

수리계획법 학습을 위한 부분집합총합문제 기반 퍼즐 게임 개발

Developing a Subset Sum Problem based Puzzle Game for Learning Mathematical Programming

김준우*, 임광혁**

동아대학교 산업경영공학과*, 배재대학교 전자상거래학과**

Jun-Woo Kim(kjunwoo@dau.ac.kr)*, Kwang-Hyuk Im(khim@pcu.ac.kr)**

요약

최근 즐거움과 학습 효과를 동시에 제공하는 교육용 기능성 게임이 많은 주목을 받고 있다. 그러나 대부분의 교육용 게임들을 유아나 아동들을 대상으로 하고 있고, 고등 교육에서 이러한 게임을 활용하는 것은 여전히 어려운 실정이다. 반면, 본 논문은 대학생들에게 수리계획법을 가르치는데 활용할 수 있는 교육용 게임을 개발하고자 한다. 잘 알려져 있듯이, 대부분의 퍼즐 게임들은 연관된 최적화 문제로의 변형이 가능하며, 본 논문에서는 부분집합총합문제 기반 교육용 퍼즐 게임을 제안한다. 이 게임은 사용자가 퍼즐을 플레이하거나 이를 풀기 위한 수리계획모형을 작성할 수 있게 도와준다. 나아가, 사용자들은 모형 작성을 위한 적절한 안내를 제공받으며, 작성된 모형은 자동 생성된 데이터들에 의해 평가된다. 본 논문의 교육용 게임은 산업공학이나 경영과학 분야 대학생들에게 기본적인 수리계획모형을 가르치는데 특히 도움이 될 것으로 기대된다.

■ 중심어 : | 교육용 게임 | 기능성 게임 | 부분집합총합문제 | 수리계획법 | 퍼즐 |

Abstract

In recent, much attention has been paid to the educational serious games that provide both fun and learning effects. However, most educational games have been targeted at the infants and children, and it is still hard to use such games in higher education. On the contrary, this paper aims to develop an educational game for teaching mathematical programming to the undergraduates. It is well known that most puzzle games can be transformed into associated optimization problem and vice versa, and this paper proposes a simple educational game based on the subset sum problem. This game enables the users to play the puzzle and construct their own mathematical programming model for solving it. Moreover, the users are provided with appropriate instructions for modeling and their models are evaluated by using the data automatically generated. It is expected that the educational game in this paper will be helpful for teaching basic programming models to the students in industrial engineering or management science.

■ keyword : | Educational Game | Serious Game | Subset Sum Problem | Mathematical Programming | Puzzle |

* 이 논문은 동아대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음.

접수일자 : 2013년 11월 28일

심사완료일 : 2013년 12월 11일

수정일자 : 2013년 12월 09일

교신저자 : 임광혁, e-mail : khim@pcu.ac.kr

1. 서론

현대 사회에서 컴퓨터 게임은 가장 대중적인 여가 활동의 하나이며, 큰 경제적 비중을 가진 엔터테인먼트 산업을 형성하고 있다[1]. 나아가, 컴퓨터 게임은 본질적으로 사용자들의 흥미와 깊은 몰입을 유발하며, 최근에는 이러한 특성을 이용하여 게임을 통해 사용자에게 즐거움 이외의 다른 효과를 제공하고자 하는 기능성 게임(serious game)이 활발히 연구되고 있다[2]. 이러한 기능성 게임의 연구개발 사례들은 주로 보건의료[3] 및 교육[4][5] 등의 분야에 집중되어 있다. 특히, 교육용 기능성 게임의 경우, 다양한 분야에서 비교적 용이하게 개발이 가능하고, 최근 놀이와 학습을 결합한 에듀테인먼트(edutainment) 개념이 강조되면서 관련 콘텐츠가 증가하여, 웹이나 모바일 기기를 통해 쉽게 이들을 접할 수 있다.

기존의 디지털 교육용 게임은 크게 유아 및 저학년 아동 대상 콘텐츠와 고등 교육(higher education)을 위한 콘텐츠로 나눌 수 있다. 먼저, 유아 및 저학년 아동 대상 콘텐츠들의 경우, 비교적 간단한 언어 학습[6-8]이나 가상적인 체험 활동[9-12] 등을 제공하는 경우가 많고, 학습 요소는 비교적 단순한 반면, 이로 인해 퀴즈[7][12], 시뮬레이션[6] 및 MMORPG[6][13][14] 등 기존 게임 방식을 적용하기 용이하여 오락 요소가 강하다.

반면, 고등 교육을 위한 콘텐츠의 경우, 학습 주제가 복잡하고 전문적인 경우가 많으며, 일반적인 게임 형식을 따르기보다는 학습 주제에서 요구하는 활동을 사용자가 수행해야 하는 경우가 많다. 이러한 예로는 물류 분야에서의 컨테이너 배치 모의실험 게임[15], 제조원가 관리 연습을 위한 게임[16], 일정계획을 위한 job shop scheduling 게임[17] 등을 들 수 있다. 이러한 콘텐츠들은 학습 요소가 강한 대신, 게임의 규칙이나 내용을 이해하는 것이 비교적 어렵고 대중적인 흥미를 유발하는데 한계가 있어 오락 요소가 상대적으로 약한 편이다. 더불어, 전문적인 학습 내용을 전달하기 위한 보조적인 설명이나 안내가 단순 텍스트 위주로 제공되기 쉽다는 점도 고등 교육용 기능성 게임이 극복해야 할 문제이다. 예를 들어, [그림 1]은 기존의 유아동 대상 기

능성 게임과 고등 교육용 게임을 1종씩 보여주고 있으며, 왼쪽의 유아동 게임의 경우 같은 도형 맞추기라는 비교적 일반적인 활동을 체험하는 대신 전문적인 학습 효과가 낮은 반면, 오른쪽의 컨테이너 시뮬레이션 게임의 경우 게임의 인터페이스나 규칙이 상대적으로 복잡한 대신 전문적 학습이 가능한 점을 볼 수 있다.



