

초등학생의 전기 회로 이해에 따른 자연 교과서 전기 단원에 대한 분석과 제안

김은숙 · 심재규 · 정용재¹ · 장병기²
(서울대학교) · ¹(두산초등학교) · ²(춘천교육대학교)

Analysis and suggestions for elementary textbooks based on the elementary students' understanding of electric circuits

Eunsook Kim · Jae-gyu Shim · Yongjae Jung¹ · Byunggi Chang²

(Seoul National University) · ¹(Doosan Elementary School) ·
²(Chunchon National University of Education)

ABSTRACT

The units about electricity in 5th and 6th science curriculum for elementary school was analyzed and the elementary students' understanding of related concepts was investigated. This study was to make connection between the research about alternative concepts and writing textbooks.

It was found that students' response had following characteristics. They had strong belief that the + and - ends of battery should be connected. However this belief was not complete because students did not understand that the other circuit elements had to be connected properly. When the circuit involve more than one bulbs or batteries, they counted the number of batteries or bulbs only and paid little attention to the connection of them. In explaining circuits and the brightness of the bulbs in the circuits, students tried to explain the circuit using scientific terms but failed to use them properly. Although the concept of resistance was not dealt explicitly, student had reasonable qualitative understanding about resistance.

According to response of students, several suggestions might be made for the curriculum. The structure and the circuit elements and the proper connection needs to be taught. Also more emphasis is necessary to pay attention to the connection in addition to the numbers of bulbs or batteries. Finally, it needs to be investigated carefully if it is better to introduce some qualitative model to explain the amount of current through bulb depending on the connection and the number of bulbs. It might also be better to introduce some terms, such as current and resistance with the model.

I. 서 론

1. 연구의 필요성 및 목적

과학 교육 연구 활동의 결과가 과학 교육 현장에 연결되는 경우는 드물다는 의견이 있다. 권재술

(1994)은 연구 활동과 현장을 연결하는 보기로 현장에서 이용할 수 있는 학년별, 단원별, 차시별 수업자료 및 지도안, 실험기구 등의 개발을 들고 있다.

또한 "탐구 수업이 학생의 성취도에 미치는 영향"과 같이 광범위하고 추상적인 연구일수록 연구로서의 가치는 의심되며, "분단실험은 몇 사람이 한 분단이

*1999년 2월 1일 받음.

될 때 가장 빨리 실험을 끝낼 수 있는가?”와 같이 사소한 것 같지만 구체적인 문제가 교육에 기여할 가능성이 있다고 하면서, 구체적이고 재현가능하며 조작적인 연구가 강조되어야 한다고 하였다.

한편 박승재(1988)는 교육 현장에 직접 관련이 있는 교과서 집필, 현장 지도, 평가 등이 교육과정의 내용에 의해 절대적으로 좌우된다고 보았다. 그래서 교육 과정의 내용을 위해서 대안 개념, 대안 개념에 영향을 미치는 요인, 수업의 영향, 수업 모형의 창안, 이러한 연구 결과들을 바탕으로 하는 교육 내용 요소들의 선택 기준 등 다섯 단계의 연구가 유기적으로 실행될 것을 제안하였다.

물리의 각 분야에서 학생들이 나타내는 대안 개념에 관한 연구는 지난 20여 년 동안 활발하게 진행되어 왔다. 고전 역학 분야의 연구가 가장 활발하다고 볼 수 있으며, 전기, 광학, 열과 에너지 등의 분야에서도 많은 연구가 진행되어 왔다. 그런데 이렇게 학생들의 대안 개념에 관한 연구가 활발한 데 비해 교사들이 이에 관련된 문제에 대처하기 위해 현장에서 이용할 수 있는 구체적인 자료, 또는 지침에 대한 연구는 미비한 편이다. 특정 개념을 중심으로 대상 학생의 수준에 따라 적절한 내용, 필요한 수업 시간 수, 실험 방법, 저학년에서 고학년으로 가면서 제시되는 방법, 평가 도구 등 연구를 필요로 하는 과제가 많이 있다.

본 연구에서는 전기 관련 대안 개념에 관한 연구를 현장에서 사용하는 교과서의 내용 개선과 연결시키고자 시도하였다. 초등학교 교육과정, 교과서, 교사용 지도서를 분석하여 초등학생들이 이해할 것으로 기대되는 전기 관련 개념들을 조사하고 이와 관련된 대안 개념들을 문헌 조사를 통해 정리하였다. 또한 이 개념들에 대해 초등학생들의 이해도와 오답유형을 조사하였고 이렇게 측정된 오답유형 중 교과서, 교육과정, 교사용 지도서와 직접 관련이 있는 것으로 추정되는 경우가 있는지 조사하였으며, 이의 개선을 위해 몇 가지 제안점들을 제시하였다.

이 연구는 권재술의 관점에서는 단원별, 차시별 수업자료에 관련된 연구이고, 박승재의 관점에서는 대안 개념, 대안 개념에 영향을 미치는 요인으로서 교

과서, 교육 내용의 선택 기준에 관련된 연구로 분류될 수 있다.

II. 선행 연구

선행 연구에 대한 고찰은 두 부분으로 이루어져 있다. 첫째 초등학교 과학 교육 과정에서 다루어지는 단순한 전기 회로와 관련하여 학생들이 가지고 있는 어려움 및 대안 개념에 관련된 선행연구를 조사하였다. 둘째, 보다 나은 교과서를 위해 어떤 연구들이 행해지고 있는지 살펴보았다.

1. 단순한 전기 회로 관련 선행연구

초등 학교 교육 과정에서 다루어지는 단순한 전기 회로에 관해서 지금까지의 선행 연구에서 밝혀진 학생들의 어려움으로는 다음과 같은 것들이 있다.

① 건전지에서 흘러나오는 전류의 흐름은 일정하다고 생각한다(Cohen et al., 1983; Heller and Finley, 1992; Shipstone 1988). 연구자에 따라 일정 전류 모형(권재술, 1989; 문충식, 1991), 불변 전류 생각(김영민 등, 1990a; 김영민 등, 1990b) 등으로 불리며, 이때 사용되는 전류의 개념은 과학자들이 사용하는 전류의 개념과는 차이가 있는데, 수도꼭지에서 수도물이 흘러나오듯 건전지에서 뭔가 일정하게 나오고 있다는 정도의 단순한 개념이다. 이 개념은 전기적인 에너지를 의미하기도 하고 전기적인 현상을 일으키도록 하는 어떤 원인으로써 전력이나 전압의 의미도 가지고 있는 등 여러 물리량이 혼동되어 있으며 학생들은 이러한 개념들을 구별할 필요를 느낄 만큼 이해하고 있지 못한 것으로 알려져 있다(Heller and Finley, 1992; Shipstone, 1988).

② 전압의 개념보다는 전류의 개념이 우선적이다. 위에서 기술했듯이 학생들은 전지에서 뭔가 나온다는 관점을 지니고 있으면서 흐름을 의미하는 전류의 개념을 우선적으로 사용하며 전압의 차이에 의해 전류가 생기는 인과적인 관계로 연결시키고 있지 못하다(Cohen et al., 1983; Heller and Finley, 1992).

③ 회로의 일부에 변화를 줄 때, 회로의 다른 부분

에 영향을 미칠 수 있는 가능성에 대하여 생각하지 못한다(김영민 등, 1990b; Cohen et al., 1983; Miller and King, 1993).

