

전자기 관련 실험 활동에서 초등 교사가 사용한 표상 패턴과 의미 형성 과정 분석

장진아

Analysis of Representation Patterns Used by Elementary Teachers and Meaning-Making Processes in Electromagnetic Experiment Activities

Chang, Jina

ABSTRACT

This study aims to investigate the representation patterns used by elementary teachers and their meaning-making process in electromagnetic experiments. In particular, we analyzed the representations depending on three levels of their abstractness: enactive representation (action based), iconic representation (image based) and symbolic representation (language based). For this, four experiment activities of two teachers were analyzed and the results are as follows. First, as an overall pattern of representation, an experiment subject is presented as the form of symbolic representation and the related concepts, experimental materials and methods are embodied through iconic representation. Then, through enactive representation, the actual experiments are implemented. The experimental results are primarily recorded through iconic representations and abstracted into symbolic representations to draw conclusions. The different levels of representations complement each other to expand their meanings, however, sometimes they also make inconsistent meanings among different levels. Based on these results, educational implications were discussed in terms of supporting and improving electromagnetic experiment activities.

Key words: elementary science, experiment, electromagnetic, representation, levels of abstractness, teacher

I. 서 론

과학 수업에서 교사는 어떤 현상이나 주제에 대하여, 학생들과 다양한 표상으로 상호작용하면서 과학적 의미를 형성해 나간다(Tang, 2016). 다양한 표상을 활용하는 것은 동일한 현상에 대한 서로 다른 측면을 드러냄으로써, 학생들이 같은 현상을 다양한 각도에서 사고하여 의미를 보완하거나 발전, 재구성시키는 데에 도움이 된다(Airey & Linder, 2017; Yeo & Gilbert, 2017). 이는 과학 실험 수업에서도 마찬가지이다. 교사는 특정 주제에 대한 실험을 계획, 수행하고, 자료들을 분석, 정리하는 과정

에서 다양한 표상을 활용해 실험 주제에 대한 과학적 의미 형성을 돕는다. 이처럼 과학 수업 또는 실험 수업에서 다양한 표상을 활용하는 것이 학생들의 개념 이해를 깊게 하고, 과학적 사고력과 탐구력을 증진시킨다는 보고가 이루어져 왔다(Tang *et al.*, 2014; Treagust *et al.*, 2017).

이처럼 표상이 지닌 여러 교육적 기능과 효과에 주목하여 과학 학습에서의 표상과 관련된 연구가 국내외에서 폭넓게 이루어졌다. 이러한 연구들은 대상에 따라 크게 3가지 범주로 나눌 수 있다. 첫째, 교과서에서 활용된 표상의 특징을 분석한 연구들이다(Jo *et al.*, 2015; Noh *et al.*, 2007; Wong &

Chu, 2017). 교과서의 표상은 교사나 학생들이 구성할 표상을 이끄는 역할을 한다는 점에서 중요하게 다뤄져 왔다(Wong & Chu, 2017). 국내 교과서의 표상을 분석한 연구들은 7차 교육과정에서부터 2015 개정 교육과정, 그리고 최근의 과학 디지털교과서에 대한 분석까지 다양하게 이루어져 왔으며, 초기에는 화학 분야에서 외적 표상을 중심으로(Kang et al., 2008; Noh et al., 2007), 최근에는 물리 분야에서 시각적 표상을 중심으로 활발하게 이루어지고 있다(Jo et al., 2015; Kim et al., 2018). 두 번째는 교사들의 표상 활용 실태를 살펴본 경우이다(Tang, 2016; Yoon, 2019; Yoon et al., 2017; Yoon & Park, 2018). 이러한 연구들은 교사가 활용한 표상들을 특정 수업 사례들을 중심으로 직접 분석한 경우(Tang, 2016)와 교사의 자기보고식 설문이나 지도안을 통해 간접적이지만 폭넓게 조사한 경우(Yoon et al., 2017; Yoon & Park, 2018)로 나눌 수 있다. 교사들이 인식하거나 활용하는 표상들은 과학 수업에서 학생들의 사고 및 개념 형성의 기반이 된다는 점에서 중요하게 보고되어 왔다(Tang, 2016). 세 번째는 학생들이 구성한 표상의 특징과 양상을 분석한 연구이다(Albe et al., 2001; Jho et al., 2017; Tytler et al., 2013). 특히 최근에는 학생들이 표상을 수동적으로 읽거나 해석하는 활동을 넘어서 자신만의 표상을 통합, 구성하고 평가하는 적극적인 활동이 강조되고 있다(Park et al., 2020; Yoon, 2018; Yoon et al., 2016).

이처럼 표상의 적극적인 활용이 강조되면서, 표상을 통해 상호작용하는 과정을 ‘의미 형성 과정(meaning making process)’으로 해석하고, 여러 표상들이 담고 있는 조금씩 다른 의미들을 연결 짓는 과정에 초점을 둔 연구들이 늘고 있다. 예를 들어, 동일한 주제와 관련되는 여러 표상들이 반복·재생산되는 과정을 ‘재표상(re-representation)’이라고 칭하고, 재표상 과정에서 의미가 형성되는 과정의 특징을 분석한 경우를 들 수 있다(Tang, 2016; Tytler et al., 2013). 예를 들어, Tytler et al. (2013)은 과학 교실에서 교사와 학생들이 대화할 때 활용하는 여러 양식(modes)의 표상들이 연결되면서 의미가 형성해간다고 설명하였다. 즉, 학생들은 친구가 표현한 표상들을 나름대로 해석하고 반영하여 나만의 표상을 재생산하게 된다. 이 때 언어에서 제스처나 그림으로, 또 다른 언어로 재표상되는 과정에서 과

학적 의미와 설명이 공고해진다는 것이다. 비슷하게 Tang (2016)은 중학교 학생들의 물리 수업에서 활용되는 표상의 유형과 변화 양상을 분석하였다. 이를 통해 여러 양식의 표상들이 수업 흐름에 따라 다른 위상을 가지고 활용되며, 이러한 재표상 과정이 추상적이고 과학적인 개념 형성의 스캐폴딩 역할을 한다고 주장하였다.

여러 표상들 간의 의미론적 관계와 구성에 초점을 둔 기존 연구들은 주로 과학 개념 학습이 중심이 되는 수업을 살펴본 경우가 대부분이었다. 이에 비해 ‘실험 활동’이 중심이 되는 수업에서 나타나는 표상의 활용과 의미 형성 과정을 살펴본 경우는 드물다. 실험 활동은 과학 현상을 탐색하고, 과학적 방법과 추론 과정 등을 학습하는 기회를 제공한다는 점에서, 교실에서 학생들이 경험하는 과학적 실험의 중요한 축이 된다(Lechere et al., 2001). 개념 중심의 수업과 실험 중심의 수업은 현상에 대한 추론 과정을 포함한다는 점에서 공통적인 부분도 있으나, 실험 수업에서는 과학적 절차와 방법이 중요한 역할을 한다는 점에서 차별화된다. 과학 실험 활동이 갖는 이러한 특징은 표상의 활용으로도 이어져, 과학적 절차와 방법을 설명하는 역할을 하는 표상들이 ‘과정적 표상’이라고 명명되기도 했다(Jo et al., 2015; Yoon, 2018). 다시 말해, 과학 실험 수업에서는 개념 학습 수업에서와 같이 현상을 기술하는 ‘기술적 표상’ 및 현상을 설명하고 해석하는 ‘설명적 표상’과 함께 과학적 실험 과정과 절차를 설명하는 ‘과정적 표상’이 많이 활용될 것이다. 이러한 차별점에 초점을 맞추어 본 연구에서는 기존 연구에서 충분히 살펴보지 않았던 초등학교 과학 실험 활동 과정에서의 표상 활용 패턴을 분석하고, 이 과정에서 어떠한 의미가 형성되는지 살펴보았다.

나아가 본 연구에서는 실험 수업에서 ‘교사’가 활용하는 표상의 의미 형성 과정에 집중하였다. 이는 실제 한국 과학 수업에서의 표상 활용 실태를 조사한 결과, 교사 중심의 활용이 많았다는 기존 연구 결과를 반영한 것이다(Yoon et al., 2017). 나아가 교사가 개념적인 의미를 구성하고 연결 짓는 과정이 교수학습 과정에서 중요한 역할을 한다는 점을 고려하여(Scott et al., 2011), 실험 수업에서 교사가 활용했던 표상의 유형을 분석하고, 서로 다른 표상들의 의미를 어떻게 연결 짓고 구성해 나가는지 살펴보았다. 또한 여러 실험들 중에서도 전자기

와 관련된 주제의 실험을 살펴보았다. 전자기 실험에서는 전하, 전류의 방향과 같이 관찰하기 어려운 개념들이 다루어져 표상의 활용이 중요하다(Yoon et al., 2017). 국내외에서도 전자기 관련 교과서 단원에서 활용된 표상을 분석하거나(Jo et al., 2015; Wong & Chu, 2017), 교사의 표상 활용 실태(Yoon et al., 2017) 혹은 학생이 구성한 표상(Albe et al., 2001; Jho et al., 2017; Jo et al., 2017)에 대한 연구들이 활발하게 이루어져 왔다. 하지만 전자기 관련 ‘실험 활동’에서 활용된 표상의 특징을 ‘의미 형성 과정’에 집중하여 살펴본 경우는 드물었다.