그림 1. 유아동 대상[10] 및 고등 교육용[14] 기능성 게임

디지털 교육용 게임의 개발 목적이 달성되기 위해서는 오락 요소와 학습 요소가 적절히 균형을 이루어야 한다[6]. 하지만 종래의 교육용 게임들은 이들 중 한 쪽에 치우치는 경우가 많았으며, 특히 고등 교육용 게임에서 이러한 점이 두드러진다. 이러한 현상의 가장 큰 이유는 교육용 게임 개발이 텍스트나 오프라인 활동으로 구성된 학습 주제를 게임에 단순히 대입하는 방식으로 이루어지기 때문이며, 이는 경우에 따라 학습 주제와 연관성이 적은 게임 방식을 택하게 하거나, 사용자의 흥미와 몰입 유발에 한계가 있는 것으로 보인다. 반면, 기존에 어느 정도 대중성이 있는 게임에서 적절한 학습 요소를 추출하여 콘텐츠를 개발할 경우, 이러한 문제점들이 해결가능할 것으로 보이며, 본 논문에서는 퍼즐 게임과 수리계획법(mathematical programming) 학습을 결합한 교육용 게임을 개발하고자 한다.

간단한 퍼즐 형식의 게임은 컴퓨터와 인터넷이 보급된 오늘날에도 꾸준한 사용자 층을 확보하고 있으며, 두뇌 활동을 자극하고 학습을 위한 보조 수단으로도 알려져 있다[18]. 한편, 수리계획법은 제한조건(constraints)을 만족하는 범위 내에서 의사결정변수(decision variable)들의 값을 조정하여 목적함수(object function) 값을 최적화시키는 기법 중의 하나로 산업공학 또는 경영과학 관련 학과에서 학부생들이 필수적으로 학습하는 주제이다[19]. 아울러, 일반적인 퍼즐 게임

은 최적화 문제로 변환할 수 있고, 이로 인해, 수리계획법 학습을 위한 예제로 퍼즐 게임을 제시하고 이를 위한 수리계획모형을 작성하도록 하는 학습 전략도 제안되었다[20][21]. 그러나 이러한 학습 전략은 디지털 콘텐츠로 연계되지는 못하였고, 학습자들이 텍스트로만 제시된 퍼즐을 직접 수행하기 어려웠다. 이에, 본 논문에서는 간단한 퍼즐 게임 콘텐츠에 수리계획법 학습을 접목시킨 교육용 게임을 개발하고자 하며, 이는 고등교육을 위한 디지털 게임 콘텐츠에서도 충분한 게임성을 확보할 수 있는 사례가 될 것으로 기대된다.

본 논문의 2장에서는 퍼즐 게임과 최적화 기법의 연관성에 대한 기존 문헌들에 대해 간단히 소개하고, 3장에서는 부분집합총합문제(subset sum problem)에 기반한 수리계획법 학습용 퍼즐 게임의 기능과 구성 요소에 대해 설명한다. 이어 4장에서는 제안하는 게임의 간단한 프로토타입 개발 사례를 제시하며, 끝으로 5장에서 결론 및 추후 과제를 제시한다.

II. 연구 배경

최적화 문제는 제약식들이 충족되는 범위 내에서 의사결정변수들의 값을 적절히 조정하여 주어진 목적함수의 값을 최대화 또는 최소화하는 것을 목표로 하며, 의사결정변수들의 값이 이산적(discrete)인 경우를 조합 최적화(combinatorial optimization) 문제라고 한다. 이러한 최적화 문제는 다양한 산업 분야에서 관리나 계획을 위한 의사결정도구로 사용되며, 산업공학이나 경영과학 전공 학생들이 필수적으로 학습하는 주제이다 [21].

최적화 문제 풀이를 위해서는 일반적인 문제 구성요소들인 의사결정변수, 목적함수, 제약식을 수식화한 수리계획모형을 작성하는 것이 필요하며, 목적함수는 최대화 또는 최소화시킬 값, 의사결정변수는 이를 위해 적절한 수준으로 값을 조정해야 하는 독립변수, 제약식은 의사결정변수 값들을 조정함에 있어 위배하지 말아야 할 조건들을 의미한다. 최적화와 관련된 기초 과목에서는 보통 제품 조합, 배낭 문제, 할당 및 수송 문제 등

의 전통적인 최적화 문제들의 개념과 수리계획모형 및 해법을 학습하게 된다[19].

