

# 알고두 프로그램을 이용한 전기회로 비유 생성 활동에서 나타난 초등과학영재 학생들의 비유물의 변화 과정

김지선<sup>1</sup> · 김중복<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>(광주일곡초등학교) · <sup>2</sup>(한국교원대학교)

## The Changes of Analogies Generated by Elementary Science-gifted Students about Electric Circuit using Algodoo Program

Kim, Ji Seon<sup>1</sup> · Kim, Jung Bog<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>(Gwangju Ilgok Elementary School) · <sup>2</sup>(Korea National University of Education)

### ABSTRACT

This study investigated the changes in representation on analogies that elementary science-gifted students generated by using Algodoo program to explain the electric current. After the students were taught about the 'components in circuit and their function' and 'electric current' with teacher centered analogy and PhET program for 4 class hours, they generated analogies to the electric circuit. Then they compared the similarity between generated analogy and target concept and matched it to the target concept. The result revealed that the battery, light bulb, and electric wire were changed according to the change of representations on free electrons. And they generated more proper analogies reflected the target concept when represented the free electrons by the circular particles than the water. From these results, we can say that generating analogy using Algodoo program is the effective education activity to help students understand abstract concept by visualizing it more easily and simply.

**Key words:** elementary science-gifted students, electric current, electric circuit, student generated analogy, Algodoo program

### I. 서 론

현행 과학과 교육과정에서는 초등학교 6학년 때 전기회로의 구성을 다뤘을 때 전구의 밝기가 달라지는 현상을 관찰한 후, 중학교 3학년 때 전하, 전류, 전압, 저항에 대해 배우게 된다. 전류 현상에 대해 처음 학습하게 되는 이 시기에 학생들이 전기 회로를 구성하는 요소들의 기능에 대해 이해하는 것은 이후에 도입되는 전류, 전압, 저항 등과 같은 추상적인 개념을 이해하는 데 있어 반드시 필요하다. 그러나 많은 초등학생들이 전류 현상뿐만 아니라 전기 회로의 구성 요소인 전지, 전구, 전선에 대해서도 잘못된 개념들을 가지고 있다(Kim & Kwon, 2000). 이는 전류 현상이 시각적으로 관찰할 수 없

는 추상적인 개념이어서 학생들이 이해하는 데 어려움을 느끼기 때문이다. 따라서 전류 현상을 이해하기 위해서는 적어도 전구에 불이 켜지는 현상의 관찰을 통해 간접적으로나마 전류의 흐름을 상상하고 추리하는 과정이 필요하다(Kim *et al.*, 1991).

그러나 전구의 밝기를 관찰하는 것만으로 전기 회로 속 전류의 흐름을 상상하여 전기회로의 구성에 따라 전구의 밝기가 달라지는 현상을 이해하는 것은 어려운 일일 뿐만 아니라, 전류에 대해 잘못된 개념을 갖게 할 가능성이 있다. 따라서 학생들이 전류에 대해 과학적 개념을 갖도록 하기 위해서는 비가시적이고 추상적인 개념인 전류 현상을 가시화하여 학생들에게 상상할 수 있는 것으로 만들어주는 비유의 사용이 필요하다(Kim, 1993). 이에

따라 지금까지 물회로 비유(Smith & Wilson, 1974), 자동차와 도로 비유(Dorling *et al.*, 1988), 움직이는 사람들 비유(Gentner & Gentner, 1983), 혈액 순환 비유(Osborne, 1983), 석탄차 비유(Kim, 1991), 분수 모형(Jang & Lee, 1999), 물레방아 비유(Yoo *et al.*, 2000), Kim(1991)이 개발한 석탄차 모형을 변형한 석탄차 모형(Hong, 2008) 등 학생들을 대상으로 한 다양한 비유물들이 개발되어 왔다. 그러나 기존의 연구들에서 활용된 비유물들은 학생들의 전류 개념 변화에 부분적인 효과만을 보였다. 이는 교사가 개발한 비유물이 교수자의 입장에서 개발된 것으로 학생들에게 친숙하지 않아 학생들이 비유의 의미를 제대로 이해하지 못했거나 잘못 이해했기 때문인 것으로 보인다.

그러므로 교사가 개발한 비유물을 학생들에게 제시하는 방식이 아닌 학생들이 중심이 되어 자신의 선개념을 나타내는 비유물을 개발하고, 이를 목표 개념에 근접하게 수정해가는 방식의 활동을 통해 전류에 대한 과학적 개념의 형성을 도모할 수 있다. 이와 같은 활동을 선행연구들에서는 ‘비유 만들기 활동’ 또는 ‘비유 생성 활동’이라고 지칭하였다. 비유 생성 활동은 학생들의 개념 이해에 긍정적인 영향을 미치는데(Byun & Kim, 2010; Kim, 2008; Kim *et al.*, 2006), 이는 비유 생성 과정에서 학생들이 자신에게 친숙하여 이해하기 쉬우면서도 목표 개념과 유사한 속성을 공유하는 소재를 직접 선택하기 때문이다.

지금까지 비유 생성 활동과 관련하여 이루어진 선행 연구들에서는 학생들이 말, 글, 그림 등의 형태로 비유를 표현하였다.(Kim & Kim, 2012; Yang *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2006; Kwon *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2017; Jung & Kim, 2015;) 그러나 아직까지 학생들로 하여금 컴퓨터 프로그램을 활용하여 비유를 시각적으로 표현하게 한 연구는 이루어지지 않았다.

이에 본 연구에서는 교사 주도가 아닌 학생들이 중심이 되어 비유물을 개발하도록 하되, Algodoo 프로그램을 활용하여 실제 전류 현상을 반영한 전기회로 비유물을 제작하게 하였다. Algodoo 프로그램은 2D 기반 시뮬레이션 프로그램으로, 다양한 형태의 구조물을 자유롭게 표현할 수 있을 뿐만 아니라, 이를 다양하게 조작하여 그 결과를 시각적으로 확인해 볼 수 있는 프로그램이다. 특히, 중력, 밀도, 가속도, 속도, 모터의 작용, 빛, 물 등의 속성과 기

능들을 제공하기 때문에, 이를 활용하여 다양한 물리적 상호 작용을 시뮬레이션할 수 있다(Jung & Lee, 2013). 또한, 수정이 용이하여 완성도가 높은 구조물을 제작할 수 있을 뿐만 아니라, 인터페이스가 간단하여 처음 배우는 사람도 쉽게 활용할 수 있어(Kim, 2017) 컴퓨터 프로그램을 조작하는 능력이 부족하거나 컴퓨팅 사고력(computational thinking)의 수준이 낮더라도 사용자들이 쉽게 받아들이고 사용할 수 있기 때문에 초등학교들도 어렵지 않게 조작할 수 있다. 학생들은 이러한 Algodoo 프로그램을 활용하여 전기회로 비유를 만드는 과정에서 전류 현상을 좀 더 간단한 형태로 시각화함으로써 이를 쉽게 이해하게 될 것이다.

