

전류와 관련한 내용에 대한 교육과정에서 검토해야 할 사항

김중복*

한국교원대학교 물리교육과, 충청북도 363-791

Reconsideration of Curriculum Related to Current

Jung Bog Kim*

Department of Physics Education, Korea National University of Education, Chungbuk 363-791, Korea

요약

본 논문에서는 전류와 관련한 우리나라의 과학 교육 과정 중에서 문제가 되는 부분들을 미국의 교과서와 비교를 통하여 제기하고 이를 해결하기 위한 방안을 제안한다. 대표적으로 문제가 되는 부분은 “정전기” 단원이다. 7학년의 정전기 단원은 5학년의 “전기 회로”와 9학년의 “전기” 단원들 사이의 연결 고리이다. 정전기 단원에서 전류 개념이 도입되고 사용되어야 하는 이유와 정전기 단원이 전류 단원을 교육하는데 어떻게 다리 역할을 하는지에 대하여 해설하고자 한다. 또한, 직병렬 연결에서 단회로 개념의 중요성에 대하여 해설하고자 한다. 마지막으로 전류 단원에서 고려하여야 할 몇 가지 사항들 즉 대전열에 금속이 들어가야 하는 문제, 건전지의 역할을 교육 과정에 넣어야 하는 문제 및 도체와 부도체의 구별에 대하여 논의하고자 한다.

주제어 : 교육과정, 전류, 정전기, 전기

서론

물리 영역 교육과정에서 전류만큼 중요한 자리를 차지하고 있는 것이 없는 것 같다. 그 이유는 전류가 없는 삶은 상상할 수 없기 때문일 것이다. 또한, 전류는 물리학에서 가장 완성도가 높다는 전자기학에서 이론적으로 취급될 수 있기 때문에 사물의 이치를 다루는 물리학의 범주에서도 너무나 중요한 자리를 차지하고 있다. 이러한 연유로 세계의 모든 국가에서는 초등학교부터 전류에 관한 내용을 교육과정에 도입하여 학생들을 가르치고 있다. 우리나라에서도 국가 교육과정이 도입된 이후로 한 번도 전류에 관한 내용이 빠진 적이 없다. 그러나 지금까지의 물리 관련 교육과정에서 전류 단원은 학생들을 가장 어렵게 하는 단원이라고 많은 교사들이 말하고 있는 것이 실정이다. 왜 그러하냐고 물으면 바로 나오는 답변이 눈에 보이지 않기 때문이라고 한다.

전류는 대부분의 경우에 전자의 이동에 의하여 흐르는 경우가 대부분이기에 전자의 이동을 눈으로 볼 수 있는 것이 아니다. 따

라서 학생들이 실감할 수 있도록 물 흐름과 같은 비유를 사용하여 전류 개념을 소개하고 있지만 학생들은 너무나 많은 오개념을 가지게 된다(권재술과 안수영, 1989; 김영민 등, 1990; 문충식과 권재술, 1991; Cohen et al., 1983; Cosgrove, 1995; Heller and Finley, 1992; Miller and King, 1993). 대표적인 오개념들로는 (1) 건전지에서 흘러나오는 전류의 흐름은 일정하다, (2) 전압의 개념보다는 전류의 개념이 우선적이다, (3) 전지에서 흘러나오는 전류가 회로에서 소비된다, (4) 두 개의 전구가 직렬로 연결되었을 때 전류를 나누어 가진다, (5) 전류가 전지의 양쪽 끝에서 뭔가 흘러나와 전구에서 부딪히기 때문에 전구에 불이 들어온다 등이다. 참 불행한 것은 과학교사와 예비 과학 교사들도 동일한 어려움과 오개념을 가지고 있다는 것이다(Shipstone, 1988). 전류에 관한 오개념을 지녔던 초등 교사들은 모순된 사실을 관찰한 후에도 또 다른 오개념으로 바뀌는 경향을 보인다는 연구 결과도 있다(김찬호, 1993). 이러한 오개념과 어려움을 해소하기 위한 노력들이 조금은 있었지만 학생들은 여전히 많은 학교 경험에도 불구하고 변화되지 않는다고 한다.

그렇다면 다른 접근 방법을 연구해보지도 않고 기존에 있었

*교신저자: jbkim@knu.ac.kr

•2009년 6월 12일 접수, 2009년 6월 29일 수정, 2009년 7월 10일 통과.

던 교육과정(국가 교육과정, 해설서 및 교과서를 총칭하기로 함)을 체제를 유지한 채 형식만 바꾸는 범위에서 전류에 관한 교육과정의 개편이 이루어진 이유는 아마도 변화를 싫어하는 관성 때문이 아닌가 싶다. 이러한 점에서 미국의 초등학교 교과서는 시사하는 바가 크다고 볼 수 있다. 왜 그들은 초등학교부터 전하를 소개하고 전류에 대한 정의를 한 후에 전기회로를 가르치는지에 대하여 심사숙고하여야 할 때라고 생각한다. 학생들이 어려워하는 전류 단원에 대한 바른 교육과정을 찾는 것은 쉽지 않을 것이다. 그러나 본 해설 논문에서 제안하는 것과 같이 좀 더 다양한 방법으로 학생들의 수준에 맞는 시범적 교수 학습 자료를 개발하여 학생들에게 투입하여 결과를 분석한 후에 교육과정이 개발되었으면 하는 바램으로 본 논문을 쓴다.

본 논문에서는 전류와 관련한 우리나라의 과학 교육 과정 중 에서 문제가 되는 부분들을 제기하고 이를 해결하기 위한 방안을 제안하고자 한다. 대표적으로 문제가 되는 부분은 “정전기” 단원이다. 7학년의 정전기 단원이 제대로 되어 있지 않기에 5학년의 “전기 회로”와 9학년의 “전기”의 사이의 연결이 이루어지지 않고 있다고 사료된다. 그림 1과 같은 상황 즉 전지에 전류계가 붙은 도선을 가져가면 도선에 미세한 전류가 흐르겠는가? 라는 질문에 많은 교사와 학생들은 전류가 흐르지 않는다고 답한다. 그 이유를 물어보면 폐회로가 되지 않았는데 어떻게 전류가 흐르느냐고 반문한다. 우리나라 교육과정을 정상적으로 밟은 사람들은 당연히 그렇게 말할 것이다. 그러나 정답은 전류가 흐른다 이다. 좀 더 정확하게 말하면 아주 미세한 전류 즉 전하의 이동이 일시적으로 있게 된다. 대부분의 학생들은 정전기와 전류를 아무 관계가 없는 것처럼 개념도를 그린다(전동렬 등, 2007). 이 역시 우리나라 교육과정을 정상적으로 밟은 학생들에게서 자연스럽게 나타나는 현상이다. 이러한 현상이 나타나는 이유는 정전기에 대한 교육이 전류와 완전히 분리되어 이루어지고 있기 때문이다. 그렇다면 하나의 질문이 생겨난다. 왜 전류 개념을 도입하기 전에 정전기를 먼저 다루는가? 이에 대한 답변을 찾고자 한다.



