

특별호

## 2022 개정 초등학교 과학과 교육과정의 전자기 영역 내용 구성에서 고려해야 할 것

정용욱 · 윤혜경<sup>†</sup>

### Consideration on the Contents of the Electromagnetism Domain in the 2022 Revised Elementary School Science Curriculum

Cheong, Yong Wook · Yoon, Hye-Gyoung<sup>†</sup>

#### 국문 초록

본 논문은 2022 교육과정 개정에 즈음하여 초등학교 과학 교육과정의 전자기 영역에서 다루어 온 내용에서 재고해야 할 문제들과 이에 대한 연구자들의 주장을 정리하여 교육과정 개선 방향에 대한 다양한 학문적 논의를 촉발하는 데 그 목적이 있다. 본 연구에서 논의된 내용을 요약하면 다음과 같다. 첫째 전자기 영역의 핵심개념은 힘의 매개체로서의 ‘전기장’, ‘자기장’이라는 점에서 현재의 교육과정은 전자기 영역의 핵심개념을 담아내지 못하는 문제가 있다. 이를 해결하는 핵심개념 중심의 교육과정 구성을 위해 초등학교에서 역학과 전자기학이 연계되는 것이 바람직하다. 둘째 전자기 이론에 기반한 공학기술의 발달 양상으로 본 연구에서 추출한 9가지 양상은 매우 다양한 교육적 맥락을 제공할 수 있다. 그렇지만, 현재의 교육과정은 이러한 다양한 맥락을 담아내지 못하고 있고, 전구를 활용한 전기회로라는 매우 제한된 내용에 초점을 맞추고 있다. 따라서 실생활의 기술과 연관된 다양한 맥락과 소재를 활용하도록 교육과정의 폭을 넓힐 필요가 있다. 현재보다 다양한 소재와 맥락을 활용함으로써, 개념학습뿐 아니라 STS 교육의 범위와 수준도 확장될 수 있다. 셋째, 전기회로 학습의 경우 전기회로와 전기장 개념의 연결의 어려움의 문제, 전기회로의 대표성 문제, 전기회로의 학습 난이도의 문제, 현상 중심의 전기회로 학습의 문제 등 여러 이슈를 고려해야 한다.

**주제어:** 2022 개정 교육과정, 초등학교 과학과 교육과정, 전자기

#### ABSTRACT

With the science curriculum about to be revised in 2022, this study aimed to guide curriculum revision by addressing suggested approaches to the electromagnetism education in elementary school science curriculum. The core concepts of electromagnetism are “electric field” and “magnetic field” as a medium of force, but the current curriculum does not properly describe the core concepts of electromagnetism. Mechanics and electromagnetism should be linked in elementary schools to form science curriculum based on core concepts to solve this problem. Additionally, the nine aspects of technology extracted in this study offer various educational contexts to match the development of engineering technology based on electromagnetism. However, the current curriculum does not comprise these various contexts and focuses on the limited content of electric circuits using light bulbs. Therefore, it is necessary to expand the scope of the curriculum to better mirror real-life technology. Through the use of more diverse materials and contexts, the scope and level of STS education as well as conceptual learning could be expanded. Finally, in the case of electric circuit learning,

various issues such as difficulty in connecting electric circuits and electric field concepts, representativeness of electric circuit, students' learning difficulty, and phenomena-oriented learning should be considered.

**Key words:** 2022 revised curriculum, elementary school science curriculum, electromagnetism

## I. 서론

고전 전자기학은 고전역학, 양자역학과 함께 물리학의 근간이 되는 중요 동역학 이론이다(장희익, 2012). 동역학은 계를 이루는 구성원들이 상호작용하여 어떤 결과가 나타나는지를 다루는 물리 이론을 말한다. 고전 전자기학은 물체가 힘을 주고받을 때 장이라는 매개체가 필요하다고 보는 점에서 물체들이 원거리 힘을 즉각적으로 주고받을 수 있다는 뉴턴의 고전역학과 다른 동역학 이론이다(Cushing, 1998). 물리학 안에서의 중요성 이외에도, 전자기는 2차 산업혁명 이후 인류 문명 발달에서 중심이 되는 영역으로 일상을 바꾸는 다수의 신기술 개발이 전자기 영역을 중심으로 진행되었다(송성수, 2017). 이러한 중요성을 인정받아서 전자기는 일찍부터 물리 과목의 중요 영역으로 다루어져 왔으며, 2015 개정 교육과정에서도 ‘전기와 자기’는 ‘힘과 운동’, ‘열과 에너지’, ‘파동’과 함께 물리 과목의 내용 체계를 구성하는 중요 영역으로서 그 위상을 가지고 있다.

전자는 학생들이 학습 과정에서 많은 어려움을 갖는 학습영역이기도 하다. Shiptone(1984)은 전기회로에 대한 학생의 오개념을 다루면서, 일반 성인들이 힘과 같은 다른 영역에 대해서는 이해한다는 믿음을 가지는 것과 달리 전자기 영역에 대해서는 아예 이해하지 못한다는 인식을 가진다고 논의하였다(Driver, 1985). 이러한 인식은 전자기 현상과 관련된 과학적 개념을 형성하기 위한 일상생활 속 전자기 현상 경험이 매우 피상적이고 빈약하기 때문일 수 있다. 즉 일반인들은 일상생활에서 전기회로와 관련된 기구들을 활용하더라도, 그 작동에 대해 개념적으로 생각해 볼 기회가 적다. 결과적으로 전기기구는 일반인들에게 스위치를 누르면 작동하는 일종의 블랙박스 같은 것일 수 있다. 실제로 학생들은 전기회로에 대해 말할 때 에너지, 전류, 파워, 전기, 전하, 전압 등 여러 용어를 빈번하게 사용할 수 있지만, 이 용어들이 거의 구분되지 않은 채

로 동의어로 사용된다(Driver, 1985). 이처럼 학생들이 전자기 개념과 관련한 빈약한 경험과 개념체계를 가진 채로 전자기 영역의 학습을 시작한다는 점을 고려할 때 전자기 교육과정은 매우 세심하게 정합성을 갖도록 구축될 필요가 있다.

여러 번 교육과정이 개정되는 동안 초등 과학과 교육과정에서 전자기 관련 내용은 큰 변화가 없었다. 단원의 수나 학년 간 위치 이동 등의 미세한 조정이 있었을 뿐 주요한 학습 요소, 탐구 활동은 비슷한 내용으로 유지되었다. 2015 개정 초등 과학과 교육과정에서 ‘자석의 이용’은 3학년에서, ‘전기의 이용’은 6학년에서 다루고 있다. ‘자석의 이용’에서는 두 종류의 극, 자석이 철로 된 물체를 끌어당기는 성질, 두 자석이 끌어당기거나 밀어내는 성질, 나침반이 일정한 방향을 가리키는 성질을 학습하도록 한다. ‘전기의 이용’ 단원에서는 전구에 불이 켜지는 조건을 알아보고 전구의 연결 방법에 따른 밝기를 비교한다. 또 간단한 전자석을 만들어 보고 전자석의 특징을 이해하도록 한다(교육부, 2015).

교육과정 개정에서 중요한 핵심 고려 사항은 학년 사이의 개념의 연계성을 적절히 담아내는 것이다. 전자기 분야의 연계성과 관련해서, 2009 개정 교육과정에 대해 중학교 과학과 고등학교 물리 I, 물리 II의 연계성을 분석한 연구가 있었다(윤은정과 박운배, 2014). 이 연구에서 2009 개정 교육과정에 대해 학습 내용이 수준 차이 없이 단순하게 반복되는 ‘중복’, 하위 학년의 학습 내용이 상위학년의 학습 내용을 보조하기에 부족한 ‘격차’, 학습 내용의 수준 측면에서 제시 순서가 바뀐 ‘지도 시기 역전’의 문제가 교육과정에서 발견되었다고 보고하였다. 교육과정 개정 시기에 각론 개발과정에서 교육부의 내용축소 요청에 응하면서 이와 같은 연계성에 대한 검토는 특히 중요할 수 있다.