한편, 산업 현장의 여러 가지 관리 및 계획 외에도, 인기 있는 여가 활동인 퍼즐 게임 역시 최적화 문제로 다룰 수 있음이 잘 알려져 있다[20][21]. 이로 인해 퍼즐 게임은 최적화 기법 연구자들에 의해서도 종종 다루어져 왔으며, 이와 관련된 연구는 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 전통적인 수리계획법이나 다양한 인공지능 및 메타 휴리스틱 기법들과 같은 최적화 문제 해법을 퍼즐 게임 풀이에 적용하고자 하는 연구로, 수리계획법을 이용한 체스퍼즐[23], 스토쿠[24-26], 배틀쉽 퍼즐 풀이[27], 직소 퍼즐을 위한 인공지능명작 적용 [28] 및 러시 아워 퍼즐[29]이나 스토쿠[30] 풀이를 위한 유전 알고리즘 적용 등의 사례들을 찾아볼 수 있다.

이와는 반대로, 간단한 퍼즐 게임들을 최적화 기법을 가르치기 위한 예제로 활용하는 접근 방법도 제안되고 있으며, 암호 퍼즐(cryptogram), 하노이의 탑, 선교사와 식인종 퍼즐 등을 이용하여 문제를 분석하거나 수리계획모형을 작성하도록 하는 사례들이 존재하였다 [20][31]. 그러나 이러한 기존 연구들은 첫째, 디지털 콘텐츠로 구현되지 않고 텍스트나 그림 형태로만 퍼즐 게임이나 활동이 주어지는 경우가 많아 학습자가 이를 실제로 체험하는데 한계가 존재하는 점, 둘째, 간혹 복잡한 퍼즐이 주어지는 경우, 기초적인 최적화 기법만 학습한 학습자들이 이를 다루기 어려울 수 있다는 점, 셋째, 수리계획모형을 작성하는 과정에서 학습자의 모형을 평가하거나, 부족한 부분을 적절히 보완해줄 수 있는 설명이 충분히 제공되지 않는다는 점 등의 한계를 가지고 있다.

이러한 점들을 보완하기 위해서는 적절한 난이도의 퍼즐 게임과 그에 대한 수리계획모형을 편리하게 작성할 수 있는 사용자 인터페이스 및 사용자가 작성한 모형에 대한 평가 방법이 결합된 디지털 콘텐츠가 필요하다. 본 논문에서는 이러한 점들을 고려하여, 잘 알려진 조합최적화 문제인 부분집합총합 문제를 이용한 수리계획법 교육용 기능성 게임 콘텐츠를 개발하고자 한다.

III. 퍼즐 게임 기반 교육용 기능성 게임

1. 부분집합총합 문제

부분집합총합 문제는 정수들의 집합이 주어지는 경우, 이들 중 일부를 포함하는 부분집합의 원소 총합이 특정 목표값이 되도록 하거나, 최대화시키는 것을 목표로 하는 조합최적화 문제이며, 편의 상 본 논문에서는 부분집합의 원소 총합을 최대화시키는 경우를 이용한다.

최대화 유형의 부분집합총합 문제 예로, 양의 정수 n 개의 집합 $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ 이 주어지고, 이 중 총 l 개 이내의 정수들을 선택하여 그 합을 최대화해야 하는 경우를 생각해보자. 이러한 문제는 각 정수들의 선택 여부를 나타내는 이진수들을 의사결정변수로 하는 (1)의 수리계획모형을 통해 최적해를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Max. } \sum_{i=1}^n x_i w_i & (1) \\
 & \text{s.t.} \\
 & \sum_{i=1}^n x_i \leq l \\
 & x_i = 0 \text{ or } 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n)
 \end{aligned}$$

나아가, 조합최적화 문제들의 경우 선행관계 (precedence) 제약이 포함되면 일반적으로 원래보다 더욱 복잡해지는데, 최대화 유형의 부분집합총합 문제에서는 주어진 양의 정수 중, 특정 원소가 선택된 이후에만 다른 원소를 추가할 수 있다는 식의 선행관계 제약을 부가하는 것을 생각해볼 수 있다. 두 개의 정수 w_i, w_j ($1 \leq i, j \leq n, i \neq j$) 간에 선행관계가 존재하는 경우, 각 선행관계는 모두 제약식의 형태로 (1)의 모형에 추가되어야 하며, w_i 가 w_j 보다 선행되어야 함은 다음과 같은 제약식으로 표현 가능하다.

$$x_i - x_j \geq 0 \quad (2)$$

2. 부분집합총합 문제 기반 퍼즐 게임

앞에서 소개한 부분집합총합 문제와 같은 조합최적화 문제들의 경우, 탐색공간이 이산적이기 때문에 시행

착오를 통해 좋은 해를 찾아나가는 것도 가능하다. 이는 일반적인 퍼즐 게임에서 사용자들이 경험하는 과정과 매우 유사하며, 이러한 점에 착안하면 조합최적화 문제를 적절한 형식의 퍼즐 게임으로 구성하는 것도 가능할 것이다. 예를 들어, [그림 2]는 부분집합총합 문제의 최적해를 시행착오를 통해 탐색할 수 있도록 구성된 퍼즐 게임의 개략적인 화면 설계를 보여준다.