결론적으로, 본 연구에서는 전자기 관련 초등학교 실험 활동에서 교사가 활용하는 표상에 주목하였다. 실험 수행 과정, 그리고 실험을 수행하기 전과 후에 활용되는 표상들이 전자기 관련 실험에서의 의미 형성에 어떤 방식으로 기여하는지 살펴보았으며, 구체적인 연구문제는 다음과 같다. 첫째, 초등학교 전자기 관련 실험 활동이 전개되는 과정에서 교사가 사용하는 표상의 유형은 어떻게 변화하는가? 둘째, 교사가 활용한 표상들을 통해 실험 활동에서는 어떠한 의미들이 형성되는가?

II. 연구방법

1. 연구대상 및 자료 수집

실험 활동에서 과학적 개념을 의미 있게 형성하기 위해서는, 실험 주제와 관련된 개념들 간의 관계를 명확히 인식하고, 이를 초등학생들의 발달 수준에 맞는 발문을 통해 이끄는 것이 중요하다. 또한, 실험에 필요한 조작 활동 중, 초등학생의 관점에서 어렵거나 혼란스러운 부분을 민감하게 파악

하고 효율적으로 안내해야 한다. 이러한 점을 고려하여, 본 연구에서는 초등학생들의 발달 특성을 잘 이해하고, 과학 개념에 대한 이해 수준이 높은 초등과학교육 전문가 2인을 연구대상자로 선정하였다. 연구대상이 된 두 교사의 특성은 다음과 같다.

A교사는 자료수집 당시, 초등과학교육 석사 학위를 전공한 실경력 8년차 교사로서, 5학년 학급담임을 맡고 있었다. 초등학생을 위한 과학 서적을 집필하거나, 과학 영재교사로 활동한 경력이 있었다. A교사는 과학 내용지식에 대한 자신감과 역량이 높은 편이었으며, 탐구적인 과학 수업을 하려는 신념을 가지고 있었다. B교사는 자료수집 당시 초등과학교육 박사 과정 중에 있는 실경력 6년차 교사로서, 6학년 과학 교과를 맡고 있었다. B교사 역시 초등학생을 위한 과학 서적을 집필하고, 과학 영재교사로 활동한 경력이 있어, 일반적인 초등 교사들보다 내용지식에 대한 자신감 높은 편이었다.

본 연구에서는 두 교사가 진행한 총 4가지 수업 사례를 중심으로 자료를 수집하였다. 수업주제는 전자기 관련 실험 활동으로서, Table 1과 같다. A교사가 진행한 6학년 수업은 ‘자기장’과 관련해, 전류가 흐르는 전선 주위에 형성된 자기장을 관찰하는 실험과 고리 모양의 전선 주위에 형성된 자기장을 관찰하는 실험으로 구성되었다. B교사가 진행한 5학년 수업은 ‘전기회로’와 관련하여, 전류가 흐르는 전기회로를 만드는 실험과 전지의 연결 방법에 따른 전구의 밝기 차이를 비교하는 실험으로 구성되었다. 각 수업은 담당 교사와 주제를 기준으로, A교사가 한 첫 번째 주제의 수업을 “A-(1) 수업”이라고 지칭하였다.

위의 수업들은 2007 개정 교육과정의 국정 교과서를 기반으로 시행되었다. 이에 연구대상이 된 실

Table 1. Lesson topics observed and the relation to 2015 revised curriculum

교사	학년	단원명	실험 주제	2015 개정 교육과정과의 연결
A	6	자기장	(1) 전류가 흐르는 전선 주위에서 일어나는 현상은 무엇 때문일까요?	간접적으로 연결됨 (성취기준 [6과13-04] 전자석을 만들어 영구 자석과 전자석을 비교하고, 일상생활에서 전자석이 사용되는 예를 조사할 수 있다.)
			(2) 고리 모양의 전선 주위에서 나침반 바늘은 어떻게 될까요?	
B	5	전기회로	(1) 전지와 전구를 어떻게 연결해야 불이 켜질까요?	직접적으로 연결됨 (성취기준 [6과13-01] 전지와 전구, 전선을 연결하여 전구에 불이 켜지는 조건을 찾아 설명할 수 있다.)
			(2) 전지의 연결 방법에 따라 전구의 밝기는 어떻게 달라질까요?	간접적으로 관련됨 (성취기준 [6과13-02] 전구를 직렬연결할 때와 병렬연결할 때 전구의 밝기 차이를 비교할 수 있다.)

험 활동들이 현재 시행되고 있는 2015 개정 교육과정의 세부 내용들과 직접 연결되는 수업도 있었으나, 간접적으로 관련되는 경우도 있었다. 예를 들어, 전선 주위에서 형성된 자기장과 관련된 A-(1) 수업과 A-(2) 수업은 전자석에 대한 성취기준 [6과 13-04]와 직접 관련되지는 않았다. 그러나 전지와 전구를 연결하여 닫힌 전기회로를 만들어보는 B-(1) 수업은 2015 개정 교육과정의 성취기준 [6과 13-01]과 동일한 활동으로 구성되었으며, 전지의 연결 방법에 따라 전구의 밝기를 비교하는 B-(2) 수업은 전지의 연결 방법에 따라 전구의 밝기를 비교하는 성취기준 [6과 13-02]와 활동 방식이 비슷했다. 이처럼 대상 수업의 활동들이 현 교육과정의 내용들과 완전히 일치하지는 않지만, 초등학교 수준의 전자기 관련 실험 수업에서 일어나는 패턴을 살펴보고, 특히 표상을 활용하여 의미 있는 상호작용을 촉진하기 위한 토대가 될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 실험 활동 과정에서 교사가 제시하고 활용했던 표상들과 해당 표상들에 대한 교사의 발문이나 설명, 학생과의 대화들을 수집하였다. 이 외에도 교사 인터뷰와 학생 작품이나 학습지 등을 포함한 자료들이 함께 수집되었다. 교사 인터뷰는 인터뷰 시간을 따로 마련한 형식적 인터뷰와 수업 전과 후에 이루어진 비형식적 인터뷰로 진행되었다. 형식적 인터뷰는 교사 한 명당 2회씩 진행되었으며, 각각 30~40분 동안 자료들을 수집하기 전과 후에 진행되었다. 수업 전 인터뷰에서는 교사의 경력, 과학 수업에 대한 교사의 신념과 철학, 실험 수업에서 중요하게 생각하는 점, 실험 수업에서 주로 활용하는 자료와 같이 일반적인 사항들을 조사하였다. 수업 후 인터뷰에서는 실제 수업에서 관찰되었던 자료나 표상들을 활용했던 이유나 의도에 대해 자세히 물었다. 비형식적 인터뷰의 경우, 각각의 수업 전후에 5분 정도로 진행되었으며, 시간이 짧았기 때문에 해당 수업에서 좋았던 점과 어려웠던 점 등을 폭넓게 물었다.

또한 실험 활동 결과를 공유하고 정리하는 과정에서는 학생 작품이나 학습지 등이 함께 수집되기도 했다. 물론, 본 연구의 초점이 학생들의 표상에 있는 것은 아니었지만, 교사들이 학생들이 구성한 표상들을 전체 학급과 함께 공유하며 활용되는 경우가 있기 때문이다. 연구자는 모든 자료들을 녹음, 전사하였으며, 특히 수업 자료들은 교사를 중심으

로 촬영되었다. 연구대상은 아니지만 참여교사들의 학생들에게도 수업 촬영에 대한 보호자의 동의를 받았다. 모든 참여자의 정보 및 발화는 인권 보호를 위해 가명을 사용하였다.

2. 자료 분석

수집된 자료들은 세 가지 단계를 통해 분석되었다. 첫째, 수업을 촬영한 전체 영상에서 실험 전·중·후 활동들에 따라 에피소드 단위로 교사와 전체 학급과의 대화(whole-class talk)를 추출하였다. 예를 들어, 6학년의 “전류가 흐르는 전선 주위에서 일어나는 현상은 무엇 때문일까요?” 수업에서 A교사는 실험 전, (1) 실험 주제를 먼저 소개하고, (2) 전지의 연결 방법에 따라 전류의 방향을 바꾸는 방법에 대해 학생들과 이야기하였다. 이 활동들은 두 가지 에피소드로 추출되었고, 각 에피소드에서 나타난 교사와 전체 학급 간의 대화를 분석하였다.