물론, 비유는 목표 개념의 속성을 완전히 반영하지는 못하기 때문에, 비유를 사용함으로써 학생들이 오개념을 갖게 되거나 그들이 가지고 있던 오개념이 강화될 수 있다(Osborne, 1983). 그러나 이러한 한계는 학생들이 Algodoo 프로그램을 활용하여 자신이 만든 비유물을 수정하는 과정에서 이를 목표 개념과 대응시켜보는 활동을 통해 극복할 수 있을 것이다. 즉, 교사 중심의 비유 제시 수업에서는 교사가 과학적 개념과 비유물의 한계를 학생들에게 직접적으로 제시하는 반면, 학생 중심의 비유 생성 수업에서는 학생들이 비유를 만드는 과정에서 목표 개념과 공유하는 속성뿐만 아니라, 공유하지 않는 속성을 스스로 확인하고 이를 최소화하고자 기존 비유물을 수정함으로써, 목표 개념이 가진 속성과 비유물만이 가진 속성을 구분지어 이해할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 초등과학영재 학생들을 대상으로 Algodoo 프로그램을 활용하여 전기회로 비유물을 만들게 한 후, 학생들이 만든 전기회로 비유물의 변화 과정을 분석하였다. 이 때, 자유전자의 형태에 따른 전지, 전구, 전선의 변화 및 대응 오류의 변화를 분석함으로써, Algodoo 프로그램을 활용했을 때 실제 전류 현상을 반영하기에 적합한 전기회로 비유의 형태를 분석하였다. 또한, Algodoo 프로그램을 활용한 비유물 생성 활동이 목표 개념을 이해하기 쉬운 형태로 표현하는 데 있어서 갖는 효과와 한계에 대해 알아보하고자 하였다.

## II. 연구 내용 및 방법

### 1. 연구 대상

이 연구는 광역시 소재 초등학교 6학년 영재 학급 학생 19명을 대상으로 하였다. 이 학생들은 영재행동 특성검사, 창의적 인성검사, 리더십 특성검사로 구성된 학생 관찰 평가 결과와 학교생활기록부 및 교내수상실적을 고려하여 학교추천위원회에서 추천을 받아 1차 선발된 후, 영재성 검사 및 인성검사를 통해 최종 선발된 학생들로, 각 학교에서 정규 교육과정에 따른 전기 단원을 학습하였으나, 비유 만들기 활동을 한 적은 없다. 이 연구에서는 19명의 영재 학급 학생들 중 2회의 비유물 개발 수업에 모두 불참한 학생 3명을 제외한 16명의 비유물을 분석하였다.

## 2. 연구 절차

먼저, 선행 연구(Im, 2007; Shin, 2015; Hong, 2008)를 참고하여 수업 활동지를 개발한 후, 과학영재 학생들을 대상으로 전기 회로 비유 만들기 수업을 총 8차시로 실시하였다. 1~2차시에는 PhET 프로그램을 통해 도체와 부도체의 차이가 자유전자의 유무에서 비롯됨을 확인한 후 기존에 학습한 전류의 개념을 재정의하였다. 그 후, 교사가 제시한 비유물 그림을 통해 전류 현상의 원인을 전자의 역할과 연관 지어 학습하였다.

3~4차시에는 전구에 불이 켜지는 이유와 관련하여 전구의 역할에 대해 학습한 후, 자유전자가 전구 속 필라멘트를 통과하더라도 그 개수나 이동 속도가 줄어들지 않고 일정함을 지도하였다. 그 후,

물질의 상태에 따른 입자의 배열 상태를 비유한 예 등 과학에서 비유가 사용된 사례들을 제시하여 비유의 개념에 대해 지도하였고, 앞서 교사가 제시한 전기회로 비유물 이외의 중학교 교과서에서 나오는 물회로 비유와 물레방아 비유를 제시하였다. 이는 학생들로 하여금 비유에 대해 이해하게 하기 위한 과정으로, 비유 만들기 활동 전 학생들에게 비유의 소재나 상황에 대한 예를 제공할 필요가 있다는 선행연구(Kang & Cheon, 2010; Byun & Kim, 2010)에 근거한 것이다. 또한, 비유물이 실제와 유사한 점과 다른 점을 찾아보게 함으로써 비유물의 특징, 즉 비유물이 목표 개념과 공유하는 속성과 공유하지 않는 속성을 동시에 갖고 있음을 이해하게 하였다. 그 후에 Algodoo 프로그램 조작법을 지도하고 다양한 구조물을 만들어보게 하였다.

5~6차시에는 학생들로 하여금 활동지에서 안내하는 절차에 따라 전기회로 비유물을 제작하도록 하였다. 개발한 활동지는 다음과 같은 내용과 순서로 구성되어 있다.

먼저 1번에서는 관 안에 전류를 흐르게 하는 입자들이 쌓여있는 상황을 제시하고, 그러한 입자들이 한 방향을 향해 일정한 속도로 이동하여 다시 원래의 위치로 돌아오는 운동을 반복할 수 있도록 하는 회로를 만들되, 회로 중간에 입자의 움직임을 방해하는 구간이 있어야 함을 명시하였다.

2번과 3번에서는 전기회로 비유물을 개발하는 과정에서 충족시켜야 하는 조건들을 확인하고, 이

Table 1. Research procedure

Theoretical background and pre-studies	1~2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Learn the difference between conductors and non-conductors through the PhET program</li> <li>Learn the role of the battery through the analogy presented by the teacher</li> </ul>
↓		
Development of class activity	3~4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Learn the role of the light bulb through the analogy of the electrical circuit presented by the teacher</li> <li>Learn the meaning of the analogy through the use of analogies in science</li> <li>Learn Algodoo program operation</li> </ul>
↓		
Selection of research students	5~6	<ul style="list-style-type: none"> <li>Using the Algodoo program to create the initial analogy</li> <li>Announcing the initial analogy</li> </ul>
↓		
Instruction of analogy about electric circuit using Algodoo program (1~8 hours)	7~8	<ul style="list-style-type: none"> <li>Using the algodoo program to produce the final analogy</li> </ul>
↓		
Data analysis		
↓		
Conclusion		

Table 2. Contents and sequence of the work sheet for making an initial analogy

1	Checking the problem situation
2	- Identify the conditions given in the problem - Designing own analogy about electric circuit
3	Correspondence of analogies with the actual electric circuit
4	Preparation for presentation : Preparing an announcement about own work
5	Post-announcement activity : Modifying the analogies