그렇지만 교육과정 개정과정에서 새로운 교육 방향의 제시는 연계성에 대한 검토를 넘어서는 것이며, 본 연구는 이러한 새로운 방향 제시 담론을 촉발하려는 목적을 갖는다. 이를 위해 초등학교 과학과 교육과정 개정을 다루되, 초등학교에 국한하

지 않고 전체 과학과 교육과정에서도 함께 고려해야 하는 이슈들을 선정하고, 그 안에서 초등학교 과학과 교육과정의 전자기 영역의 개정 방향을 논의하고자 하였다. 즉, 본 논문은 2022 교육과정 개정 시기에 즈음하여 초등학교 과학과 교육과정의 전자기 영역에서 다루어 온 내용에서 재고해야 할 문제들과 이에 대한 연구자들의 주장을 정리하여 교육과정 개선 방향에 대한 다양한 학문적 논의를 촉발하는 데 그 목적이 있다. 2021년 이전까지는 초등 과학교과서가 국정교과서 1종으로 발행되었으므로 교육과정을 구현한 교과서의 내용도 참고하며 논의하였다.

본 연구는 주요 이슈에 관하여 연구자의 논리적 주장을 펼치는 일종의 포지션 페이퍼로 과학과 교육과정과 관련된 앞으로의 의사결정에서 연구자들이 바람직하다고 보는 개선 방향에 대한 연구자들의 입장을 표명하기 위한 것이다. 이를 위해 본 연구는 엄격한 연구방법을 따르기보다, 연구자들의 전문성에 기반한 이슈 제안에 초점을 두었다. 연구자들은 교육대학교와 사범대학에서 재직 중인 과학교육 전문가이며, 2015 개정 교육과정 개발에 참여하였거나, 2022 개정 교육과정 개발에 참여하고 있다. 이슈 선정 및 명료화, 자료조사 및 정리를 위해 연구자들은 7차례의 온라인 연구 협의를 진행하였다. 이 과정에서 전자기학 영역의 교수학습에서의 어려움을 다루는 참고문헌들(Driver, 1985 등)과 새로운 교육 방향을 제시하는 참고문헌(김중복 2009; Chabay & Sherwood, 2006), 미국 등 다른 나라의 교육과정 관련 문헌과 문서들(Lee et al., 2016; NGSS Lead States, 2013)을 참고하였다. 또한, 본 연구는 교육과정의 성취기준들을 귀납적으로 분석하여 경향성과 부족한 부분을 찾는 상향식(bottom-up) 방법보다 이론적 이슈를 먼저 제기하고 이와 관련된 교육과정의 특징을 살펴보는 하향식(top-down) 방법을 사용했다. 연구자들은 심층 논의와 문헌 조사를 통해 이론적 논의를 이어 가며 관련된 과학과 교육과정의 특징을 탐색하고, 주요한 이슈 및 이에 대한 연구자의 주장을 정리하였다.

위와 같은 과정을 통해 본 연구에서는 1) 핵심개념 중심의 교육과정 재구성 맥락에서 전자기 교육의 개선 방향, 2) 과학과 기술을 융합하는 교육의 맥락에서 전자기 교육의 개선 방향, 3) 전기회로 교육의 개선 방향의 세 가지 주제로 연구자들이 생각

하는 초등 전자기 영역 교육과정의 개선 방향을 풀어내고자 한다. 첫 주제인 핵심개념 중심의 교육과정 재구성은 최근의 교육과정 관련 논의에서 ‘big idea’, ‘core idea’ 등의 용어사용과 함께 매우 강조되고 있는 방향이다. 이를 위해 전자기 영역의 핵심개념이 현재의 초중등 교육과정에 적절하게 반영되고 있는지를 논의하였고, 특히 초등 과학과 교육과정의 변화 방향에 대해 논의하였다. 둘째 주제인 과학, 기술 융합 교육도 최근 국내외 과학교육에서 STEM 교육과 STEAM 교육과 관련되어 강조해 온 내용이라고 볼 수 있다. 이와 관련하여 전자기에 기반한 기술혁신의 양상을 논의하고, 현재의 과학교육에 던지는 시사점과 요구되는 변화를 초등 과학교육 중심으로 논의하였다. 셋째 주제인 전기회로에 대해서는 그동안 전자기 영역의 주요 주제로 다루어지면서, 초등 전자기 영역에서도 큰 비중을 차지해왔던 전기회로에 대하여 교육과정 내용으로서의 대표성 문제를 비판적으로 논의하며 앞으로의 교육 방향에 대한 연구자들의 의견을 제시하였다.

## II. 전자기 영역 교육과정의 이슈와 개선 방향

### 1. 핵심개념 중심의 교육과정 맥락에서 전자기 교육의 개선 방향

고전역학과 고전 전자기학의 차이를 만들어내는 전자기 영역의 핵심개념은 ‘장’을 통한 상호작용이라고 할 수 있으며 장 개념은 힘의 매개체로서 도입되었다(Cushing, 1998). 입자들이 ‘장’을 통해 상호작용할 때 두 가지 단계(two step nature of interaction)를 고려해야 한다. 첫째는 장이 만들어지는 방식에 관한 규정이고, 둘째는 장으로부터 입자가 힘을 받는 방식에 관한 규정이다. 전자기학 이론에 의하면 전하를 띤 입자는 주변에 전기장과 자기장을 만들 수 있다. 전기장이나 자기장이 만들어지는 여러 방식을 규정한 것이 전자기학의 기본원리들이라 할 수 있는 4개의 맥스웰 방정식(Maxwell's equations)이다. 한편 장이 만들어진 공간에 다른 하전입자가 놓일 때 받는 힘을 규정하는 관계식이 로렌츠 방정식(Lorenz equation)이다. 결과적으로 전자기적 상호작용은 맥스웰 방정식과 로렌츠 방정식이라는 기

본원리로 규정된다고 할 수 있다(Jackson, 1999). 또 이 기본원리들이 모두 ‘장을 통한 상호작용’을 풀어내는 것이라는 점에서 ‘장을 통한 상호작용’이 전자기학의 핵심이라 할 수 있다. 이 원리들을 기초로 하전입자들이 장을 통해 주고받는 힘 및 이와 관련된 현상들을 다룰 수 있다. 개념 도입 과정에서 장은 힘의 매개체로서 도입되었기 때문에, 장의 고유한 실체성(substantiality)에 대해서는 의문이 있었다. 그런데 전자기학 이론의 발달과 함께 장 자체를 실체처럼 여기면서, 장을 만드는 입자에 대한 고려 없이, 장의 거동 자체에 초점을 맞추게 되었다. 이를테면 맥스웰 방정식 중에는 전하의 명시적 고려 없이 장이 다른 장을 형성한다는 의미를 담는 것도 있다. 또한, 빛은 변동하는 전기장과 자기장으로 구성된 전자기파의 일종으로 규명되었고, 전자기파를 활용한 무선통신의 시대가 열리게 되었다.

한편 장을 통한 입자의 상호작용 개념은 뉴턴의 원거리력 개념과 대비되는 것이다. 뉴턴은 원거리의 두 물체가 중력을 주고받을 때 상호작용이 시간 지연 없이 전달된다는 의미에서 힘의 작용이 즉각적이라고 보았다(Cushing, 1998). 뉴턴에 의하면 태양이 찰나의 시간에 사라지면, 태양이 지구에 가하는 중력도 지연 없이 즉각적으로 사라져야 한다. 반면 전자기학의 힘 개념에 의하면, 떨어져 있는 두 입자는 즉각적으로 힘을 주고받을 수 없다. 대신에 한 입자(A)는 주변 공간에 장을 만들어내며, 장이 만들어진 공간에 다른 입자(B)가 놓일 때 비로소 입자 B는 힘을 받는다. 어느 순간 태양이 급작스럽게 사라져도 태양이 주변 공간에 만들어놓은 중력장이 바로 사라지지 않는다. 따라서 태양이 사라진 직후에도 지구는 태양이 만든 장이 사라지기 전까지는 태양으로부터 힘을 받아야 한다.

