드, 뒤집어 놓는 가중치 카드, 자석 구성품, 7-세그먼트 메모 용지, 모래 시계 등으로 구성되었다.

테스트는 게임 소개 및 규칙 설명, 실제 게임 플레이, 그리고 설문 및 인터뷰의 3단계로 진행되었다. 참가자들은 문제를 해결하는 임무를 수행하고, 게임 진행자가 정답 카드를 참고하여 문제를 설정하였다. 각 플레이어는 순서대로 뒤집힌 가중치 카드를 한 장씩 확인한 후, 모든 플레이어에게 공개하고 다시 뒤집어 놓았다. 각 세션에서는 난이도별 문제를 한 번씩 해결하였다. 게임 종료 후에는 개방형 설문지를 통해 게임의 장점, 개선점, 난이도, 흥미도에 대한 자유로운 의견을 수집하였다.

테스트 결과, 학습자들은 주사위를 활용한 티켓 오픈, 경로 탐색을 위한 계산 과정, 문제 해결 등 게임의 다양한 테스트 결과, 학습자들은 주사위를 활용한 티켓 오픈, 경로 탐색을 위한 계산 과정, 문제 해결 등 게임의 다양한 요소에서 흥미를 느꼈다고 응답했다. 특히 게임 형식의 학습이 집중력 향상에 도움이 되었다는 의견이 있었으며, 알고리즘을 이해하기 쉽고 게임 규칙이 명확하다는 긍정적인 평가가 많았다.

한편 개선이 필요한 부분도 확인되었다. 일부 학습자들은 그래프 이론의 기본 개념을 모르는 상태에서는 게임 진행이 어렵다고 응답했으며, 가중치 카드 공개 방식의 수정과 추가적인 게임 요소 도입에 대한 제안이 있었다. 난이도 측면에서는 Easy 난이도가 다소 쉽다는 의견이 있었고, 일부 학습자는 경로 탐색 과정에서의 계산에 어려움을 느꼈다.

흥미로운 점은 여러 학습자가 이 게임을 통해 알고리즘에 관한 관심이 높아져 더 많은 알고리즘을 배우고 싶다는 의견을 제시했다는 것이다. 이는 본 게임이 알고리즘 학습에 대한 동기 부여에 긍정적인 영향을 미쳤음을 시사한다.

이러한 테스트 결과는 본 보드게임이 알고리즘 학습에 대한 흥미를 유발하고 이해를 도울 수 있는 교육 도구로서의 가능성을 보여주었다. 다만 사전 개념 학습의 필요성, 게임 요소의 보완, 난이도 조정 등은 향후 개선이 필요한 것으로 나타났다.

4. Results of Development

본 연구에서 개발한 그래프 이론 학습용 보드게임의 최종 결과물은 다음과 같다. 플레이 테스트와 전문가 검토를 거쳐 게임의 구성과 규칙이 최적화되었으며, 학습자의 수준과 교육적 효과를 고려하여 세부적인 요소들이 조정되었다.

4.1 Finalized Board Game Design

플레이 테스트와 2차에 걸친 전문가 검토 의견을 반영하여 최종 보드게임 구성품을 확정하였다. 먼저, 학습자들이 경로 계산 과정에서 겪는 어려움을 해소하기 위해 1부터 9까지의 우주여행 통행권 카드의 숫자 범위를 1부터 6까지로 축소하였다. 이는 경로 거리 계산의 복잡도를 낮추어 학습자들이 그래프 알고리즘의 핵심 개념에 더 집중할 수 있도록 하기 위함이다.

게임의 전략성을 높이기 위해 카드 뒤집기 횟수를 제한하였다. 이를 위해 1부터 3까지 숫자가 표시된 주사위를 도입하여, 플레이어가 한 턴에 확인할 수 있는 통행권 카드의 수를 조절하였다. 이러한 수정은 게임의 난이도를 적절히 유지하면서도 전략적 선택의 중요성을 높이는 효과가 있다.

또한, 플레이어가 자신의 경로를 개별적으로 기록하고 계산할 수 있도록 손잡이형 양면 화이트보드를 새로 추가하였다. 이는 플레이어가 발견한 경로의 거리를 독립적으로 기록하고 계산할 수 있게 함으로써, 게임의 몰입도와 개인의 문제 해결 능력을 향상하는 데 도움을 준다.