④ 전지에서 흘러나온 전류가 회로에서 소비되고 있다고 생각한다. 이때 전류의 개념도 위에서 기술한 수돗물과 같이 단순한 흐름정도의 개념으로 전기적인 에너지의 의미를 지니고 있다. 권재술(1989)은 이러한 유형을 소모성 모형으로 불렀으며, 이러한 사고 유형은 다른 연구결과에서도 관찰되었다(김영민 등, 1990a; 김영민 등, 1990b; Cosgrove, 1995; Heller and Finley, 1992; Shipstone, 1988).

⑤ 꼬마 전구의 꼭지쇠(나선 부분)의 역할에 대해서 제대로 이해하지 못한다. 이 개념은 단순한 전기 회로에 사용되는 회로 소자들이 두 곳에서 전기적인 연결이 되어서, 전류가 흘러 들어와서 흘러 나갈 수 있어야 한다는 개념과 연결이 된다(김현재, 1992; Shipstone, 1988).

⑥ 두 개의 전구가 직렬로 연결되어 있을 때 전류를 나누어 가진다고 생각한다. 전구가 어두워지는 이유는 전지로부터 흘러나오는 전류의 양은 전구가 한 개 있을 때와 같지만 두 개의 전구가 절반씩 나누어 가진다고 생각하는 경우를 예로 들 수 있다. 회로에 있는 전구가 전류를 나누어 가지는 방법은 이외에도 상황에 따라 다양한 유형이 관찰 될 수 있는 것으로 알려져 있다(권재술, 1989; 문충식, 1991; Heller and Finley, 1992; Shipstone, 1988).

⑦ 전지의 어느 한 극이 중요하다고 생각한다. 이 경우 대부분의 학생들이 +극을 중요하게 생각하는 것으로 알려져 있다. 회로에 변화를 주었을 때 전류가 +에서 출발하므로 변화가 일어난 부분에서부터 전지의 +극 사이는 전혀 영향을 받지 않고 -극 쪽에만 영향이 있으리라고 생각하는 경우는 대표적인 예이다. 권재술(1989)은 이러한 유형을 순차적 흐름 모형이라고 불렀다. 한편 전구가 전극의 어느 한 극에만 연결되어도 불이 들어오리라고 생각하는 경우도 있는데, 이 경우에도 +극에 연결되어야 한다고 생각하는 경우가 지배적이다. 이러한 유형은 단일극 모형이라고도 불린다(권재술 1989). 이와 같이 전지의 어느 한 극이 중요하다는 생각은 다른 여러 연구에서도

관찰되었다(Heller and Finley, 1992; Shipstone, 1988).

⑧ 전선의 특성에 대해서 충분히 이해하고 있지 못하다. 이미 연결되어 있는 전선에 또 하나의 전선이 직렬로 더해지면, 즉 전선을 길게 만들면 회로에 크게 영향을 미치지 않는 것을 많은 학생들이 실험적으로 알고 있다. 그런데 왜 그런지 이해하고 있지 못한 채, 전선을 더하는 것은 어떻게 더하든지 상관없이 회로에 영향을 미치지 않는 것으로 일반화시키는 경향이 있다. 대표적인 예로 합선이 되도록 전선이 연결된 회로를 설명할 수 있는 학생은 극히 드물다는 연구 결과를 들 수 있다(Fredette and Clement, 1981).

⑨ 회로도 또는 실제 회로에서 전기적인 연결을 보는데 어려움을 느끼며, 기하학적인 배열에 의해 전기적인 연결을 제대로 알아보지 못하는 경우도 있다. 예를 들어 세 개의 전구를 직렬로 연결하는데 마치 병렬처럼 보이도록 배열하면 많은 학생들이 병렬로 연결된 회로로 해석한다는 것이 관찰되었다(Idar and Ganiel, 1985).

⑩ 전류가 전지의 어느 한극에서 나와서 다른 한극으로 돌아간다고 하기보다는 전지의 양쪽 극에서 뭔가 흘러나와서 전구에서 부딪히기 때문에 전구에 불이 들어온다고 생각하는 경우가 있다(권재술 1989; 문충식, 1991).

2 교과서 관련 선행 연구

교과서의 내용은 교육과정과 분리 될 수 없으므로 교육과정에 관한 연구도 포함 시켰다. 한국과학교육학회지에 실린 연구 논문으로서 99년 3월호(19권 1호)까지 교육과정 또는 교과서에 관련된 논문은 총 41편이 있었다. 그 중 15편이 교과서 또는 교육과정의 전반적인 내용을 다루고 있었다. 즉, 과학 교육의 목표, 교육과정의 기초가 되는 이론, 내용, 교과서에서 각 분야가 차지하는 비중, 다른 나라의 교과서나 교육과정과 비교 등을 다루었다. 대부분의 연구 방법이 문헌 조사였으며, 문헌 조사와 더불어 면담, 설문 등 학생이나 교사를 대상으로 자료를 수집한 경우는

드물었다. 전반적인 내용을 다룬 15편의 논문 중 두 편(조희형 등, 1988; 김성원 등, 1997)은 교사의 의견을 수집했고, 다른 한 편(우종욱 등, 1992)은 교과서 개발 체제에 대한 의견을 조사하였다. 나머지 12편은 문헌 조사로만 이루어졌다.

이 보다 한 단계 구체적으로 다룬 것으로, 3편(최병순 등, 1987; 권재술 등, 1987b; 최경희, 1998)의 논문이 학생의 특정 능력의 발달 정도를 조사하여 교과 내용과 비교하였고, 특정 활동 중심으로 분석한 것이 3편(정건상 등, 1990; 김진용 등, 1993; 최경희, 1997), 역사적인 고찰이 3편(정완호, 1978; 이규석, 1993; 박종석; 1998), 목표에 따른 분석이 3편(권재술 등, 1987a; 이경훈 등, 1987; 서동욱 등, 1994), 그리고 삽화를 비교한 것이 1편(박시현 등, 1994) 있었다. 개념 중심으로 보면 특정 개념을 중심으로 다룬 것이 5편(김현태 등 1987a, b; 김미옥 등, 1995; 여성희, 1998; 여성희 등, 1998), 전 과정에서 다루어지는 개념을 정리한 것이 4편(조희형, 1985; 박승재, 1988; 정건상 등 1990; 김효남, 1992)이 있었는데 이중 조희형(1985)은 각 개념의 중요도에 대해서 교사의 의견을 수집하였다.

조사한 33편의 논문중 학생들의 이해도를 조사하고, 그를 바탕으로 교과서의 개선점을 제안하는 논문은 3편(최승일 등 1987; 박종석 등, 1986; 김문수 등, 1997) 정도였다. 서론에서 언급된 권재술(1994)과 박승재(1988)가 제안한 것과 같이 현장에 연결되는 연구가 보다 활발해질 필요가 있음을 볼 수 있다.

III. 연구방법 및 절차

전기 회로에 관련된 초등학교 5차 및 6차 교육과정과 교과서 및 교사용 지도서를 분석하였다. 검사 대상인 학생들은 5차 교육과정으로 학습하였고, 현재 6차 교육과정이 사용되고 있으므로 5차와 6차 모두 분석 대상으로 삼았다. 분석 결과를 바탕으로 학생들이 이해하리라고 기대되는 개념들을 정리하였다

위 과정에서 정리한 개념들에 대한 이해도를 측정하기 위한 검사지를 작성해서 초등학교 1개 학급과 4명의 초등학교 학생들에게 검사를 실시하였다. 학생

들의 응답을 분석하여 문항의 정확성, 적절성 등을 조사했고, 4명의 초등학교 학생들에게는 각 문항들의 내용을 면담을 통하여 재차 질문하였으며 각 문항마다 학생이 느끼는 난이도를 질문하였다. 이 결과를 바탕으로 검사문항을 수정하였다.