둘째, 전체 학급과의 대화에서 교사에 의해 제시되거나 활용되었던 표상들을 추출하고, 표상의 유형과 변화 패턴을 분석하였다. 이 때, 초등학교 과학 교육과정에서는 공식이나 계산 등과 같은 수학적 표상이 포함되지 않으며, 언어적 표상과 시각적 표상이 주로 활용된다는 점을 고려하여, 표상 양식(예: 시각적, 수학적, 언어적 표상)에 따른 구분을 하지 않았다.

대신, 본 연구에서는 구체적 조작기의 후기 혹은 형식적 조작기의 초기에 해당되는 5~6학년 학생들의 발달적 특성을 고려하였다. 아이들은 처음에는 경험을 통해 지식을 구성하지만, 점차 시각화된 방식, 그리고 상징적이고 추상적인 방식으로 사고한다(Bruner, 1996). 이러한 관점에서 Bruner (1996)는 표상을 추상화된 정도에 따라 작동적(enactive), 영상적(iconic), 상징적(symbolic) 표상으로 제시하였다. Bruner의 EIS 이론이라고도 불리는 이 관점은 여러 교과와 교육 상황들에 적용되어 왔으며, 과학 학습 상황에서도 적용된 바 있다(Tang, 2016). 예를 들어, Tang (2016)은 중학생들의 물리 개념 학습에서 활용되는 EIS 표상의 유형과 활용 양상을 분석하였다. 그는 과학 교사들이 물리 개념 수업에서 처음에는 작동적 표상과 영상적 표상 형태로 학생들과 상호작용한 후에 상징적 표상을 통해 이를 추상화하는 과정을 거친다고 설명하였다. 하지만 이러한 결과는 초등학교의 실험 상황과는 상이할 것

으로 판단된다.

결론적으로, 본 연구에서는 Table 2에 제시된 바와 같이, 교사가 활용한 표상들을 작동적 표상, 영상적 표상, 상징적 표상으로 나누고, 표상의 활용 패턴을 분석하였다. Table 2의 분석들에 따른 표상 유형에 대한 분석과 함께, 실험 활동의 전개에 따라 표상들이 어떠한 패턴으로 활용되고 있는지 분석하였다. 과학교육 전문가 2인이 표상의 유형과 활용 패턴을 독립적으로 분석하고, 차이가 있는 부분에 대해서 논의하여 수정, 보완하였다. 이러한 과정을 반복하면서 분석들을 정교화하였으며, 최종 일치도는 91%였다.

셋째, 마지막으로 교사들이 활용하는 표상의 패턴에 따른 의미 형성 과정을 분석하였다. 교사들은 한 에피소드에서 여러 표상들을 활용했는데, 이 때 활용되는 표상들은 조금씩 다른 기능과 의미를 가지고 연결되어 에피소드 단위의 큰 의미 형성에 기여하고 있었다. 예를 들어, Table 3에 제시된 바와 같이, “2. 사전지식 활성화” 에피소드에서는 “전류의 방향은?”이라고 상단의 문자로 제시된 하나의 상징적 표상과 이를 그림으로 표현한 영상적 표상 2개가 순차적으로 제시되었다. 표상을 추출할 때, 에피소드 2에 대한 상징적 표상 “전류의 방향은?”은 “symbolic 2”와 같이 에피소드들의 번호를 함께 기입하여 각 표상이 추출되었던 에피소드와 연결될 수 있도록 하였다. 또한 상징적 표상과 함께 제시된 영상적 표상 2개는 “iconic 2-1, iconic 2-2”로 추출하였다(Table 3 참고).

특히 의미 형성 과정에서는 추출된 표상에 대한 교사의 설명 및 학생과의 발화와 수업 맥락들을 함께 분석하였다. Table 3에 제시된 바와 같이, 연구진은 symbolic 2, iconic 2-1, iconic 2-2 표상을 통해 교사가 ‘전기회로에서 전류의 방향을 확인하기, 전류의 방향을 바꾸기’라는 의미를 형성하였다고 해석하였다. 표상을 통해 형성된 의미들은 표상 분석, 교실 담화 분석, 참여자 면담과 같이 다양한 출처의 자료에서 공통적으로 발견된 내용을 중심으로 추출하였으며, 참여교사와의 확인을 통해 해석에 왜곡된 부분이 없는지 확인, 수정하였다. 이처럼 자료 간 삼각검증, 참여자 확인 및 과학교육전문가 간 검토를 거쳐서 타당도와 신뢰도를 확보하고자 하였다(Merriam, 1998).

III. 연구 결과

연구 결과는 다음과 같이 두 가지로 나뉜다. 1절에서는 실험 활동의 전반적인 맥락에서 교사가 활용한 표상의 패턴들을 제시하였다. 2절에서는 활용된 표상들의 세부적인 맥락과 과학적 의미 형성 과정에 초점을 두어 분석, 기술하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 실험 활동에서 나타난 교사의 표상 활용 패턴

4가지 수업 사례들을 분석한 결과, 대상 교사들

Table 2. Analysis framework: Three types of representations depending on their abstractness


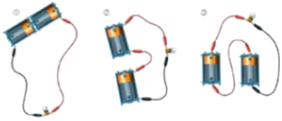
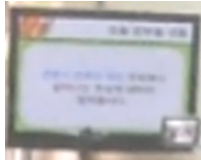


유형	특징	과학 학습 상황에서의 예
작동적 (Enactive) 표상	행동을 기반으로 한 표상으로서, 신체 활동과 제스처, 실제 사물을 수반하여 사고하고 표현하는 것	(전지, 스위치, 전선 등을 직접 조작하며 활동하는 것) 
영상적 (Iconic) 표상	이미지를 기반으로 한 표상으로서, 실제 사물과 유사한 이미지나 구체적인 상황을 포함하여 사고하고 표현하는 것	(그림이나 사진) 
상징적 (Symbolic) 표상	문자나 기호 또는 공식 등 사회적 관례들(conventions)을 활용해 상징적이고 추상적인 수준에서 사고하고 표현하는 것	(문자) “전선이 놓인 위치에 따라 자기장 방향이 다르다.” (기호, 공식) $V = IR$

Table 3. A sample analysis of meaning-making process

시간	에피소드	활용된 표상 (표상유형)	발화	의미 형성
0:20	1. 실험 주제 확인	 (symbolic 1)	T: 학습문제를 다 함께 읽어 봅시다. Ss: (학습문제를 읽는다.)	전류가 흐르는 전선 주위에서 나타나는 현상을 알아봅시다.
0:31	2. 사전 개념 활성화	 (symbolic 2 + iconic 2-1)	T: 전구에 불이 켜지면 전류가 흐르겠죠. 이 때 이 전류의 방향은 어떻게 될까요? Ss: (허공에 원을 그리는 손짓) T: 그렇죠, +에서 - 방향으로 전류가 흐르겠죠.	전기회로에서 전류의 방향 확인하기
0:45	2. 사전 개념 활성화	 (symbolic 2 + iconic 2-2)	T: 그런데, 전지를 뒤집어요. 그러면 전류의 방향은 어떻게 될까요? Ss: 반시계 방향. (손짓을 하는 학생도 있음)	전기회로에서 전류의 방향 바꾸기

은 공통적으로 실험 활동 전반에 걸쳐서 Fig. 1과 같은 패턴으로 표상을 활용하고 있었다. 실험 활동의 전체 맥락에서 활용되었던 표상의 패턴을 실험 전·중·후 활동으로 나누어 간략히 살펴보면 Fig. 1과 같다.

실험을 시작하기 전, 두 교사는 ‘상징적 표상’인 문자를 통해 실험 주제를 제시하여 수업을 시작하였다. 이어지는 활동으로서, 교사들은 실험 주제와 관련된 사전 개념들을 활성화하고, 실험 방법을 안내하였다. 이 과정에서 수업 초반에 ‘상징적 표상’의 형태로 제시되었던 실험 주제와 방법들이, ‘영상적 표상’을 통해 구체화되었다.

실험 수행 과정에서 학생들은 전선, 전구, 전지, 나침반 등 전자기 관련 실험 도구들을 직접 조작하

게 된다. 따라서 자연스럽게 교사는 학생들과 ‘작동적 표상’을 통해 대화하고, 소통하였다. 참여 교사들 모두 학생들이 ‘작동적 표상’으로 실험을 수행하는 데에 어려움을 겪을 때마다, 앞서 살펴본 ‘영상적 표상’에서 드러나지 않았던 부분이나 상황들을 보완해 주었다.