최종적으로 본 보드게임은 Table 8과 같이 구성하였다. 우주 테마 디자인의 자석 화이트보드를 중심으로, 우주여행 통행권 카드 30장(1~6점), 최단 경로 15장과 최소 신장 트리 10장으로 구성된 문제 카드, 8개의 서로 다른 행성 토큰, 20개의 자석 다리 연결구를 포함한다. 또한 게임 진행을 위한 숫자 보드(0-9), 3분 모래시계, 1부터 3까지만 표시된 주사위와 함께 개인 기록용 손잡이형 양면 화이트보드와 보드마카가 제공된다.

Table 8. Components of Graph Theory Learning Board Game

Division	Components
Card	<ul style="list-style-type: none"> Space Travel Pass Cards(1~6 points, 30 cards) Problem Cards (25 cards: 15 Shortest Path, 10 MST)
Magnetic Components	<ul style="list-style-type: none"> Planet Tokens(8 different planets) Bridge Connectors (20 magnetic bridges)
Board	<ul style="list-style-type: none"> Magnetic Whiteboard with Space Theme Design
Game Tools	<ul style="list-style-type: none"> Number Board (1-6) 3-minute Sand Timer Dice (numbered 1-3) Double-sided Handheld Whiteboard Board Marker

4.2 Game Rules

보드게임은 진행자 1인과 2~4명의 플레이어가 참여하여 진행된다. 플레이어들은 최단 경로 또는 최소 신장 트리 문제를 해결하며, 개인 또는 팀으로 게임에 참여할 수 있다. 구체적인 게임 진행 절차는 Table 9와 같다.

Table 9. Summary of Graph Theory Learning Board Game Rules

Item	Description
Game Objectives	<ul style="list-style-type: none"> MST (Minimum Spanning Tree) : Create a path connecting all planets at minimum cost Shortest Path: Find the fastest route from start to destination.
Game Setup	<ul style="list-style-type: none"> Game master sets up planet tokens and card roads on empty board. Each player receives personal whiteboard and marker.
Turn Progression	<ul style="list-style-type: none"> Roll dice (1-3) to determine number of travel pass cards to flip. Freely record card information on personal whiteboard, then flip cards back.
Problem Solving	<ul style="list-style-type: none"> Independently construct routes and calculate total costs. Freely record on personal whiteboard. Shout "Answer!" within time limit when solution is found.
Answer Verification	<ul style="list-style-type: none"> Game master compares answer card with player's solution. Verify route accuracy and cost calculation.
Scoring	<ul style="list-style-type: none"> Award points based on difficulty : 3 points for hard, 2 points for medium, and 1 point for easy levels. Provide opportunities to other players for incorrect answers Player with highest score wins

게임의 진행은 다음과 같다. 진행자는 답안과 해설이 포함된 카드를 참고하여 행성과 다리를 게임판에 배치한다. 이때 가중치가 표시된 티켓은 뒷면이 보이도록 배치하여 플레이어들이 숫자를 볼 수 없게 한다. 플레이어들은 차례대로 1-3까지 표시된 주사위를 굴러 나온 숫자만큼의 가중치 티켓을 확인할 수 있다. 티켓 확인 후에는 다시 뒷면으로 뒤집어 놓는다. 각 플레이어는 제공된 메모 보드에 자신만의 전략으로 힌트를 기록할 수 있으며, 3분의 제한 시간 내에 정답을 맞히면 승리하게 된다. 게임의 난이도에 따라 차등적인 점수가 부여된다.

Fig 5는 최소 신장 트리와 최단 경로 찾기를 주제로 한 진행자용 샘플카드를 보여준다. 카드에는 행성과 다리의 배치, 가중치 숫자, 그리고 해답이 명시되어 있어 학생들의 알고리즘 학습 과정을 효과적으로 지원할 수 있도록 설계되었다.



