

입자와 에너지 관점에서 분석한 초등학교와 중학교 전류와 전지 단원의 문제점

유성이 · 백성혜
(한국교원대학교)

Analysis of 'Electric Current' and 'Battery' Units in Elementary and Middle School Science Textbooks on the Basis of Particle and Energy Concepts

Yoo, Seung-Lee · Paik, Seong-Hey
(Korea National University of Education)

ABSTRACT

In this study, the contents of 'electric current' and 'battery' units in elementary and middle school science textbooks were analyzed on the basis of particle and energy concepts. Many problems, reported previously on students' misconceptions about those area, were found in science textbooks. Electric current and battery were covered in both physics and chemistry parts of science textbooks. However, the lack of particle concept in physics units and the lack of energy concept in chemistry units seemed to make it difficult for students to learn those concepts. The descriptions about the two concepts were also not consistent even in the same discipline units. In order to solve these problems, the integration of the views on the particulate nature of matter and energy in the science curriculum and reconstruction of science textbooks were needed.

I. 연구의 필요성, 내용 및 범위

전류와 전지에 관련된 학생들의 개념 조사나 관련 교수법에 관한 연구들(Sanger & Greenbowe, 1997; Beaty, 1998; Dupin & Johsua, 1987; Ogude & Bradley, 1997; Sanger & Greenbowe, 1997; Shipstone, 1985; Tasker & Osborne, 1985; Thorley & Treagust, 1987; 권재술, 안수영, 1989; 김영민, 1993; 김영민 · 박승재, 1992; 김영민 · 권성기, 1992; 문충식 · 권재술, 1991; 박윤희,

1990; 원동만, 2000)은 매우 많은데, 이러한 연구들에서 한결같이 전류와 전기에 대한 학생들의 이해가 쉽지 않다는 점을 지적하고 있다. 그리고 현재까지는 이러한 현상의 원인을 구성주의적 관점에서 학습자의 문제로 보고, 학습자의 인지에 갈등을 일으켜 해결해 보려는 시도가 대부분이었다.

특히 물리교육 분야에서는 이러한 연구가 매우 많이 이루어졌다. 그러나 문헌을 분석해 보면, 학생들의 전류에 대한 오개념 유형과 그 정도가 학습 전과 후에 크게 다르지 않았으며(김영민 · 박승재, 1992; 문

*2000년 6월 25일 받음.

**이 연구는 과학문화연구센터의 연구비 중 일부로 수행된 것입니다.

충식·권재술, 1991), 오개념 극복을 위한 특별한 처리로서 전류에 관한 실험과 토의(박윤희, 1990; 김영민, 1993), 혹은 교수법의 변화(김영민·권성기, 1992; 원동만, 2000) 등의 효과도 크지 않음을 알 수 있다.

따라서 이 연구에서는 이 문제에 대한 시각을 달리 하여 교과 내용의 제시에서 그 문제점을 찾아보고자 한다. 전류와 전지 단원은 물리학과 화학의 연계가 필요한 분야이다. 그런데 물리학과 화학에서 이 분야를 다루는 시각은 매우 다르다. 물리학에서는 전기 에너지의 관점에서 전기 현상들을 다루고 있으며, 화학에서는 전자나 이온과 같은 입자 관점과 산화 환원반응의 관점에서 화학 전지의 단원들을 다루고 있다.

예를 들어 학생들은 화학반응의 방향을 예견하기 위하여 도입하는 표준 환원 전위나 전압의 개념을 어려워한다고 한다(Sanger & Greenbowe, 1997). 이러한 개념들이 화학에서는 입자 관점인 이온화 경향의 개념으로, 물리에서는 에너지 관점인 '전기장 내에서 전하의 움직임'의 개념으로 다루어지고 있다. 따라서 다루는 방식에 따라 전혀 다른 개념으로 전류와 전지에 관련된 내용을 이해할 소지가 있다. 혹은 이러한 통일되지 못한 교수법에 의해 명확한 개념의 이해에 실패할 수도 있을 것이다. 따라서 이 연구에서는 초등학교와 중학교에서 다루는 전기와 전류 단원의 교과서 내용들을 분석해 보고자 한다.