그림 1. 건전지와 전선으로 이루어진 회로에서 전류가 흐를지에 대한 질문.

본 해설 논문의 차례는 전류에 관한 내용에 국한해서 우리나라 중학교 교과서와 미국 초등학교 교과서를 비교하여 우리나라

교육과정에서 나타난 문제점에 대하여 살펴보고, 정전기 상황이 전류 개념 학습에 매우 중요한 다리(bridge) 역할을 한다는 것을 설명한 후에 그밖에 전류 관련 교육에서 고려해야 할 사항들을 기술하고자 한다.

우리나라 전류관련 교육과정의 문제점

2007년 개정 교육과정에서 7학년에 정전기 대단원이 새로이 도입되었다. 그러나 정전기 단원에서는 전류라는 용어의 사용을 극히 제한하고 있다. 초등학교 때 이미 도입되어 사용되고 있는 전류라는 용어를 사용하지 못하게 함으로써 금속(도체)에서 정전기 유도 과정에 나타나는 전하의 이동을 전류가 일시적으로 흐르는 것이라는 언급을 하지 못하게 하고 있다. 이러한 결과로 학생들은 정전기 상황과 전류가 흐르는 상황을 완전히 구별하여 서로 상관이 없는 것처럼 인식하고 있다.

2010년부터 본격적으로 도입이 될 개정 교육과정에서 전류와 관련한 해설서를 모아보면 다음과 같다 (교육과학기술부, 2007).

5학년 7단원 전기 회로에서

(가)전기회로를 꾸미는 방법을 설명할 수 있다.

전지와 전구를 전선으로 연결하여 전구에 불이 켜지는 조건을 찾아 보고 ‘전류’라는 용어를 도입하여 전구에 불이 켜지는 경우에는 전기회로에 전류가 흐르고 있음을 알도록 한다.

라고 밝히고 있으며 유의 사항에 다음과 같이 기록되어 있다.

전류개념은 9학년 ‘전기’ 단원에서 자세히 다루게 되므로 이단원에서는 ‘전구에 불이 켜지는 것은 전류가 흐르기 때문이다’와 같은 수준에서 ‘전류’라는 용어를 도입한다.

그러면서 내용 연계면에서는

이단원의 내용은 7학년 ‘정전기’ 및 9학년 ‘전기’와 연계된다.

라고 밝히고 있다.

한편 7학년 정전기 단원에서는

(내전하를 띤 두 물체 사이에 전기력이 작용함을 안다.

전하를 띤 두 물체 사이에 전기력이 작용함을 이해하게 하고 이때 두 전하의 종류에 따라 서로 잡아당기거나 미는 힘이 작용하게 됨을 안다.

(대전전기 유도 현상이 일어나는 과정을 설명할 수 있다.

정전기 유도에 의해 물체를 대전시켜 보고 이 현상이 일어나는 과정을 설명하도록 한다.

내용 연계 부분에서는 다음과 같은 내용이 서술되어 있다.

이 단원은 5학년의 ‘전기회로’, 그리고 9학년의 ‘전기’ 등과 연관된다. 이들 단원은 전하의 흐름인 전류에 대한 내용을 다루는 반면 **이 단원은 정지해 있는 전하에 의한 정전기 현상에 대해 다루고 있다.**

9학년 전기 단원에서는

(가)전류를 이해하고 전류가 흐를 때 전하가 보존됨을 안다.

전류란 전하의 흐름이며 도선에서는 실제로 전자가 전류의 방향과는 반대로 이동한다는 것을 설명한다. 또한 전류가 흐를 때 전하가 보존된다는 것을 알 수 있도록 한다.

7학년의 정전기 단원 내용 연계 부분을 보면 이 단원에서는 정지해 있는 전하에 의한 정전기 현상에 한하여 다루라고 되어 있으면서 내용에서는 도체에서 정전기 유도 현상이 일어나는 과정을 설명할 수 있어야 한다고 강조하고 있다. 이들은 서로 모순된 내용을 포함하고 있다. 즉, 정전기 유도 과정에서 전하의 이동이 있는데 정지해 있는 전하를 다루라는 것이다.

그림 2와 같은 상황을 생각해보자. 음으로 대전된 부도체를 검전기 금속판에 가까이 가져가면 위쪽 금속판에 있던 전자들이 아래쪽 금속판으로 내려가 금속박이 벌어진다. 좀 더 자세히 살펴보면 금속판에 있던 전자들이 옆으로 밀리고 옆의 전자들이 봉을 따라 아래쪽으로 밀리고 봉에 있던 전자들이 힘을 받아 내려가고 더 아래에 있던 전자들이 또 힘을 받아 내려가는 과정을 거쳐 금속박에 전자들이 쌓이게 된다. 이와 같은 설명은 학생들의 이해를 돕기 위해서 하는 것이지 정확한 것은 아니다. 대전체가 오면 검전기가 놓인 주변 전체에 전기력이 즉시로 나타난다. 즉, 금속판, 금속 봉 안에 있는 전자들이 거의 동시에 힘을 받게 된다. 대전체에 있는 전하들은 검전기의 금속 모든 부분에 있는 전자들에게 거의 동시에 힘을 작용하기 때문이다. 학생들은 전기장에 대한 개념이 형성되어 있지 않기

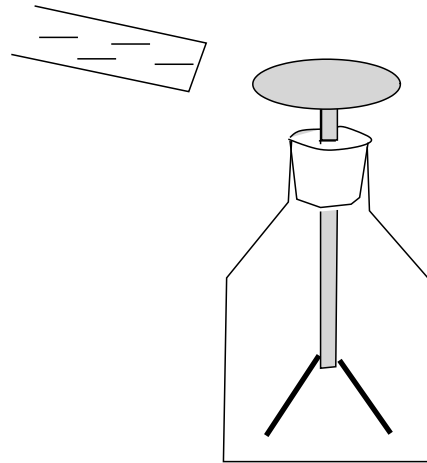


그림 2. 금속에서의 정전기 유도.