그런데 2015 개정 교육과정에서는 장이 두 물체 사이의 힘을 매개한다는 전자기학의 핵심 의미가 제대로 담겨 있지 않다는 것이 연구자의 판단이다. 교육과정에서 전기장의 경우 힘과 관련된 논의는 정전기에 국한되고, 대부분의 전기 관련 학습 요소들이 전기회로에서처럼 전기장보다는 전압과 전위차를 주요 학습 요소로 다루고 있다. 전기장 개념 자체가 ‘물리학 II’ 과목에서야 도입되는 개념요소이고, 관련 성취기준도 ‘[12물리 II 02-01] 정지한 전하 주위의 전기장을 정량적으로 구하고, 전기력선으로 표현할 수 있다’로 힘을 매개하는 장 개념의

의미를 충분히 담지 못하고 있다. 일례로 살펴본 물리학 II 교과서(손정우 외, 2018)에서도 해당 성취기준에 대해서 하전입자들이 전기장을 매개로 하여 힘을 주고받는다라는 의미는 몇 줄 정도로 가볍게 다루어지는 대신 전기력선을 그리고 해석하는 내용이 더 강조되는 것을 확인할 수 있었다.

한편 2015 개정 교육과정에서는 자기장이 자기력의 매개체라는 개념도 제대로 다루어지지 않는 것으로 판단된다. 중학교에 ‘[9과09-04] 전류의 자기 작용을 관찰하고 자기장 안에 놓인 전류가 흐르는 코일이 받는 힘을 이용하여 전동기의 원리를 설명할 수 있다’는 성취기준이 이와 관련되지만, 내용 요소로 자기장, 전동기만 제시되어, 힘의 매개체로서의 장에 초점이 맞추어지지 않는 것이다. 또 이 성취기준에서는 힘을 받는 객체가 전류가 흐르는 코일이 되어, 입자 사이 상호작용의 매개물이라는 개념까지는 담아내지 못하였다. 더 큰 문제는 고등학교 수준에서는 ‘전류에 의한 자기장’만 내용 요소로 포함하고, 전류가 만드는 자기장에 대한 성취기준만을 명시적으로 담고 있어서 자기장이 있는 공간에 놓인 전하가 받는 힘인 로렌츠 방정식에 관한 명시적인 성취기준이 없다는 것이다.

이와 관련된 초등학교 과학과 교육과정의 문제는 구체적으로 무엇인가? 추상적인 개념인 전기장이나 자기장 개념을 초등학교에서 정확하게 소개하거나 정의하는 것은 어려울 것이다. 그러나 2009 개정 교육과정에 의한 6학년 1학기 과학교과서(교육과학기술부, 2011)에는 ‘자기장’이라는 단원이 있었고 이때 ‘자기장’이란 용어가 사용된 적이 있었다. 그 이후 과학교과서에서 ‘자기장’이란 표현은 사라졌다. 그러나 ‘자기장’이란 용어를 사용했는가, 사용하지 않았는가와 관계없이 해당 단원에서 다루는 내용은 큰 변화가 없었다. 전류가 흐르는 도선 주변에서 나침반이 움직이는 현상을 관찰하고 못에 에나멜선을 감아 전자석을 만들어 전자석의 두 극을 확인해 보는 활동이 주요한 내용이다.

저자들은 초등학교 과학과 교육과정에서 ‘전기장’과 ‘자기장’이란 용어나 개념을 직접 다루야 한다고 주장하기보다는 이것이 전자기 영역의 핵심 개념이므로 초등학교 이후 핵심개념의 이해를 심화하기 위해서는 전기력과 자기력의 특성을 역학 영역과 연계되도록 도입할 필요가 있다고 생각한다. ‘장’ 개념 자체가 물체 사이의 힘의 전달방식에

대한 고찰에서 나왔다는 점에서, 전자기학의 핵심 개념인 ‘장’은 역학과 매우 밀접한 관계가 있는 개념이다. 이런 점에서 교육과정에서 전자기 영역과 역학 영역의 연계강화는 필요하다. 그러나 현재의 교육과정에서는 전자기 영역과 역학 영역이 매우 분리된 방식으로 다루어지고 있다는 것이 연구자의 판단이다.

2015 개정 과학과 교육과정에서 초등수준의 전자기 영역과 역학 영역과의 연계는 다음과 같은 의미에서 매우 약하다. 우선 자석과 관련된 현 교육과정과 교과서는 원거리력 개념과 관련될 수 있는 많은 활동을 포함함에도 힘과 관련된 용어사용을 최소화하고 밀고 당기기 정도의 표현만을 사용하고 있다. 또한, 역학 관련 단원에서는 ‘힘’이 아예 도입되지 않고 있다. 우리나라 초등학교 과학과 교육과정에서는 계속해서 ‘힘’ 단원이 따로 존재하지 않았다. 어떤 연유에서인지 5학년 ‘물체의 운동’ 단원에서 속력을 다루기만 할 뿐 ‘힘’ 개념은 명시적으로 도입하고 있지 않으며 자기력과 중력에 국한하여 그 내용이 일부 다루어지고 있다. 4학년 ‘무게 재기’ 단원에서 물체의 무게는 ‘지구가 물체를 끌어당기는 힘’이라고 설명하고 있고 ‘자석의 이용’ 단원에서 ‘두 자석 사이의 힘’을 다루지만 교과서에서는 ‘힘’이란 표현을 명시적으로 사용하지 않고 ‘자석은 같은 극끼리는 서로 밀어내고, 다른 극끼리는 서로 끌어당깁니다.’라는 표현을 사용하고 있다. 왜 ‘힘’ 개념이 운동 개념과 연계되어 도입되지 않는지는 명확한 이유나 근거를 알기는 어렵다. 그러나 자기력의 내용이 암묵적이거나 일부 다루어지고 있는 것에 반해 전기력은 전혀 다루어지지 않고 있다.

그런데 다른 나라의 초등학교 과학과 교육과정에는 ‘힘’ 개념이 포함되어 있고 정전기 현상과 관련하여 전기력이 도입되고 있는 경우도 볼 수 있다. 중국의 초등학교 과학과 교육과정에도 ‘밀거나 당기는 힘이 물체의 운동을 변화시킬 수 있고 힘은 크기와 방향이 있다’는 성취기준이 포함되어 있으며 대만의 초등학교 과학과 교육과정에는 ‘물체의 운동이나 변형의 정도로 힘의 크기를 측정할 수 있다’는 성취기준이 포함되어 있다. 또 싱가포르 초등학교 과학과 교육과정에도 ‘힘이 작용하면 물체의 모양이나 운동상태가 변할 수 있다’는 내용이 포함되어 있다(Lee et al., 2016). 이처럼 ‘힘’은 많은 국가의 초등 과학과 교육과정에서 명시적으로 도입

하고 있는 개념이라고 볼 수 있다.

초등학교에서 정전기를 통해 전기력을 도입하기도 하는데, 대표적인 나라가 미국이다. 미국의 차세대 과학교육표준(NGSS, Next Generation Science Standards)에서 초등학교 3학년에서 정전기와 전기력이 도입되고 있고 같은 학년에서 힘의 평형과 물체의 운동에 대해서도 다루고 있다. 다음은 미국 차세대 과학교육표준(NGSS) 3학년에 해당하는 수행기대이다(NGSS Lead States, 2013).

3-PS-1. 탐구 조사를 계획하고 수행하여 힘이 평형을 이룰 때와 평형을 이루지 않을 때 물체의 운동에 미치는 효과에 관한 증거를 제시하기

[해설: 예로는 공의 한쪽 면에 평형을 이루지 않는 힘을 작용하면 정지한 것을 움직이게 할 수 있고, 평형을 이루는 힘을 상자의 양쪽에 가해 밀면 어떤 움직임도 일으키지 않는다는 것이 있다]

[평가범위: 평가는 한 번에 한 변인(힘의 크기, 수치 또는 방향)으로 제한한다. 평가에 정량적인 힘의 크기는 포함하지 않고 정성적이고 상대적인 것만 포함한다. 평가에서 중력은 아래로 당기는 힘으로만 다룬다.]