를 과학적 개념과 대응하게 함으로써 비유물이 실제와 공유하는 속성에 주목하게 하였고, 4번에서는 발표를 준비하는 과정에서 자신이 만든 비유물이 실제와 다른 점을 찾아보게 함으로써 실제와 공유하지 않는 속성에 주목하게 하였다. 이러한 문항 구성은 초등학교 5학년 과학영재 및 일반 학생들을 대상으로 포화 용액 개념에 대한 비유 만들기 과정의 유형을 분석한 No *et al.*(2011)의 연구에 근거한 것이다. No *et al.*(2011)의 연구 결과, 학생들이 목표 개념과 비유 소재 간의 유사점을 대응시켜 표현한 경우가 가장 많았고(과학영재 6명, 일반 6명), 유사점뿐만 아니라 차이점을 비교하는 과정을 추가로 거치는 경우가 그 다음으로 많았으며(과학영재 4명, 일반 학생 2명), 차이점을 먼저 비교하여 가장 적합한 비유 소재를 정한 후, 목표 개념과의 유사점을 대응시킨 경우(과학영재 2명)가 가장 적게 나타났다. 이로 보아, 비유물과 실제 현상의 차이점을 먼저 비교하는 것보다 유사점을 대응시키는 것이 비유물을 개발하는 데 있어 많은 학생들이 쉽게 접근할 수 있는 방법임을 알 수 있었고, 그러한 흐름을 비유물 제작 활동지에 반영하였다.

초기 비유물을 제작한 후에는 발표 활동을 통해 스스로 발견하지 못한 자신의 비유물의 한계를 발견하고, 이를 보완할 수 있도록 하였다. 이는 Yoon and Kang(2011)에서 주장한 바, 학생들이 자신이 만든 비유물에 대해 논의하는 과정을 통해 비유물의 제한점과 대응 과정에서의 오류를 쉽게 파악하여 비유의 질을 향상시킬 수 있기 때문이다.

7~8차시에는 자신이 제작한 초기 비유물을 수정하거나 새로운 비유물을 제작한 후, 전기회로의 각 구성 요소를 무엇에 비유하였으며, 그러한 형태를 택한 이유가 무엇인지를 글과 그림의 형태로 설명하게 하였다. 또한, 실제와 유사한 전기회로 비유물을 만들기 위해 고려했던 조건을 서술하게 한 후,

완성한 비유물이 그러한 조건을 충족하는지를 스스로 평가·점검해보게 하였다.

수업을 마친 후에는 학생들이 제작한 초기 비유물과 최종 비유물 및 비유물을 만드는 과정에서 작성했던 활동지를 분석하여 전기회로 비유물의 표현 유형과 변화 과정 및 대응 오류의 유형을 살펴 보았다.

### 3. 분석 방법

분석의 타당도와 신뢰도를 높이기 위해, 학생들이 만든 전기회로 비유물을 과학교육 전문가 1인과 과학교사 3인이 분석한 후 이를 분류하여 비유물의 유형 분류 틀을 개발·수정하였다. 개발한 분류 틀은 Table 3과 같다.

학생들은 비유물을 만드는 과정에서 자유전자라 전지에 의해 순환하는 현상을 시각적으로 표현하고자 하였는데, 이 과정에서 자유전자, 전지, 전선이 제 기능을 수행하도록 하기 위해 어떠한 형태로 표현했는지를 살펴보았다. 이 때, 자유전자의 표현 형태에 따른 비유물의 변화 과정을 분석하였다. 즉, 가장 빈번하게 나타난 표현 형태인 물과 원 모양의 알갱이를 중심으로, 자유전자를 물로 표현했을 때와 원 모양의 알갱이로 표현했을 때 학생들이 직면한 문제와 이를 해결해가는 과정에서 나타난 비유물의 각 구성 요소의 변화 및 최종적인 표현 형태와 그 이유를 분석하였다.

## III. 연구 결과 및 논의

### 1. 자유 전자를 물로 표현했을 때 비유물의 변화 과정

#### 1) 자유전자의 속도를 일정하게 하기 위한 변화

Table 3. Classification of analogies on the electric circuit

Main category	Middle category	Small category
Expression type of analogy	Expression of free electrons	Water
		Circular particle
		Rocket
		Light
	Expression of battery	One motor
		Line and one motor
		Several motors
		Several rods and one motor
		Kibble
		Propellant
		Laser
	Expression of light bulb	Road with obstacles installed
		Narrow road
		Gear wheel rotating in place
		Gear wheels rotating in place and spiral pipes
		Rolling ball
		Glass
	Expression of wire	Pipe (tube)
		Road
		Gaps between walls
		Remaining empty space excluding battery
		Road and pipe
		Road and gear wheel
		Aqueduct

자유전자를 물로 표현한 경우, 표현 과정에서 학생들이 공통적으로 겪어야 했던 첫 번째 문제점은 전기회로 각 지점에서 자유전자의 속도가 일정하지 않다는 것이다. 전지를 모터로 표현할 경우, 전지에서 가까울수록 자유전자의 이동 속도가 빠르고, 멀어질수록 자유전자의 이동속도가 느려지게 된다. 실제로 많은 학생들이 이러한 문제를 극복하고자 다양한 시도를 하였다. 그 중 자유전자의 형태를 그대로 유지하되, 다른 구조물의 형태를 바꾸거나 자유전자를 아예 원 모양의 알갱이로 바꾸고, 나머지 구조물들의 형태도 함께 바꾸는 시도들이 나타났다.

자유전자의 형태를 물로 유지했던 학생들은 전

지를 비유한 모터의 개수를 늘림으로써 이와 같은 문제를 극복하고자 하였다. S1은 전지를 비유한 모터 1개를 회로의 한쪽 가장자리에만 설치하였으나, 그렇게 했을 때 모터로부터 멀어질수록 물이 흐르는 속도가 느려지게 되는 것을 발견하였다. 그리하여 물을 더욱 강하게 밀어줄 수 있도록 모터의 개수를 4개로 늘리고, 이를 회로 사방에 설치하여 전체적으로 자유전자의 이동 속도를 일정하게 하고자 하였다. S5는 비유물 개발 초기부터 자유전자의 전반적인 이동 속도를 일정하게 하는 데 중점을 두어 전지를 비유한 모터 여러 개를 회로 아래쪽에 설치함으로써 물이 일정한 속도로 순환하게 하였다.