때문에 앞선 설명 방법을 도입해도 큰 문제가 없을 것으로 사료된다. 금속박에 도달한 전자들은 서로 척력이 작용하여 벌어지게 되면서 위쪽에서 내려오는 전자들이 어느 정도 이상 내려오지 못하도록 하는 역할도 한다. 따라서 금속 봉 안에 있는 전자들이 위쪽에서 아래쪽으로 미는 힘과 아래쪽에서 위쪽으로 미는 힘이 같아질 때까지 전자들이 이동한 후에 더 이상 움직이지 않는 평형상태에 도달한다. 이와 같은 상태에서는 전하(전자)들이 더 이상 이동하지 않는다. 정전기 상태라고 볼 수 있다. 물론 에보나이트 막대를 더 가까이 가져가면 다시 전자들이 힘을 받아 아래로 내려와 전하들이 재분포할 것이다. 이러한 과정을 금속에서 정전기 유도 현상이라 한다. 개정 교육과정에서는 학생들이 이와 같은 설명을 할 수 있어야 한다고 요구한다.

7차 교육과정을 반영한 교과서에서는 정전기 유도 부분에서 양전하와 음전하를 이용하여 음으로 대전된 대전체를 검전기에 가까이 할 때 검전기 내의 전자가 밀려 내려가는 현상에 대하여 잘 설명하고 있다(정완호 등, 2002). 이것은 전하의 이동을 고려한 과학적 설명이다. 이 과정에서 분명히 전류가 일시적으로 흐르는 상황이다. 그럼에도 불구하고 전류에 대한 정의나 소개는 전혀 없다. 이 교과서(정완호 등, 2002)에서는 전하의 이동에 대한 이야기는 끝을 내고 바로 전류란 무엇인가에 대하여 설명한다. **전류란 전기의 흐름이라고 한다.** 전하에 대한 소개나 정의가 없었으면 개념 형성 단계에서 이렇게 표현할 수 있을 것이다. 그러나, 바로 앞 절 정전기 유도에서 전하의 이동을 설명하면서 전하에 대한 소개도 하고 전기력 때문에 전하들이 이동한다는 설명도 한 상태에서 이와 같이 전류를 정의하는

것은 문제가 있다고 생각한다. 전기라는 용어는 포괄적인 용어라서 전류를 정의하는데 적절하지 않다. 반면에 같은 교육과정을 따르는 다른 출판사의 교과서에서는 정확하게 전하의 이동을 전류로 정의하고 있다(이광만 등, 2002). 개정 교육과정 내용 연계 부분에서는 전류라는 용어를 도입하는 것을 엄격하게 제한하고 있다.

정전기 단원을 9학년에 제대로 연계시키려면 정전기 유도 과정에서 도체 내부에서 전자들이 이동하는 것을 엄연히 전류가 흐르는 것으로 학생들이 볼 수 있어야 한다. 그 이유는 **전류는 단위 시간당 이동하는 전하량이라고 정의되기** 때문이다. 뿐만 아니라 한없이 한쪽으로 전자들이 이동하지 않는 이유도 함께 설명할 수 있어야 한다. 즉 한쪽으로 몰린 전자들 사이의 반발력에 대하여도 생각할 수 있어야 도체에서 정전기 유도 현상을 바로 설명할 수 있는 것이다. 이러한 점을 생각하지 않고 도체에서 정전기 유도현상을 설명하는 것은 또 다른 암기 방법을 제시하는 것에 불과할 것이다. 즉, 가까운 곳에는 반대 부호의 전하가 유도되고 먼 쪽은 같은 부호의 전하가 유도된다고 외우게 될 것을 쉽게 예상할 수 있다. 중학생들에게 일시적으로 흐르는 전류를 가르치지는 주장은 아니다. 전하의 개념 도입이 있고 전하들 사이에 힘으로 인하여 대전체들 사이에 전기력이 작용한다는 것을 알고 있는 학생들에게 도체 내에서 전자들이 자유롭게 이동하여 정전기 유도 현상이 발생하는 과정을 설명하면서 전하가 이동하는 현상을 전류가 흐르는 것이라고 알게 하지는 것이다. 분명히 7학년의 정전기 단원은 5학년과 9학년 사이에 연계가 되어 있다고 교육과정 해설서에 쓰여 있지만 현재로는 어떤 면에서 연계가 되어 있는지 전혀 알 수가 없다. 교육과정 해설서에서 기술한 것처럼 정전기 현상을 전하가 이동하지 않는 경우만을 지나치게 강조하다 보면 오히려 전하들의 이동을 다루는 5학년과 9학년을 연계시키는데 있어서 정전기에

대한 학습이 방해하는 역할을 할지도 모른다. 결과적으로 그림 3에 나타나 있는 것과 같이 정전기와 동전기로 완전히 분리된 개념을 형성하게 될 것이다.

9학년의 전류의 정의를 보면 일반 물리학에서 나와 있는 그대로 전하의 이동을 전류라고 정의하고 있다. 그런데 왜 전하가 이동하냐고 학생들에게 물으면, 우리나라 교육과정을 충실하게 따라온 학생들 중 거의 모든 학생들이 단원회로에서 건전지의 전압이 전류를 흐르게 하는 원인이 된다고 답할 것이다. 정전기는 일상생활에서 자주 경험이 되고 자주 언급되는 것이기 때문에 학생들에게 매우 친숙한 상황이다. 7학년 정전기에서 전하 사이에 힘이 작용하여 전기력이 나타난다고 배웠는데 9학년 교육과정을 따르는 대부분의 교과서에서는 전류 즉 전하가 이동하는데 또 다른 전하가 밀거나 당기기 때문에 이동한다는 과학적 사실은 배제하고 건전지가 마치 마술지팡이인 것처럼 서술하고 있다. 일반 물리학을 배운 교사들의 경우에 왜 회로에서 전하(전자)가 이동하느냐고 물으면 도선을 따라 전기장이 형성되기 때문이라고 말하는 교사를 흔히 볼 수 있다. 건전지 전압이 전기장을 만든다고 생각하지만 전기장의 근원이 전하라는 것과 연결하여 생각하는데까지는 도달하지 못하고 있는 실정이다. 물론 시간에 따라 변하는 자기장이 전기장을 만들기도 하지만 이러한 것을 여기서 생각하는 것은 아니다. 대학교 일반 물리학의 교육과정을 보자. 어느 책이나 할 것 없이 전하 사이의 힘 즉 쿨롱의 법칙을 먼저 이야기한다. 두 개의 전하가 있으면 서로 힘을 작용하고 따라서 이동하게 되는데 이것을 전류라고 말할 수 있을 것이다.

한편 미국에서 사용되고 있는 초등학교 4학년용 교과서를 보면 우리의 것과 확실하게 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 그림 4는 초등학교 책의 일부들이다. 먼저 정전기 상황에서 전하들을 소개한 후에 전하들 사이에는 전기력이 나타난다는 내용을 설명한다. 그 이후에는 전하의 이동이 전류라는 과학적인 정의를 분명히 쓰고 있다(Bell et al., 2006; Badders et al., 2007).