3-PS-3. 접촉하지 않는 두 물체 사이의 전기적 혹은 자기적 상호작용에서 인과 관계를 알기 위해 질문하기

[해설: 전기력의 예는 전기적으로 대전된 풍선과 머리카락 사이에 작용하는 힘, 대전된 막대와 종이 조각 사이의 전기력이 있다. 자기력의 예는 두 개의 자석 사이의 힘, 전자석과 금속 클립 사이의 힘, 자석 하나에 의한 힘과 자석 두 개에 의한 힘의 비교 등이 있다. 인과 관계의 예는 물체 사이의 거리가 힘의 크기와 어떻게 관련이 있는지, 자석의 상대적 위치가 자기력의 크기에 어떻게 영향을 미치는지 등을 포함할 수 있다.]

[평가범위: 학생들이 조작할 수 있는 물체에 의한 힘으로 평가를 제한한다. 전기적 상호작용은 정전기에 제한한다.]

미국의 차세대 과학교육표준(NGSS)이 세계적으로 가장 좋은 예시라고 할 수는 없으나 적어도 초등수준에서 ‘정전기’와 전기적 상호작용으로서의 ‘힘’에 대해 다루고 있다면 우리나라 교육과정에 난이도의 문제로 이를 도입하지 못할 이유는 설득력이 떨어진다고 볼 수 있다.

미국과학진흥협회에서 발간한 ‘과학 소양 기준 연계도(American Association for the Advancement of

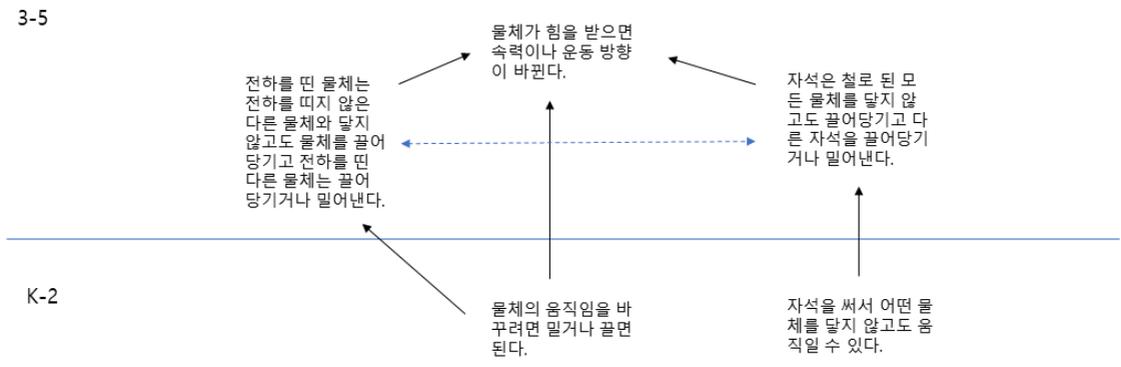


Fig. 1. A part of ‘Atlas of Science Literacy, Volumes 2(AAAS, 2001)’

Science, 2001)’에서도 전기력(전하를 띤 물체는 전하를 띤 다른 물체와 닿지 않고도 모두 끌어당기고 전하를 띤 다른 물체는 끌어당기거나 밀어낸다)과 자기력(자석은 철로 된 모든 물체를 닿지 않고도 끌어당기고 다른 자석을 끌어당기거나 밀어낸다)은 3~5학년 단계에 나란하게 위치한다(Fig. 1 참고). 즉 전기력과 자기력 모두 초등학교 수준에서 다루어질 수 있는 수준의 지식으로 보고 있다. 과학 소양 기준 연계도 줄 지도(conceptual strand maps)에서 양전하와 음전하의 구분과 관련된 학습은 6~8학년 수준에 제안되고 있다(AAAS, 2001).

연구자의 경험에 의하면 우리나라에서도 초등학교에서 전기력을 도입하려는 시도가 있었으나 관철되지는 않았다. 이와 관련해서 전기력을 설명하기 위해서는 (+)전하나 (-)전하와 같은 미시적인 개념을 도입해야 하므로, 원자의 구조를 배우는 중학교 이후에 전기력을 학습하는 것이 적절하다는 주장에 힘이 실렸다고 할 수 있다. 그런데 원자의 구조에 관한 학습이 선행되어야만 정전기나 전기력을 도입할 수 있다는 생각은 재고가 필요하다. 정전기 현상은 (+)전하나 (-)전하의 분포를 이해하기 위해서가 아니라 전기적 상호작용의 특성을 추론하는 방식으로 학습이 이루어져야 하며 그러한 관점에서 본다면 초등 과학교육에서 도입하는 것은 가능하고 또 바람직해 보인다. 초등학교 과학과 교육과정에서 정전기 현상을 도입하고 전기력과 자기력을 원거리력의 관점에서 물체를 관통하여 힘이 작용한다는 것을 강조한다면 이후 교육과정에서 전자기 영역의 핵심개념인 전기장과 자기장의 도입과 연계가 수월해질 수 있다는 생각이다.

한편 자기와 역학의 연계를 강조한다면 현재와

같이 막대자석 위주의 교수 학습활동을 유지할 필요는 없다고 본다. 교육과정에서 다양한 자석을 활용함으로써 자기 영역과 역학 영역이 연관된 현상을 보다 풍부하게 소개할 수 있기 때문이다. 고리자석이나 동전 모양 자석처럼 원통형 자석의 경우 막대자석보다 다양한 운동을 구현하기 쉽다는 점에서 자기와 역학의 연계를 위한 좋은 도구일 수 있다. 이를테면 바닥에 놓인 막대자석의 경우 막대자석 사이의 자기력이 마찰력을 극복하고 막대자석을 ‘원하는 방식으로 정밀하게’ 움직이도록 만들기 어렵지만, 원통형 자석의 경우에 바닥의 마찰이 있더라도 자석 사이의 자기력으로 쉽게 구르게 할 수 있기 때문이다. 또한, 바닥에 놓인 막대자석의 경우 자석 사이의 자기력만으로 자석의 방향을 원하는 방향으로 바꾸기 어렵지만, 바닥에 놓인 원통형 자석의 방향은 자석 사이의 자기력으로 방향을 보다 정밀하게 바꿀 수 있다. 이러한 장점으로 원통형 자석을 사용하면 막대자석의 경우보다 더 풍부한 운동을 의도적으로 만들어 내어, 자기와 역학의 연관성을 좀 더 강조할 수 있다고 생각한다. 이를테면 한 원통형 자석을 이용하여 바닥에 놓인 다른 원통형 자석이 구르는 일차원 진동운동을 만들어 낼 수 있는데, 막대자석으로는 어려운 일이다.

## 2. 과학 기술 융합의 맥락에서 전자기 교육의 개선 방향

융합인재교육으로 일컬어지는 STEM 교육, STEAM 교육은 과학과 기술의 융합을 포함하는 교육으로 2010년대 이후 과학교육의 중요한 흐름으로 자리 잡고 있다(Bybee, 2013). 이의 중요성을 반영하여 교육과정에서 다루는 내용 지식을 선정할 때부터

과학과 기술의 융합을 고려할 필요가 있다. 특히 전자기 영역은 다루는 내용 자체가 기술의 발달에 기인한 것이 많다. 이를테면 초등 교육과정에서 다루는 주요 내용인 전기회로는 자연현상이 아니고, 기술개발의 결과로 등장한 산출물이다. 이러한 내용 특수성을 고려할 때, 전자기 영역의 경우 과학과 기술을 융합하는 교육과정 개발의 필요성이 더 커진다고 할 수 있다.

전자기학은 2차, 3차, 4차 산업혁명의 근간이 되는 학문이었다고 볼 수 있다(송승수, 2017). 2차 산업혁명에서 과학과 산업이 본격적으로 결합하였는데, 이 과정에서 특히 전기, 화학, 철강 분야의 기술혁신이 두드러졌다. 한편 3차 산업혁명은 전기, 전자 기술에 기반한 정보 통신 분야의 기술혁신으로 규정되며, 4차 산업혁명에서도 전기, 전자 기술은 정보처리를 위한 중요한 근간이 되고 있다. 이런 점에서 산업혁명의 과정에서 전기, 자기, 전자 기술에 기반한 다양한 기술혁신의 양상을 살펴봄으로써 전자기 영역과 관련된 교육과정에 대한 시사점을 도출하는 것은 과학기술 융합 교육의 관점에서 중요한 의미가 있을 수 있다.