이를 위하여 현행 6차 교육과정에서 사용되는 초등학교 3-6학년까지의 자연 교과서(교육부, 1996)와 중학교 2학년과 3학년 과학 교과서 각각 8종(강영희 외 12인, 1999; 공구영 외 12인, 1999; 권재술 외 8인, 1998; 김시중 외 13인, 1999; 박봉상 외 7인, 1999; 송인명 외 7인, 1999; 우규환 외 7인, 1999; 정창희 외 11인, 1999)을 분석하였다.

II. 이론적 배경 및 선행연구 고찰

전기에 관련된 개념이 물리학과 화학에서 다른 방식으로 제시되기 때문에 이 연구에서는 먼저 개념의 정의부터 통일하고자 한다.

'전기'라는 개념은 물리학에서 현상을 나타내는 용어로, 혹은 '전기가 흐른다'라고 표현할 때에는 전류와 같은 용어로, 혹은 '전자가 떠고 있는 전기'라고 표현할 때에는 전하와 같은 용어로 사용한다. 또한 전기는 전기 현상과 같은 포괄적인 의미로 사용하기도 하고, 전기에너지의 개념으로 사용하기도 한다(교육세계대백과사전연구소, 1989; 두산동아백과사전연구소, 1998; 운평어문연구소, 1996). 특히 백과사전이나 용어사전 등에서는 전하를 띤 입자의 이동으로 생기는 에너지의 한 형태로 전기를 해석하는 경향이 있다. 또한 전기에 관련된 오개념을 분석한 선행 연구들(Beaty, 1998; Dupin & Johsua, 1987; Sanger & Greenbow, 1997; Shipstone, 1985; Tasker & Osborne, 1985; Thorley & Treagust, 1987)에서도 전기를 전류나 전하, 혹은 전기 현상 등으로 이해하는 경향을 오개념으로 분류함으로써 전기를 전기 에너지 개념이나 전기 현상에 국한하려는 경향을 나타내었다.

'전하'라는 개념은 물리학에서 입자로 다루어지는 경향이 있다. 예를 들어 '전하의 흐름을 전류라고 한다'라고 표현할 때에는 음이온이나 양이온과 같은 용어로 사용한다. 그러나 이 연구에서는 전하는 전기 현상을 일으키는 원인이 되는, 입자가 떠는 성질 중 하나로 보고 입자와 동의어로 사용하지 않는다. 또한 전류는 전하를 띤 입자의 이동으로 본다(브리태니커 백과사전연구소, 1994).

'전압' 혹은 '전위차'는 화학에서 거의 설명이 제시되지 않으며, 단지 이온화 경향으로만 전류나 전지의 원리를 설명하는 경향이 있다. 즉 이온화 경향이 큰 금속에서 전자가 쌓이면 그 전자가 방출되는 것으로 묘사하기 때문에 마치 화학평형의 개념 혹은 르샤틀리에의 원리(많이 생기면 그것이 없어지는 쪽으로 반응이 진행되는 것)로 이해할 소지가 있다. 반면 물리학에서는 전기장 내 위치에너지의 개념으로 전압을 설명한다(두산동아백과사전연구소, 1998; 조성희 외 4인, 1999).

이 경우에는 입자의 개념보다는 에너지의 개념이 강조되며, 따라서 이 두 설명 사이에 연결 고리가 명확하지 않다. 특히 교과서에서 한 점의 전하로 전기

장을 설명하다가 전기 회로에서 형성되는 전기장에 대한 설명으로 넘어갈 때 괴리가 있음을 지적한 연구 (Moreay, et al., 1985; Heald, 1984; Combes & Laue, 1981; Parker, 1979; Russell, 1968)는 많이 있다. 특히 Combes와 Laue(1981)는 1980년에 양자역학의 대가인 Merzbacher가 '전류가 흐르는 전선 주변에 왜 전기장이 형성되는가?'라는 질문을 던졌을 때를 언급하면서, 이 질문이 그 동안 어느 과학자들도 하지 않았던 것이었지만 그 이유가 그들이 이 질문의 답을 모두 알고 있었기 때문은 아니었다고 하였다. 대다수의 과학자들은 이러한 질문에 관심이 없었으며, 실상은 그들 스스로도 잘 모르고 있었지만, 자신이 모른다는 사실에 대해 지각하지 못하고 있었던 것이다.