S11의 경우, 자유전자의 형태와 함께 전선의 형

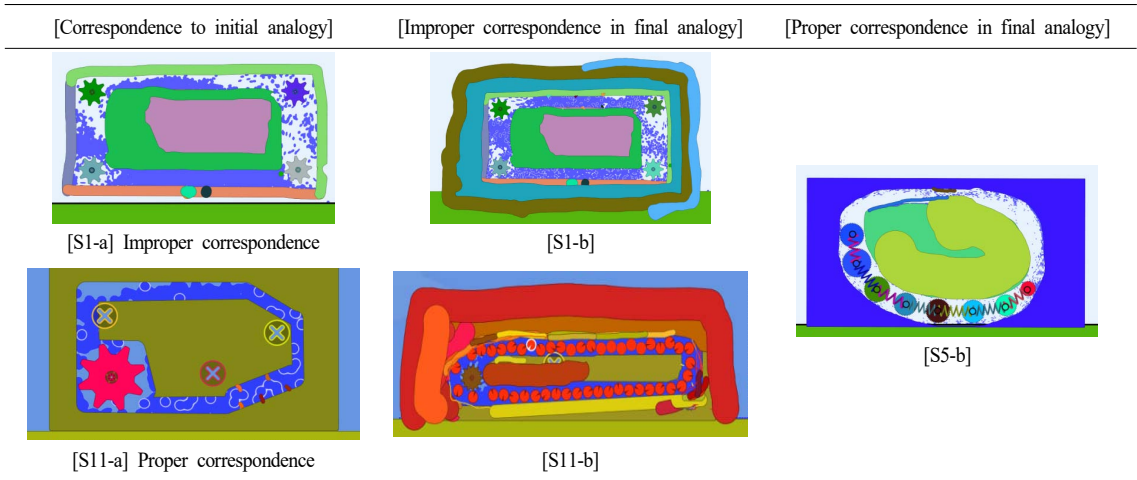


Fig. 1. Changes for representing circulation of the free electrons with the water particles having constant speed.

태도 바꾸었다. 학생은 초기 비유물에서 전선을 빈 통로로 표현하고 자유전자를 물로 표현하였으나, 최종 비유물에서는 자유전자를 원 모양의 알갱이로 표현하고, 전선을 물이 차 있는 통로로 표현하였다. 또한, 자유전자를 비유한 원 알갱이의 수를 전선을 가득 채울 만큼으로 설정하고, 그 크기를 통로의 직경만큼으로 설정함으로써 자유전자들이 일정한 속도를 유지한 채 일렬로 움직이는 모습을 시각적으로 표현하고자 하였다.

## 2) 자유전자를 위로 올려 보내기 위한 변화

자유전자를 물로 표현했을 때 생긴 또 다른 문제점은 물의 흐르는 속성에 의한 것으로, 아래쪽 물을 손실 없이 위로 올려 보내 물을 순환하게 하는

장치를 만들기 어렵다는 것이다. 전지를 비유한 장치가 물을 올려 보내주더라도 그것의 일부가 중력에 의해 다시 흘러내리게 되기 때문이다.

S4와 S14는 아래쪽의 물을 위로 올려 보내는 장치를 만들어내지 못한 경우로, 전지를 모터의 형태로 표현하기는 하였으나 그것이 물을 올려 보내는 기능을 하지는 못하였다. S14는 이와 같은 한계를 극복하기 위하여 자유전자의 형태를 원 알갱이로 바꾸으로써 전지를 비유한 모터에 의해 자유전자가 손실 없이 위로 올라갈 수 있도록 표현하였다. S4는 초기 비유물 제작 과정에만 참여하여 이후 비유물의 변화 과정을 예상할 수 없었다.

반면, 같은 한계를 경험했던 S9는 자유전자를 물의 형태로 유지하되, 전지의 형태를 여러 개의 막

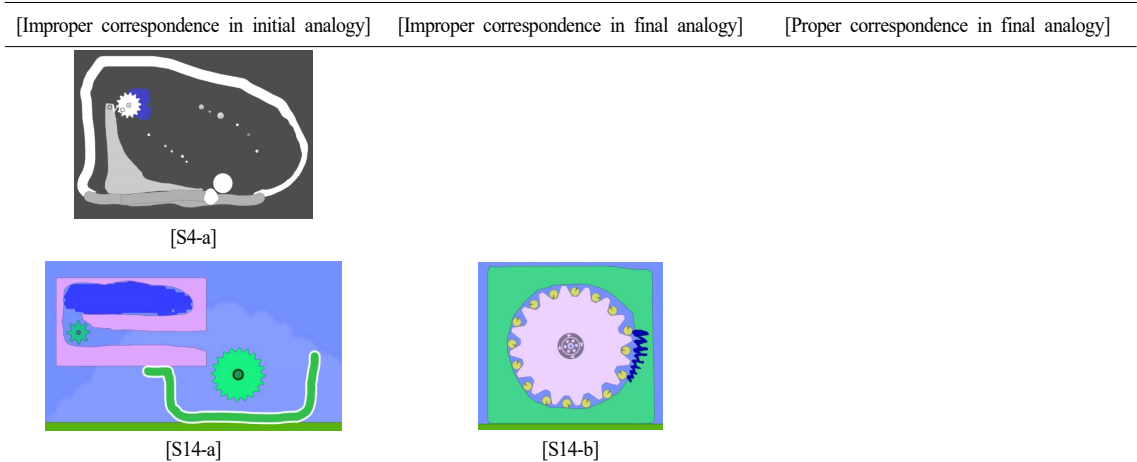


Fig. 2. Changes for lifting up the falling water particles by the motor (case 1).