또한 우리나라 초등학교 교과서에서는 전구의 불켜기 단원에서 단원회로가 되어야 전구에 불이 켜진다고 소개한 후에 직렬연결과 병렬연결에서 전구의 밝기 비교를 관찰하도록 하고 있다. 전류에 대한 개념도 없는 학생들에게 직병렬 연결을 가르치고 있는 실정이다. 직병렬을 가르치지 말자고 주장하는 것은 아니다. 현상을 관찰하고 암기하는 식으로 교육이 이루어진다는 것이 문제라는 것이다. 사실 전구에 불켜기 단원에서는 전구와 건전지가 전선에 의하여 단원회로가 되었을 때 전구가

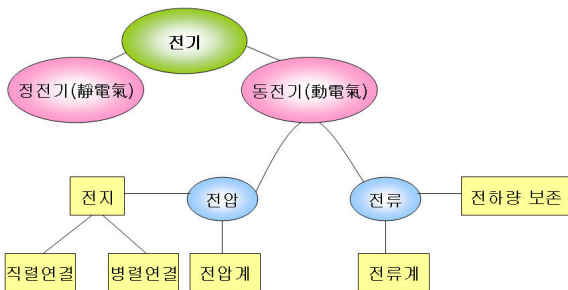


그림 3. 8학년 전류 전압 단원의 주요 개념.

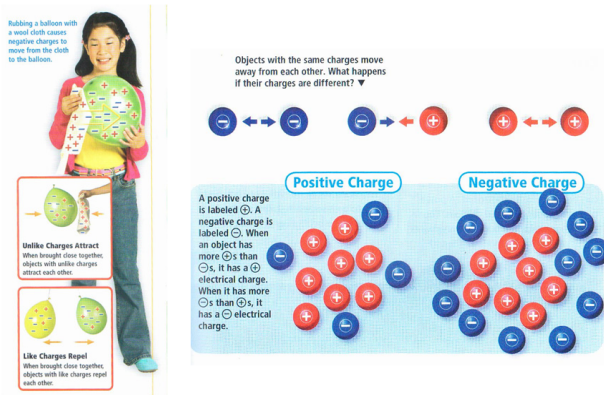


그림 4. 미국 초등 4학년 교과서에 나타난 전하에 대한 소개와 전하의 흐름이 전류라는 정의.

켜진다는 것을 아는 것이 중요할 것이다. 그렇다면 직렬연결과 병렬연결에서도 닫힌회로 관점에서 교육이 이루어져야 한다고 생각한다. 이것은 각 회로에서 전구를 하나씩 빼보면 쉽게 이해할 수 있다. 즉, 직렬연결에서는 전선을 따라 가면서 전구가 빠진 곳에서 더 이상 전류가 흐를 수 없기 때문에 다른 전구가 켜질 수 없다는 것을 학생들이 아는 것이 중요하다. 또한 병렬 연결에서는 전구가 빠진 곳으로는 전류가 흐르지 못하지만 다른 전구를 통해서 닫힌회로가 되어 전류가 잘 흘러 전구가 켜지는 것을 알도록 하는 교육이 이루어져야 할 것이다. 현재는 전선이 갈라지느냐 안 갈라지느냐, 전류가 나누어지느냐 안 나누어지느냐와 같은 점에 착안하여 설명하고 있어(교육인적자원부, 2002) 전선의 연결 모습을 바꾸었을 때 많은 학생들이 올바른 답을 하는데 어려움을 가지고 있다. 도선의 모양을 가지

Current Electricity

Static electricity is one form of electricity. Another form is **current electricity**, or a steady stream of charges. In current electricity, an electric current moves through a material such as a copper wire.

Current electricity is more useful to people than static electricity because it can be more easily controlled. A power plant produces a flow of charges. The plant then sends the current along wires

고 직병렬을 결정하도록 하는 것은 학생들에게 많은 어려움을 줄 소지가 다분하게 있다.

한편, 건전지의 병렬연결을 초등학교 교육과정에서 다루는 것은 적절한지 다시 한 번 고려하여 보아야 한다. 건전지의 병렬연결은 더 오랜 시간 동안 사용하는 것 외에는 별 내용이 없다. 물론 전압이나 전력 등을 가르치기 위한 것이라면 도입이 필요하겠으나 이러한 내용은 전혀 다루지 않은 상태에서 무엇을 목적으로 이러한 내용을 넣는지 잘 이해가 되지 않는다. 전구의 연결과 전지의 연결을 외우기 위해 학생들이 얼마나 고생이 많은지 헤아릴 필요가 있다. 굳이 하려면 전구에서 했던 것처럼 건전지를 하나씩 뺏을 때 닫힌회로가 되어 전류가 흐를 수 있을지 없을지를 판단하는 능력을 키우는 것은 적절하다고 생각된다. 직병렬 연결은 닫힌회로가 되는지 안 되는지에 대해



그림 5. 미국 초등학교 교과서에 나타난 전구의 직렬연결과 병렬연결에서 전구를 뺏을 때 전류가 흐르는지 판단하여 닫힌회로에 대한 개념을 형성하는 그림.

여 가르치는 것이 우선순위에 있어야 한다. 그리고 나서 전선이 나누어지는지를 관찰하도록 하는 것이 좋을 것이다. 그림 5는 미국 교과서에서 이 부분에 대하여 다룬 내용이다. 직렬과 병렬연결에서 전구 하나씩을 뺐을 때 다른 전구에 불이 켜지는지를 관찰함으로써 회로에 전류가 흐르려면 닫힌회로가 되어야 한다는 개념을 갖도록 하는 것이 중요하다는 것을 알 수 있다.

전류에 대한 정의를 전하와 전기력에 대한 소개가 있는 정전기 단원 즉 정전기 유도에서 할 필요가 있으며, 전류 즉 전하의 이동을 야기하는 근원은 또 다른 전하라는 점을 분명히 한 후에 전압과 전기장 등의 개념이 소개될 필요가 있다. 초등학교 교육과정에서는 닫힌회로와 열린회로의 개념을 통하여 직렬연결과 병렬연결의 차이점을 학습하는 내용을 주된 내용으로 하는 것이 바람직하다.