따라서 이 질문은 그들에게 퍼즐과 같았다. 이미 1940년경에 이론적으로, 실험적으로 이 퍼즐에 대한 답은 다 밝혀진 것이었지만, 퍼즐을 다시 짜 맞추기 위해서는 많은 노력이 필요했다. 그리고 그 동안 이러한 퍼즐의 해결을 위한 노력이 등한시된 결과로, 물리 교과서에서 전자가 도선 내에서 움직이고 이로 부터 전기장이 형성되는 원리에 대한 설명에 부정확한 많은 오류들이 생기게 되었다. 결과적으로 이러한 잘못된 지식이 담긴 교과서나, 중요한 지식이 삭제된 교과서로부터 전류의 흐름에 대한 개념을 획득한 과학자들이 점점 그 원리를 이해하지 못하게 되는 결과를 낳게 되었음이 Merzbacher의 퍼즐로부터 밝혀진 것이다. 이러한 오류가 우리나라 교과서에서도 발견될 가능성이 있다.

이 연구에서는 전지에서 두 금속 사이에 '전위차' 혹은 '전압'이 발생하는 원인을 다음과 같이 본다. 즉, 이온화경향이 다른 두 금속이 전해질 용액 내에서 초기에 산화 환원 반응을 하고 이로부터 두 금속 내에서 자유전자가 쌓이는 정도에 차이가 생기는 순간 위치에너지 차이가 생기는 것이다(주충렬, 1994). 즉 전압 혹은 전위차가 발생하는 것이다. 이러한 전위차는 순간적으로 생기게 된다. 학생들이 빛 속도로 전류가 흐른다고 생각하게 되는 이유는 이 때문일 것이다. 이러한 전위차에 의해 자유전자는 위치에너지가 높은 곳에서 낮은 곳으로(즉 음극에서 양극으로)

이동하게 된다.

즉 '전압' 혹은 '전위차'가 생기면 '전류'의 흐름이 일어난다. 이 때 '전류'의 흐름도 물리학과 화학에서 상충되는 개념 중 하나이다. 물리학에서는 전지의 양극에서 양전하들이 나와 음극으로 이동하는 것으로 가정한다. 따라서 전류는 '양극에서 음극으로' 흐른다(조성호외 4인, 1999). '양극'의 정의도 '전위가 높은 극'으로 정의하는데, 이 때 전위는 양이온의 위치 에너지를 의미한다. 그러나 전자를 기준으로 볼 때에는 양극은 전위는 높지만, 위치에너지가 낮은 극이 된다.

화학에서는 산화되는 극, 즉 전자를 방출하는 극이 음극이고, 환원되는 극, 즉 전자를 받아들이는 극이 양극이므로 '음극에서 양극으로' 전자가 도선을 따라 흐른다고 본다(우규환외 3인, 1999). 이 때 전자는 높은 위치에서 저위에서 낮은 위치에너지로 이동하게 되는 것이다. 이 연구에서는 물리학의 양전하로 전류를 설명하는 내용이 금속 물질 속에 존재하는 자유 전자라는 입자의 개념이 명료하기 전에 형성되었던 개념으로, 오늘날 입자론적 관점으로 볼 때에는 적절하지 못한 설명이라고 본다. 따라서 도선을 따라 흐르는 것은 양전하가 아닌 전자라고 보기 때문에 화학의 입장에서 '전류'를 정의하고자 한다.

물리학에서는 도선을 통하는 전류를 중심으로 전기 현상을 다룬다. 따라서 자유전자라는 입자를 중심으로 한 전기 현상만을 이해하기 쉽다. 그러나 화학에서는 화학전지의 원리를 설명할 때 전해질 용액 내에서 전류의 흐름을 다룬다. 이 때 전류를 흐르게 하는 원인은 자유전자가 아닌 양이온과 음이온의 이동이다. 따라서 고체 물질인 도체 내의 자유전자와 전해질 용액 내에서의 이온(전해질은 전하를 띤 입자로 이루어져 있지만, 고체 물질일 경우에는 부도체이다)의 관계가 명확하게 연결되지 못할 때 학습자는 화학전지의 명확한 모형을 그려내기 어려울 것이다. 이에 대한 선행연구(Sanger & Greenbowe, 1997)는 이러한 점을 시사하고 있다.