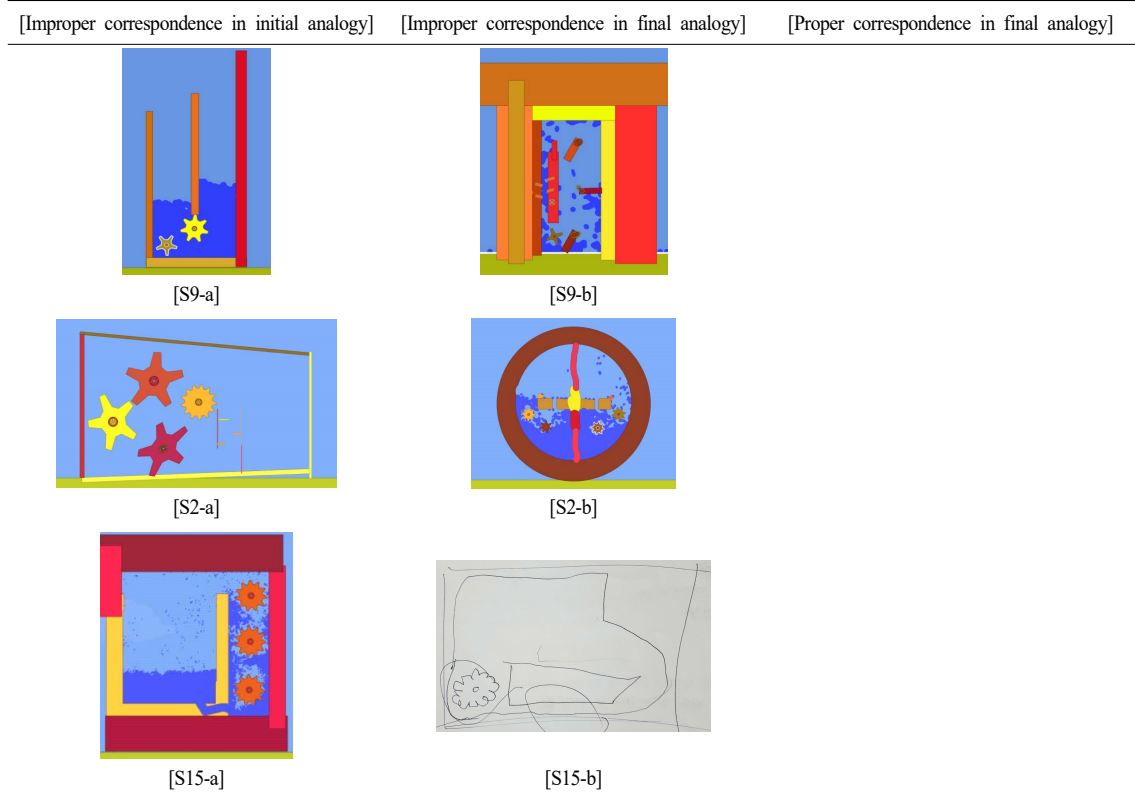


Fig. 3. Changes for lifting up the falling water particles by the motor (case 2).

대들로 변형하여 이를 해결하였다. S9의 경우, 초기 비유물에서 물이 모터들에 의해 긴 막대를 넘어 옆에 위치한 관으로 이동하는 현상을 전류 현상으로 구상하였으나 이를 구현하지 못했다. 학생은 최종 비유물에서 전지를 360도 회전하면서 순차적으로 물을 밀어 올려 보내주는 3개의 막대로 표현함으로써 이러한 문제를 해결하였다. 이 막대들은 위아래로 연달아 위치해있어 아래쪽 막대부터 연속하여 물을 위로 올려 보내주게 된다. 물론, 이때에도 다시 아래로 떨어지는 물이 일부 생기게 되나, 이전에 전지를 비유했던 모터가 물을 막대 너머로 올려

보내주지 못했던 것에 비하면, 전지의 형태를 바꾼 시도가 물의 순환에 이바지했다고 볼 수 있다. 그러나 전지를 시간차를 두고 연속적으로 작동하는 것으로 표현하였을 뿐만 아니라, 초기 비유물과 마찬가지로 전지와 전선 사이가 개방된 열린회로로 표현하였다. S2의 경우, 최종 비유물에서 물을 담은 공간 안에 전지를 비유했던 모터를 설치함으로써 물이 순환하게 하고자 하였으나, 전지와 전선 사이가 여전히 개방된 형태로 표현되어 일부 자유전자가 전선에 들어가지 못하고 다른 방향으로 이동하게 되는 문제가 발생하였다.

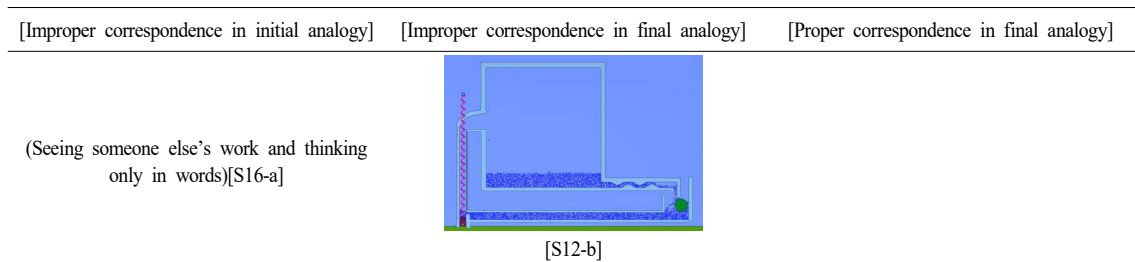


Fig. 4. Changes for lifting up the falling water particles by the motor (case 3).

또한, S15의 경우, 초기 비유물에서 전지를 여러 개의 모터로 비유하였으나, 모터들에 의해 위로 올라갔던 물이 다시 중력에 의해 아래로 떨어지는 등 실제와 다른 모습을 보여 최종 비유물에서는 모터의 개수를 1개로 줄이고 물이 올라가야 하는 높이도 낮춤으로써, 위로 올라갔다가 다시 아래로 떨어지는 물의 양을 최소화하고자 하였다. 그러나 이러한 시도에도 불구하고, 앞서 직면했던 한계를 극복하지는 못하였다.

이 밖에 자유전자를 비유한 물을 위로 올려 보내기 위해 두레박과 같은 형태의 장치를 전지로 표현하고자 한 학생들(S12, 16)도 있었다. 그러나 두 경우 모두 자유전자를 올려 보내주는 두레박이 올라갔다가 다시 내려오는 동안, 자유전자가 두레박이 있던 곳으로 이동하여 그 공간을 채운다는 문제를 안고 있었다.

## 2. 자유 전자를 알갱이로 표현했을 때 비유물의 변화 과정

자유전자를 알갱이로 표현한 경우, 도중에 아래로 떨어지는 자유전자없이 자유전자를 위로 올려 보내기가 더욱 용이했다. 이를 위해 학생들은 전지 아래쪽에 자유전자를 받쳐주기 위한 구조물을 설치하거나, 전지를 비유한 모터들을 위아래로 연달아 설치함으로써 알갱이로 표현된 자유전자를 연속하여 위로 올려 보내주도록 하였다.

S10의 경우, 초기 비유물에서는 전류 현상을 물이 모터에 의해 순환하는 모습으로 표현하고자 하였으나, 전선을 윗부분이 개방된 길로 표현하여 열린회로에서 전류현상이 일어나는 것처럼 표현하였을 뿐만 아니라, 전선의 윗부분과 아랫부분에 흐르는 자유전자의 양이 서로 다르다는 문제를 안고 있었다. 학생은 이러한 문제를 해결하기 위해 전선을 통로로 표현하고, 자유전자의 형태를 원 모양의 알

갱이로 바꾸어 표현하였다. 그와 같이 바꾼 이유에 대해 학생은 ‘물보다는 공의 형태일 때 전기회로 각 부분에서 그 양을 같게 하기 용이하고, 물보다 그 움직임을 확인하기 쉽기 때문’이라고 답하였다. 또한 전지를 여러 개의 톱니바퀴들로 표현하였는데, 학생은 그 이유에 대해 ‘공 모양의 자유전자를 연속적으로 위로 올려주는 역할을 하게 하기 위해서’라고 답하였다.