검사지는 교육과정에서 제시한 소단원내용을 주요 범주로 정하여 전구에 불켜기, 전지의 (직렬, 병렬) 연결, 전구의 (직렬, 병렬)연결, 여러 가지 회로의 4가지 범주와 연구자들이 필요하다고 생각하는 저항범주를 포함하여 총 5개 범주 20개의 선택 후 설명형 문항으로 이루어져 있다.

검사 대상은 제5차 교육과정 전기관련 개념을 모두 학습한 학생들인 서울 Y 초등학교 6학년 2개 학급 총 71명이다. 검사 소요시간이 2시간정도 요구되는데 초등학교생에게 무리일 수 있고 평가에 의한 학습 효과를 막기 위해서 검사지를 두 부분으로 나누어서 2학급에 각각 1시간동안 실시하였다.

학생들의 응답을 분석해서 학생들이 공통적으로 느끼는 어려움을 조사했고, 교과서 또는 교육과정에서 학생의 어려움을 가중시킬 가능성이 보이는 부분을 정리하여, 앞으로 개발될 과학교육과정 중, 전기 단원에 대한 제안으로 제시하였다.

IV. 연구결과

1. 초등학교 전기단원 교육과정 개관

이미 언급한대로 검사지는 다섯 가지 범주로 이루어져 있다. 〈표 1〉은 각 범주에서 검사하는 개념들과 더불어, 그에 해당하는 5차 교육 과정 전기 단원의 소단원 내의 제목들을 정리한 것이다. 각 제목들은 1차시 분량이다. “전기회로”에 관련된 개념들은 3학년 2학기과 4학년 2학기에 다루어지는데, 전구, 건전지, 전선, 직렬 연결, 병렬 연결, 전구의 밝기 등의 용어를 사용해서 전기 회로를 설명하고, 전압, 전류, 저항 등의 용어는 사용되지 않는다.

6학년 1학기 전자식 단원에서 코일이 감긴 횟수와 전류의 세기가 전자식의 세기에 미치는 영향을 다루면서 “전류”라는 용어가 처음 사용되는데, 전기회로

에 관련된 개념은 다루어지지 않는다. 학생들이 그 다음 전기 회로를 접하는 것은 중학교 2학년인데, 옴의 법칙과 함께 전압, 전류, 저항, 그리고 회로의 등가 저항, 전력, 전기 회로에 발생하는 열(전기 에너지) 등 많은 내용이 소개된다. 한편 각 범주 별로 제시된 개념은 다음과 같다.

전구에 불켜기

전구에 불켜기 단원은 표에서 볼 수 있는 바와 같이 우선 전구 한 개, 전지 한 개, 그리고 몇 개의 도선으로 전구에 불이 켜지게 하는 실험을 통해서 전구에 불이 들어오는 조건을 학습한다. 또한 전구, 전지, 소켓의 구조를 살펴본다. 이 개념들은 전기 기구가 작동하기 위한 조건으로 일반화 될 수 있다. 즉 전기 회로에 사용되는 물건(회로소자, 또는 전기기구)의 외부에는 도체로 되어 있는 부분이 두 곳이 있고 이 부분에서 전기적인 연결이 이루어진다. 이러한 연결 지점 중 한 곳이 다른 물건의 연결 지점과 연결되고, 남은 연결 지점은 또 다른 물건의 연결 지점 한 곳과 연결된다. 이러한 과정이 반복되면서 고리모양을 만드는데, 연결된 물건 중 전원이 포함 되어 있어야 한다.

전구에 불이 켜지는 조건을 예를 들어보면, 전구 옆의 나선 부분과 전구의 끝 부분이 두 연결 지점이다. 전선은 양 끝, 건전지는 양 극이 연결지점이다. 전구의 나선부분에서 전선의 한 끝으로, 전선의 다른 끝에서 건전지의 한 극으로, 건전지의 다른 극에서 또 하나의 전선의 한 끝으로 이 전선의 다른 끝이 전구의 끝 부분으로 이어져서 고리가 만들어지면, 전구에 불이 들어온다. 소켓은 전구의 두 연결 지점을 각각 전선의 한쪽 끝과 연결해주는 도구이다.

이 단원은 도체와 부도체를 분류하면서 단원이 끝나는데, 저항의 개념과 연결시키지는 않고, 전기가 통하는 경우와 통하지 않는 경우로만 나눈다.

전지의 연결

전구는 한 개로 변화가 없고 건전지 두 개를 직렬 또는 병렬 연결했을 때 전구의 밝기의 변화를 관찰하는 실험으로 이루어져 있다. 전지의 개수뿐 아니라

연결 상태도 중요하다는 것을 학습하게 되는데, 전지가 직렬로 더해지면 전구가 밝아지고, 병렬로 더해지면 변화가 없다는 식의 현상적인 설명은 제시되지만, 왜 밝아지는지 또는 그대로인지 설명하고 있지 않다. 또한 전지가 계속 직렬로 또는 병렬로 더해지면 어떻게 되는지 각 연결에 따른 일반화도 다루고 있지 않다.

6차 과정에서는 이 단원에 자원절약을 위해서 낭비하지 않고, 다 쓴 건전지는 정해진 곳에 버리는 등, 환경 보호 문제가 추가되었다.

전구의 연결

4학년에서 첫 부분은 부호를 사용해서 회로를 그리는 방법을 다루고 있는데, 이 연구는 단순한 전기 회로에 대한 이해가 주 관심사이고, 회로를 적절히 부호로 표기하는 것은 별도의 문제이므로 검사 내용에서 제외하였다.

그 다음 부분에서 전지는 한 개이고, 전구 두 개가 직렬 또는 병렬로 연결된 회로를 다루게 된다. 이 단원에서도 전구의 개수뿐 아니라 연결 상태가 중요하다는 것을 학습하게 된다. 전지와 마찬가지로 전구가 직렬로 연결되면 어두워지고, 병렬로 연결되면 그대로라는 현상적인 설명이 제시되지만 왜 어두워지고 왜 그대로인지 설명하지 않으며, 전구가 계속 직렬로 또는 병렬로 더해지면 어떻게 되는지 각 연결에 따른 일반화도 다루고 있지 않다.

한편, "전기가 흐르는 길"이라는 용어를 사용해서 직렬연결에서는 전기가 흐르는 길이 하나라서 한 곳이라도 끊어지면 모두 꺼지는데, 병렬연결에서는 흐르는 길이 두 개라서 한 곳이 끊어져도 다른 길에 있는 전구는 꺼지지 않는 것으로 설명하고 있다. 이러한 독립적인 병렬 연결의 개념은 다음 단원에서 가정에서 전기회로의 연결에 응용된다.

여러 가지 전기회로

전동기의 사용, 삼로 스위치, 가정에서의 전기 이용 등 여러 가지 응용이 소개 된다.