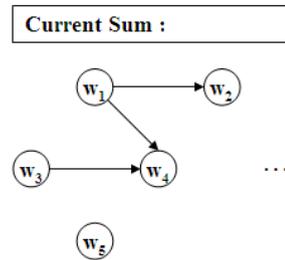


그림 2. 부분집합총합 문제 기반 퍼즐

[그림 2]의 퍼즐 화면은 전체적으로 노드와 방향성 아크를 가진 네트워크 구조를 형성하고 있으며, 각 노드는 부분집합총합 문제에서 주어지는 숫자들을 의미한다. 실제 화면에서는 이러한 노드들을 클릭하여 선택 또는 해제할 수 있게 구현하고, 선택된 노드들에 해당하는 숫자들의 총합을 상단에 표시하여 사용자가 현재까지의 총합을 볼 수 있도록 하였다. 한편, 화살표로 표시된 아크들은 두 개 숫자 사이에 존재하는 선행관계 제약을 의미하며, [그림 2]에서 노드 w_2 는 w_1 선택 이후 선택가능하고, 노드 w_4 는 w_1, w_3 을 모두 선택한 이후에만 선택가능하다는 점을 알 수 있다. 반면, 노드 w_1, w_3, w_5 와 같이 화살표의 도착지가 아닌 노드들은 자유로이 선택이 가능하다. 이에 더하여, 선택된 숫자들의 개수가 미리 지정된 l 과 같은 경우에는 더 이상 선택이 불가능하다.

이러한 간단한 인터페이스를 통해 사용자들은 주어진 숫자들을 자유로이 선택 또는 해제하면서 가장 큰 총합을 만들어보게 되고, 시행착오를 거쳐 좋은 해를 찾아낼 수도 있다. 즉, 이와 같이 조합최적화 문제에 적절한 인터페이스를 부여하여 퍼즐 게임을 구성하면 그

자체만으로도 하나의 게임 콘텐츠를 구성할 수 있다.

3. 수리계획모형의 작성과 평가

퍼즐 게임 자체를 즐기는 것에서 나아가, 효과적인 학습을 지원하기 위하여 본 논문에서 제안하는 퍼즐 기반 교육용 게임은 [그림 3]과 같은 데이터 구조를 포함한다. 먼저, 위쪽은 퍼즐 내용 자체를 저장하는 테이블들로, problem 테이블은 개별 퍼즐 게임 한 개를 레코드 하나로 저장하며, 이 때 문제에서 제한하는 숫자 개수 l 을 subset_size 필드로 함께 기록한다.

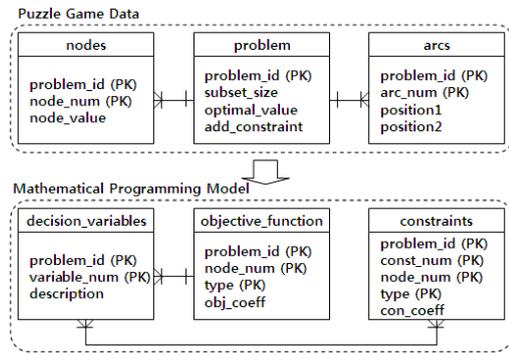


그림 3. 부분집합총합 퍼즐 데이터 모델

각 퍼즐 게임은 [그림 2]에서 보듯이 복수의 노드 및 아크들을 포함하고 있으며, 이들은 각각 nodes, arcs 테이블에 저장된다. 아울러, 각 노드들은 문제에서 주어진 숫자들에 대응되기 때문에 각 숫자값을 함께 저장하고, 아크들의 경우 화살표의 시작 노드와 종료 노드들이 명시된다. 나아가, 수리계획모형 학습을 위하여, 제안하는 콘텐츠는 퍼즐 게임 기본 정보들로부터 [그림 3] 아래 쪽과 같은 수리계획모형 데이터를 추출하고, 이들은 각각 의사결정변수, 목적함수, 제약식 정보를 저장한다.

먼저, decision_variable 테이블은 현재 퍼즐 게임을 해결하는데 필요한 의사결정변수들을 레코드로 저장하며, 본 논문에서 고려하는 부분집합총합 문제의 경우 이 의사결정변수들은 주어진 각 숫자의 포함여부를 나타낸다. objective_function, constraints 테이블들은 각각 목적함수와 제약식들을 저장하는데, 기본적으로 목적함수나 개별 제약식에서 각 의사결정변수들의 계수

를 기록하는 방법으로 이를 달성한다. 단, 동일한 의미의 목적함수나 제약식을 여러 가지 형태로 작성할 수 있음을 감안하여, 이 두 테이블에는 type 필드가 추가되는데, 목적함수의 type 필드 값은 ‘최대화’, ‘최소화’ 중 하나가 되며, 제약식의 type 필드 값은 ‘자원제약(\leq)’, ‘이익제약(\geq)’ 중 하나를 기록한다. 게임이 실행될 때, 이 테이블들에는 동일한 목적함수나 제약식을 각각 두 가지 형태로 저장하여 학습자가 작성한 수리계획모형의 평가에 사용된다.

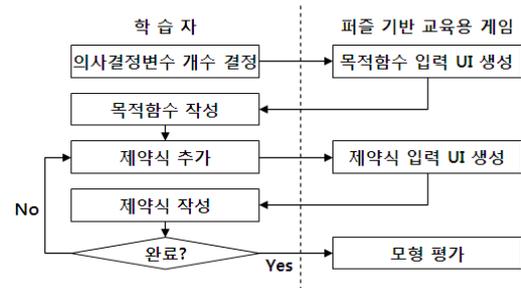


그림 4. 모형 작성 및 평가 절차

[그림 4]는 실제 학습자가 모형을 작성하고 평가받는 과정을 요약하여 보여준다. 이 절차에서는 MS-Excel 등과 같은 소프트웨어에서와 같이 수리계획모형 작성 과정을 크게 의사결정변수, 목적함수, 제약식 작성으로 구분하고 있다. 또한, 모형 작성 및 평가 절차를 간소화하기 위해, 사용자가 의사결정변수 개수를 결정한 이후, 게임 콘텐츠가 목적함수 및 제약식 입력을 위한 적절한 사용자 인터페이스를 생성하여 보여주도록 구성되어 있다. 이러한 사용자 인터페이스는 학습자가 각 의사결정변수들의 계수만 입력하여 목적함수나 제약식을 작성할 수 있도록 하여 [그림 3]에서 생성된 수리계획모형 데이터와의 비교 평가를 용이하게 한다.