S7 역시 최종 비유물에서 그와 같은 방식으로 전류 현상을 표현하였으나, 전선을 윗부분이 개방된 길과 자유전자의 이동에 의해 회전하는 톱니바퀴로 표현하였다. S7은 길에 톱니바퀴를 추가 설치한 것에 대해 ‘원래는 설치하지 않아도 되는 것이나, 그렇게 하면 그 부분에 몰린 자유전자가 틈 사이에 끼게 되므로 그러한 현상을 방지하기 위해 설치한 것’이라고 설명하였다. 이와 같이 여러 개의 모터가 서로 맞물려 작동하게 하는 형태는 자유전자가 흐르지 않는 알갱이의 형태로 표현된 경우에만 나타났다.

### 1) 자유전자가 튕겨져 나가는 현상을 막기 위한 변화

그러나 자유전자를 알갱이로 표현한 경우에도 역시 문제가 발생하였다. 먼저, 자유전자가 주변 구조물들과의 충돌로 인해 튕겨져 나가는 경우가 생겼다. 학생들은 이와 같은 문제를 해결하기 위해 알갱이를 구성하는 물질의 종류를 바꾸어 밀도를 조절하거나, 전선의 형태를 바꾸었다. S3의 경우, 초기 비유물에서 전지를 비유한 추진체가 자유전자를 비유한 로켓에 붙은 채 통로를 순환하는 모습을 전류 현상으로 비유하였으나, 로켓이 운동하는 도중에 관에 부딪혀 일정한 속도로 운동하지 못하였다. 학생은 이러한 한계를 극복하기 위해 자유전자를 여러 개의 공으로, 전지를 모터로 변경하여 관

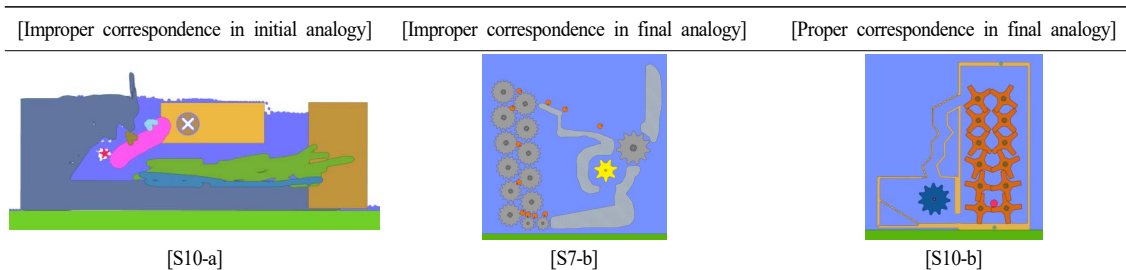


Fig. 5. Change of the structures for lifting up the free electron represented by the circular particle.



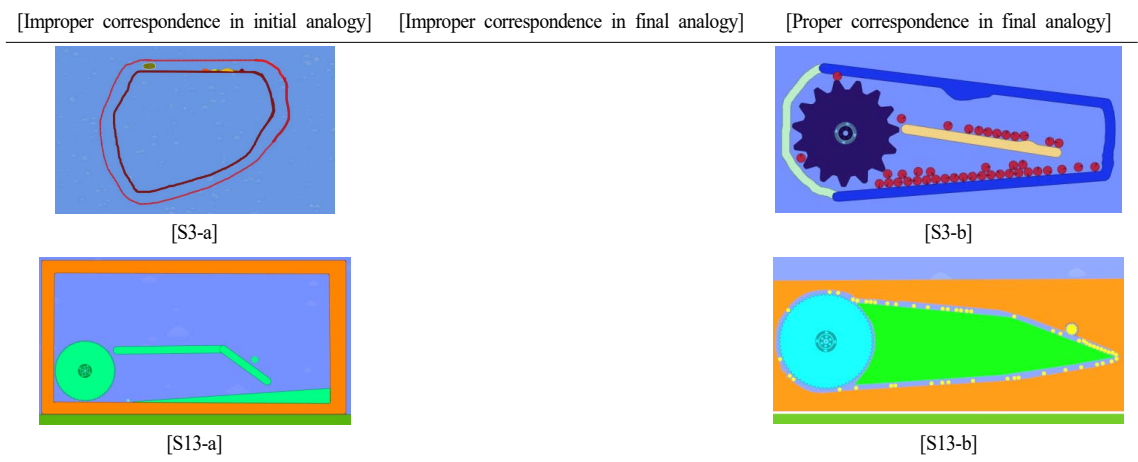


Fig. 6. Changes for avoiding the bouncing off free electron.

중간에 모터를 설치했으나 그렇게 했을 경우, 공들이 도중에 멈추는 현상이 발생하여 모터의 역할을 ‘자유전자들이 관을 따라 이동할 수 있도록 밀어주는 역할’에서 ‘자유전자들을 위로 올려 보내주는 역할’로 수정하여 표현하였다.

S13의 경우, 초기 비유물에서 전선을 길로 표현했다가 통로의 형태로 바꾸었는데, 이와 같이 전선의 형태를 바꾼 이유는 원 모양의 알갱이로 표현된 자유전자가 내려오는 도중에 다른 곳으로 튕겨져

나가지 않게 하기 위해서는 전선을 길의 형태보다 통로의 형태로 표현하는 것이 적합하기 때문이다. 또한 이 때 알갱이가 항상 주변 구조물과 접촉하고 있도록 전선의 굵기를 알갱이의 크기만큼으로 조절하였다.