5차 교육과정에서는 전구의 직렬과 병렬이 혼합된 회로를 다루어서 병렬 연결이면서 독립적이지 않은

Table 1. Five categories and concepts in each categories. Key words are underlined>. Each item in curriculum column is title for a unit covered in one class period in 5th curriculum. There were several questions in each category and the lowest and the highest correction rate in each category are shown in the last column.

categories	concepts	units of 5th curriculum	correction rate(%)
lighting up a bulb	<ul style="list-style-type: none"> · To light up a bulb, + and -side of the battery must be connected (loop concept) · proper connection of a bulb · structure of a battery and a socket · conductor & insulator 	semester 3-2 Chap. 4 Batteries and bulbs (1) lighting up a bulb -lighting up a bulb with a battery -circuits that lights up a bulb -observation of structure of a bulb -two sides of a battery -how to use sockets and battery holders -materials through which electricity can flow or not	8-97
bulbs in series and parallel connection of batteries	<ul style="list-style-type: none"> · comparison of the brightness of the bulbs in the following circuits · basic circuit and circuit with batteries in series · basic circuit and circuit with batteries in parallel · circuit with batteries in series and in parallel 	semester 3-2 Chap. 4 Batteries and bulbs (2) connection of batteries -lighting up a bulb with two batteries -circuits that lights up a bulb -two batteries in series -two batteries in parallel -making a flash light	20-60
bulbs in series and parallel connection of bulbs	<ul style="list-style-type: none"> · comparison of the brightness of bulbs in the following circuits · basic circuit and circuit with bulbs in series · circuit with bulbs in series · basic circuit and circuit with bulbs in parallel · circuits with bulbs in series and in parallel · circuit with bulbs in parallel 	semester 4-2 Chap. 3 Electric circuit (2) connection of bulbs -series and parallel connection of bulbs -flow of current in series or parallel connection of bulbs -comparing brightness of bulbs in circuits with two bulbs and two batteries -finding circuits that light up the bulbs	3-6
various circuits (2step problem)	<ul style="list-style-type: none"> · comparison of the brightness of bulbs in a circuit with mixed connection of bulbs · role of conducting wire by looking at the brightness of bulbs in a short circuit and a disconnected(open) circuit 	semester 4-2 Chap. 3 Electric circuit (3) mixed circuits -a circuit with a motor and a bulb in series -connection of three bulbs -using one switch to turn on and off two bulbs -three way switch -using electricity at home	0-3
resistance	<ul style="list-style-type: none"> · materials with same resistance · materials with different resistance 	not explicitly covered	36-69

경우가 도입되어, 전구의 직렬 또는 병렬 연결에 따른 밝기의 변화에 대한 이해를 깊이한다. 한편 6차 교육과정은 혼합된 회로가 없고, 전구 외의 다양한 전기 기구(전동기, 종 등)의 사용이 더 강조되었다.

서술의 편의를 위해 교과서에 제시되는 몇 개의 기본 회로와 자주 관찰된 대안 개념 한가지를 아래와 같이 정의하였다. 아래의 회로들은 모두 올바르게 연결되었고 전구에 불이 켜지는 회로를 뜻한다.

기본회로(basic circuit): 전지1개에 전구1개가 연결된 회로

전지직렬회로(batteries in series): 전구1개에 전지2개가 직렬로 연결된 회로

전지병렬회로(batteries in parallel): 전구1개에 전지2개가 병렬로 연결된 회로

전구직렬회로(bulbs in series): 전지1개에 전구2개가 직렬로 연결된 회로

전구병렬회로(bulbs in parallel): 전지1개에 전구2개가 병렬로 연결된 회로

고리 개념(loop concept) : 전지의 +극과 -극이 전구에 연결되면서 고리모양을 이루면 전구에 불이 들어온다는 생각

2. 검사된 개념과 응답 유형

검사한 각 개념에 대해 여러 문항이 있는데 가장 낮은 정답율과 가장 높은 정답율을 <표 1>의 마지막 열에 기록하였다. 예를 들어 전구에 불켜기에서 8-97%의 의미는 여섯 개의 문항에 대한 정답율 중 가장 낮은 것이 8%, 가장 높은 것이 97%이라는 뜻이다. 이미 기술한 바와 같이 검사지는 다섯 범주로 구성되어 있는데 각 범주별로 결과를 정리하였다.

전구에 불켜기

3학년 2학기 전기 단원(전지와 전구)의 첫 소단원인 전구에 불켜기에서 학습한 개념을 조사하기 위해 전구 한 개와 전지 한 개, 그리고 한두 개의 전선으로 이루어진 서로 다른 회로 여섯 가지를 제시하였다. 이중 두 가지는 그림 1-a처럼 전지의 한 극이 연결되지 않았고, 나머지 네 가지는 그림 1-b처럼 전

지의 +와 -극이 연결되어서 불이 들어오는 회로와 비슷한 모양을 하고 있는데 이중 한 회로만 전구에 불이 켜진다.

전지의 어느 한 극이 연결되지 않은 두 회로에 대해서 대부분의 학생들은 불이 들어오지 않는다고 응답하고, 그 이유로 전구의 +극과 -극이 연결되어서 고리모양을 이루어야 한다고 설명하면서 94-97%의 높은 정답율을 보였다. 그런데 전지의 두 극이 연결된 나머지 네 개의 회로에서는 문항에 따라 8%에서 25% 정도의 낮은 정답율을 보였다. 이와 같은 낮은 정답율은 학생들이 회로를 이루는 회로소자들의 구조와 더불어 회로 소자를 연결할 때 반드시 2개의 연결 지점이 사용되는 사실과 그 이유를 이해하지 못하는 데에 기인한다.

58%의 학생들이 꼬마전구의 꼭지쇠(나선 부분)의 구조와 역할을 제대로 이해하지 못해서 그림1-b와 같은 회로를 설명할 수 없었다(김현재, 1992: Shipstone, 1988). 또한 전지의 -극에서 중심이 아닌 부분에 전선이 접촉되는 것으로 그려진 회로가 한 개 있었는데, 43%의 학생이 -극의 중심에 닿지 않아서 불이 켜지지 않는다고 대답했다. 그리고 소수(5%)의 학생이지만 +극이 -극 보다 중요해서 전구가 +극에 닿아야 불이 들어온다는 단일극 모형(권재술, 1989)을 보여주는 학생도 있었다.

요약해 보면, 문항에 따라 39-97%의 학생이 전지의 +와 -극이 연결되어서 고리를 이루어야 한다는 고리 개념을 사용할 수 있었지만 회로의 다른 요소를 제대로 보지 못했는데, 여섯 개의 문항에서 모두 올바르게 답하고 설명한 학생은 8%에 지나지 않았다.

전지의 연결

이 부분은 전지 한 개와 전구 한 개로 이루어진 기본회로와 전구 한 개에 전지 두 개를 직렬로 연결한 회로(전지직렬회로)에서, 기본회로와 전구 한 개에 전지 두 개를 병렬로 연결한 회로(전지병렬회로)에서, 그리고 전지직렬회로와 전지병렬회로에서 전구의 밝기를 비교하는 세 개의 문항으로 이루어져 있다.

학생들은 전지의 연결을 보기보다는 전지의 개수만을 언급하는 경향이 있었다. 전지직렬회로와 전지

병렬회로를 비교할 때는 “직렬이니까”라고 전지의 연결을 이용해서 설명하는 경우가 많고 정답율도 60%로 높지만, 기본회로와 전지직렬회로, 또는 기본회로와 전지병렬회로를 비교할 때는 각각의 경우에 66%, 57%의 학생이 전지의 개수만 언급했고, 정답율도 각각 26%와 20%로 낮다.

정리해 보면, 학생들은 전지의 직렬, 또는 병렬 연결에서 전지의 개수만을 세며, 전지의 개수가 같은 경우에만 전지의 연결에 관심을 가지는 경향이 있다. 세 문항을 모두 올바르게 설명한 학생은 12%이었다.