정전기는 전류 학습에 대한 가교 역할

우리는 서론에서 건전지에 전류계가 부착된 도선을 가져다 접촉했을 때 전류가 흐르는지에 대한 질문을 소개하였다. 올바른 답은 일시적으로 아주 작은 전류가 흐른다 이다. 건전지에 닿기 전에 도선 양단은 전기적으로 중성이어서 전위차가 없고 따라서 도선을 통하여 전하의 이동 즉 전류가 흐르지 않는다. 그런데 건전지에 도선을 접촉하면 상황은 달라진다. 이제 건전지의 음극 쪽과 도선의 오른 쪽 끝 사이에는 건전지의 전압과 같은 전위차가 존재하게 된다. 이와 같이 되는 이유는 정전기 상황 하에서 도체로 연결된 모든 부분은 등전위가 되도록 전하들이 재분포하기 때문이다. 그렇게 되려면 건전지의 양극에 있던 전하들이 일부 도선 끝으로 이동하여야 한다. 즉, 도선 끝 쪽으로 극히 작은 양이지만 전하들이 이동하여야 하고 이 과정에서 일시적인 전류가 흘렀다고 말해야 한다. 도선이 건전지의 양극과 같은 전위가 될 때까지 전하들이 이동할 것이다.

좀 더 이해를 돕기 위하여 그림 6(a)와 같은 상황 즉 축전기에 건전지를 연결하여 충전하는 과정에 대하여 생각해 보자. 그림에서 스위치를 닫게 되면 축전기에 전하들이 쌓이게 된다. 스위치를 닫기 전에는 축전기의 각 금속판이 전기적으로 중성이다. 두 금속판 사이에는 전위차가 없다(이것도 엄밀하게 따지면 좀 복잡하지만 여기서는 편의상 없는 것으로 간주하자.). 그런데 스위치를 닫게 되면 금속으로 이루어진 도선을 따라 전하들이 이동한다. 정전기에서 배우는 매우 중요한 개념 중의 하나는 서로 금속으로 연결된 모든 부분이 등전위가 될 때까지 전하들이 이동한다. 즉, 건전지 양극에 연결된 도선, 축전기의 오른쪽 판은 모두 금속으로 연결되어 있기 때문에 등전위가 되도록 전하들이 재분포하게 된다. 건전지의 음극 쪽에 연결된 도선과 축전기의 왼쪽 판도 등전위가 되도록 전하들이 재분포한다. 물론 전하들이 이동하기 때문에 회로에는 일시적인 전류가 흐르게 된다. 사실 건전지가 축전기 금속판의 오른쪽에서 전자들을 왼쪽으로 옮기는 역할을 한다. 축전기의 금속판에 전하가 쌓일수록 왼쪽 금속판에서는 전자들 사이의 반발력이 커져 어느 이상은 전자들이 쌓이지 못하게 된다. 이때가 축전기 양쪽 금속판 사이의 전위차와 건전지 양쪽 극 사이의 전위차가 같아질 때이다. 따라서 건전지를 중심으로 오른쪽의 모든 금속 부분과 왼쪽의 모든 금속 부분 사이에는 건전지의 전위차와 같은 전위차가 측정된다. 실제로 전기 용량이 큰 축전기를 사용한 회로에 전구를 연결한 후에 스위치를 닫으면 전구가 일시적으로 켜졌다가 꺼지는 것을 볼 수 있다. 이것을 통하여 회로에 일시적인 전류가 흘렀다는 것을 눈으로 확인할 수 있다.

이제 그림 6(b) 상황을 설명하기 위하여 축전기 금속판의 크기를 줄여 나가 보기로 하자. 금속판을 아주 작게 만들어도 여전히 금속판에는 전하들이 충전될 것이다. 금속판의 크기를 도선의 굵기 만하게 해도 즉 금속판을 없애도 도선 양쪽 끝에는 전하들이 충전될 것이다. 이 전하들로 말미암아 건전지에서와

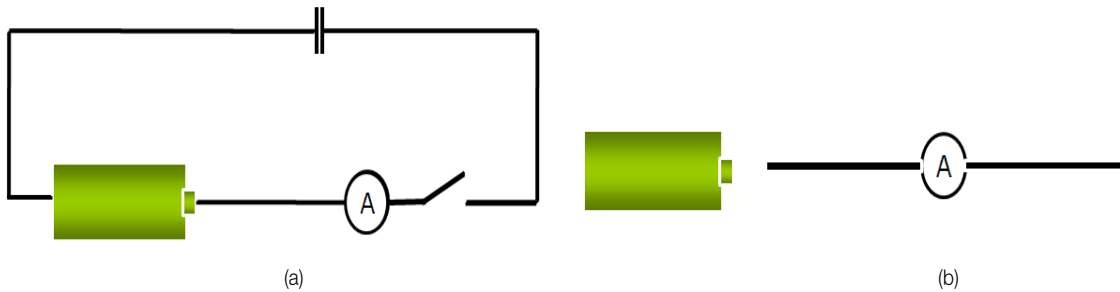


그림 6. (a) 축전기가 연결된 회로에서 전류의 흐름, (b) 도선만 연결되는 상태에서 전류의 흐름.

같은 전위차가 측정되는 것이다. 이제 왼쪽 도선을 조금씩 잘라 나가자. 그래도 여전히 도선 끝에는 전하들이 쌓일 것이다. 그러나 그 양은 현저하게 줄어든다. 드디어 왼쪽 도선을 없애 버리자. 그래도 건전지 음극 쪽과 오른쪽 도선 끝 사이에는 건전지의 전위차와 같은 전압이 측정되도록 오른쪽 도선 끝으로 전하가 이동할 것이다. 이제 그림 6(b) 상황에서 어떻게 전류가 흐르는지 알 수 있을 것이다. 일정한 전류가 흐르지 않는 상황, 어떻게 보면 정전기 유도 현상과 매우 흡사한 이 상황을 이해 하려면 전하들 사이의 전기력을 고려하는 것으로 잘 할 수 있는 것이다. 이때 흐르는 전류는 보통의 전류계로는 측정이 되지 않을 정도로 미세하다.