IV. 구현 사례

본 장에서는 앞에서 설명한 게임 콘텐츠를 구현하기 위해 MS-Visual Basic6.0과 MS-SQL Server2008을

이용하여 개발한 프로토타입을 소개한다. [그림 5]는 개발된 콘텐츠의 게임 화면을 보여준다. 앞에서 설명한대로, 이 화면은 주어진 숫자를 노드, 선행관계제약을 화살표로 표시하고, 사용자는 각 노드를 클릭하여 숫자를 선택하되, 선행관계제약을 위배하는 선택은 할 수 없다.

선택된 노드들은 색깔을 진하게 표시하고, 현재까지 선택된 숫자들의 총합은 화면 상단에 나타나 있다. 예를 들어, [그림 5]는 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12의 총 7개 숫자 중 4개 이내의 숫자들을 선택하여 총합을 최대화하는 문제를 나타내고 있다. 나아가, 주어진 숫자 중, 8, 9, 10, 12를 택하여 총합 39를 얻고 있으며, 이는 이 문제의 최적해로, (3)의 수리계획모형을 통해서도 확인할 수 있다.

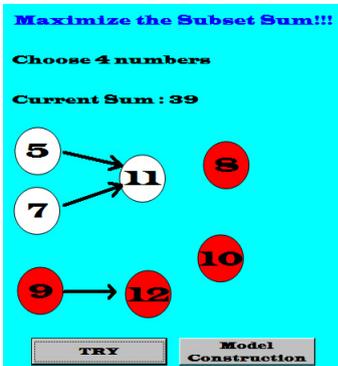


그림 5. 부분집합총합 퍼즐 플레이 화면

적절한 숫자들을 택한 후, 학습자는 Try 버튼을 통해 현재가 최적인지 확인할 수 있으며, 그렇지 않은 경우에는 게임을 계속할 수 있다. 또한, 원하는 경우 Model Construction 버튼을 이용하여 현재 문제를 위한 수리계획모형 작성을 시작할 수 있고, 작성된 모형 평가를 위해서는 현재 문제에 대한 수리계획모형 정보가 필요하다.

$$\begin{aligned}
 &Max. 5x_1 + 7x_2 + 9x_3 + 11x_4 \\
 &\quad + 8x_5 + 12x_6 + 10x_7 \quad (3) \\
 &s.t. \\
 &x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 \leq 4 \\
 &x_1 - x_4 \geq 0 \\
 &x_2 - x_4 \geq 0 \\
 &x_3 - x_6 \geq 0 \\
 &x_i = 0 \text{ or } 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n)
 \end{aligned}$$

[그림 5]의 문제는 최초에 [표 1][표 2]와 같은 노드 및 아크들의 목록으로 표현되며, 이 정보들에서 [그림 3]의 수리계획모형 데이터들을 추출할 수 있다. 먼저, 의사결정변수의 경우, 각 노드들의 포함여부를 나타내는 x_1, x_2, \dots, x_7 이 추출된다. 나아가, 목적함수와 제약식들에 대해서는 [표 3][표 4]와 같은 데이터가 생성된다.

목적함수와 제약식은 이들을 구성하는 의사결정변수들의 계수를 이용하여 표현되며, 목적함수의 경우에는 최대화와 최소화 형태, 제약식은 자원제약과 이익제약 형태를 모두 기록한다. 이는 학습자들이 동일한 내용의 목적함수나 제약식을 여러 가지 형태로 작성할 수 있음을 고려한 것이며, 이러한 방법을 통해 현재 퍼즐 게임과 관련된 수리계획모형을 완전히 표현할 수 있다.

표 1. 퍼즐 노드 목록

노드번호	노드 값
1	5
2	7
3	9
4	11
5	8
6	12
7	10

표 2. 퍼즐 아크 목록

아크번호	시작 노드	종료 노드
1	1	4
2	2	4
3	3	6

표 3. 목적함수 데이터

변수	계수	type	변수	계수	type
x_1	5	최대화	x_1	-5	최소화
x_2	7	최대화	x_2	-7	최소화
x_3	9	최대화	x_3	-9	최소화
x_4	11	최대화	x_4	-11	최소화
x_5	8	최대화	x_5	-8	최소화
x_6	12	최대화	x_6	-12	최소화
x_7	10	최대화	x_7	-10	최소화

참고로, [표 4]에는 제약식 중, 선택한 숫자의 개수가 4개 이내여야 함을 의미하는 제약식 1개에 대한 데이터

만을 보여주고, type이 '자원'인 항목들은 모두 (3)에 나온 것과 같은 형태로 표현한 경우를 의미한다. 반면, type이 '이익'인 경우는 이 제약식을 (4)와 같이 이익제약으로 표현할 수 있음을 고려하기 위한 항목들이다.