전구의 연결

이 부분은 전지 한 개와 전구 한 개로 이루어진 기본회로와 전지 한 개에 전구 두 개를 직렬로 연결한 회로(전구직렬회로)에서, 기본회로와 전지 한 개에 전구 두 개를 병렬로 연결한 회로(전구병렬회로)에서, 그리고 전구직렬회로와 전구병렬회로에서 전구의 밝기를 비교하는 다섯 개의 문항으로 이루어져 있다.

전구직렬회로와 전구병렬회로에서 전구의 밝기를 비교하는 문항에서 학생들의 정답율은 매우 낮다. 그리고 전지의 연결에서는 직렬, 또는 병렬 연결이라는 용어를 사용해서 설명하는 경우가 많이 관찰되었던 것과는 대조적으로, 직렬 또는 병렬의 용어조차 거의 사용하지 않는다. Idar and Ganiel(1985)이 보고한 바와 같이 학생들이 회로의 연결 상태를 보지 못하는 경향이 전구의 연결을 달리할 때 더욱 강하게 나타났다.

학생들은 전지의 경우와 마찬가지로, 전구의 개수가 다른 회로에 있는 전구의 밝기를 비교할 때는 전구의 개수만으로 설명하는 경향이 있었다(34%). 그러나 “같은 전지에 같은 전구이므로 밝기도 같다”(23-49%)와 같은 아주 단순한 수준의 응답에서 볼 수 있듯이 많은 학생들이 회로에서 전구의 밝기를 결정하는 요인들을 거의 이해하지 못하는 것으로 보인다.

학생들은 전구의 밝기에 대해서 “전지 1개에 2개의 전구는 에너지 소모량이 많이 든다” 등의 표현에서 볼 수 있듯이 설명체계(모형)를 사용하였다. “전류, 에너지, 전지의 양, 힘, 밝기, 에너지 흐름, 전류

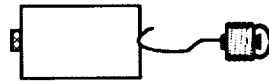


Fig. 1-a

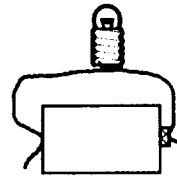


Fig. 1-b

Fig. 1. Circuits to test the conditions to light up a bulb, using one bulb, one battery and conducting wires.

의 길, 전력, 전력 소모” 등 다양한 시도가 관찰되었는데(14-54%), 적절하게 설명한 경우는 아주 적었다(0-6%). 한편 전선의 길이, 전선의 개수 등 전구의 밝기에 영향을 미치지 않는 요소들을 구별하지 못하는 경우도 있었다.

한편, 기존의 연구에서 보고된 여러 가지 대안 개념도 관찰되었다. “이 전구는 1개라서 전류가 전구 1개로 가는데, 저 전구는 2개라서 전류가 2개로 나누어지기 때문에”와 같이 각 전구가 전류, 밝기 또는 에너지 등을 나누어 가진다는 개념이(권재술, 1989; 문충식, 1991) 문항에 따라 6%(전구직렬회로와 전구병렬회로의 비교)에서 29%(기본회로와 전구병렬회로의 비교)까지 모든 문항에서 관찰되었다. 또한 +극 쪽이 더 밝고 단계적으로 밝기가 줄어든다는 순차전류 모형(Heller and Finley, 1992; Shipstone, 1988)도 전구직렬회로의 두 전구를 비교할 때(15%)와 전구 직렬회로에서 -극에 연결된 전구와 전구병렬회로에 연결된 전구를 비교할 때(6%) 관찰되었다.

여러 가지 전기회로

이 부분은 약간 복잡한 회로에서 전구의 밝기를 묻는 두 문항과 (그림 2), 전선에 대한 이해를 조사하기 위한 두 문항으로 이루어져 있다(그림 3).

복잡한 회로는 교과서에 나오는 회로, 또는 그와 유사한 회로로서 전구가 직렬, 또는 병렬로 더해졌을 때 전류의 흐름에 대해서 정성적으로 이해하고 있으면 답할 수 있는 문제이다. 학생들은 이 회로들을 대단히 어려워했으며, 정답율도 0-3% 정도로 낮다.

그림 2-a의 ②번 전구에서 60%, 2-b의 두 전구에서 64%, 그리고 3-a의 ②번 전구에서 43%의 학생들이 전구나 전선이 바로 옆에 더해지기만 하면 밝기가 감소한다고 응답해서 전구의 병렬 연결에 대한 이해도가 매우 낮음을 다시 볼 수 있었다.

그림 3-a의 ①번 전구에서 40%, ②번 전구에서 26%, 3-b와c에서 39%의 학생이 전선을 연결하는 것은 전구의 밝기에 아무런 영향을 주지 않는다고 응답하고 있고, 정답율이 0-3%로 전선의 역할을 이해하는 학생의 수가 매우 적음을 볼 수 있다(Fredette and Clement, 1981).

복잡한 회로에서 관찰되는 전류에 관한 대안 개념을 살펴보면, 일정 전류 모형은 그림 2-a의 회로와 그림 2-b의 회로에서 각각 18%, 26%, 순차 전류 모형은 그림 2-a의 회로에서 32%의 응답에서 관찰되었다.

저항

이 범주에서는 기본 회로의 그림과 함께 못, 전선, 연필심, 전화선, 구리도막, 양초, 실, 건전지 등 여러 가지 물건의 그림이 보기에 제시되었다. 질문은, 기본회로에서 전선을 대신 할 수 있는 물건을 묻는 문항과, 기본회로에 전구와 직렬로 연결해서 전구를 어둡게 만드는 물건을 묻는 문항, 두 부분으로 되어 있다.

저항의 경우 교육과정에 제시되지 않았음에도 불구하고, 비교적 높은 정답율(36-69%)을 보여주고 있다. 학생들은 전구가 어두워지는 이유에 대해서 "전기가 잘 통하지 않는다", "전류의 힘이 약하다", "전기가 조금씩밖에 흐르지 않는다" 등 어느 정도

올바른 개념을 가지고 있는 것으로 추정할 수 있는 표현들을 사용했다.

3. 응답유형과 교과서 비교

위에 정리한 다섯 범주에서 학생들의 응답유형, 특히 학생들이 어려움을 나타낸 부분을 중심으로 5차와 6차 교육과정을 비교하였다. 다음 <표 2>는 그 비교 분석 결과이다.

전구에 불켜기

교과서에 제시된 불이 켜지는지를 묻는 8가지 그림 중 +극과 -극이 연결되어 있는 회로가 4개 있는데 모두 불이 들어오는 회로이다. 즉, +, -가 연결되어 있으면서도 전구에 불이 들어오지 않는 회로의 예는 없다. 그러므로, 학생들은 +극과 -극이 연결만 되면 불이 들어온다고 생각할 수 있다. 그리고, 문장 내용에서도 불이 들어오는 조건으로 "전지의 한쪽에서 다른 쪽까지 끊어진 부분이 없이 이어져 있어야 합니다"라고만 제시되어 있으므로 학생들이 고리 개념 외에 전기회로의 기본적인 성질인 두 단자를 통해서 이어져야 한다는 개념을 형성하기에 미흡한 것으로 생각된다.

또한 불이 켜지는지를 묻는 8가지 그림 중 (+)극의 구조를 묻는 문항만 제시되어 있으며 교사용 지도서에 실린 그림에서 건전지의 -극은 모두 중앙에만 연결되어 있다. 43%라는 많은 학생들이 건전지의 음극이 한 가운데 연결되어야 한다고 응답하고 있으므로 이 부분에 대한 보완이 절대적으로 필요하다.