실험으로 도출된 결과들은 ‘영상적 표상’을 통해 확인되었으며, ‘상징적 표상’으로 다시 설명하거나 해석되었다. 나아가 실험 활동에 대한 결론들은 모두 문자인 ‘상징적 표상’으로 기술되었다. 결론은 주로 처음 제시된 실험 주제에 대한 답변이었으며, 교사들은 실험 결과를 결론으로 해석함에 있어 ‘영상적 표상’과의 연결을 통해 의미를 추상화하는 모습을 보였다.

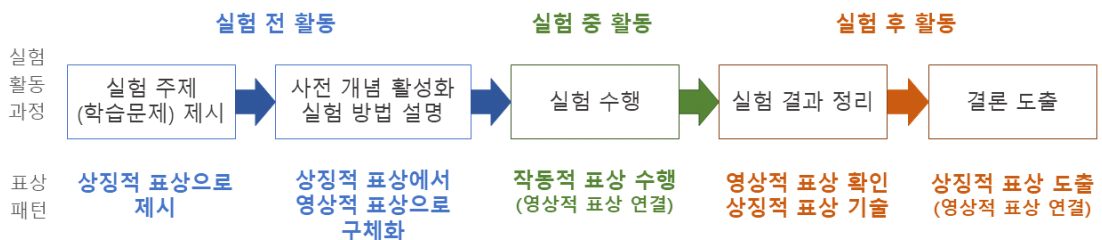


Fig. 1. General patterns of representations used in experiment activities.

요컨대, 표상의 추상수준에 따라 실험 활동을 분석한 결과, 실험을 수행하기 전까지는 추상적인 주제나 개념, 상황들이 영상적 표상을 통해 구체화되었고, 작동적 표상을 통해 실험이 수행된 이후에는 구체적인 결과들을 다시 추상화하는 과정을 거쳤다. 이러한 전반적인 경향을 토대로, 다음 절에서는 실험 전·중·후 활동에서의 세부적인 표상 활용 모습과 이를 통한 과학적 의미 형성 과정을 구체적으로 분석하였다.

2. 실험 전·중·후 활동에서 활용된 표상 패턴과 의미 형성 과정

1) 실험 전 활동: 개념적, 절차적 의미의 토대 마련하며 구체화하기

두 교사 모두 실험 주제(학습문제)를 소개하면서 수업을 시작하였다. 교사들은 칠판 또는 PPT에 실험 주제를 상징적 표상인 문자로 제시한 뒤, 영상적 표상을 활용하여 이들을 구체화시켜 나갔다. Table 4는 “전지의 연결 방법에 따라 전구의 밝기는 어떻게 달라질까?”라는 주제의 B-(2) 수업에서 관찰된 실험 전 활동 모습을 담고 있다.

B-(2) 수업 전까지 5학년 학생들은 전지 1개만 이용하는 전기회로를 다뤘다. 수업 초반에 B교사는 일상생활의 전기 제품 중에서 전지를 2개 이상 사용하는 경우를 물으며(에피소드 1), 여러 개의 전지

들을 사용하는 경우 전지의 연결 방법이 전구 밝기에 영향을 줄 것인지 발문하였다(에피소드 2). 이때, B교사는 “전지의 연결 방법”이라는 상징적 표상(symbolic 1)을 시각화하여 영상적 표상(iconic 2)을 제시하고, 이에 대한 학생들의 생각을 물었다. 이처럼 영상적 표상으로 시각화하여 이야기하는 것은 초등학생들이 “전지의 연결 방법”이라는 추상적인 용어를 구체적인 상황으로 이해하여 실험 결과를 예상할 수 있도록 하였다.

하지만 좀 더 복잡한 실험인 경우, 교사들은 앞의 사례처럼 실험 상황 전체를 바로 시각화하여 제시하기 보다는, 실험 주제의 한 부분부터 영상적 표상으로 표현하며 단계적으로 접근하였다. 다음은 “전류가 흐르는 전선 주위에서 나타나는 현상을 알아봅시다.”라는 A-(1) 수업을 분석한 자료이다(Table 5).

위 사례의 에피소드 2에서 A교사는 상징적 표상(symbolic 1)으로 제시된 “전류가 흐르는 전선”이라는 실험 주제의 한 부분을 영상적 표상(iconic 2-1)으로 시각화하였다. A교사는 이 영상적 표상(iconic 2-1)을 활용해 ‘전선에 전류가 흐름을 확인하는 방법’, ‘전류의 방향’과 ‘전류의 방향을 바꾸는 방법’에 대해 이야기하였다. 이어지는 에피소드 3에서는 영상적 표상(iconic 3-3)을 통해 ‘나침반 바늘이 가리키는 방향과 의미’에 대해 논의하였다. A교사가 이끈 이러한 논의들은 실험을 수행하고 자료를 해석하는 데에 토대가 되는 사전 개념들을 활성화시키기 위함이었다. 다음은 A교사의 면담 자료이다.

Table 4. Lesson B-(2): Representations used in the pre-activities of an experiment

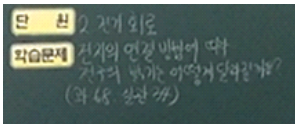
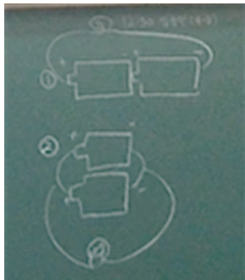
에피소드	활용된 표상 (표상 유형)	발화
1. 실험주제 확인	 <p>(symbolic 1)</p>	<p>T: 학습 문제를 다 함께 읽어보겠습니다... 중략 ... 여러분은 전지 2-3개를 같이 이용하는 전기제품을 사용해본 적이 있나요? Ss: 손전등이요. 리모콘이요. 도어락이요.</p>
2. 실험결과 예상하기	 <p>(iconic 2)</p>	<p>T: 이렇게 전지가 많이 필요할 때, 전지들이 어떻게 연결되는지 본 적 있나요? (칠판에 우측 그림을 그린다.) 전기회로 1번하고, 2번 중에 어떤 전구가 더 밝을까요? 1번이라고 생각하는 사람? 2번이라고 생각하는 사람? Ss: (1번, 2번에 나누어 손을 든다.) T: 너희는 전지를 이렇게 다르게 연결하면 전구 밝기가 달라질 거라고 생각하니? Ss: 네. (소수의 학생들은 “아니오.”라고 답한다.) T: 그러면 자기의 생각을 공책에다가 써 보세요.</p>

Table 5. Lesson A-(1): Representations used in the pre-activities of an experiment

에피소드	활용된 표상 (표상 유형)	발화
1. 실험주제 확인	 <p>(symbolic 1)</p>	<p>T: 오늘은 전류가 흐르는 전선 주위에서 일어나는 현상을 알아볼 거예요. (파란색 글자를 가리키며) 우리는 전선에 전류가 흐른다는 것을 어떻게 알 수 있지요?</p> <p>Ss: 불이 켜지는 걸루요.</p> <p>T: 그렇죠.</p>
2. 사전개념 활성화	 <p>(symbolic 2 + iconic 2-1)</p>  <p>(symbolic 2 + iconic 2-2)</p>	<p>T: (전기회로를 보여주며) 전구에 불이 켜지면 전류가 흐른다는 것이겠죠. 전구에 불이 켜진 이 회로에서 전류의 방향은 어떻게 될까요?</p> <p>Ss: (허공에 원을 그리는 손짓)</p> <p>T: 그렇죠, +에서 - 방향으로 전류가 흐르겠죠. (클릭하자, 빨간색 화살표가 전류의 방향으로 제시됨)</p> <p>T: 그런데, 전지를 뒤집어요. 그러면 전류의 방향은 어떻게 될까요?</p> <p>Ss: 반시계 방향 (손짓을 하는 학생도 있음)</p> <p>T: 그렇지. 이렇게 반대로, (클릭하자 빨간색 화살표가 제시) 흐르겠죠.</p>
3. 실험방법 안내	 <p>(symbolic 3-3 + iconic 3-3)</p>  <p>(symbolic 3-4 + iconic 3-4)</p>	<p>... 중략(전류가 흐르는 전기회로 만드는 방법을 다시 확인함)..</p> <p>T: 특히 오늘은 전류가 흐르는 전선 주위에서 나타나는 현상을 이 나침반으로 볼 거예요. 나침반 바늘이 가리키는 방향은?</p> <p>Ss: 북쪽</p> <p>T: 왜 그랬죠?</p> <p>Ss: 지구가 하나의 큰 자석이기 때문에</p> <p>T: 다른 말로는 자기장이 형성되었기 때문이라고 볼 수 있어요.</p> <p>T: 오늘 실험에서는 (클릭) 나침반 바늘과 전선의 방향이 같도록 놓을 거예요. 그러면 전선은 어느 방향을 가리키죠?</p> <p>Ss: 북쪽</p> <p>T: 그렇죠. 즉 나침반 바늘과 같은 방향으로 전선을 두면 전선은 남북쪽 방향으로 놓이게 되는 거예요. 이렇게 해 보세요.</p> <p>Ss: (학생들이 실험을 시작한다.)</p>

[A교사 면담]

R: 수업의 초반부에 전류의 방향 확인하는 법을 먼저 이야기한 이유가 있으신가요?