이를 학습 및 평가에 활용하기 위해 학습자들은 [그림 6]의 인터페이스를 통해 목적함수와 제약식을 작성한다. 최초에는 상단의 의사결정변수 개수 선택 부분만 보여지며, 정확한 개수를 입력했을 시, 아래에 목적함수와 제약식 생성을 위한 인터페이스가 표시된다. 의사결정변수 개수가 맞지 않을 경우에는 이를 알리는 메시지와 함께 정확한 개수 및 그 이유를 학습자에게 제공한다.

표 4. 제약식 데이터

제약식	변수	type	계수
1	x_1	자원	1
1	x_2	자원	1
1	x_3	자원	1
1	x_4	자원	1
1	x_5	자원	1
1	x_6	자원	1
1	x_7	자원	1
1	우변상수	자원	4
1	x_1	이익	-1
1	x_2	이익	-1
1	x_3	이익	-1
1	x_4	이익	-1
1	x_5	이익	-1
1	x_6	이익	-1
1	x_7	이익	-1
1	우변상수	이익	-4
...

$$-x_1 - x_2 - x_3 - x_4 - x_5 - x_6 - x_7 \geq -4 \quad (4)$$

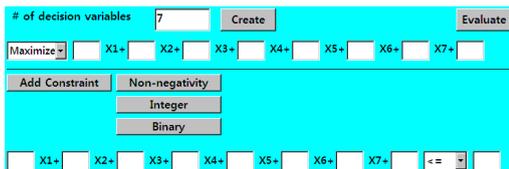


그림 6. 모형 작성을 위한 사용자 인터페이스

목적함수와 제약식들은 각 의사결정변수의 계수 및 식의 종류 설정을 통해 작성할 수 있으며, 모형을 완성

한 경우에는 Evaluate 버튼을 클릭하여 작성한 모형에 대한 평가를 요청할 수 있다.

작성된 모형에 대한 내용들을 앞의 [표 3][표 4]와 같이 생성해둔 데이터와 비교하여 누락되거나 잘못된 부분을 찾을 수 있고, 이러한 부분들에 대해서는 적절한 도움말을 제공하여 가능한 올바른 모형을 작성할 수 있도록 유도한다. 예를 들어, 노트 3 선택 이후 노트 12를 추가할 수 있음을 의미하는 제약식을 포함하지 않는 경우, 이에 대한 도움말을 [그림 7]과 같이 적절한 시각적 정보와 식의 의미, 수식 표현 등으로 구성하여 학습자의 이해를 돕고, 모형 전체를 제시하는 것을 지양하여 학습자가 나머지 부분을 스스로 생각하도록 구성한다.

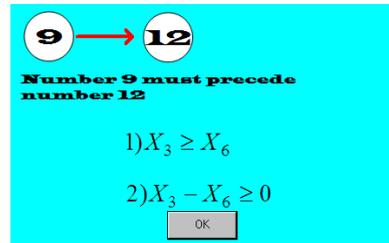


그림 7. 모형 수정을 위한 도움말

이상의 내용들을 통해 제안하는 콘텐츠는 [그림 8]과 같은 구조로 진행된다. 게임 생성 이후, 사용자들은 [그림 5]의 플레이 화면을 통한 게임 플레이와 [그림 6][그림 7]을 이용한 모형 생성을 병행하며 최적해를 탐색한다. 플레이 화면은 게임의 제약 조건이나 규칙을 구현하여 사용자는 게임에만 몰두할 수 있으며, 모형 생성 과정에서는 적절한 인터페이스와 모형 평가 및 도움말을 통해 효과적인 학습이 가능하다.



그림 8. 게임 전체 진행

제안하는 콘텐츠는 비교적 전문적인 주제를 다루면서 이과 무관하게 게임을 즐길 수 있고, 복잡한 과제

해결을 위한 학습을 촉진한다. 이는 [그림 9]에서 볼 수 있듯이 많은 교육용 게임이 일반 게임 콘텐츠와 연관성이 높지 않은 별도의 학습 주제를 대입하여 개발되는 반면, 본 논문에서는 게임 콘텐츠 자체에서 학습 요소를 추출하여 이에 대한 학습을 적절히 지원하는 방향으로 접근했기 때문에 가능한 것으로 생각된다.

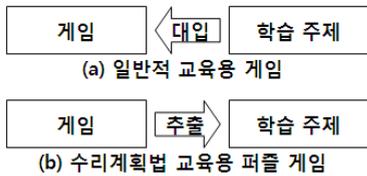


그림 9. 교육용 게임 콘텐츠 개발 전략

V. 결론 및 추후 연구 과제

컴퓨터와 멀티미디어 기술이 발달하면서 기능성 게임을 이용한 학습이 주목을 받고 있다. 그러나, 기존의 교육용 게임들은 주로 유아나 아동을 대상으로 하거나, 체험 활동을 위주로 하였고, 인터넷이나 모바일 기기의 보급으로 인해 대학생 및 성인들의 게임에 대한 수요도 늘었음에도 불구하고, 대학과 같은 고등교육기관에서의 전문적인 이론 학습을 위한 콘텐츠가 부족한 실정이다.

교육용 기능성 게임이 그 역할을 성공적으로 수행하기 위해서는 학습자의 흥미와 몰입을 유발하기 위한 오락 요소와 학습 내용 습득을 위한 학습 요소가 적절히 균형을 이루어야 하는데, 이러한 목표는 기존에 텍스트 형태로 제공되던 학습 내용에 단순히 게임의 인터페이스를 적용하는 방식으로는 달성하는데 한계가 존재한다.