전구의 경우 전구의 구조와 소켓의 구조를 각각 비교적 상세하게 제시하고 있지만, 소켓을 끼웠을 때 전선의 흐름도가 구체적으로 제시되지 않았으며 전구의 구조와 소켓의 구조를 비교하는 활동 없이 소켓의 구조를 한 번 제시한 후 모든 회로도에 소켓을 끼운 전구만이 제시되어 있다. 그런데 소켓을 끼운 전구의 모양이 두 개의 전선이 모두 꼭지쇠의 끝부분에 연결된 그림 1-b의 모양과 유사해서 꼭지쇠와 소켓의 구조와 역할에 오해를 일으킬 수 있다. 이 문항에 대한 학생의 정답률은 11%로 매우 낮아서 이러한 우려를

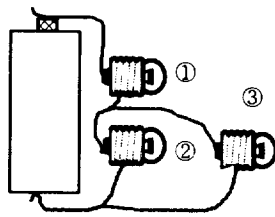


Fig. 2-a

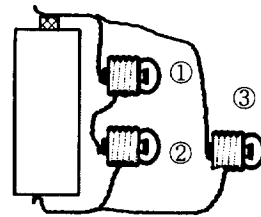


Fig. 2-b

Fig. 2. A bulb is added to a circuit with two bulbs in series. What happens to bulbs ① and ②? Does it become brighter, dimmer, or stay the same?

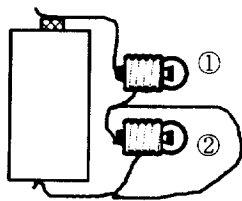


Fig. 3-a

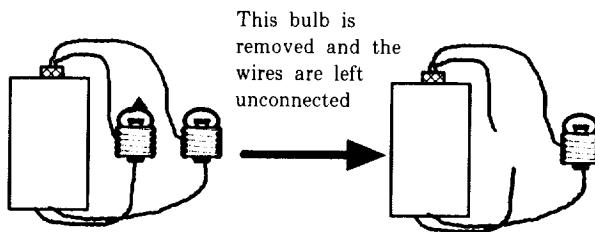


Fig. 3-b

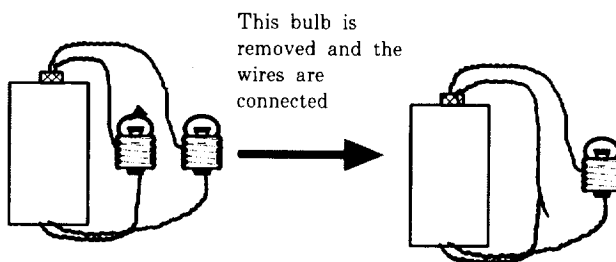


Fig. 3-c

Fig. 3. Sample items for various circuits. Students were asked what happened to the brightness of the bulbs in the circuits when the changes were made as shown in the figures.

뒷받침한다.

전지의 연결

6차 교육과정에서는 전지의 직렬, 병렬연결내용은 1.5차시에서 1차시로 축소되었으며 대신 전지를 아껴 쓰는 방법과 다 쓴 전지는 어떻게 해야 하는지 등의 환경문제를 새롭게 다루고 있다.

기본-전지 직렬, 기본-전지병렬, 전지직렬-전지병렬회로에서 전구 밝기 비교가 5차 교육과정에서는 각각 1쪽(0.5차시) 분량이다. 한편 6차 교육과정에서는 전지직렬-전지병렬의 비교는 그대로 1쪽인데 기본-전지직렬, 기본-전지병렬회로의 비교가 1쪽에 같이

제시되어 있다. 학생들이 더 어려워하는 부분에 대한 차시가 오히려 줄어들었다. 학생들이 그다지 어려워하지 않는 개념이라 할 지라도, 초등학교 3학년 수준에서 1페이지에 1개의 개념 및 실험이 제시되는 것과는 다르게 이 경우만 1페이지에 두 개의 실험이 동시에 제시되고 있어서 초등학생들에게 다소 부담이 될 것으로 생각된다. 그리고 학생들은 전지의 개수만 세고 연결에 주의를 기울이지 않는 경향이 있으므로 전지의 연결 상태를 더욱 강조할 필요가 있다.

전구의 연결

4학년에서 다루어지는 전구의 직렬, 병렬연결에서

Table 2. Comparison of textbook content of 5th and 6th curriculum and suggestions based on the students responses

categories	comparison of 5th curriculum and 6th curriculum
lighting up a bulb	<ul style="list-style-type: none"> • Not much difference between 5th and 6th • In all examples where + and -sides of battery were connected, the bulbs light. Therefore it is necessary to have examples where + and -sides of battery were connected but the bulb does not light. • The structure of a bulb, a socket and a battery needs to be dealt more explicitly in relation with proper connection for current to flow: each element has two ends so the current comes in and then out.
connection of the batteries	<ul style="list-style-type: none"> • This content was reduced in 6th curriculum(from 1.5 to 1.0 class period). • In 5th, each comparison of circuits with batteries in series-basic, batteries in parallel-basic, batteries in series-batteries in parallel is dealt in 0.5 class period. • In 6th, comparison of batteries in series-batteries in parallel is dealt first in 0.5 class period and the other two comparisons are dealt in 0.5 class period. • In 6th, proper use of batteries is added regarding environment protection.
connection of the bulbs	<ul style="list-style-type: none"> • In 5th bulbs in series and parallel are covered first then mixed connection of batteries and bulbs are covered. • In 6th, bulbs in series and parallel are omitted and the unit starts with mixed connection of batteries and bulbs. • Circuits with motors in place of bulb are used to explain application of various circuits. Motors with different connection of batteries are used but not with different connection of bulbs.
mixed circuit	<ul style="list-style-type: none"> • In 5th the same circuits as in the Fig.2 is used while it is dropped in 6th. Instead other elements such as bell, motor, etc were added. • In 5th the term "path of electric flow" is used 13 times while it is used 4 times in 6th. Model building is weaker in 6th.
resistance	<ul style="list-style-type: none"> • 3rd grade textbook has "conductor and insulator" concept and 8th grade textbook introduces Ohm's law after the study of the voltage and current in "electricity and magnetism" unit.

의 전구의 밝기를 비교하는데 동일하게 직렬, 병렬의 개념으로 설명하였으나 제시하는 순서에 있어서는 5차 교육과정과 6차 교육과정에서 차이를 보이고 있다. 5차 교육과정의 경우 전구의 직렬, 병렬연결을 다룬 후 전지와 전구의 혼합연결, 병렬연결을 다룬 반면 6차 교육과정에서는 전구의 직렬, 병렬 연결의 제시 없이 전지와 전구의 혼합 연결, 병렬 연결을 제시하고, 대신 전구대신에 대체 도구로서 전동기가 연결된 회로가 다루어진다. 그런데 전동기에서도 전지의 직렬, 병렬 연결방식에 따른 전동기의 속도는 다루었지만, 전구의 직렬, 병렬 연결에 해당하는 전동기의 직렬, 병렬 연결방식에 따른 전동기의 속도에 대한 언급은 하지 않고 있다. 따라서, 전반적으로 6차 교육과정에서는 전지의 연결방식에 대한 전구의 밝기 및 전동기의 속도를 자세히 다룬 반면 학생들이 상대적으로 어려워하고 있는 전구의 연결방식에 따른 밝기에 대해서는 부분적으로 제시하거나 논리적인 단계가 부족하게 제시하고 있다고 생각된다.