그림 7과 같은 문제에 많은 교사들이 틀린 답을 하는 것을 볼 수 있다(여미경, 2006). 많은 교사들은 전구 양단 즉 b,c 사이의 전압이 1.5V라고 답한다. 전하의 이동과 전하 사이의 힘을 제대로 생각하지 못하기 때문이라고 사료된다. 학생들도 비슷한 비율로 답하는 것을 볼 때 이러한 부분은 학생시절부터 고착된 오개념이 교사가 된 이후에도 그대로 유지된다고 볼 수 있어서 학생시절에 꼭 다루어야 할 중요한 개념이라고 사료된다. 사실은 닫힌회로가 아니기 때문에 일정한 전류가 흐르는 상황은 아니다. 그런데 일시적인 전하들의 이동이 있을 것을 예상할 수 있다. 그 이유는 건전지 오른쪽 도선은 금속이며 건전지 왼쪽 도선과 전구의 필라멘트는 모두 금속이기 때문에 도체로 연결된 부분들은 각각 등전위가 되도록 전하들이 재분포할 것이기 때문이다. 따라서 전구 양단의 전위차는 0V이어야 한다. 전구를 지나 연결된 도선의 끝에 양전하가 쌓여 왼쪽 모든 금속 내에서 전자들이 한쪽 방향으로 힘을 받지 않게 될 것이다. 오른쪽 도선의 끝에는 음의 전하 즉 전자들이 쌓이게 되어 오른쪽 도선 중간 내부의 전자들도 건전지 음극에 쌓인 전

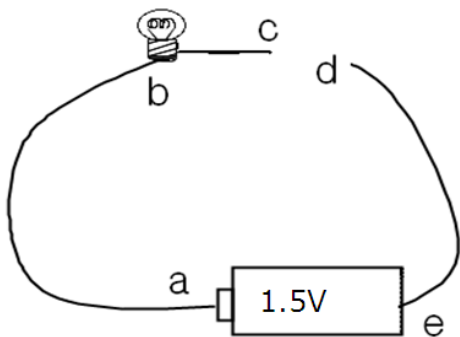


그림 7. 열린 회로에서 각 지점 사이의 전위차(전압)를 묻는 문제.

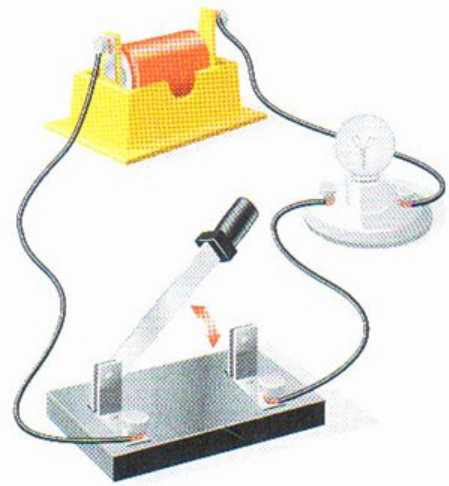
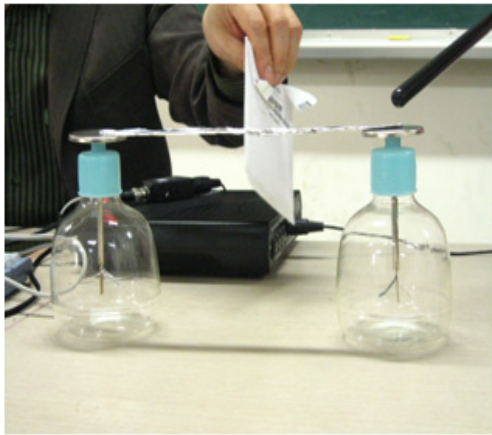


그림 8. 스위치가 열린 회로.

하가 미는 힘과 도선 끝에 쌓인 전하가 미는 힘이 같아 알짜 힘이 없게 될 것이다. 따라서 끊어진 도선 양단 끝 면에는 서로 반대 부호의 전하들이 쌓이게 된다. 따라서 도선 양단 즉 c, d 사이의 전위차는 1.5V로 측정될 것이다. 이 문제는 앞서 다루었던 문제와 정확하게 일치한다. 사실 이러한 상황이 인위적인 것이 아니다. 그림 8과 같은 회로에서 스위치를 연 상태는 바로 우리가 생각한 회로이기 때문이다. 스위치 끝과 오른쪽 도선 끝 사이에는 1.5V의 전위차가 측정될 것이며 그에 해당하는 전하들의 재분포가 있었을 것이다. 물론 스위치가 열린 상태에서 전구 양단의 전위차는 0V이다.

이제 정전기 상황을 이용하여 전류를 도입할 수 있는 아이디어를 제안하고자 한다. 사실 이와 유사한 상황을 7차 교육과정에 맞추어 집필한 교과서들 중 하나에서 언급하고 있다(이광만 등, 2002). 그런데 정전기 유도와 함께 전하의 이동을 고려하지는 않고 있기 때문에 여기서 자세히 설명하고자 한다. 그림 9(a)와 같이 두 개의 검전기를 알루미늄 호일이나 전선과 같은 도선으로 연결한 상태에서 대전된 막대를 한쪽 검전기 금속판에 가까이 가져간 상태에서 연결 도선을 부도체 젓가락(나무 젓가락)을 이용하여 제거한다. 그렇게 되면 대전체에 가까이에 있던 검전기는 대전체와 반대 부호의 전하로 대전되고 먼 쪽에 있는 검전기는 같은 부호로 대전된다. 따라서 두 검전기 사이에는 서로 다른 부호의 알짜 전하(전기적 중성에서 한쪽 부호의 전하량이 우세하여 대전된 상태)로 인하여 전위차가 생기게 될 것이다. 마치 건전지와 같은 역할을 두 검전기가 하게 될 것이다. 이제 치웠던 도선을 다시 부도체 젓가락을 이용하여 양



(a)



(b)

그림 9. 검전기를 이용한 전류 개념 소개 (a) 충전하는 단계, (b) 반대부호로 충전된 상태.

쪽 검전기 금속판을 연결하면 금속막이 오므라들게 된다. 그 이유는 서로 반대 부호로 대전된 검전기 내의 전하들 사이에 인력이 작용하기 때문이다. 사실은 각 검전기 안에서 전하들 사이에는 척력이 작용하고 있었지만 다리가 없어서 이동을 하지 못하고 있었다. 따라서 전하들 사이에 척력과 인력이 작용하여 도선에는 전하들이 이동하게 되며 일시적인 전류가 흐르는 것이다. 정전기 유도에서도 전류를 소개하고 이와 같은 실험 장치를 이용하여 정전기 단원에서 전류의 개념을 도입하여야 된다고 생각한다. 아울러 지금과 같은 상황에서는 지속적으로 일정한 전류가 흐르지 못하기 때문에 건전지가 필요하며 건전지를 양쪽 검전기 금속 부분에 연결하면 연결 도선을 통해서 지속적으로 일정한 전류가 흐르게 된다는 설명을 함으로써 9학년의 전기 회로를 공부하는데 크게 어려움을 갖지 않도록 학생들을 도울 수 있을 것으로 예상된다(홍명수, 2008).