이와 달리, 본 논문에서는 적절한 게임을 먼저 구성하고, 여기에 적합한 학습 내용을 접목시키는 접근을 통해 교육용 기능성 게임을 개발하는 접근 방법을 제시하고, 퍼즐 게임과 수리계획모형 작성 연습을 병행할 수 있는 디지털 게임 콘텐츠를 통하여 이러한 예를 보이고자 하였다. 제안하는 콘텐츠는 퀴즈나 MMORPG 형식으로 개발된 교육용 게임들과 달리 퍼즐 게임 자체는 수리계획법이라는 학습 내용과 완전히 별개로 즐길

수 있도록 구성되어 있다. 따라서 게임을 하는 동안에는 학습자들이 완전히 퍼즐에만 몰입하는 것이 가능하다. 퍼즐에 대한 충분한 이해와 흥미가 형성된 이후에는 학습자의 수준에 따라 수리계획법을 이용한 퍼즐 풀이를 체험해보는 것이 가능하고, 적절한 평가와 도움말을 제공하여 학습 효과를 높이고자 하였다. 본 논문에서 개발한 콘텐츠는 산업공학이나 경영과학 등을 전공하는 대학생들의 수리계획법 및 최적화기법에 대한 흥미를 유발하고, 관련된 내용에 대한 보다 깊은 이해를 촉진하는데 특히 유용할 것으로 생각된다. 나아가, 기존의 콘텐츠들과는 차별화된 새로운 유형의 교육용 게임 콘텐츠를 제시함으로써 향후 새로운 영역의 콘텐츠 산업을 개척하는 데에도 본 연구가 도움이 될 것으로 기대한다.

앞으로도 저자들은 보다 다양한 퍼즐과 최적화 문제들을 대상으로 이와 같은 교육용 게임 콘텐츠를 개발하면서 실제 활용을 위한 연구들을 수행할 계획이다. 먼저, 실제 학습자들에게 적용하여 퍼즐의 실제 교육적 효과를 검증하고 게임으로서의 가치를 평가하는 것이 필요하며, 이와 같은 과정에서 사용자 인터페이스나 도움말 기능의 개선 방안, 동일한 게임 콘텐츠에서의 학습 내용 및 게임 난이도의 조정 방법 등이 도출될 수 있을 것으로 생각된다. 현재 이러한 분석을 위한 부가적인 기능과 데이터 구조를 설계 중이며, 관련된 내용들은 추후 연구에서 제시할 수 있을 것으로 기대된다. 아울러, 본 논문에서 윈도우 애플리케이션 형식으로 프로토타입을 개발한 것과 달리 향후에는 모바일 기기를 위한 앱의 형태를 구현하는 것도 필요할 것이다.

참고 문헌

- [1] A. D. Cheok, X. Yang, Z. Z. Ying, M. Billinghurst, and H. Kato, "Touch-space: Mixed Reality Game Space based on Ubiquitous, Tangible, and Social Computing," *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol.6, No.5-6, pp.430-442, 2002.

- [2] P. Wouters, E. D. van der Spek, and H. van Oostendorp, "Current Practices in Serious Game Research: A Review from a Learning Outcomes Perspective," In: *Game-based Learning Advancements for Multi-sensory Human Computer Interfaces: Techniques and Effective Practices*, pp.232-250, 2009.
- [3] M. Graafland, J. M. Schraagen, and M. P. Shijven, "Systematic Review of Serious Games for Medical Education and Surgical Skills Training," *British Journal of Surgery*, Vol.99, No.10, pp.1322-1330, 2012.
- [4] S. Erhel and E. Jamet, "Digital Game-based Learning: Impact of Instructions and Feedback on Motivation and Learning Effectiveness," *Computers and Education*, Vol.67, pp.156-167, 2013.
- [5] P. Wouters, van Nimwegen, H. van Oostendorp, and E. D. van der Spek, "A Meta-Analysis of the Cognitive and Motivational Effects of Serious Games," *Journal of Educational Psychology*, Vol.105, No.2, pp.249-265, 2013.
- [6] 박수정, 김현정, "에듀테인먼트 콘텐츠 개발을 위한 게임 요인 적용에 관한 연구 - 어린이용 영어 단어 학습 게임 콘텐츠 개발을 중심으로", *디자인학연구*, Vol.16, No.2, pp.271-280, 2003.
- [7] 한은희, "게임과 함께 한글배우기: Young Korean-American Children을 위한 교육용 멀티미디어 학습", *디지털디자인학연구*, 제8권, 제3호, pp.31-43, 2008.
- [8] 이면재, "오우거 엔진을 이용한 영어 교육용 게임 개발", *한국정보기술학회논문지*, 제8권, 제3호, pp.149-155, 2010.
- [9] 차은미, 이경미, 이정옥, "유아의 공간감각 향상을 위한 가상학습공간 구축", *한국콘텐츠학회논문지*, 제7권, 제6호, pp.154-160, 2007.
- [10] 오혜정, "효과적인 음악개념학습을 위한 교육용 음악게임 개발에 관한 연구", *음악교육공학*, 제11권, pp.185-208, 2010.
- [11] 박정용, "전통 놀이 문화에 기반한 기능성 게임 개발", *한국콘텐츠학회논문지*, 제11권, 제5호, pp.117-124, 2011.
- [12] M. M. Zarzuela, F. J. C. Pernas, L. B. Martinez, D. G. Ortega, and M. A. Rodriguez, "Mobile Serious Game using Augmented Reality for Supporting Children's Learning about Animals," *Proceedings of the International Conference on Virtual and Augmented Reality in Education*, 2013.
- [13] 이면재, 김경남, "ORGE 엔진을 이용한 역사 교육용 기능성 게임 개발", *디지털콘텐츠학회 논문지*, 제11권, 제3호, pp.385-392, 2010.
- [14] S. Suh, S. W. Kim, and N. J. Kim, "Effectiveness of MMORPG-based instruction in elementary English Education in Korea," *Journal of Computer Assisted Learning*, Vol.26, No.5, pp.370-378, 2010.
- [15] 고정분, 문일경, "공 컨테이너 시뮬레이션 게임 개발", *대한산업공학회 2009년 추계학술대회 논문집*, pp.955-964, 2009.
- [16] 박재일, "공대생들을 위한 제조원가 교육용 게임 개발", *IE매거진*, 제17권, 제4호, pp.51-54, 2010.
- [17] J. W. Kim and Y. Y. Sok, "A Simple Job Shop Scheduling Game for Industrial Engineering Students," *Journal of Future Game Technology*, Vol.2, No.2, pp.165-171, 2012.
- [18] Z. Michalewicz and M. Michalewicz, *Puzzle-based Learning*, Hybrid Publishers, 2008.
- [19] S. S. Rao and S. S. Rao, *Engineering Optimization: Theory and Practice*, John Wiley & Sons, 2009.
- [20] G. Weber, "Puzzle Contests in MS/OR Education," *Interfaces*, Vol.20, No.2, pp.72-76, 1990.
- [21] S. Matsumoto, N. Hirose, K. Itonaga, K.