이미 서술한 바와 같이 학생들은 전지의 연결보다 전구의 연결을 더 어려워한다. 그리고, 전지의 연결에서는 전지의 개수에 관심을 기울인 학생이 상당수 되는데(57-69%) 전구의 연결에서는 개수를 세는 학생도 적고(34%), 전지의 연결에서 볼 수 없었던 “같은 전지에 같은 전구이므로 같다”는 단순한 수준의 대답이 상당한 비율(14-43%)을 차지하고 있다. 그러므로 전구의 연결은 전지의 연결보다 더 많은 시간을 할애하고, 연결에 주의할 것을 더욱 강조할 필요가 있다. 또한 전동기와 같은 대체 도구도 전지의 연결보다는 전구의 직렬, 병렬연결에 대한 이해를 보완 하도록 고려할 필요가 있다.

전지와 전구의 연결과 관련하여 직렬, 병렬의 용어는 등장하지만, 왜 그러한 연결의 변화가 전구의 밝기에 변화를 일으키는지 설명할 수 있는 적절한 모형은 교과서에서 제시하지 않는다. 학생들은 이런 연결의 경우가 저런 연결의 경우보다 밝다 또는 어둡다고 암기할 수밖에 없다. 그런데 전구의 밝기를 설명하기 위해서 문항에 따라 적게는 20%에서 최고 54%까지의 학생들이 모형을 시도한 것을 보면, 학생들은 스스로, 또는 교사의 설명에 의해 모형을 만들고 있는

것으로 추정된다. 그러나 이러한 모형들은 옳지 못한 것이 대부분이었다. 그러므로 학생들이 이해할 수 있고, 사용할 수 있는 전류의 흐름에 관한 모형을 제시해 주는 것이 더 바람직하다고 생각된다(Eylon and Gniel, 1990; Thacker, 1999). 예를 들어 병렬로 전구가 더해지면 빨대 여러 개를 같이 물고(병렬 연결) 음료수를 마시는 것같이 총 전류는 증가하지만 각 빨대를 통과하는 음료수의 양은 변화가 없으므로 각 전구의 밝기는 변화가 없다는 식의 단순한 모형을 생각해 볼 수 있다. 이 모형에서 직렬연결은 빨대를 길게 연결하는 것이 된다. 이 수준의 모형은 그다지 어렵지 않고, 중학교의 옴의 법칙과 등가저항의 개념과도 연결이 된다.

여러 가지 전기회로

5, 6차에서 동일하게 4학년에서 “전기가 흐르는 길”이라는 용어를 도입하여 전구의 켜짐과 꺼짐을 설명하려는 반면, 6학년 “전류와 자기장” 단원에서는 사전 설명이나 정의 없이 “전류”라는 용어를 도입하고 있다. 용어의 일관된 사용과 새로운 용어의 도입 시기와 도입방법에 대한 연구가 필요하다고 하겠다. 위에서 제안한 모형의 도입은 이 부분과도 연결이 된다. 단순한 전구의 직렬, 병렬 연결을 설명하는데 모형이 필요하다면, 이 범주의 약간 복잡한 회로들을 모형 없이 설명하는 것은 더욱 어렵다. 위에 들은 빨대 모형은 가능한 한 가지 예일 뿐이며, 초등학생에게 적절한 모형의 개발과 도입을 위한 연구가 필요하다.

저항

저항과 관련하여, 초등학교 단원에서는 5차와 6차 모두 3학년에서 “도체와 부도체”의 개념만을 다루었으며 구체적인 저항개념은 중학교 2학년 “전기와 자기”단원에서 설명하고 있다. 학생들이 저항개념에 대해서는 비교적 높은 정답율을 보인 것을 감안할 때 저항개념을 도입하는 시기를 중학교 2학년까지 늦추어야 하는지 검토할 필요가 있다. 또한 전류에 대한 모형을 개발할 때, 저항의 개념과 정성적인 연결이 있는 것이 더 바람직할 수 있다.

VI. 결론 및 제언

전기관련 대안개념에 관한 연구를 현장에서 사용하는 교과서의 내용개선과 연결시키려는 동기에서 초등학교 전기단원을 분석하고 초등학생의 전기회로에 대한 이해도를 조사하였다. 먼저 학생들의 응답유형을 이 연구에서 사용한 다섯 가지 범주에 따라 요약하면 아래와 같다.

1. 전구에 불을 켜기 위해 "+극과 -극이 연결만 되면 회로에 불이 들어온다"는 불완전하고 견고한 회로개념을 가지고 있으며, 회로에 사용되는 회로소자들(전구, 전지)의 구조를 제대로 이해하지 못하고 있다.

2. 전지의 연결에서 학생들은 전지의 개수에 우선적으로 관심을 보이고 수가 같은 경우에만 연결상태에 주의를 기울인다. 따라서 전지직렬회로와 전지병렬회로간의 전구의 밝기를 비교하는 문항에서는 다른 전지연결간의 전구의 밝기를 비교하는 문항에 비해 상대적으로 높은 정당율을 보여주고 있다.

3. 전구의 연결에서도 전구의 개수를 우선적으로 세는 경향이 관찰되었으나, 전구의 연결상태에 관한 언급은 거의 관찰되지 않았고, 따라서 전지의 연결에 비교해서 이해도가 낮았다. 설명을 위해 "전류, 에너지, 전지의 양, 힘, 밝기, 에너지 흐름, 전류의 길, 전력, 전력 소모" 등 다양한 표현이 관찰되었는데, 적절하게 사용된 경우는 아주 적었다.

4. 여러 가지 전기회로에서 학생들은 매우 낮은 정당율을 보여주고 있는데, 전구의 연결에 대한 이해도가 낮으며, 전선의 역할에 대해서도 제대로 이해하지 못하는 것으로 나타났다.

5. 저항의 경우 적지 않은 학생들이(36-69%) 높은 정당율을 보여주고 있으며 불완전하지만 어느 정도 올바른 개념을 가지고 있다.

이와 같이 학생들은 전지의 여러 가지 연결 및 저항부분에서는 상대적으로 높은 정당율을 보여주고 있지만 그 외 대부분 올바르지 못한 개념을 가지고 있다. 이러한 학생들의 응답유형을 바탕으로 교육과정을 분석한 결과 다음과 같은 사항들을 제언한다.

1. 단순한 고리개념뿐 아니라 회로소자(건전지, 전구, 소켓 등)의 구조와 관련지어서 좀 더 조직적으로 불이 들어오는 조건을 제시하는 것이 필요하다.

2. 개념적으로 어려워하는 전구의 직렬, 병렬 연결에 대한 설명이 강화되어야 하고 전구의 밝기 문제에 대한 설명체계의 강화가 필요하다. 현재 교과서에서 사용한 "전기가 흐르는 길"이라는 개념은 학생들이 전기회로를 이해하는데 충분하지 않으며, 여러 가지 연결에 따라 흐름의 세기를 설명할 수 있는 모형의 도입이 필요하다. 즉, 전기가 흐른다 또는 흐르지 않는다는 수준의 개념에서 한 단계 더 나아가 연결에 따라 흐르는 양이 변화하고, 그에 따라 전구의 밝기가 변한다는 정도의 정성적인 설명을 할 수 있는 모형이 필요하다고 하겠다.

3. 상당수의 학생들은 "전기가 통하기 어렵다"는 정도의 단순하지만 올바른 "저항"개념을 가지고 있다. 전류라는 이름의 도입과 마찬가지로 전기를 통하기 어렵게 하는 물질의 성질을 "저항"이라고 부른다는 것은 이미 갖고있는 개념에 대해 적절한 이름을 주는 것이므로 학생의 학습에 도움이 될 수 있다. 그리고 위에서 언급한 전류에 대한 모형을 개발할 때, 저항의 개념이 같이 사용되는 것이 더 바람직할 수 있다. 따라서 "저항" 개념을 초등학교 수준에서 전류와 함께 적절히 도입할 수 있는 모형의 개발과 도입에 대한 연구가 요청된다.