본 연구는 전자기 영역의 기술혁신 역사에 관한 본격적인 분석연구를 지향하지는 않는다. 그보다는 기술혁신의 양상에 관심을 두는 것만으로도 전자기 영역의 교육과정 개선 방향을 추출하는 것이 가능하다는 것을 예시하여, 교육과정의 방향에 대한 논의를 풍성하게 하는 것이 본 연구의 지향점이다. 이를 위한 시작점으로 인류의 생활을 바꾼 역사적 의미가 있는 발명품을 시간 순으로 소개하는 책(Challoner, 2009)에서 소개된 1001개의 발명품 중에서 전자기 영역과 관련되는 것으로 판단할 수 있는 발명품들을 추렸고, 선정된 발명품들에서 전자기 영역에 기반한 기술혁신 양상을 귀납적으로 범주화하였다. 이를테면 배터리, 연료전지, 충전지, 발전기, 변압기 등 정전기 현상을 넘어서서 일정한 전기를 만들어내는 기술들이 개발되었는데, 이 발명품들을 모아서 ‘안정적인 전기 생산 및 공급’의 범주를 추출하였다. 또한, 전기모터, 현대식 DC모터, 전기진공청소기, 전기면도기, 전기차 등 모터의 개발 및 활용과 관련된 일련의 발명품들로부터 ‘전자기(모터)를 활용한 운동 제어 및 힘 전달’ 범주를 추출하였다. 이와 같은 범주화 결과 다음과 같이 9가지 양상이 추출되었다.

- 1) 안정적 전기 생산 및 공급 (배터리, 발전기, 변압기 등)
- 2) 전자기(모터)를 이용한 운동 제어 및 힘 전달 (전기드릴, 전기자동차 등)
- 3) 전기를 이용한 열의 제어 (전기 다리미 등)
- 4) 전기를 이용한 빛(조명)의 제어 (백열등, LED 등)
- 5) 전자기 기반 인쇄 및 복사 (복사기, 레이저 프린터 등)
- 6) 동영상 정보(소리 포함)의 기록 변형 및 재생 (캠코더, 디스플레이, 마이크, 스피커 등)
- 7) 유무선 통신 (송수신 기술, 케이블 등)
- 8) 정보 저장 및 연산 (하드디스크, 반도체 메모리, 마이크로컴퓨터 등)
- 9) 전기 신호 입력 장치 (키보드, 마우스, 터치스크린 등)

전자기 영역과 관련된 발명품 중에는 피뢰침처럼 9가지의 추출된 범주에 속하지 않는 발명품도 있다는 점에서 본 연구의 범주화가 전자기 영역과 관련된 전체 발명품을 묶는 포괄적인 체계를 제공하는 것은 아니다. 또한, 연구자에 따라 다른 방식의 범주화나 범주명칭 부여도 가능할 것이다. 그렇지만, 본 연구의 목적은 포괄적인 범주체계 구축 자체보다는 범주화를 통한 교육과정의 시사점 탐색에 있으므로 범주 구분의 타당성 문제는 이 연구의 논의에서 주요한 문제는 아니라고 본다. 연구자의 귀납적 범주화로 추출된 기술혁신의 양상들은 그 자체로 전자기 영역의 교육을 위한 풍부한 맥락을 제공하여, 현재의 교육과정을 돌아보게 할 수 있다. 이를테면, 추출된 양상 2), 3), 4)에서 보듯이 운동, 열, 빛을 제어하는 기존의 기술과 방식이 전자기에 기반한 방식으로 대체되었다. 특히 전자기 기술의 발달로 기존의 자연 동력원, 혹은 열기관을 사용하는 도구와 기계들이 전기를 동력으로 하는 모터에 기반한 기술로 대체되었다. 즉 힘과 운동을 만들어내는 새로운 동력으로 전자기 기술이 활용되게 되었다. 또 연료를 직접 태워서 빛과 열을 얻는 기존의 기술들이 전기를 통한 방식으로 대체되었다.

기존의 기술이 새로운 기술로 대체되는 실질적인 과정과 이유는 실증적인 역사 연구를 요구로 한다. 다만, 오늘날의 관점에서 이러한 기술 대체의 장단점을 추론하여 교육적 시사점을 얻어 낼 수 있

다. 우선 전자기 기반 기술은 에너지가 생산되는 장소와 소비되는 장소가 다르다는 점에서 소비하는 장소에서의 환경오염을 피할 수 있다. 이를테면, 연료를 태워서 불을 밝히는 기존의 기술은 연소의 부산물을 사용지점에 바로 남기지만 전기를 활용한 조명 기술은 이러한 문제가 없다. 한편 전기를 활용한 기술은 기존의 기술들에 비하여 빛, 열, 운동과 관련된 출력을 쉽고, 정밀하게 조절할 수 있다는 장점이 있다. 저항과 트랜지스터 등을 이용한 회로 구성을 통해 출력 조절이 가능하기 때문이다. 반면에 기존의 기술들은 연료 소모를 조절하여 출력을 조절하므로, 정밀한 출력의 조절이 상대적으로 어렵다. 새로운 기술이 갖는 이러한 측면들은 그 자체로 교육적 활용의 맥락을 제공할 수 있다.

한편 위에서 추출된 기술혁신 양상 중 5), 6), 7), 8), 9)는 모두 정보기술과 관련된다. 이 기술들은 기존의 기술을 대체하는 성격 이외에, 기존에는 상상하기 힘들거나, 상상으로만 존재하던 새로운 기능들을 구현하는 기술이 전자기 이론을 통해 가능해졌다는 의미도 갖는다. 이를테면 소리와 동영상을 기록하고, 원거리로 전송하여 재생하는 것은 전자 기술 이전에는 상상으로만 가능한 것이었다. 전자기 기술 발달이 가져온 이러한 마법에 가까운 혁신도 교육적 맥락으로 활용할 수 있다.

이러한 분석을 통해 다음과 같은 교육적 시사점 도출이 가능하다. 먼저, 전자기 영역의 기술혁신은 매우 다양한 방식으로 인간의 삶을 바꾸어왔다. 이러한 다양한 기술적 맥락이 교육과정에 반영될 수 있다면, 전자기 관련 교육 내용이 현재보다 풍성해질 수 있을 것이다. 이를테면, 현재 초등학교 교육과정에서 꼬마전구를 통한 전기회로를 다루면서, 전기로 만들어지는 빛이 소개되지만, 전기를 이용한 열이나 전기를 이용한 운동은 소개되지 않고 있다. 초등수준에서 활용 가능한 풍부한 교육적 맥락 중 일부만이 제한적으로 활용되는 상황에 대한 문제 인식과 새로운 교육맥락의 활용에 대한 고민이 필요하다. 특히 전기를 사용한 운동 제어의 핵심 부품인 모터는 선풍기, 세탁기, 진공청소기, 전자자동차, 드론 등 일상생활에서 매우 빈번하게 접할 수 있는 핵심 기술이라는 점에서 초등학교에서의 도입이 고려될 만하다. 모터의 도입은 또한 전자기와 역학의 관련성을 드러낸다는 장점도 갖는다.

둘째, 정보기술과 그 근간인 전자기의 관련성을

교육과정에서 어떻게 다룰지는 지속적인 관심의 대상이 될 필요가 있다. 정보기술은 3차 산업혁명과 4차 산업혁명의 핵심이기 때문이다. 현재 정보기술과 관련한 맥락은 전자기 개념의 응용사례로 부분적으로 교육과정에서 도입되고 있다. 이를테면 ‘[12물리Ⅱ03-03] 교류 회로에서 전자기파의 발생 및 안테나를 통한 수신 과정을 설명할 수 있다’와 같은 성취기준은 전자기와 정보기술의 관련성을 명시적으로 포함하고 있다. 이러한 시도는 2009 개정 교육과정에서 더 두드러졌었고, 관련된 성취기준도 많았었지만, 2015 개정 교육과정에서는 다소 약화 된 것으로 보여 아쉬움이 있다. 전자기 영역에서 정보기술의 맥락을 어떻게 포함할지 각각의 학교등급에서 어떻게 다루어야 하는지에 대해서 앞으로 많은 논의가 필요하다.