A교사: 전류의 방향을 아는 것이 이 실험 수행의 기본 배경이 되기 때문이죠.

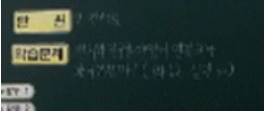
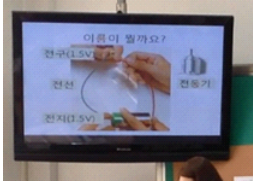
본 실험은 전류가 흐르는 전선 주위에 자기장이 형성되며, 전류의 방향이 바뀌면 자기장 방향도 달라짐을 탐구하는 활동으로서, 전류 방향과 나침반의 특징에 대한 이해가 선행되어야 한다. 이러한 맥락에서 실험 전 활용되었던 영상적 표상들은 사전 개념들의 의미를 시각화하여 학생의 이해를 돕고, 학생들이 현상을 설명하기 위한 ‘개념적 의미

형성의 토대’로 활용되고 있음을 알 수 있다.

한편, 영상적 표상을 활용했던 또 다른 실험 전 활동으로서 실험 준비물과 실험 방법에 대한 안내 활동을 들 수 있다. 다음은 이러한 사례를 보여주는 B-(1)의 장면이다.

B-(1) 수업에서 B교사가 소개한 전기부품들은 초등학교 학생들이 교육과정 상에서 처음으로 접한 실험 도구들이다. 이에 B교사는 실험을 소개하기 전, 기초 지식으로서 전기 부품의 명칭과 모양, 용도에 대해 자세히 소개하였다. Table 6의 에피소드 2에서 전기부품들은 사진 자료인 영상적 표상(iconic 2)과 각 도구의 명칭을 보여주는 상징적 표상(symbolic 2)으로 제시되었다.

Table 6. Lesson B-(1): Representations used in the pre-activities of an experiment

에피소드	활용된 표상 (표상 유형)	발화
1. 실험주제 확인	 (symbolic 1)	T: 오늘 학습 문제를 읽어 봅시다. Ss: 전지와 전구를 어떻게 연결해야 불이 켜질까요?
2. 실험 준비물 확인	 (symbolic 2 + iconic 2)	T: 이걸 알기 위해서는 먼저, 전기부품의 이름을 알아야 해요. 부품의 이름을 잘 알아야, 선생님이 이걸 부르면, 아 여기구나~ 라고 알 수 있는 거야. (전구, 전선, 전지, 전동기 각각의 모양과 명칭에 대해 설명함)

비슷하게 앞서 소개했던 A-(1) 수업 사례에서도 (Table 5), A교사는 실험 과정을 상징적 표상을 시각화 한 여러 영상적 표상들과 함께 단계적으로 설명하였다. 예를 들어, Table 5의 에피소드 3에서 A교사는 전선을 나침반 바늘의 방향과 나란하게 놓는 과정을 2단계의 그림들(iconic 3-3, 3-4)로 나누어 제시하고 있다. 이와 관련하여 A교사는 “한꺼번에 여러 가지 요소들을 해보게 할 경우, 통제해야 할 변인들이 많기 때문에, 성공적인 실험 수행을 위해서 단계별로 그림을 세분화하여 진행하였다.(A교사 면담 자료)”고 답하였다.

이처럼 영상적 표상들은 실험 준비물 소개와 실험 방법 외에도 도구 조작 방법, 실험 절차, 실험 결과 기록 방법에 대한 설명 등 실험 수행에 필요한 ‘절차적 지식과 의미’를 형성하는 데에 활용되고 있었다. 특히 영상적 표상들은 여러 단계의 절차와 의미들을 압축적으로 소개하는 상징적 표상과 다르게, 복잡한 과정이나 압축적인 개념들을 단계적으로 나누어서 의미를 형성해 나가는 데에 도움이 되었다.

2) 실험 수행 중 활동: 작동적 표상으로 유연하게 연결하기

실험 활동이 시작되자, 학생들은 실험 전의 상징적 표상과 영상적 표상을 통해 이해한 바에 따라 실제 전기부품들을 가지고 실험을 수행하였다. 이러한 행위들은 신체적 움직임을 통해 표현되고 의미가 소통되므로 ‘작동적 표상’에 해당되며, 실험 수행 과정에서 교사 역시 학생들과 작동적 표상을

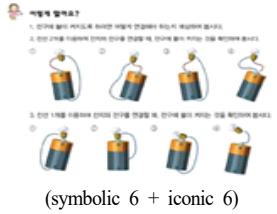

통해 소통했다.

하지만 실험 수행 과정에서, 학생들이 실험 전에 살펴봤던 ‘영상적 표상’이 ‘작동적 표상’으로 유연하게 연결하지 못하는 경우가 발생하는 경우들이 발생했다. Table 7은 이러한 불일치로 인해, 교사가 실험 수행 과정에서 학생들에게 추가 설명과 표상을 제시하는 장면이다.

실험 전, B교사는 전선과 전지를 연결하는 8가지 방법을 영상적 표상을 통해 소개하였다. 하지만 영상적 표상에는 전구의 구조가 자세히 표현되지 않아서, 실제 수행해야 하는 작동적 표상의 의미(꼭지와 꼭지 외에 전선을 대야 한다는 것)가 정확히 전달되지 못했다. 학생들이 실험 과정에서 어려움을 겪자, 교사는 실물화상기를 통해 전구를 돌려가면서 꼭지 외에 꼭지의 위치를 보여주었다(enactive 7). 영상적 표상들은 사물이나 행위를 이미지로 추상화한 것이기 때문에, 실제 실험 도구나 실험 과정들과 차이가 생기는 것은 어찌면 당연하며, 교사는 이러한 공백을 지속적으로 채워주었다.

이 외에도 모듈 활동 과정에서 학생들의 조작적 미숙함 또는 전기 부품의 오작동 등으로 인해 여러 예상치 못한 결과들이 발생하였으며, 교사는 꾸준히 이러한 공백들을 보완해 주었다. 예를 들어, A-(2) 실험 과정의 한 장면을 살펴보자(Table 8). 아래 A-(2) 실험 수업의 주제는 “고리 모양의 전선 주위에서 나침반 바늘은 어떻게 될까요?” 로서, 교사는 실험 전에 Fig. 2와 같은 영상적 표상을 활용하여 고리 모양의 전선을 나침반 바늘의 방향과 나란히 두어야 함을 강조하였다. 하지만 학생들이 Fig. 2의

Table 7. Lesson B-(1): Representations used in performing an experiment

에피소드	활용된 표상 (표상 유형)	발화
5. 실험방법 안내	 <p>(symbolic 6 + iconic 6)</p>	<p>T: 전구와 전지를 이용해서 8개와 같이 연결해 보세요. 그리고 어떤 회로에 불이 켜질지 찾아보는 거예요.</p> <p>... 중략 ...</p> <p>(에피소드 6. 실험 결과 예상하기 활동)</p>
7. 실험 수행	 <p>(실물화상기 영상: enactive 7)</p>	<p>T: 애들이 선생님이 말을 안해준 게 있는데, 전구의 옆에 대는 그림 있지. 전구의 옆에 대는 그림은, 아무 곳이나 대면 안 되고, 이렇게 푹 튀어나온 곳(꼭지쇠) 있지.</p> <p>Ss: 네</p> <p>T: 여기에다가 옆에다 대는 거예요. 그리고 밑에다 대는 것은 여기 끝에 튀어나온 곳(꼭지)에다가 대는 거예요.</p>

영상적 표상을 작동적 표상으로 전환하는 과정에서 여러 시행착오들이 발생하였고, 교사와 학생들은 Table 8과 같이 상호작용을 하였다.

A-(2) 수업의 대화에서 나타나듯이 학생들이 고리 모양의 전선을 나침반 바늘의 방향과 나란히 놓기 위해서는 스위치를 켜 상태에서 나침반 바늘의 방향을 확인한 후, 이 방향과 나란하게 고리 모양 전선의 위치를 잡아야 했다. 하지만 학생들은 ‘스위치를 떼어 전류를 흐르지 않게 한 상태’에서 고리 모양의 전선과 나침반 바늘 방향을 나란히 해야 한다는 것을 인식하지 못하여 실험이 제대로 진행되지 못했다. 이처럼 Fig. 2에서 제시된 영상적 표상을 작동적 표상으로 구현하기 위해서는 더 많은 고려 사항과 세심한 조작이 필요했으며, 이러한 조작에 미숙한 학생들에게는 실험을 진행하는 것이 쉽지 않았다. 교사는 이러한 공백들을 작동적 표상을 통해 학생들과 소통하면서 꾸준히 채워주는 모습

을 보였다.