그 밖에 전류 관련한 고려 사항들

대전열

정전기 단원에서 전통적으로 대전열을 다룬다. 서로 다른 물질로 이루어진 물체를 마찰시키면 대전이 된다. 흔히, 마찰을 많이 하면 열이 발생하여 열에너지가 한쪽 물체에 속했던 전자를 다른 쪽 물체로 옮겨가게 하는 역할을 하는 것처럼 알고 있는데 이는 사실과 다르다. 마찰을 하는 이유는 더 많은 전자들이 옮겨 가도록 하는 것은 맞지만 마찰은 두 물체의 분자들 사

이에 접촉의 기회를 더 많이 갖도록 하기 위함이다. 사실 접촉만 했다가 떼어도 대전이 되는 것을 쉽게 관찰할 수 있다. 그렇다고 마찰열이 전혀 역할을 하지 않는다고 하는 것도 사실과 다를 수 있다. 마찰열은 전자에게 더 잘 떨어질 수 있는 에너지로 전환될 수 있기 때문이다.

우리나라 대부분의 교과서에서 금속은 대전열에서 빠져있다. 그 이유에 대해서는 정확하게 알 수 없으나 실험이 조금은 어렵기 때문이거나 금속이 마찰에 의해 대전되면 전자들이 금속 내부를 이동하기 때문에 정전기 영역에서 다루기 곤란하다고 생각했을지 모르겠다. 그러나, 중요한 사실은 금속도 마찰에 의해서 대전이 됨에도 불구하고 도체는 대전열에서 빠져 있다. 표 1은 외국 사이트에 소개된 주요 물질에 대한 대전열 중의 일부이다(<http://en.wikipedia.org>). 금속마다 대전열이 다르다는 사실도 흥미롭다. 금속을 마찰에 의해 대전시킬 때는 주의하여야 한다. 그 이유는 금속을 손으로 잡고 있으면 사람도 한 물체가 되어 사람을 통하여 전하들이 이동할 수 있기 때문이다. 따라서 금속을 마찰시킬 때는 부도체 장갑을 끼고 하여야 한다. 금속을 마찰시켜 대전시키는 쉬운 방법을 소개하면 검전기 금속판을 털가죽으로 몇 차례 치면 된다. 금속판을 털가죽으로 문지르면 이동하였던 전자가 다시 원래의 위치로 돌아가게 될 가능성이 많아지기 때문에 이러한 가능성을 줄이기 위해서는

금속판과 털가죽이 만나는 시간을 짧게 한다. 2-3차례 치면 금속막이 벌어지는 것을 쉽게 관찰 할 수 있다.

표 1. 대전열.

가장 양으로 대전되기 쉬운 쪽
공기(Air)
사람 피부(Human skin)
가죽(Leather)
토끼 털(Rabbit's fur)
유리(Glass)
석영(Quartz)
사람 머리카락(Human hair)
나일론(Nylon)
털실(Wool)
납(Lead)
고양이 털(Cat's fur)
실크(Silk)
알루미늄(Aluminum)
종이(Paper)
솜(Cotton)
철(Steel)
나무(Wood)
호박(Amber)
폴리스틸렌(Polystyrene)
고무풍선(Rubber balloon)
강한 고무(Hard rubber)
니켈, 구리(Nickel, Copper)
황(Sulfur)
황동, 은(Brass, Silver)
금, 백금(Gold, Platinum)
합성고무(Synthetic rubber)
폴리에스테르(Polyester)
스트로폼(Styrofoam)
플라스틱 랩(Plastic wrap)
스카치 테이프와 같은 폴리에틸렌(Polyethylene)
비닐(Vinyl (PVC))
실리콘(Silicon)
테플론(Teflon)
실리콘 고무(Silicone rubber)
에보나이트(Ebonite)

가장 음이 되기 쉬운 쪽

도체와 부도체

우리나라 학생들은 초등학교에서부터 도체와 부도체를 구별하는 실험을 한다. 건전지, 전선 2개, 전구를 연결하여 회로 사이에 물체를 넣고 전구가 켜지는 물체는 도체, 안 켜지는 물체는 부도체로 구별하는 소위 전기회로 검사기를 만들어 실험을

한다. 그런데 정전기 단원에 오면 학생들이 혼란에 빠진다. 그 이유는 부도체가 대전되기 때문이다. 따라서 부도체가 대전된다는 말과 전기를 통한다는 설명을 혼돈한다. 전기를 통한다와 전기를 띠다를 정확하게 구분하지 못하기 때문에 이 부분에 대한 보완이 절실하다. 대전된 부도체를 회로 검사기에 연결하였을 때 여전히 전구에는 불이 켜지지 않는 것을 확인하게 하여 학생들이 스스로 전기를 통한다와 띠다를 구별하여 말할 수 있도록 하여야 한다. 즉, 물체는 대전 여부에 관계없이 도체는 도체이고 부도체는 부도체라는 점을 강조하여야 할 것이다. 따라서 금속 역시 대전 여부에 관계없이 도체이다. 여기서는 다루지 않겠지만 자기적 성질을 분류할 때 즉, 물체를 자성체와 비자성체로 분류할 때 도체와 부도체를 함께 고려하는 것이 좋을 것이다. 대부분의 학생들이 도체 중에서 자성체가 있고 비자성체가 있다는 것을 알지 못하기 때문이다.

건전지(McDermott, 1991)

과학을 배운 후에 생활과 연관지어 설명하거나 이해할 수 있어야 한다는 많은 주장이 있지만, 건전지는 너무나 좋은 예임에도 불구하고 건전지와 관련하여 이러한 방향으로 언급한 교과서를 찾아보기 힘들다. 왜냐하면 건전지는 회로에 전력을 공급하는 에너지원이기 때문이다. 일부학생들은 외부 회로에 무관하게 건전지에서 정해진 전류가 나온다고 생각한다.

우리나라 교육과정에서는 건전지가 회로의 구성 성분임에도 불구하고 블랙박스로 취급함으로써 문제가 많다. 학생들은 고등학교에 와서야 물리 영역에서 건전지의 내부 저항의 관점에서 건전지에 대하여 배우고 화학에서는 산화와 환원이라는 관점에서 배운다. 건전지에 연결된 외부 회로에 따라서 건전지에 흐르는 전류는 결정된다. 즉, 외부 회로에 전류가 작게 흐르도록 회로가 구성(전구의 직렬연결)되면 건전지에서 작은 양의 전류를 공급하게 된다. 물론 외부 회로에 전류를 많이 공급하여야 하는 경우에 즉 전구의 병렬연결의 경우는 건전지가 많은 전류를 공급하기 위하여 많은 일을 하게 된다. 건전지에 대하여 어느 시기에 어떻게 다루어야 하는 것은 또 하나의 연구 주제일 것이다.