참 고 문 헌

권재술, 최병순, 허명(1987a). 중학교 과학과 교육과정 및 운영진단 (I)-교육과정 목표 및 목표도달도. 한국과학교육학회지, 7(1), 53-68.

권재술, 최병순, 허명(1987b). 중학교 과학과 교육과정 및 그 운영진단 (II) -지적발달수준과 학업성취도. 한국과학교육학회지, 7(2), 1-14.

권재술, 안수영 (1989). 대학생들의 물리 개념 오인에 관한 연구. 물리교육, 7(1), 26-41.

권재술(1994). 학교과학교육의 과제와 과학교육연구의 방향. 한국과학교육학회지, 14(1), 103 - 108.

- 김문수, 정영란(1997). 확산과 삼투개념에 관한 학생들의 이해도 및 오개념의 원인으로서의 교과서 분석. 한국과학교육학회지, 17(2), 191-200.
- 김미옥, 정영란(1995). 고등학교 생물 세포단위의 개념도에 의한 분석. 한국과학교육학회지, 15(2), 213-222.
- 김성원, 진유정 (1997). 교사들에 의한 공통과학 교과서 평가와 수업내용 현황. 한국과학교육학회지, 17(4), 405-414.
- 김영민, 박승재 (1990a). 대학 입학생의 전류에 대한 개념과 관련현상의 수용형태 조사. 물리교육, 8(1), 40-50.
- 김영민, 박윤희, 박승재 (1990b). 중학생의 전류에 대한 학습 전 개념과 관계 현상 관찰 후의 설명. 한국과학교육학회지, 10(1), 47-55.
- 김진용, 정완호, 허명(1993). 한국의 국민학교 자연 교과서와 SCIIS의 탐구활동 비교분석. 한국과학교육학회지, 13(1), 56-65.
- 김현재, 김광수, 김성태 (1992). 국민학교 학생의 전기에 대한 개념 분석과 지도 효과. 한국초등과학교육학회지, 11(2), 123-139.
- 김현태, 조동산(1987a). 고등학교 에너지 교육을 위한 물리교과과정의 비교연구. 한국과학교육학회지, 7(1), 33-40.
- 김현태, 조동산(1987b). 고등학교 에너지 교육을 위한 교육과정 모형 개발. 한국과학교육학회지, 7(1), 40-52.
- 김효남(1992). 미국 초등과학 교과서 내용 분석. 한국과학교육학회지, 12(3), 119-128.
- 문충식, 권재술 (1991). 전류에 관한 학생들의 오인 유형 변화의 종단적 연구. 한국과학교육학회지, 11(1), 1-14.
- 박승재(1988). 과학교육과정 “내용”의 연구모형. 한국과학교육학회지, 8(2), 65-72.
- 박시현, 우종욱(1994). 한일 국민학교 자연교과서 삽화 비교연구. 한국과학교육학회지, 14(1), 58-69.
- 박종석, 조희형(1986). 고등학생들의 유전에 대한 오인의 확인 및 유전학 지도방향. 한국과학교육학회지, 6(2), 35-42.
- 박종석, 정병훈, 박승재(1998). 1895년부터 1915년까지 과학 교과서의 발행, 검정 및 사용에 관련된 법적 근거와 사용승인 실태. 한국과학교육학회지, 18(3), 371-382.
- 서동욱, 정진우(1994). 국민학교 자연과 교육목표의 일관성 분석 연구. 한국과학교육학회지, 14(3), 321-329.
- 여성희(1998). 초중등 학교 과학 교과서(생물영역) 식물 분류체계에 관한 연구. 한국과학교육학회지, 18(4), 635-642.
- 여성희, 장남기(1998). 초중등 교과서에 나타난 식물 학습 소재 분석 II-생물영역 외 타교과 중심으로. 한국과학교육학회지, 18(3), 451-458.
- 우종욱, 정완호, 권재술, 최병순, 정진우, 허명 (1992). 국민학교 자연교과서 개발 체제 분석 및 평가연구. 한국과학교육학회지, 12(2), 109-128.
- 이경훈, 황인호, 우종욱(1987). 고등학교 지구과학 수업목표 상세화 연구. 한국과학교육학회지, 7(1), 89-104.
- 이규석(1993). 공통과학 교육과정의 연구. 한국과학교육학회지, 13(2), 198-209.
- 정건상, 허명(1990). 제 5차 교육과정에 따른 고등학교 과학 I(상) 생물교과서의 탐구활동에 대한 분석. 한국과학교육학회지, 10(1), 77-94.
- 정완호(1978). 고등학교 생물과 교육과정의 변천에 관한 연구. 한국과학교육학회지, 1, 15-28.
- 조희형(1985). 고등학교 생물과정에 필요한 기본 개념의 확인 및 결정. 한국과학교육학회지, 5(1), 11-17
- 조희형, 이문원, 조영신, 한인숙(1988). 중등학교 과학교육의 내실화 방안에 대한 연구: 과학교육과정. 한국과학교육학회지, 8(2), 1-16.
- 최경희(1997). 중학교 과학 교과서에 포함된 과학-기술-사회(STS)내용 활동 유형 및 포함정도 분석. 한국과학교육학회지, 17(4), 425-433.
- 최경희, 조연순, 조덕주(1988). 창의적 문제해결력 신장을 위한 중학교 과학교육과정 연구-현행교육

- 과정과 수업현장 분석을 중심으로. 한국과학교육학회지, 18(2), 149-160.
- 최병순, 허명(1987). 중학생들의 인지수준과 과학교과 내용과의 관계분석. 한국과학교육학회지, 7(1), 19-32.
- 최승일, 조희형(1987). 고등학교 생물 I의 세포분열, 생식, 수정 개념에 대한 오인분석. 한국과학교육학회지, 7(1), 1-18.
- Cohen, R., Eylon, B., and Ganiel, U. (1983). Potential difference and current in simple electric circuits: A study of students' concepts. *American Journal of Physics*, 51(5), 407-412.
- Cosgrove, M. (1995). A Study of Science-in-the-making as Students Generate an Analogy for Electricity. *International Journal of Science Education*, 17(3), 295-310.
- Eylon, B. S. and Ganiel, U. (1990). Macro-Micro Relationships: The Missing Link between Electrostatics and Electrodynamics in Students' Reasoning. *Int. J. Sci. Educ.*, 12, 79-94.
- Fredette, N. H. and Clement, J. J. (1981). Student Misconceptions of an Electric Circuit: What Do They Mean?. *Journal of College Science Teaching*, March, 280-285.
- Heller, P. M. and Finley, F. N. (1992). Variable Uses of Alternative Conceptions: A Case Study in Current Electricity. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(3), 259-275.
- Idar, J. and Ganiel, U. (1985). Learning Difficulties in High School Physics: Development of a Remedial Teaching Methods and Assessment of its Impact on Achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(2), 127-140.
- Miller, R. and King, T. (1993). Students' Understanding of Voltage in Simple Series Electric Circuits. *International Journal of Science Education*, 15(3), 339-349.
- Shipstone, D. (1988). Pupil's understanding of Simple Electric Circuits. *Physics Education*, 23, 92-96.
- Thacker, B. A., Ganiel, U., Boys, D.(1999). Macroscopic phenomena and microscopic processes: Student understanding of transients in direct current electric circuits. *American Journal of Physics*, 67(7), S25-S32.