이러한 모습들은 4가지 전자기 관련 실험 수업에서 매우 빈번하게 발생했다. 이는 전자기 실험에서 전기부품을 가지고 정확히 조작하는 자체가 초등학생들에게는 쉽지 않음을 보여준다. 특히 Table 8의 사례에서와 같이 전자기 관련 실험에서는 전류나 자기장의 ‘방향’을 판단해야 하는 경우가 많기 때문에, 혼란스러운 경우가 많다. 전자기 관련 실험 과정에서 발생하는 다양한 변수들과 이로 인해 발생하는 어려움들은 기존 연구들에서도 “불일치 상황(Park et al., 2016)”으로서 보고된 바 있다.

이처럼 전자기 관련 실험들에서 초등학생들은 조작 활동에 집중하여 많은 시간을 할애하느라, 현상이 갖는 개념적인 의미에 집중할 여유가 많지 않았다. 하지만 가끔씩 학생들이 신기한 현상을 관찰한 직후, 이를 자발적으로 해석하려는 경우도 관찰되었다.

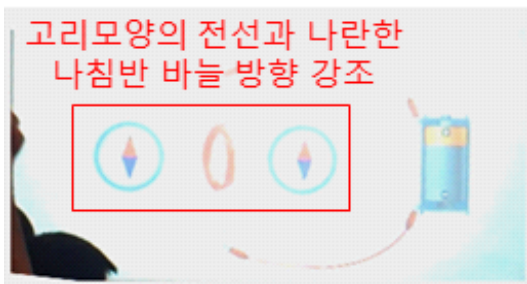


Fig. 2. Lesson A-(2): Representations before performing an experiment.

[A-(1) 수업: 2모둠]

(전류가 흐르는 전선 주위에 놓은 나침반 바늘이 돌아가는 모습을 관찰한 직후)

학생4: 오, 돌아간다.

학생3: 신기하다.

학생2: 손 치워봐. 왜 그러지?

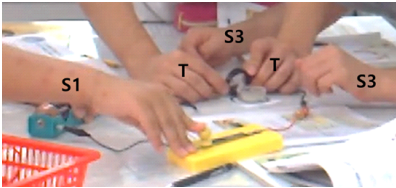
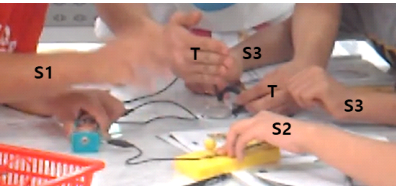
학생4: 자기장 때문에 그러겠지.

학생2: 전기랑 자기장이랑 무슨 상관이지?

학생4: 전기에서도 자기장이 있다고 그런 소리겠지.

매우 짧은 순간이었지만, 학생들은 실험 전에 교

Table 8. Lesson A-(2): Representations used in performing an experiment

에피소드	활용된 표상 (표상 유형)	발화
	 <p>(enactive 6-1)</p>	<p>T: (고리모양의 전선을 잡으며) 고리모양의 전선과 나침반 바늘의 방향을 맞추어야겠지. 손 떼어 보세요.</p> <p>S1: (스위치에서 손을 뺀다.)</p> <p>T: 이것 보세요. (나침반 바늘을 바라보며) 지금 바늘의 방향이랑 고리 방향이 맞나요?</p> <p>S2: 아니오.</p>
6. 실험 수행	 <p>(enactive 6-2)</p>	<p>T: (스위치를 켜 상태에서 나침반 바늘이 북쪽으로 가리키도록 기다린 후, 고리 모양 전선의 방향을 바늘과 나란하게 바꾼다.) 이렇게 놔야겠지. 스위치 눌러보세요.</p> <p>S2: (스위치를 누른다.)</p> <p>T: (손을 세워서, 나침반 바늘이 가리키던 방향으로 뻗으며) 나침반 바늘이 이렇게 있다가 어떻게 되나요?</p>

사와 활성화했던 개념들을 활용해 현상을 해석하였다. 이러한 사례들로 미루어볼 때, 학생들에게 실험과 관련된 개념들을 충분히 활성화시키고, 작동적 표상으로의 전환 과정에서 나타나는 공백들을 효율적으로 채운다면, 학생들의 사고를 촉진시키는 기회를 더 많이 만들 수 있을 것으로 기대된다.


3) 실험 수행 후 활동: 관련 개념들을 추상화하며, 과학적 의미 보완하기

실험을 수행한 뒤, 교사들은 학생들에게 실험 결과를 여러 방식으로 기록하도록 안내하였다. 대부분의 경우, 실험 결과에 대한 일차적인 기록은 영

상적 표상을 통해 이루어지는 모습을 보였다. Table 9는 이를 보여주는 B-(2) 수업 사례이다.

위의 수업에서 B교사는 학생들에게 실험 결과를 직접 사진으로 찍도록 하였다. 작동적 표상은 행위로 의미를 전달하고 소통하기 때문에, 작동적 표상만을 통해서서는 전구의 밝기를 기록할 수 없다. 반면, 사진이나 그림과 같은 영상적 표상은 전구의 밝기를 기록할 수 있어 비교가 용이하다. 이에 B교사는 학생들이 제작한 사진, 즉 영상적 표상들을 활용해 전구가 더 밝은 전기회로와 덜 밝은 전기회로를 구분하고, 결론 도출의 증거 자료로 활용하였다. 이러한 활동의 구성은 실험 활동에서 “실제 현

Table 9. Lesson B-(2): Representations used in the post-activities of an experiment

에피소드	활용된 표상 (표상 유형)	발화						
7. 실험 결과 확인하기	 <p>(사진: iconic 7)</p>	<p>... 중략 (학생들이 직접 찍은 6장의 전기회로 사진을 보며 전구의 밝기를 비교한다.) ...</p>						
8. 실험결과 정리하기	<p>1. 교과서 68쪽 그림의 전기 회로에서 전구의 밝기가 비슷한 것끼리 분류하여 봅시다.</p> <table border="1" data-bbox="277 1676 687 1760"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>번호</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>더 밝은 것</td> <td>①, ②, ③</td> </tr> <tr> <td>덜 밝은 것</td> <td>④, ⑤, ⑥</td> </tr> </tbody> </table> <p>(실험관찰: symbolic 8)</p>	구분	번호	더 밝은 것	①, ②, ③	덜 밝은 것	④, ⑤, ⑥	<p>T: 실험관찰에다 결과를 정리해 봅시다. 밝은 것과 덜 밝은 것을 분류해 보세요. 더 밝은 것은 몇 번이죠?</p> <p>Ss: 1, 2, 3번이요.</p> <p>T: 덜 밝은 것은?</p> <p>Ss: 4, 5, 6번이요.</p>
구분	번호							
더 밝은 것	①, ②, ③							
덜 밝은 것	④, ⑤, ⑥							

상이나 증거에 기반하여 생각하는 습관을 갖는 것이 과학의 중요한 특징(B교사 면담 자료)”이라는 B 교사의 신념이 반영된 것으로 보인다.

비슷하게 A-(1)과 A-(2) 수업에서 학생들은 나침반 바늘이 돌아간 방향을 그림으로 기록하였다. 이처럼 실험 결과를 사진이나 그림과 같이 영상적 표상으로 표현하는 경우가 많은 이유에 대해 A교사는 “그림으로 표현하는 것은 구체물과 매칭이 잘 되기 때문에, 직관적으로 이해하기 좋아요. 결과를 바로 문자로 기술하려면 사고의 전환이 두 번 일어나게 되니까... (A교사 면담자료)”라고 응답하였다. 다시 말해, 구체물과 가장 흡사한 형태로 결과를 기록하는 것이 초등학생의 발달 수준에 적합하다는 것이다. 한편, B-(1) 수업에서는 전구에 불이 켜지는 회로와 그렇지 않은 회로를 상징적 표상인 기호로 바로 작성하도록 하였는데, 이는 B-(1)의 실험 과정과 결과가 상대적으로 간단했었기 때문에, 바로 상징적 표상으로 기록해도 큰 무리가 없었던 것으로 보인다. 즉, 실험 과정이 복잡할 경우에는 작동적 표상이 영상적 표상을 거치면서 상징적 표상으로 제시되는 경우가 많지만, 그 과정이 간단한 경우에는 작동적 표상이 곧바로 상징적 표상으로 표현되기도 하였다.