전류와 전지에 관련된 학생들의 선개념을 연구한 선행 연구들(Beaty, 1998; Dupin & Johsua, 1987; Sanger & Greenbowe, 1997; Shipstone,

〈연구논문〉 입자와 에너지 관점에서 분석한 초등학교와 중학교 전류와 전지 단원의 문제점: 유성이·백성혜

1985; Tasker & Osborne, 1985; Thorley & Treagust, 1987; 권재술, 안수영, 1989)을 분석하면 다음과 같이 개념의 유형을 분류할 수 있다. 다음의 유형 속에 포함되는 선개념들은 이 연구에서 선정한 것이 아니라, 기존의 선행 연구들에서 선개념으로 추출한 내용이므로 연구자의 견해와 다를 수도 있다.

(1) 전하와 전자의 개념을 혼동하는 경우

전지는 전하를 저장한다. 그리고 이 전하는 전선에 흐른다.

도체는 전하의 통과를 허락하는 재료이다.

→ 선행연구에서 이러한 개념을 선개념으로 분류한 것을 볼 때, 전하와 전하를 띤 입자 혹은 전자를 구분하는 것이 보다 정확한 과학적 개념이라고 판단하였을 것이다.

(2) 전기와 전류의 개념을 혼동하는 경우

전선에 흐르는 전기는 전지나 발전기에 의해 공급된다.

전류는 에너지의 흐름이다.

회로에 흐르는 전류는 전구나 도선 등에 의해 소모된다(소모성 모형).

→ 선행연구에서 이러한 개념을 선개념으로 분류한 것을 볼 때, 전기는 전류와 구분되어야 하며, 전류와 전기가 혼동됨으로써 에너지의 개념인 전기 대신에 전류를 에너지 개념으로 받아들이는 것을 문제로 지적하였음을 알 수 있다.

(3) 전류와 전기 현상에 대한 이해가 부족한 경우

전선의 전기는 빛의 속도로 움직인다.

전류의 흐름은 순차적이므로, 흐르는 방향에서 전구의 앞에 있는 저항만이 불의 밝기에 영향을 준다(순차적 흐름 모형).

전지의 한쪽 극만 도선을 연결하여도 전류가 흐를 수 있다(단일극모형).

→ 선행연구에서 이러한 개념을 선개념으로 분류한

것을 볼 때, 역시 전기는 전류와 구분되어야 한다고 판단하였음을 알 수 있다. 그러나 이 경우에는 전기를 에너지의 관점이 아니라 전반적인 전기적 현상으로 해석하였다고 본다.

(4) 음극과 양극에 대한 개념 부족

음극은 전자를 잃기 때문에 양으로 하전되고, 양극은 전자를 얻기 때문에 음으로 하전된다.

(5) 전류의 흐름과 전자의 이동 개념을 혼동하는 경우

전류와 전자가 전지의 양쪽 극에서 흘러서 서로 만나 충돌하여 전구에 불이 켜진다(충돌모형).

(6) 자유전자의 이동과 이온의 이동에 대한 개념 혼동

오직 음이온들만이 전해질 용액과 염다리에서 전류의 흐름을 이룬다.

용액 속에서 전자들은 한 이온에서 다른 이온으로 옮겨다가지면서 이동한다.

전해질 용액과 염다리에서 양이온은 전자를 받아들여 양극에서 음극으로 전달해준다.

전자들은 이온들의 도움없이 수용액을 통해 흐를 수 있다.

(7) 직렬과 병렬시 전류와 전압 개념을 혼동하는 경우

직렬이든 병렬이든 전류가 각 전구(혹은 저항)에 똑같이 분배된다(분배모형, 일정전류모형).