Yokoo, and M. Futahashi, "Evaluation of Simulation Strategy on Single-Player Monte-Carlo Tree Search and Its Discussion for a Practical Scheduling Problem," Proceedings of the International MultiConference of Engineering and Computer Scientists, Vol.3, pp.2086-2091, 2010.

[22] M. Trick, "Using Sports Scheduling to Teach Integer Programming," INFORMS Transactions on Education, Vol.5, No.1, pp.10-17, 2004.

[23] L. R. Flouds and D. G. Johnson, "An Application of Graph Theory and Integer Programming: Chessboard Non-Attacking Puzzles," Mathematics Magazine, Vol.57, No.2, pp.95-104, 1984.

[24] T. Koch, "Rapid Mathematical Programming or How to Solve Sudoku Puzzles in a Few Seconds," In: Operations Research Proceedings Volume 2005, pp.21-26, 2006.

[25] D. Eppstein, "Solving Single-Digit Sudoku Subproblems," In: Fun with Algorithms, pp.142-153, 2012.

[26] D. D. Friesen, M. C. Patterson, and B. Harmel, "A Spreadsheet Optimization Model for Solving Sudoku Problems," Structure, Vol.2, No.9, pp.15-22, 2013.

[27] W. J. M. Meuffels and D. den Hertog, "Solving the Battleship Puzzles as an Integer Programming Problem," INFORMS Transactions on Education, Vol.10, No.3, pp.156-162, 2010.

[28] P. N. Suganthan, "Solving Jigsaw Puzzles using Hopfield Neural Networks," Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks, Vol.6, pp.3745-3749, 1999.

[29] A. Hauptman, A. Elyasaf, M. Sipper, and A. Karmon, "GP-rush: Using Genetic Programming to Evolve Solvers for the Rush Hour Puzzle," Proceedings of the 11th Annual

Conference on Genetic and Evolutionary Computation, pp.955-962, 2009.

[30] X. Q. Deng and Y. Da Li, "A Novel Hybrid Genetic Algorithm for Solving Sudoku Puzzles," Optimization Letters, Vol.7, No.2, pp.241-257.

[31] M. Sniedovich, "OR/MS Games: 1. A Neglected Educational Resource," INFORMS Transactions on Education, Vol.2, No.3, pp.86-95, 2002.

저 자 소 개

김 준 우(Jun-Woo Kim)

정회원



- 2001년 2월 : 한국과학기술원 산업공학과(공학사)
- 2003년 8월 : 한국과학기술원 산업공학과(공학석사)
- 2009년 8월 : 한국과학기술원 산업및시스템공학과(공학박사)

- 2009년 9월 ~ 2011년 2월 : 한국기술교육대학교 산업경영학부 대우교수
- 2011년 3월 ~ 현재 : 동아대학교 산업경영공학과 조교수

<관심분야> : 데이터마ining, 지능형 시스템, 서비스관리, Operations Research, e-러닝, 융합 콘텐츠

임 광 혁(Kwang-Hyuk Im)

정회원



- 1995년 2월 : 한국과학기술원 전산학과(공학사)
- 2000년 2월 : 한국과학기술원 산업공학과(공학석사)
- 2006년 2월 : 한국과학기술원 산업공학과(공학박사)

- 2006년 3월 ~ 2008년 2월 : 삼성전자 반도체연구소 책임연구원
- 2008년 3월 ~ 현재 : 배재대학교 전자상거래학과 조교수

<관심분야> : 지식서비스, 경영정보시스템, 데이터마ining, 지능정보시스템, 전자상거래, 고객관계관리