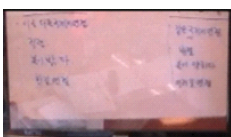
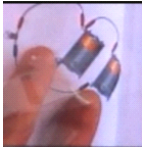
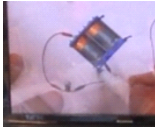
끝으로 영상적 표상으로 확인된 실험 결과들은

추상화된 형태인 문자(상징적 표상)를 통해 해석, 설명되었다. 특히 영상적 표상에서 상징적 표상으로 추상화하는 과정에서 학생들의 생각들이 다양하게 표현되었는데, 이들은 교사에 의해 ‘과학적인’ 표현에 가깝게 수정, 보완되는 모습을 보였다. 다음 Table 10은 이러한 특징을 보여주는 수업 사례이다.

Table 10의 사례에서 B교사는 1, 2, 3번 전기회로(전지가 직렬로 연결됨)와 4, 5, 6번 전기회로(전지가 병렬로 연결됨)의 공통점을 모둠 토의를 통해 찾아보도록 하였다. 교사는 모둠 토의를 통해 발견한 공통점을 도화지에 문자(텍스트)로 적도록 하였으며, 에피소드 9에서 대표 학생이 모둠 토의 결과를 발표하도록 하였다. 여기에서 문자는 대표적인 상징적 표상으로서, 모둠 토의 과정에서 학생들은 영상적 표상(전기회로 그림)을 상징적 표상(문자)으로 전환하였다.

학생들은 영상적 표상으로 나타난 전기회로의 모습들을 나름의 상징적 표상으로 표현하였다. 예를 들어, Table 10의 에피소드 9에서 1모둠 학생들은 전지의 극이 연결된 규칙성에 초점을 두고 “같은 극끼리 연결되어 있습니다.”라고 기술하였다. 이는 일반적으로 사용되는 과학적인 설명 방식은 아니지만, 학생들의 관점에서 병렬로 연결된 전지들이 같은 극끼리 연결된다고 해석할 수 있다. 이에

Table 10. Lesson B-(2): Representations used in the post-activities of an experiment

에피소드	활용된 표상 (표상 유형)	발화	
9. 결론 도출하기		T: 1, 2, 3번의 공통점, 4, 5, 6번의 공통점을 모둠별 토의를 통해 찾아서 트리맵에 정리해 보겠어요. (모둠토의 후) ... 4, 5, 6번의 공통점은?	
		1모둠: 같은 극끼리 연결되어 있습니다. (교사: 똑같이 적음.) 3모둠: 밝기가 약하다. (교사: 똑같이 적음.) 4모둠: 병렬 연결되어 있다. (교사: 똑같이 적음.) 6모둠: 2개의 전지끼우개에 한쪽만 전선이 꽂혀 있다.	
		T: 정말 그런가? 그건 아닌 것 같은데 ... 하나를 더 쓰면 뭐라고 쓸 수 있다면, 한 길이 아니라	
		Ss: 여러 길 T: 그렇지 여러 길로 되어 있다 라고도 쓸 수 있겠어요.	
		T: 여기서 같은 극끼리 연결되어 있다는 말은 무슨 말이냐면... (iconic 10-1을 가리키며) 여기서는 플러스극이 뭐랑 연결되어 있어요?	
		Ss: 플러스 T: 선생님 전선이 없어요. 아까 말한 모둠 있지? 아니야, 여기는 (전선대신) 쇠판으로 연결이 되어 있잖아. (iconic 10-2 그림에 파란색 선 그으며 강조) 그러니까 연결되었다고 볼 수 있어요.	
			

교사는 학생들의 표현 방식을 수용하여 똑같이 판서하였다(symbolic 9). 2모둠 학생들은 “병렬연결”이라는 과학적 용어를 사용하였으며, 이는 교사에 의해 한 번 더 강조되었다. 또한 교사는 스스로 학생 수준에 맞는 상징적 표상들을 직접 제안하기도 하였는데, 직렬연결은 “한 길”로 병렬연결은 “여러 길”이라고 표현한 것이 그 예가 될 수 있다. 이처럼 B교사는 학생들이 구성한 상징적 표상들을 존중해주되, 과학적인 방식으로 조금씩 수정해주는 역할을 하였다.

나아가, B교사는 학생들이 적절하지 않은 상징적 표상을 구성하는 경우, 관련된 영상적 표상을 도입하여 학생들의 상징적 표상을 보완하였다. 가령, 6모둠에서 언급한 “2개의 전지끼우개에 한쪽만 전선이 꽂혀 있다.(Fig. 3의 4번 전기회로)”는 설명은 잘못된 개념을 형성할 수 있는 여지가 있다. 이에 B교사는 에피소드 10에서와 같이, 다시 해당 그림(iconic 10-2)을 다시 보여주면서, 전지끼우개 내에 있는 쇠판으로 두 전지들이 연결되어 있다는 점을 추가로 설명해 주었다.

이처럼 초등학교에서의 전자기 실험 활동의 마무리는 추상성이 가장 높은 상징적 표상 형태로 이루어졌다. 교사들은 B-(2) 수업 사례에서와 같이 학생들로 하여금 스스로 상징적 표상의 형태로 생각을 표현해 보도록 하되, 학생들이 생산한 상징적 표상들을 활용하면서 동시에 지속적으로 수정해 주었다. 그리고 이 과정에서 영상적 표상들과 연결하여 의미를 보완하였다.

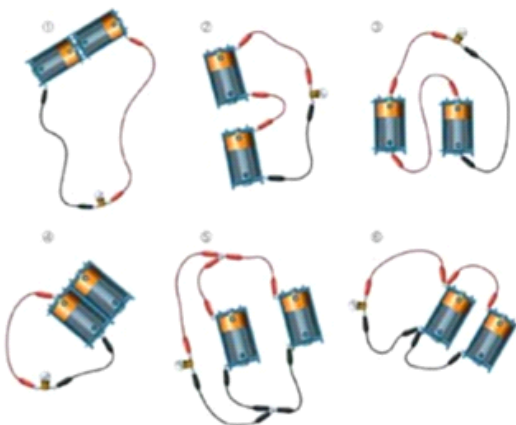


Fig. 3. Electrical circuits of B-(2) experiment.

IV. 결론 및 시사점

본 연구에서는 전자기와 관련한 실험 활동에서 초등 교사가 활용하는 표상의 패턴을 분석하고, 이 과정에서 형성되는 의미들을 살펴보았다. 특히 표상의 추상수준에 따라 행동을 기반으로 하는 작동적 표상, 이미지를 기반으로 하는 영상적 표상, 기호나 문자를 기반으로 하는 상징적 표상이 실험 과정에서 어떻게 활용되고 있는지 분석하였다. 이를 위하여 초등과학 전공 교사들 2명이 각각 진행한 총 4번의 실험 수업들을 대상으로 표상의 활용 패턴과 이를 통한 의미 형성 과정을 분석하였다. 분석을 통해 실험 수업에서 표상이 활용되는 패턴을 실험 전·중·후 활동으로 나누어 살펴볼 수 있었으며, 연구 결과는 다음과 같다.

먼저, 실험 전에 교사들은 상징적 표상으로 실험 주제를 제시하였으며, 영상적 표상을 통해 사전 개념, 실험 준비물과 방법 등을 구체화하였다. 실험 과정에서 교사들은 학생들이 실험하는 동안, 작동적 표상을 통해 소통하였다. 실험을 수행한 뒤, 교사들은 일차적으로는 영상적 표상을 사용하여 실험 결과를 정리하고, 이를 상징적 표상으로 추상화하여 결론으로 도출하였다. 요약하면, 실험 활동 과정에서는 추상적으로 제시된 실험 주제와 방법들이 구체화하였다가, 다시 결과를 통해 과학 개념을 형성하고 추상화 하는 과정이라고 볼 수 있겠다.

또한 실험 전·중·후 활동의 상황들을 세부적으로 살펴본 결과, 상징적 표상, 영상적 표상, 그리고 작동적 표상은 상호보완적으로 작용하는 모습을 보였다. 구체적인 사례를 살펴보면, 실험 전 활동에서 상징적 표상은 실험 주제와 방법, 관련 개념들을 압축적으로 제시하는 역할을 하는 반면, 영상적 표상은 복잡한 사전 개념들을 단계적으로 연결시키거나, 실험의 복잡한 방법들을 정교하게 소개하는 역할을 하였다. 하지만 동시에 한 표상에서 다른 표상으로 전환하는 과정에서 의미가 연결되지 않거나 불일치한 경우들도 발생했다. 예를 들어, 실험을 수행하는 과정에서 영상적 표상과 작동적 표상 사이의 불일치한 상황이 다수 발견되었으며, 교사는 이를 연결하기 위해 지속적으로 안내하고 추가 설명하는 모습을 보였다.