Fig. 5. Facilitator Card

Fig. 6은 최종 완성된 보드게임의 구성 요소를 보여준다. 사진에서 볼 수 있듯이 우주 테마의 자석 화이트보드를 중심으로, 행성 타일과 다리, 가중치가 표시된 통행권 카드, 난이도별 문제 카드, 개인 기록용 화이트보드와 보드마카 등이 체계적으로 구성되어 있다. 특히 모든 자석 구성품은 내구성과 부착력을 고려하여 제작되었으며, 학습자들이 직접 조작하며 그래프 이론을 학습할 수 있도록 설계되었다.



Fig. 6. Components of the Board Game

4.3 Student Feedback and Evaluation

개발된 보드게임의 교육적 효과를 검증하기 위해 12명의 중학생을 대상으로 설문 조사를 시행하였다. 설문은 개념 이해, 학습 동기, 실용적 적용의 세 영역으로 구성하였으며, Table 10과 같이 분석 결과, 모든 영역에서 4점 이상의 높은 평가를 받았다.

Table 10. Analysis Results of Student Survey on Graph Theory Board Game (N=12)

Area	Item	Mean	SD
Understanding of Concepts	Understanding of basic concepts	4.33	0.78
	Understanding shortest paths	4.42	0.67
	Understanding MST	4.25	0.75
Learning Motivation	Interest in learning	4.58	0.51
	Active participation	4.50	0.52
	Willingness to learn more	4.67	0.49
Practical Application	Real-life connection	4.17	0.72
	Ability to explain	4.08	0.79
	Problem-solving ability	4.25	0.75

본 연구를 통해 개발된 그래프 이론 학습용 보드게임은 중학생들의 알고리즘 학습을 위한 교육용 도구로서 다음과 같은 특징을 가진다.

첫째, 최단 경로와 최소 신장 트리와 같은 추상적인 그래프 이론 개념을 우주여행이라는 주제와 연결하여 직관적으로 이해할 수 있도록 설계되었다. 학습자들은 행성 간 이동 경로를 찾는 과정에서 자연스럽게 그래프 알고리즘을 학습할 수 있다.

둘째, 자석을 활용한 구성품과 카드 뒤집기 등의 게임적 요소를 통해 학습자의 흥미와 참여도를 높일 수 있도록 하였다. 특히 주사위를 통해 확인할 수 있는 카드의 수를 제한하여 게임의 전략적 요소를 강화하였으며, 자석 구성품의 물리적 조작은 학습 내용에 대한 집중도를 향상하는 데 효과적이었다.

셋째, Easy, Normal, Hard로 구분된 난이도별 문제 카드를 제공하여 학습자의 수준에 따른 단계적 학습이 가능하도록 설계되었다. 이를 통해 학습자들은 자신의 이해도에 맞춰 점진적으로 학습을 진행할 수 있다.

넷째, 문제 해결 과정에서 손잡이형 양면 화이트보드를 활용하여 경로 값을 기록하고 비교할 수 있도록 하였다. 이는 학습자들이 자신의 풀이 과정을 독립적으로 정리하고 검토할 수 있게 돕는다.

플레이 테스트와 전문가 검토 결과, 본 보드게임은 학습자들의 알고리즘에 대한 이해도를 높이고 학습 동기를 유발하는 데 효과적인 것으로 나타났다. 특히 게임을 통한 학습 방식은 수학과 알고리즘에 대한 긍정적인 인식 변화를 끌어내는데 도움이 되었다. 이러한 수정과 보완을 통해 본 보드게임은 그래프 이론 학습을 위한 효과적인 교육용 도구로서의 완성도를 갖추게 되었다.

V. Conclusions and Proposals

본 연구는 중학생들의 그래프 이론 학습을 위한 교육용 보드게임을 개발하는 것을 목적으로 수행되었다. 연구를 통해 개발된 보드게임은 최단 경로와 최소 신장 트리의 개념을 우주여행이라는 흥미로운 주제와 연결하여 학습할 수 있도록 설계되었다. 개발 과정에서는 문헌 연구를 통해 그래프 이론의 교육적 가치와 게임 기반 학습의 효과성을 분석하였으며, 이를 바탕으로 게임의 기본 메커니즘을 설계하였다. 프로토타입을 활용한 플레이 테스트와 전문가 검토를 통해 게임의 교육적 효과와 게임성을 검증하고 개선하였다. 최종 개발된 보드게임은 자석 구성품과 카드 뒤

집기 등의 게임적 요소를 통해 학습 동기를 유발하고, 난이도별 문제 카드를 통해 단계적 학습이 가능하게 하였다. 특히 학습자의 수준을 고려하여 통행권 카드의 숫자 범위를 조정하고, 주사위를 통한 카드 뒤집기 제한을 도입하는 등 게임의 난이도와 전략을 균형 있게 설계하였다.