건전지는 우리 생활과 비교하여 보면 발전소에 해당한다. 한국 전력을 총괄하는 회사에서는 여름철이 되지만 하면 긴장을 많이 한다. 그 이유는 전력 소비량이 대폭 늘어나기 때문이다. 전력 소비량이 늘어나면 그 만큼 많은 전력을 생산하여야 하는데 이 예상을 잘못하여 너무 많은 발전을 하여 전력이 남게 되

면 발전시키는데 많은 에너지를 낭비하였기 때문에 손해가 막심하며, 예상을 잘못하여 너무 적게 발전하면 단전 사태가 벌어진다. 국가 소비 전력보다 일정비율이 남도록 발전을 하고 있다. 중요한 장비일수록 단전에 대비하여 비상발전 장비가 있는 이유도 이 때문이다. 발전은 교류 형태로 이루어지기 때문에 전력을 저장한다는 생각은 옳지 않다. 저장은 직류 형태만 되기 때문에 교류를 직류로 전환하고 다시 송전을 위하여 교류로 하는 과정에서 많은 에너지가 소비되기 때문이다. 회로에서 건전지는 너무나 중요한 소자인데도 불구하고 잘 다루어지지 않고 있는 것은 문제가 심각하다고 생각한다. 건전지에 흐르는 전류가 외부회로에 따라 달라지는 것을 분명하게 학습하도록 하는 내용이 교육과정 중에 들어가야 할 것이다.

결 론

무엇보다도 전류에 대한 교육과정은 전하 사이의 힘 때문에 도체 안에서 전자(전하)들이 이동하여 전류가 된다는 기본 개념으로부터 학생들에게 전류를 가르쳐야 된다는 점은 미국교과서와 일반물리 교과서 순서를 통해 보더라도 분명해 보인다. 정확한 정의로부터 출발한 교육과정이 오개념을 줄일 수 있기 때문이다. 눈에 보이지 않는다는 관념에 사로잡혀 정확한 정의를 하기도 전에 물 흐름 비유와 같은 예를 동원하다 보면 국민 공통 교육과정을 마쳤음에도 불구하고 전류에 대한 정확한 정의를 배워 보지도 못하고 마칠 가능성이 있다. 특히, 정전기에서 전하와 함께 전류의 개념을 소개하여 과학적 방법으로 전류 개념을 가질 수 있도록 가르쳐야 한다. 또한 정전기 단원에서 대전열에 금속을 포함시킴으로써 도체와 부도체 사이의 차이점을 보다 명확하게 이해하고, 전하들 사이의 힘이 도체와 부도체에서 어떠한 효과로 나타나는지를 압으로써 도체와 부도체의 정전기 유도를 잘 이해할 것이며, 궁극적으로 전기 도선이 도체로 이루어져 있기 때문에 전하의 이동 관점에서 전기 회로에 대한 이해의 폭을 넓히는데 도움을 줄 수 있을 것이다. 아울러 건전지에 흐르는 전류에 대한 언급을 통하여 국가 에너지 운용에 대한 이해의 폭을 넓힐 수 있도록 도울 수 있을 것이다.

교육과정을 만들 때는 온 나라가 떠들썩하면서 해설서는 극히 소수의 사람들에 의하여 만들어 지기 때문에 바르게 교육과정을 구현하지 못하는 점은 하루빨리 시정되어야 할 점이다. 애써 개발하여 놓은 교육과정을 해설서가 왜곡될 가능성이 농후하기 때문에 해설서 또한 많은 의견을 듣고 작성되어야 할 것이다.

ABSTRACT

We suggest solving directions for problems in the national curriculum related to electric current through comparing it with an American textbook. The most serious problem is in subject of "electrostatics". The chapter for electrostatics in 7th grade should play a bridge role between "electric circuit" in 5th grade and "electricity" in 9th grade. We would like to explain why the concept of electric current should be introduced in "electrostatics" area and how the electrostatics chapter helps learning electric current. Also we are trying to point out that a closed circuit is very important compared to an open circuit. Finally, some points, such as metal in triboelectric effect, role of battery, and separation between conductor and insulator will be discussed.

Key words: curriculum, current, electrostatics, electricity

참고문헌

- 권재술, 안수영 (1989) 대학생들의 물리 개념 오인에 관한 연구. 물리교육 7(1): 26-41.
- 정완호, 권재술, 김범기, 김성하, 백성혜, 우종욱, 이봉호, 이석형, 정진우, 최병순 (2002) 중학교 과학 2. (주)교학사.
- 교육과학기술부 (2007) 2007년 개정 중학교 과학과 교육과정 해설.
- 교육과학기술부 (2007) 2007년 개정 초등학교 과학과 교육과정 해설.
- 교육인적자원부 (2002) 초등학교 교사용 지도서 과학 5-2.
- 김영민, 박윤희, 박승재 (1990) 중학생의 전류에 대한 학습 전 개념과 관계 현상 관찰 후의 설명. 한국과학교육학회지 10(1): 47-55.
- 김찬호 (1993) 초등학교 교사들의 전류 개념. 한국교원대학교 대학원 석사학위논문.
- 문충식, 권재술 (1991) 전류에 관한 학생들의 오인 유형 변화의 종단 연구. 한국과학교육학회지 11(1): 1-14.
- 전동렬, 이봉우, 손정우, 박영도, 광석일, 이옥수, 이인호, 김선경 (2007) 물리 그 원리를 찾아서 탐구수업 지도자료, 서울대학교 과학교육연구소.
- 여미경 (2006) 전압과 접지의 개념변화를 위한 튜토리얼의 개발과 적용. 한국교원대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 이광만, 허동, 이경운, 정문호, 방태철, 이기성, 안태근, 정상윤,

- 복완근, 정익현, 박병훈, 박정일, 정수도, 김경수, 박지극, 송양호, 이천기 (2002) 중학교 과학 2, 280쪽 (주) 지학사.
- 홍명수 (2008) 중학생의 정전기 개념 정립을 위한 튜토리얼 개발. 한국교원대학교 대학원 석사학위논문.
- Bell et al. (2006) Science (Harcourt, Florida), pp. 474-479.
- Badders et al. (2007) Houghton Mifflin Science (Houghton Mifflin, Boston), pp. F44-F47.
- Cohen R, Eylon B and Ganiel U (1983) Potential difference and current in simple electric circuit: 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.
- Heller PM and Finley FN (1992) Variable Uses of Alternative Conceptions: A Case Study in Current Electricity. Journal of Research in Science Teaching 29(3): 259-275.
- http://en.wikipedia.org/wiki/Triboelectric_effect.
- McDermott LC (1991) What we teach and what is learned-Closing the gap. Am. J. Phys. 59(4): 301-315.
- Miller R and King T (1993) Learning Difficulties in High School Physics: Development of Remedial Teaching Methods and Assessment of its Impact on Achievement. Journal of Research in Science Teaching 22(2): 127-140.
- Shipstone D (1988) Pupil's understanding of Simple Electric Circuits. Physics Education 23: 92-96.