다른 중요한 점으로서, 전자기 관련 실험 활동을 처음 하는 초등학교 5~6학년 학생들은 전기부품

에 대한 이해 부족으로 실험 상황을 이해하고 조작하는 데에 미숙하였으며, 교사들은 이를 해결하기 위해 영상적 표상에서 작동적 표상으로의 전환 과정에서 발생하는 여러 불일치한 상황들을 채우려는 모습을 보였다. 이처럼 전자기 실험에서 발생하는 불일치 상황들은 기존 연구들에서도 보고된 바 있으며(Chang & Song, 2015; Park *et al.*, 2016), 본 연구에서는 이러한 상황들을 표상의 관점에서 해석하였다. 특히 전자기 실험에서 제시되는 그림 자료들(영상적 표상)에 대한 불충분한 의미 전달 문제, 작동적 표상으로의 실행 과정에서 나타난 조작적 어려움들은 학생들이 실험 결과에 담긴 개념적인 의미를 찾고, 이를 해석하는 것을 방해했다.

이와 같은 결과는 표상과 관련한 기존 연구들의 결과들과 함께 연결하여 여러 의미를 갖는다. 연구 초반에 기술하였듯이, 국내외에서 이루어진 기존의 표상 연구들은 대부분 과학 개념 학습 상황에서 현상을 기술하거나 해석하는 표상들의 특징과 역할에 집중한 경우가 많았다(Joh *et al.*, 2017; Tang, 2016; Yeo & Gilbert, 2017). 본 연구는 그동안 표상 연구에서 주목받지 못했던 ‘실험 중심 수업’에서 나타난 표상의 특징에 주목하였다. 특히 학생들이 실험에서 현상을 설명하고, 결과를 의미 있게 해석하기 위해서는 과학 실험 수행을 위한 절차나 방법을 설명하는 “과정적 표상(Yoon, 2018)”에 대한 적절한 이해와 해석이 수반되어야 함을 밝혔다. 점에서의 의미가 있다. 하지만 본 연구에서는 교사의 표상 활용에만 초점을 두었다는 점에서 한계가 있을 수 있으며, 본 연구의 결과를 토대로 전자기 실험 활동에서 학생들이 과정적 표상을 이해하고 해석하는 과정과 특징, 그리고 발생하는 여러 어려움들을 좀 더 세밀하게 살펴볼 필요가 있었다.

동시에 본 연구의 결과는 초등학생의 전자기 관련 실험 활동의 특징을 이해하고 개선한다는 측면에서 다음과 같은 교육적인 의미를 갖는다. 본 연구에서는 전자기 실험에서 구체물을 통한 행위(작동적 표상)와 추상적인 개념과 용어들을 통한 사고(상징적 표상), 그리고 둘 사이를 연결 짓는 그림이나 사진(영상적 표상)들의 특징들을 세밀히 살펴보았다. 특히 전기 현상을 처음 접하는 초등학생들은 전자기 관련 실험에서 제시되는 영상적 표상을 이해하여 구체적 조작으로 연결 짓는 과정에서 여러 어려움을 겪었다. 가령, ‘나침반 바늘의 방향과 전

선을 나란하게 놓기’ 또는 ‘전류의 방향 바꾸기’와 같이 자기장이나 전류의 방향을 고려하는 활동에서 교사가 활용한 영상적 표상들이 충분히 전달되지 못하는 경우들이 많았다. 이처럼 전자기 관련 실험을 수행하게 될 초등학생들은 구체적 조작물과 추상적 개념을 연결 짓기에 아직 미숙하며, 추상적인 사고 활동에는 아직 초보적인 발달 단계에 있음을 유념하여야 한다. 이를 고려하여, 초등학생들과 전자기 관련한 실험 수업을 설계하거나 실행할 때, 영상적 표상을 작동적 표상으로의 전환, 그리고 작동적 표상에서 영상적 표상 또는 상징적 표상으로의 전환을 돕는 연결 고리들을 세밀히 고려할 필요가 있겠다. 본 연구에서 발견한 여러 사례와 결과들이 이를 위한 토대가 되길 기대한다.

참고문헌

- Albe, V., Venturini, P. & Lascours, J. (2001). Electromagnetic concepts in mathematical representation of physics. *Journal of Science Education and Technology*, 10(2), 197-203.
- Airey, J. & Linder, C. (2017). Social semiotics in university physics education. In *Multiple representations in physics education* (pp. 95-122). Cham: Springer.
- Bruner, J. S. (1966). *Toward a theory of instruction* (Vol. 59). Cambridge: Harvard University Press.
- Chang, J. & Song, J. (2015). A case study on the features of classroom norms formed in inquiry activities of elementary science classes. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 35(2), 303-312.
- Jho, H., Jo, K. & Yoon, H.-G. (2017). Analysis of middle school students' visual representation competences for electric current. *New Physics: Sae Mulli*, 67(6), 714-724.
- Jo, K., Jho, H. & Yoon, H.-G. (2015) Analysis of visual representations related to electromagnetism in primary and secondary science textbooks. *New Physics: Sae Mulli*, 65(4), 343-357.
- Jo, K., Jho, H. & Yoon, H.-G., (2017). Middle school students' interpretation, construction, and application of visual representations for magnetic field due to a current. *Journal of Science Education*, 41(1), 152-165.
- Kang, H-S., Yoon, J. H. & Lee, D. H. (2008). Analysis on the uses of the external representations in the 3~6th grade science textbooks developed under the 7th national curriculum. *Journal of Korean Elementary*

- Science Education*, 27(2), 158-169.
- Kim, N., Chang, J. & Song, J. (2018). A comparison of the features of external representations presented in paper textbooks and digital textbooks: Focused on the 'Force' related units of middle school in the 2009 and 2015 national science curricula. *School Science Journal*, 12(3), 309-330.
- Lehrer, R., Schauble, L. E. O. N. A. & Petrosino, A. J. (2001). Reconsidering the role of experiment in science education. *Designing for science: Implications from everyday, classroom, and professional settings*, 251-278.
- Merriam, S. B. (1998). *Qualitative research and case study applications in education*. San Francisco: Jossey-Bass Publishers.
- Noh, T., Yoon, M., Kang, H-S. & Han, J. (2007). Semiotic analysis of the inscriptions representing concept of atom and molecule in the 9th grade science textbooks. *Journal of the Korean Chemical Society*, 51(5), 423-432.
- Park, J., Chang, J. & Song, J. (2016). Why did I cope with so?: A teacher's strategy to cope with anomalous situations in primary practical science lessons. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 35(3), 277-287.
- Park, J., Chang, J., Tang, K. S., Treagust, D. F. & Won, M. (2020). Sequential patterns of students' drawing in constructing scientific explanations: Focusing on the interplay among three levels of pictorial representation. *International Journal of Science Education*, 1-26.
- Scott, P., Mortimer, E. & Ametller, J. (2011). Pedagogical link-making: A fundamental aspect of teaching and learning scientific conceptual knowledge. *Studies in Science Education*, 47(1), 3-36.
- Tang, K. S. (2016). The interplay of representations and patterns of classroom discourse in science teaching sequences. *International Journal of Science Education*, 38(13), 2069-2095.
- Tang, K. S., Delgado, C. & Moje, E. B. (2014). An integrative framework for the analysis of multiple and multimodal representations for meaning-making in science education. *Science Education*, 98(2), 305-326.
- Treagust, D. F., Duit, R. & Fischer, H. E. (Eds.). (2017). *Multiple representations in physics education* (Vol. 10). New York: Springer.
- Tytler, R., Prain, V., Hubber, P. & Waldrup, B. (2013). *Constructing representations to learn in science*. Rotterdam: Sense.
- Wong, C. L. & Chu, H. E. (2017). The conceptual elements of multiple representations: A study of textbooks' representations of electric current. In D. F. Treagust, R. Duit & H. E. Fischer (Eds.), *Multiple representations in physics education* (pp. 183-206). Cham: Springer.
- Yeo, J. & Gilbert, J. K. (2017). The role of representations in students' explanations of four phenomena in physics: Dynamics, thermal physics, electromagnetic induction and superposition. In D. F. Treagust, R. Duit & H. E. Fischer (Eds.), *Multiple representations in physics education* (pp. 255-287). Cham: Springer.
- Yoon, H-G. (2018). Development and validation of visual representation competence taxonomy. *Journal of The Korean Association For Science Education*, 38(2), 161-170.
- Yoon, H-G. (2019). Analysis of elementary school students' visual representation competence for shadow phenomenon. *Journal of The Korean Association for Science Education*, 39(2), 295-305.
- Yoon, H-G, Jo, K. & Jho, H. (2016). Middle school students' interpretation, construction, and application of visual representations for electrostatic induction. *New Physics: Sae Mulli*, 66(5), 580-589.
- Yoon, H-G., Jo, K. & Jho, H. (2017). Secondary science teachers' perception about and actual use of visual representations in the teaching of electromagnetism. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 37(2), 253-262.
- Yoon, H-G. & Park, J. (2018). Elementary school teachers' use of visual representations and their perceptions of the functions of visual representations. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 37(2), 219-231.