본 연구는 소규모 집단을 대상으로 교육적 효과성을 검증했다는 점과 그래프 이론의 일부 개념만을 다루었다는 제한점을 가지고 있다. 이러한 한계를 보완하기 위해서는 첫째, 충분한 규모의 실험집단과 통제집단을 설정하여 게임 기반 학습의 장기적 효과를 정량적으로 분석하는 실험 연구가 필요하다. 둘째, 현재의 게임 시스템을 기반으로 그래프 이론의 다른 개념들을 포함하는 확장판 개발을 통해 학습 범위를 넓힐 필요가 있다. 셋째, 물리적 보드게임의 장점을 유지하면서도 디지털 매체의 특성을 활용한 새로운 형태의 교육용 게임으로 발전시키는 방안을 모색할 수 있다. 이러한 후속 연구를 통해 본 연구에서 개발한 보드게임이 학습자들의 그래프 이론에 대한 이해와 알고리즘적 사고력 향상에 더욱 효과적으로 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Educational Research Program (ERP) of the National University Development Project at Korea National University of Education in 2024.

REFERENCES

- [1] W. Lee, and S. Park, "Graph theory and social networks," *Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, Vol. 32, No. 1, pp. 33-43, January 2014.
- [2] J. Ugander, B. Karrer, L. Backstrom, and C. Marlow, "The Anatomy of the Facebook Social Graph," *arXiv preprint*, Vol. 1111.4503, pp. 1-17, November 2011. DOI: 0.48550/arXiv.1111.4503
- [3] L. Page, S. Brin, R. Motwani, and T. Winograd, "The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web," *Technical Report*. Stanford InfoLab, pp. 1-17, Stanford, USA, 1999.
- [4] Ministry of Education, "Practical (Technology/Home Economics)/Information Department Curriculum", Ministry of Education Notification No. 2022-33 [Separate Volume 10], 2022.
- [5] Ministry of Education, "The main points of the general outline of the 2022 revised curriculum (draft)", 2021.
- [6] T. Bell, et al., "Computer science unplugged: School students doing real computing without computers," *Journal of Applied Computing and Information Technology*, Vol. 13, No. 1, pp. 20-29, January 2009.
- [7] J. Song, and J. Lee, "A case study on making the meaning of a teacher and a student in a graph," *School Mathematics*, Vol. 9, No. 3, pp. 375-396, September 2007.
- [8] J. Kim, "A study on systematic review of unplugged activity," *Journal of The Korean Association of Information Education*, Vol. 22, No. 1, pp. 103-111, February 2018. DOI: 10.14352/jkaie.2018.22.1.103
- [9] S. Han, and M. Ryu, "Software education for computational thinking," *Saengneung Publishing*, pp. 1-200, 2016.
- [10] J. Lee, and H. Choi, "Proposal of the necessity of board games for algorithm education," *Proceedings of the Summer Conference of the Korea Society of Computer and Information*, Vol. 32, No. 2, pp. 907-909, Seoul, Korea, July 2024.
- [11] H. Choi, et al., "Middle School Informatics textbook," *Dong-A Publishing*, pp. 1-246, 2024.
- [12] Y. Jung, et al., "Middle School Informatics textbook", *CMAS Publishing*, 2024.
- [13] Y. Jung, et al., "Middle School Informatics textbook," *CMAS Publishing*, pp. 1-247, 2024.
- [14] Y. Kim, et al., "Middle School Informatics textbook," *EO Books*, pp. 1-235, 2024.
- [15] S. Han, et al., "Middle School Informatics textbook," *Mirae-N Publishing*, pp. 1-250, 2024.
- [16] H. Lim, et al., "Middle School Informatics textbook," *Visang Publishing*, pp. 1-250, 2024.
- [17] Y. Kim, et al., "Middle School Informatics textbook," *Geumseong Publishing*, pp. 1-227, 2024.
- [18] J. Kim, et al., "Middle School Informatics textbook," *Gilbut Publishing*, pp. 1-247, 2024.
- [19] L. Euler, "The solution of a problem relating to the geometry of position," *Commentarii Academiae Scientiarum Petropolitanae*, Vol. 8, No. 1, pp. 128-140, January 1741.
- [20] E. Horowitz, et al., "Data structures using C," *Kyobo Book*, pp. 1-824, 2008.
- [21] M. Stainger, "Python data structures and algorithms," *Hanbit Media*, pp. 1-412, 2019.
- [22] E. Dijkstra, "A note on two problems in connexion with graphs," *Numerische Mathematik*, Vol. 1, No. 1, pp. 269-271, December 1959. DOI: 10.1007/BF01386390
- [23] A. Kershenbaum, and R. Van Slyke, "Computing minimum spanning trees efficiently," *Proceedings of the ACM Annual Conference*, Vol. 1, pp. 518-527, Boston, USA, August 1972. DOI: 10.1145/800193.569966