## 2) 자유전자의 속도를 일정하게 하기 위한 변화

자유전자를 원 모양의 알갱이로 표현했을 때 생긴 또 다른 문제점은 전선이나 전구의 길이를 길게

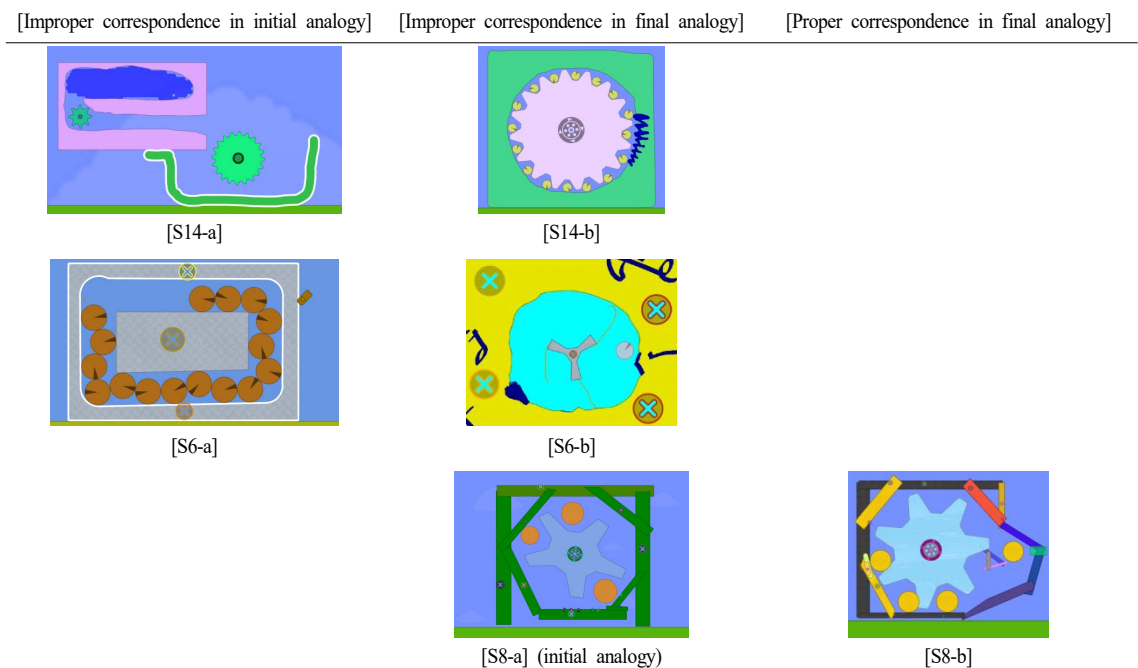


Fig. 7. Changes for constant speed of the circulating free electrons represented by the circular particles.

했을 경우 자유전자의 이동 거리가 길어져 속도가 점점 느려진다는 것이다. 학생들은 전지에서 내려온 알갱이의 속도가 느려지는 한계를 극복하기 위해 알갱이가 계속해서 전지의 힘에 의해 이동하도록 표현하거나(S6-b, S8-a, S14-b), 알갱이가 전지로부터 내려온 후에 단독으로 이동해야 하는 거리를 최소화하였다(S8-b).

S14의 경우, 최종 비유물에서 전지를 표현한 모터를 속이 빈 공간의 중앙에 설치하고, 그 모터에 의해 자유전자가 이동하도록 표현하였다. S6의 경우, 초기 비유물 발표 시 자유전자를 순환하게 하는 모터를 아직 설치하지 않은 상태였으나, 설치한 후에도 자유전자가 일정한 속도로 순환하지 못하는 문제에 직면하였다. 그리하여 최종 비유물에서는 이를 보완하고자 S14-b와 같이 전지와 전선이 차지하는 공간을 구분하지 않은 채 전기회로를 표현하였다.

반면 S8의 경우, 초기 비유물을 만들 때부터 S6과 S14의 최종 비유물과 유사한 형태로 표현하였으나, 최종 비유물에서는 자유전자가 전지로부터 내려오는 지점에 경사로를 설치하여 전지와 전선이 차지하는 공간을 구분지어 표현함으로써 이를 보완하였다. 또한 경사로의 코너 부분에 장애물을 설치하고 이를 전구로 표현함으로써, 자유전자가 전지에 의해 올라갔다가 경사로를 타고 내려오는 과정에서 전구를 거쳤다가 다시 전지로 돌아오는 모습을 표현하였다.

#### IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 초등 과학 영재 학생들을 대상으로 전류 현상에 대한 그림 형태의 비유를 제시하여 수업을 실시하고, 학생들로 하여금 Algodoo 프로그램을 활용하여 실제 전류 현상을 반영한 전기회로 비유물을 개발하게 한 후, 자유전자의 형태에 따른 전기회로 비유물의 변화 과정 및 목표 개념과의 대응 정도를 분석하였다.

연구 결과, 학생들은 실제적 표현이 어려운 경우, 기능적인 부분은 최대한 반영하되, 이를 표현하기 쉬운 형태로 바꾸어 표현하였다. 예를 들어 일부 학생들은 전구의 필라멘트가 과열되어 빛이 난다는 사실을 알고 있었으나, 이러한 현상을 자유전자의 운동을 중심으로 간단하게 표현하였다. 비유물

의 변화 과정을 분석한 결과, 자유전자의 형태에 따라 전지와 전선의 형태도 변화되어 나타났으며, 자유전자를 물로 표현했을 때보다 원 모양의 알갱이로 표현했을 때 목표 개념을 적절하게 반영한 비유물을 만들었다.

학생들이 제작한 비유물 중에는 목표 개념과 공유하지 않는 속성을 포함한 비유물도 있었는데, 그 원인은 다음과 같다. 첫째, Algodoo 프로그램을 활용하여 비유를 표현하려면, 이를 구현했을 때 발생하는 문제를 해결하기 위한 다양한 방법들을 떠올릴 수 있어야 할 뿐만 아니라, 이를 시도할 수 있는 충분한 시간과 프로그램 조작 능력이 필요한데, 그러한 조건들이 부족했던 것으로 보인다. 둘째, Algodoo 프로그램의 특성상 조작 환경을 중력계로 설정할 경우, 생성해낸 구조물이 중력의 영향을 받아 운동하게 되어 전류 현상과 대응시키기 어려운 현상들이 발생하게 된다. 학생들은 Algodoo 프로그램을 활용하여 비유물을 수정하는 과정에서 이를 발견하였으나, 자유전자의 순환을 시각적으로 표현하기 위해 비공유 속성을 포함하여 표현하는 방법을 선택하였다.