셋째, 전기라는 동력원이 갖는 특징, 즉 소비 장소에서의 오염을 피하는 특징은 과학-기술-사회(STS: Science-Technology-Society)와 관련한 학습 이슈로 활용될 수 있다. 소비 장소에서의 오염 회피는 생산 장소로의 오염 전가, 혹은 생산방식에 대한 논란으로 이어진다는 점에서, 이 이슈는 과학, 기술, 사회의 복합적인 관계를 다룰 수 있는 주제이다. 한편으로 정보기술의 발달로 인한 일상생활과 사회 변화도 STS 교육의 좋은 소재일 수 있다.

과학, 기술 융합의 맥락에서 초등학교 과학과 교육과정에 국한하여 생각해 볼 수 있는 점을 제안하면 다음과 같다.

첫째, ‘전기의 이용’ 단원에서 다양한 전기기구나 정보기술 맥락을 도입하는 것이 필요하다. 현재는 꼬마전구를 주로 활용해서 단원 회로의 개념을 도입하고 전구의 연결 방법에 따라 밝기가 달라지는 것을 확인한다. LED는 도입부나 융합 차시에서 장난감 만들기, 카드 만들기 등에 활용되기도 하지만 개념이나 원리를 학습하는 차시에는 도입하지 않는다. 일상생활에서는 찾아보기 힘든 필라멘트 전구를 과학 수업 시간에서 사용하는 아이러니가 있지만, 꼬마전구가 단순한 구조로 폐회로를 설명하는 데 이점이 있다는 이유도 존재한다. 그러나 역사적으로 꼬마전구와 같은 백열전구의 활용은 2차 산업혁명을 대표하는 변화였지만, 현재에는 다른 방식의 전기 조명으로 대체되어 일상생활에서 학생들이 거의 접하지 못하고, 학교 실험실에서만 접할 수 있는 기구가 된 지 오래이다. 반면에 전통

기는 학생들이 일상생활에서 쉽게 접할 수 있는 다수의 기구에 들어 있으므로 직류 모터를 이용해서 전류의 세기나 방향에 따른 모터의 운동을 관찰하도록 하는 것이 실생활과의 연계를 높이는 방안이 될 수 있다.

둘째, 전구나 자기를 이용하여 정보를 저장할 수 있다는 점도 학생들의 일상생활과 관련하여 매우 중요한 지식이라고 할 수 있다. 초등학교 수준에서도 적절한 수준과 내용으로 이점을 강조할 필요가 있다. 이전 초등학교 과학교과서에 3학년 ‘자석의 이용’ 단원에서 자화의 원리를 이용해서 정보를 저장할 수 있다는 내용이 있었다(교육부, 2014). 지하철 표나 공중전화 카드의 검은 띠에 철 가루를 뿌리고 셀로판테이프를 철 가루가 늘어난 부분에 붙였다가 떼어 낸 후 흰 종이에 붙여 철 가루가 늘어난 모양을 관찰하도록 하는 활동이다. 물론 이제는 자화를 통해 정보를 저장하고 읽는 지하철 표나 공중전화 카드가 사용되지 않으므로 이 활동을 그대로 도입할 수는 없지만, 정보기술의 발달이 일상생활에 끼친 영향을 고려하면 이와 관련된 내용을 좀 더 적극적으로 도입하는 것이 필요하다고 생각한다. 이를테면 자석의 N극, S극을 각각 0과 1로 부호화하도록 약속하고, 자석의 배열로 정보를 표현하고, 읽어 내는 활동은 초등학교 수준에서도 충분히 시도할 수 있다. 따라서 앞으로 정보의 저장, 조작, 전송, 수신과 관련된 다양한 교수학습 활동의 개발에 관심을 기울일 필요가 있다.

셋째, 현재 ‘전기의 이용’ 단원에서는 전기절약이나 전기안전과 관련해서 학생들이 실천 수칙을 토의하거나 정해보는 활동을 하고 있다. 그러나 이러한 생활 수칙은 전기의 성질이나 특성, 전자기 기술에 관한 이해와 구체적으로 연계되지 않고 있다. 예를 들면 왜 멀티탭에 여러 개의 기구를 한꺼번에 연결해서 사용하면 안 되는지 아직 초등학생 수준에서는 이해하기 어려운데 이러한 수칙을 계몽적인 방식으로 강조하고 있다. 전기를 절약해야 한다는 것도 ‘막연하게 아껴 쓰는 것이 좋다’는 취지의 내용이며 대부분 교과서에서 전기절약 수칙이나 점검표를 만들거나 캠페인 활동을 하는 것이 제안되어 있다. 초등학생 입장으로 이러한 내용이 얼마나 흥미가 있을지, 중요한 내용으로 생각될지 혹은 과학적이라고 생각될지 다소 의문이 든다. 이러한 개인적인 수준의 STS 교육보다 전기자동차와

같은 기술적 이슈를 다루어 사회적 수준의 STS 교육을 시도하고 과학기술에 이해의 폭을 높이는 방향으로 전환을 생각해 볼 수 있다.

### 3. 전기회로 교육의 개선 방향

전기회로는 교육과정 안에서 전자기 영역의 중요 학습 요소로 지속해서 다루어져 왔다. 특히 저항의 직렬연결과 병렬연결은 초등학교부터 도입되어왔다. 과학과 교육과정에서 전자기 영역의 중요 개념으로 전기회로를 다룰 때 몇 가지 고려할 요소들이 있다고 본 연구자들은 판단한다. 전기회로와 전기장 개념의 연결의 어려움의 문제, 전기회로의 대표성 문제, 전기회로의 학습 난이도의 문제, 현상 중심의 전기회로 학습의 문제들이 그것이다. 첫째로 전기회로가 통상적으로 학교 교육과정에서 다루어지는 방식에서 전기회로는 핵심개념인 전기장과 연계되지 않는다는 문제가 지적되었다. 또한, 전기회로는 앞에서 논의한 전자기의 핵심아이디어, 즉 힘의 매개체로서의 ‘장’과 큰 관련이 없다. 이러한 문제 인식에서 Chabay and Sherwood(2006)는 전지와 저항을 연결하는 단순 전기회로의 거동을 전기장을 중심으로 분석하는 방안을 대학교 일반물리학의 맥락에서 소개하였다. 이 논의는 김종복(2009)에 의해 우리나라에서도 소개되었다. 그런데, 이 방식은 전하 분포의 이동 및 이로 인한 전기장의 발생에 대한 모형기반 사고를 요구한다는 점에서 초, 중등 학생에게는 쉽지 않을 수 있다. 따라서 전기회로를 전기장의 관점에서 분석하는 것을 언제, 어떤 수준으로 도입할지는 추가적인 연구와 논의가 필요하다.

한편 앞에서 논의한 바 있는 전자기 영역의 다양한 기술적 응용을 고려할 때 과연 현재 교육과정의 중요 요소로 다루어지는 저항의 연결이 실생활과 관련하여 얼마나 중요한 문제인지에 대한 논의가 필요하다. 2차 산업혁명 시기의 대표적인 변화는 전구로 도시의 밤을 밝히는 혁신이 이루어졌다는 것이다. 이처럼 전기와 관련한 가장 대표적인 사례가 조명인 시대라면, 저항의 연결을 포함하는 전기회로가 전기와 관련된 대표적인 응용사례가 될 수 있다. 그렇지만, 오늘날 전기 조명은 다양한 전자기 활용 기술의 일부일 뿐이다. 또한, 다이오드와 트랜지스터 같은 전자회로의 기본부품들은 기본적으로 옴의 법칙을 따르지 않는다. 이런 점에서 기존의

교육과정에서처럼 옴의 법칙과 저항의 연결에 대해 앞으로도 중요성을 계속 부여해야 하는지에 대한 검토가 필요하다. 특히 전구의 병렬연결에 비해 직렬연결의 경우에 그 중요성에 대한 의문이 있을 수 있다. 가정에서의 전기공급이 기본적으로 병렬 연결 방식이고, 직렬연결의 경우 그 응용사례가 많지 않기 때문이다. 현재 교과서상에 등장하는 직렬 연결의 응용사례는 퓨즈 정도이다. 이런 점을 고려하면, 병렬회로와 직렬회로가 현재와 같이 짝으로 함께 다루어져야 하는지에 대해서도 고민이 필요하다.