- [24] A. Cordero, C. Jordan, M. Murillo-Arcila, and E. Sanabria-Codesal, "A Game for Learning How to Model in Graph Theory," *Mathematics*, Vol. 10, No. 12, pp. 1969, Jun. 2022. DOI: 10.3390/math10121969
- [25] W. C. Chang, Y. D. Chiu, and M. F. Li, "Learning Kruskal's Algorithm, Prim's Algorithm and Dijkstra's Algorithm by Board Game," *Proceedings of the 7th International Conference on Advances in Web Based Learning (ICWL 2008)*, Lecture Notes in Computer Science Vol. 5145, pp. 275-284, Jinhua, China, Aug. 2008. DOI: 10.1007/978-3-540-85033-5_27
- [26] B. Allen and M. A. Nowak, "Games on graphs," *EMS Surveys in Mathematical Sciences*, Vol. 1, No. 1, pp. 113-151, Apr. 2014. DOI: 10.4171/EMSS/3
- [27] W. C. Chang, Y. D. Chiu, S. C. Chen, M. L. Shyu, "Board Game Supporting Learning Prim's Algorithm and Dijkstra's Algorithm," *Methods and Innovations for Multimedia Database Content Management*, Ch. 15, pp. 282-296, Jan. 2012. DOI: 10.4018/978-1-4666-1791-9.ch015
- [28] D. Lim, "Taking students out for a ride: using a board game to teach graph theory," *ACM SIGCSE Bulletin*, Vol. 39, No. 1, pp. 367-371, Mar. 2007. DOI: 10.1145/1227504.1227439
- [29] I. Bezakova, J. E. Heliotis, and S. P. Strout, "Board game strategies in introductory computer science," *Proceeding of the 44th ACM technical symposium on Computer science education*, pp. 17-22, Denver, USA, March 2013. DOI: 10.1145/2445196.2445210
- [30] M. Oh, S. Lee, and S. W. Lee, "The Development and Effects of Environmental Education Program in Integrated Subjects focused on Upcycling Activities," *Korean Journal of Environmental Education*, Vol. 28, No. 4, pp. 229-241, 2015. DOI: 10.17965/kjee.2015.28.4.229

Authors



Jeong-Sook Lee received her M.Ed. degree in Software Education from Ajou University, South Korea, in 2013. She is currently pursuing her doctoral degree in the Department of Computer Education at Korea

National University of Education (KNUE), South Korea, since 2022. Her research interests include educational assessment, learning difficulties, computational thinking (CT), educational programming language (EPL), and SW/AI education.



Professor Hyun-Jong Choe received his Ph.D. degree in Computer Education from Korea National University of Education (KNUE), South Korea, in 2005. He served as a Professor in the Department of Computer

Education at Seowon University from 2006 to 2021. Currently, he is a Professor in the Department of Computer Education and serves as the Director of Information Education Research Institute at Korea National University of Education since 2021. His research interests include computer education, informatics education, and artificial intelligence education.