이상의 결과로부터 Algodoo 프로그램을 활용하여 비유물을 만들고, 이를 목표물과 대응하여 수정하는 활동은 추상적인 개념을 좀 더 쉽고 간단한 형태로 시각화하여 이해할 수 있는 활동임을 알 수 있다. 전기회로 비유물의 변화 과정을 분석한 이 연구의 결과는, 이후 학생들의 전류 개념의 이해를 돕기 위한 전기회로 비유물을 제작하는 과정에서 참고 자료로서 활용될 수 있을 것이다. 학생들이 개발한 비유물의 경우, 비슷한 발달 단계에 있는 다른 학생들에게 친숙할 뿐만 아니라, 이해하기 쉬운 구조로 되어 있어 교사가 중심이 되어 개발한 비유물에 비해 학생들의 전류 개념에 대한 이해를 돕는 데 효과적일 것이다. 이를 위해, 학생들이 만든 비유물들 중 비공유 속성을 최소화하였을 뿐만 아니라, 과학적 개념을 이해하기 쉬운 친숙한 형태로 반영하고 있어 학생들이 목표 개념과의 대응 관계를 적절하게 설명할 수 있었던 비유물들을 선별하여 보다 정교화한다면 과학적 개념 학습에 효과적인 전기회로 비유물을 개발할 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

Choi, K. (2003). The effects of students' self-created analo-

- gies on their understanding of electricity-related concepts. *Sae Mulli*(The Korean Physical Society), 48(5), 401-410.
- Dupin, J. J. & Johsua, S. (1989). Analogies and “modeling analogies” in teaching: Some examples in basic electricity. *Science Education*, 73, 207-224.
- Gentner, D. & Gentner, D. (1983). Flowing waters or teeming crowd: Mental models of electricity. In D. Gentner & A. L. Stevens(ed.), *Mental models* (pp. 99-130). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Hong, J. (2008). Conceptual changes in elementary school students through the PhET simulation emphasizing the motion of charges. Master’s thesis, Korea National University of Education.
- Jang, B. & Lee, J. (1999). The effect of the source analog for reducing the misconception on electric current of elementary school children. *Journal of Research in Science Education*, 23, 3-19.
- Jung, J. & Kim, Y. (2015). An analysis of features in self generated analogies during phasical teaching learning process about mixture using analogy for lower elementary school students. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 34(4), 419-433.
- Jung, J. & Lee, T. (2013). Design of algodoo simulation teaching and learning program. *Proceedings of the Korean Society of Computer Information Conference*, 21(2), 199-201.
- Kang, H. & Cheon, J. (2010). Characteristics, mapping understanding, mapping errors, and perceptions of student-generated analogies by elementary school students’ approaches to learning. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 30(5), 668-680.
- Kim, B. (2017). Development and application of teaching & learning materials using algodoo simulation. *Journal of Korean Association of Computer Education*, 21(1), 131-134.
- Kim, D. (2008). The effects of applying instruction using high school students’ self-generated analogies for concepts in genetics. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 28(5), 424-437.
- Kim, D. & Kim, J. (2012). Mapping analysis of scientific concepts and analogies generated by middle school students about light and waves using learning materials for generating analogies. *Journal of Research in Curriculum Instruction*, 16(4), 1189-1209.
- Kim, H. & Byun, C. (2010). The effects of student-centered instruction using analogy for middle school students’ learning of the photosynthesis concept. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 30(2), 304-321.
- Kim, J. (1998). Relationships of elementary students’ conceptions about basic circuits and electric currents. Master’s Thesis, Korea National University of Education.
- Kim, M., Kwon, H., Kim, Y. & Noh, T. (2017). An investigation of the characteristics of analogs generated by high school students on ionic bonding: A comparison of characteristics of analogs depending on their cognitive variables. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 37(1), 39-48.
- Kim, Y. (1991). Effects of instruction using systematic analogies on change of middle school students’ conceptions of electric current. Doctoral Dissertation, Seoul National University of Education.
- Kim, Y. (1993). Current concept change through current measurement. *Physics Education* (KPS), 11(2), 113-120.
- Kim, Y., Moon, S. & Noh, T. (2009). An investigation of the types of analogies generated by science-gifted student, mapping errors on the chromatography, and the perceptions on generating analogy. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 29(8), 861-873.
- Kim, Y., Park, W. & Noh, T. (2010). The characteristics of analogies generated by science-gifted students depending on the consideration of attributes and relationships in the processes of generating analogies. *Journal of the Korean Chemical Society*, 54(5), 621-632.
- Kwon, H., Choi, E. & Noh, T. (2003). Analysis of the analogies on three states of matter generated by middle school students. *Journal of the Korean Chemical Society*, 47(3), 265-272.
- Lim, J. (2008). The influences of using electric current models on changes of electric current conception of elementary school students. Master’s Thesis, Busan National University of Education.
- Mayo, J. A. (2001). Using analogies to teach conceptual applications of developmental theories. *Journal of Constructivist Psychology*, 14, 187-213.
- Mo, J. (2018). Development and application of teaching-learning program for improving computational thinking of elementary science gifted based on algodoo. Master’s Thesis, Korea National University of Education.
- Noh, T., Kim, G., Choe, E. & Cha, J. (2006). The effect of an instruction using generating analogy on students’ conceptual understanding in middle school science concept learning. *Journal of the Korean Chemical Society*, 50(4), 338-345.
- Noh, T., Yang, C. & Kang, H. (2011). Perceptions of elementary school teachers on the use of analogy ge-

- neration in scientifically-gifted education. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 30(1), 22-27.
- Osborne, R. J. (1983). Towards modifying children's ideas about electric current. *Research in Science & Technological Education*, 1(1), 73-82.
- Shin, E. (2015). Conceptual changes in elementary school students through the PhET simulation emphasizing the motion of charges. Master's Thesis, Korea National University of Education.
- Smith, F. A. & Wilson, J. D. (1974). Electrical circuits and water analogies. *The Physics Teacher*, 12(7), 396-399.
- Spier Dance, L., Mayer Smith, J., Dance, N. & Khan, S. (2005). The role of student generated analogies in promoting conceptual understanding for undergraduate chemistry students. *Research in Science & Technological Education*, 23(2), 163-178.
- Yang, C., Park, W., Kim, Y., Choi, G. & Noh, T. (2011). The characteristics of imagery thinking in the processes of science-gifted students' generating analogy. *Journal of the Korean Chemical Society*, 55(5), 846-856.
- Yoo, P., Kang, I., Kim, P., Nam, M., Park, S., So, H., Yun, H., Lee, Y., Lee, H., Chun, P. & Chung, S. (2000). Conceptual change of an electric current by the model of metaphor. *Research of Science Education*, 25, 22-27.
- Yoon, J. & Kang, H. (2010). Characteristics, mapping understanding, mapping errors, and perceptions of student-generated analogies by elementary school students' approaches to learning. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 30(5), 668-680.
- Yoon, J. & Kang, H. (2011). The effects of analogy-generating in small group on saturated solution in elementary science-gifted education. *Journal of the Korean Chemical Society*, 55(3), 509-518.
- PhET program. Retrived April 11, 2017, from <https://phet.colorado.edu/ko/simulation/legacy/circuit-construction-kit-ac>
- Algodoos program. Retrived April 11, 2017, from <http://www.algodoo.com/>