한편 전기회로와 저항의 직렬, 병렬연결은 학생이 학습하기 쉽지 않은 주제라는 것이 밝혀졌다. 전기회로 이해와 관련된 학생의 어려움에 관한 여러 연구가 발표되었다(김중복, 2009; Driver, 1985). 대학생조차도 여러 어려움이 있어서, 대학교 일반 물리학 수준에서의 연습 활동을 위해 개발된 물리 튜토리얼에서도 전기회로와 저항의 연결은 매우 세심한 방식으로 다루어지고 있다(McDermott & Shaffer, 2002). 이러한 학생의 어려움은 우리나라 교육과정에도 반영되고 있는 것으로 판단되는데, 이를테면 2015 개정 교육과정에서는 저항의 연결에 대한 계산을 진로선택 과목인 ‘물리학 II’에서야 다루고 있다. 대신에 초등학교와 중학교에서는 저항의 연결을 다룰 때 현상 중심으로 내용을 소개한다. 2015 개정 교육과정 이전까지는 중학교에서 옴의 법칙을 다루고 전기회로에 관한 간단한 계산도 다루었으나 2015 개정 교육과정부터는 초등학교와 중학교에서 다루는 전구의 직렬연결과 병렬연결에서 그 내용의 중복이 커졌으므로 연계성 차원의 조정이 필요하다고 생각된다.

이러한 중복의 문제와 함께 현재 초등학교에서 전기회로 교육이 가지는 문제는 지나치게 ‘현상 중심’이라는 것이다. 6학년 ‘전기의 이용’ 단원에서 전구 2개를 여러 가지 방법으로 연결해 보고 한 줄로 연결하는 직렬연결과 여러 줄로 나누어 연결하는 병렬연결의 경우 전구의 밝기가 달라진다는 것을 확인하지만, 왜 밝기가 달라지는지는 전혀 다루고 있지 않다. 2015 교육과정에 제시된 성취기준 해설을 보면 ‘전구의 밝기를 비교할 때 전류나 전압의 크기를 비교하지 않고 에너지 관점에서 전구의 연결 방법에 따라 에너지 소비가 달라지는 것을 이해하도록 한다’고 되어 있다(교육부, 2015 p. 51).

이것은 밝기 차이가 나는 원인은 추리하기 어렵더라도 밝기 차이를 통해 건전지가 소모되는 속도의 차이가 난다는 것을 추리해 보도록 한 의도가 있는 것으로 보인다. 그러나 그러한 의도는 실제 과학과 과서(교육부, 2019)에서는 반영되지 않은 것으로 보인다. 전구의 연결 방법에 따라 전구의 밝기가 달라지는 이유는 전압, 전류, 저항의 개념과 이들의 관계에 관한 이해가 필요하므로 초등수준에서 본격적으로 다루기 어렵지만, 교육과정 성취기준 해설과 같이 전구의 밝기에 따라 건전지의 소모 정도를 예상해 보는 추리는 어느 정도 가능할 것으로 보인다. 그러나 ‘현상’ 중심 활동을 중시하는 초등학교 과학 수업에서 이러한 추리는 도입되지 않았다.

전자기 영역 이외에도 초등학교 과학과 교육과정의 대부분은 ‘현상’ 중심 활동으로 구성되어 있다. 학생들의 수준을 고려하여 추상적인 개념이나 어려운 용어는 피한다는 취지이지만 초등학교에서 처음 과학 과목을 접하는 순간부터 과학학습은 현상을 관찰하고 확인하는 것에 그치고, 이에 관한 추리와 해석이 이어지지 않는다면 ‘과학학습’에 관한 잘못된 신념을 만들어서 학생의 후속 과학학습을 더 수동적인 것으로 만들 가능성도 있다. 과학 탐구는 현상을 관찰하는 것을 포함하지만, 역으로 ‘관찰만’ 하는 것을 과학 탐구 활동이라고 보기는 어렵다(Hodson, 1996). 학생들이 현상을 관찰하고 그 결과만 알게 하는 것이 추론하도록 하는 것에 비해 쉽다고 주장할 수도 있으나 자칫 이것은 암기 학습으로 이어지고 암기학습은 오히려 학생들에게 더 어려운 것일 수 있음을 고려해야 한다.

또, ‘관찰’과 ‘추리’를 구분하는 것은 교육적으로 중요한 의미가 있다. 그렇지만, ‘관찰의 이론 의존성’ 논제에서 알 수 있듯이 둘 사이의 구분은 절대적이라기보다는 맥락 의존적이다. 즉 맥락에 따라 관찰로부터 추측되는 다양한 유형의 추리가 가능하며, 관찰을 넘어서는 모든 추리가 초등학생에게 인지적 부담을 동등하게 지우는 것도 아니다. 자석 주위의 철 가루 분포로부터 자기장 같은 추상적인 개념을 추리하는 것은 매우 어려울 수 있지만, 현재의 상태와 과거의 상태로부터 중간에 있었던 과정을 추리하는 것은 상대적으로 쉬울 수 있다. 이를테면, 아주 어린 아동도 짧아진 부모의 머리카락을 보고, 머리를 깎는 과정을 관찰하지 않고도, 부모가 머리를 깎았다는 것을 어렵지 않게 추론할 수

있다. 이와 같은 유형의 추리를 고려하면 초등학생들은 이미 일상생활 속에서 무수하게 추리 과정을 진행하고 있다. 이를 고려할 때 전구의 밝기 비교, 전동기가 돌아가는 속도를 통해 건전지의 소모 정도를 비교하는 것이나, 실에 매달린 자석 사이의 거리에 따라 실의 기울기가 달라지는 것에서 자석이 주고받는 힘의 크기가 달라진다고 추리하는 것은 초등학생에게 인지적 부담이 크지 않은 추리라고 생각된다. 이런 점을 고려하여 초등 과학교육에서 현상을 넘어서는 추리의 도입을 보다 긍정적으로 검토할 필요가 있다.

초등학교에서 전기회로를 다룬다면 ‘전기회로는 완전한 고리를 이루어야 전류가 흐를 수 있다’는 폐회로 개념을 강조하고 도체와 부도체의 구분을 강조할 수 있다. 대신에 전구나 저항의 연결은 중학교 수준에서 전압, 전류, 저항의 개념과 함께 다룸으로써 중복을 줄이는 방법을 생각해 볼 수 있다. 이처럼 전기회로의 비중을 축소하는 방향으로의 전환은 1절에서 논의한 바와 같이 정전기와 전기력을 초등수준에 도입한다거나, 공학이나 정보기술과 연계된 다른 추가적인 교육과정 도입을 위한 시간을 확보하는 방안이 될 수도 있다.

### III. 결론 및 제언

본 연구는 핵심개념 중심의 교육과정 재구성 맥락에서 전자기 교육의 개선 방향, 과학과 기술을 융합하는 교육의 맥락에서 전자기 교육의 개선 방향, 전기회로 교육의 개선 방향의 세 가지 주제로 초등 전자기 영역 교육과정의 개선 방향을 풀어내었다. 논의된 내용을 요약하면 다음과 같다. 첫째 전자기 영역의 핵심개념은 힘의 매개체로서의 ‘전기장’, ‘자기장’이라는 점에서 현재의 교육과정은 전자기 영역의 핵심개념을 담아내지 못하는 문제가 있다. 이를 해결하는 핵심개념 중심의 교육과정 구성을 위해 초등학교에서 역학과 전자기의 연계되는 것이 바람직하다. 둘째 전자기 이론에 기반한 공학기술의 발달 양상으로 본 연구에서 추출한 9가지 양상은 매우 다양한 교육적 맥락을 제공할 수 있다. 그렇지만, 현재의 교육과정은 이러한 다양한 맥락을 담아내지 못하고 있고, 전구를 활용한 전기회로라는 매우 제한된 내용에 초점을 맞추고 있다. 따라서 실생활의 기술과 연관된 다양한 맥락과 소

재를 활용하도록 교육과정의 폭을 넓힐 필요가 있다. 현재보다 다양한 소재와 맥락의 활용을 통해, 개념학습뿐 아니라 STS 교육의 범위와 수준도 확장될 수 있다. 셋째, 전기회로 학습의 경우 전기회로와 전기장 개념의 연결의 어려움의 문제, 전기회로의 대표성 문제, 전기회로의 학습 난이도의 문제, 현상 중심의 전기회로 학습의 문제 등 여러 이슈를 고려해야 한다. 2015 개정 교육과정에서 초등학교와 중학교의 내용중복 문제가 있었으므로, 초등학교 교육과정에서 전기회로의 내용을 줄여서 중학교와의 중복을 피하고, 대신 정전기나 전기력, 다른 공학적 활용 맥락의 교수학습 활동을 추가하는 방향 전환을 고려할 필요가 있다.

본 연구의 논제를 통해 도출되는 개선 방향을 ‘자석의 성질’ 단원과 ‘전기의 이용’ 단원으로 구분하여 각각 따로 정리한 결과는 다음과 같다. 먼저 ‘자석의 성질’ 단원에서 자석과 역학의 연계를 강조하는 방향 전환이 가능하다. 이를 위해 자석 단원에서 힘을 명시적으로 다룰 수도 있고, 원거리력 개념이나 거리에 따른 자기력의 세기 변화를 다루는 것도 가능하다. 또한, 기존의 막대자석 위주의 활동을 넘어서 고리 자석이나 동전 자석 등 다양한 자석을 활용하여 자석을 다양한 운동과 연관시킬 수 있다. 또한, 자석과 정보기술의 연계를 강조하는 방향 전환도 가능하며, 이를 위한 교수 학습활동을 개발하는 것이 필요하다.

‘전기의 이용’ 단원에 대해서는 정전기와 전기력의 도입을 통해 전기와 역학의 연계를 강화할 수 있다. 현상 수준에서 전기력과 자기력은 매우 유사하다는 점에서 전기력도 자기력처럼 초등학교에서 도입하는 것이 가능하다. 한편 현재처럼 꼬마전구 위주의 전기회로로 제한하는 대신 일상생활 속 전기기구에서 매우 빈번하게 사용되는 전동기(모터)를 초등 과학과 교육과정에서 도입할 수 있다. 한편으로 중학교와의 중복을 줄이는 방안으로 전구의 직렬, 병렬연결을 초등수준에서는 다루지 않는 방향을 고려할 수 있다. 마지막으로 ‘전자석’은 초등학교 과학에서 수십 년 동안 계속 변화 없이 도입되어 온 학습 내용이다. 또한, 다른 학습 내용과 마찬가지로 이해나 설명보다는 현상 중심의 학습 활동이 이어져 왔다. 왜 전류가 흐르는 원형 코일 주변에 자석과 같은 자기장이 생기는지는 설명되지 않고 실제 초등학생이 이해하기는 어려운 내용

이다. 소재 면에서 학생들이 일상생활에서 쉽게 접하는 전동기를 도입한다면 전자석과 전동기를 모두 다루는 것은 학생의 학습 부담이 가중되므로 전동기만 다루는 것이 낫다고 생각된다. 또 전자석을 도입하지 않고 ‘전기’와 ‘자기’의 연계에 초점을 두어 도선 주변에서 나침반이 움직이고 자석 주변에서 전류가 흐르는 도선이 움직인다는 것을 관찰하는 것을 ‘현상’ 중심 활동으로 강조하는 방안도 있다. 이는 전기와 자기의 상호작용에 관한 기본 개념을 이해하는 데 도움을 줄 것이다.

본 연구에서는 전자기 영역의 교육과정 내용 구성에서 특히 초등학교 교육과정에서 개선될 필요가 있는 내용을 논의하였는데 본 연구에서의 제안은 초등학교 과학과 교육과정에서 자기 영역과 전기 영역의 비중 조정을 내포하고 있다. 예를 들면 대체로 자기 영역에 대해서는 교육과정의 내용을 확대하는 방향으로 제안하였는데, 이를 고려하면 자석 단원을 현행 3학년에서 보다 고학년으로 이동하는 것을 고려할 수 있다. 이러한 학년 이동을 통해 학생의 학습 부담을 줄이면서 역학과의 연계강화와 정보기술 관련 연계강화를 시도할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 초등학교 과학과 교육과정 전체 구성에서 현행처럼 각 학년, 매 학기에 각 단원을 비슷한 분량으로 다루는 것을 벗어날 필요가 있다.

본 연구는 전자기 영역에서는 초등학교 과학과 교육과정이 크게 달라지지 않고 있다는 현실 인식에서 출발한 것이다. 전자기 영역은 정보화에 기반한 현대사회의 변화와 직결되는 영역인데, 관련된 교육과정이 큰 변화 없이 유지된다는 것은 바람직하지 않을 수 있다는 문제의식에서, 본 연구는 가능한 교육과정의 변화 방향을 여러 가지로 탐색하고 제안하였다. 엄밀한 연구방법을 통해 엄격하게 도출된 결론을 제시하는 것이 본 연구의 목적이 아닌 만큼, 본 연구의 여러 제안은 반드시 그래야 한 다기보다는, 여러 가지 방향의 교육과정 변화를 시도할 수 있다는 예시라고 할 수 있다. 이를 통해 교육과정의 변화 방향에 대한 논의가 좀 더 풍부해지기를 희망해본다.

## 참고문헌

- 교육과학기술부(2011). 6학년 1학기 과학교과서. (주)금성출판사.
- 교육부(2014). 3학년 1학기 과학교과서. (주)미래엔.
- 교육부(2015). 과학과 교육과정. 교육부. 제2015-74호 [별책 9].
- 교육부(2019). 6학년 2학기 과학교과서. (주)비상교육.
- 김중복(2009). 전류와 관련한 내용에 대한 교육과정에서 검토해야 할 사항. *현장과학교육*, 3(2), 85-95.
- 윤은정, 박윤배(2014). 2009 개정 교육과정의 중학교 과학, 물리 I, II에서 전자기 분야의 연계성 분석. *새물리*, 64(4), 458-465.
- 손정우, 이봉우, 문홍주, 박승호, 이세연, 전병희(2018). *물리학 II 교과서*. 비상교육.
- 송성수(2017). 산업혁명의 역사적 전개와 4차 산업혁명론의 위상. *과학기술학 연구*, 7(2), 5-40.
- 장희익(2012). *과학과 메타과학*. 현암사.
- American Association for the Advancement of Science. (2001). *Atlas of science literacy (Vol. 2)*. Washington, DC: American Association for the Advancement of Science (AAAS) and the National Science Teachers Association.
- Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. NSTA press.
- Chabay, R., & Sherwood, B. (2006). *Restructuring the introductory electricity and magnetism course*. *American Journal of Physics*, 74(4), 329-336.
- Challoner, J. (Ed.). (2009). *1001 inventions that changed the world*. NY: Barron's.
- Cushing, J. T. (1998). *Philosophical concepts in physics: The historical relation between philosophy and scientific theories (No. 143)*. Cambridge University Press.
- Driver, R. (1985). *Ebook: Children's ideas in science*. McGraw-Hill Education (UK).
- Hodson, D. (1996). *Laboratory work as scientific method: Three decades of confusion and distortion*. *Journal of Curriculum Studies*, 28(2), 115-135.
- Jackson, J. D. (1999). *Classical electrodynamics*. Wiley.
- Lee, Y. J., Kim, M., Jin, Q., Yoon, H. G., & Matsubara, K. (2016). *East-Asian primary science curricula: An overview using revised Bloom's taxonomy*. Springer.
- McDermott, L. C., & Shaffer, P. S. (2002). *Tutorials in introductory physics (pp. 1-245)*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- NGSS Lead States. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. National Academies Press.

Shipstone, D. M. (1984). A study of children's understanding of electricity in simple DC circuits. *European Journal of Science Education*, 6(2), 185-198.

---

정용욱, 경상국립대학교 교수(Cheong, Yong Wook; Professor, Gyeongsang National University).

† 윤혜경, 춘천교육대학교 교수(Yoon, Hye-Gyoung; Professor, Chuncheon National University of Education).