III. 결과 및 논의

1. 초등학교 자연 교과서의 내용 분석

초등학교 3학년에서 전선, 전구, 전지를 연결하면 꼬마전구에 불이 켜지는 현상을 관찰하고 건전지를 직렬, 병렬 연결하여 불의 밝기를 관찰한다. 그리고 4학년에서 전기회로를 꾸미고 기호를 사용하여 전기 회로도를 나타내며, 전구를 직렬과 병렬로 연결하여 불

의 밝기를 관찰한다. 따라서 회로도를 꾸미는 점만 다를 뿐, 개념의 전개상 3학년과 4학년은 큰 차이를 발견하기 어렵다. 5학년에서는 이에 관련된 단원이 제시되지 않으며, 6학년에 가서 전기에너지와 에너지의 전환을 다룬다. 이 때 전지는 전기 에너지를 발생 하는 것으로 배운다. 그리고 전기 에너지는 빛에너지, 바람에너지, 위치에너지 등으로 전환된다는 것을 배운다.

따라서 초등학교 학생들은 전류나 전압의 개념 없이 전기 현상만을 관찰하고, 이러한 현상을 나타내는 원인으로 전기 에너지의 개념을 배우는 것이다. 물론 전하를 띤 입자의 개념도 제시되지 않는다. 그리고 학생들은 전지가 전기 현상이나 전기 에너지를 발생 시키는 것으로 배운다. 결국 학생들은 전지로부터 도선으로 흐르는 것은 전기 에너지일 것이라고 생각할 가능성이 높다. 만약 에너지의 흐름으로 이해한다면 에너지의 전환을 통해 전기 에너지가 소모될 것이라는 소모성 모형의 오류가 가능해 진다.

선행연구를 고찰한 결과에 따르면 이러한 유형의 오류가 '(2) 전기와 전류의 개념을 혼동하는 경우'로 분류되었으며, 많은 연구자들(Shipstone, 1985; Tasker & Osborne, 1985; Dupin & Johsua, 1987; 권재술, 안수영, 1989)이 이러한 오류를 학생들로부터 발견하고 있음을 알 수 있다. 예를 들어 '전류는 에너지의 흐름이다' 라든지, '회로에 흐르는 전류는 전구나 도선 등에 의해 소모된다(소모성 모형)' 등의 오류는 전류의 개념이 올바르게 형성되지 못하고 전기 에너지를 전류로 이해하는 경향을 나타내는 것이라고 할 수 있다. 이러한 오류는 현행 교과서에서 전기 현상을 입자 관점에서 제시하지 못하기 때문에 발생한 것이라고 볼 수 있다.

2. 중학교 2학년 과학 교과서의 내용 분석

중학교 2학년에서는 물리 단원에서, 중학교 3학년에서는 화학 단원에서 이에 관련된 내용이 제시되어 있다.

중학교 2학년 물리 단원에서 제시된 내용 중 눈에 띄는 부분은 첫째, 전기와 전하의 개념을 혼동하는

것이다. 많은 교과서들(강영희 외 12인, 1999; 공구영 외 12인, 1999; 권재술 외 8인, 1999; 송인명 외 7인, 1999; 우규환 외 7인, 1999)이 다음과 같이 전하를 설명하고 있다.

물질을 구성하는 입자(혹은 물체)가 띤 전기를 전 하라고 한다.

전기에 관련된 학생들의 오개념을 조사한 선행 연구에서는 전기를 에너지의 개념으로 받아들여 전기를 전하나 전류로 보는 입장을 문제점으로 지적하였다. 이러한 견해에 따르면 위의 설명은 물질의 성질인 전 하와 전기 에너지를 혼동하게 만드는 진술문이라고 할 수 있다.

둘째, 물질의 성질인 전하와 전하를 띤 입자의 개념을 혼동하는 것이다. 앞서 지적한 전기와 전하의 개념을 혼동한 대부분의 교과서(강영희 외 12인, 1999; 공구영 외 12인, 1999; 송인명 외 7인, 1999; 우규환 외 7인, 1999)에서 다음과 같이 진술하고 있다.

전하가 한 곳에서 다른 곳으로 이동하는 것을 전 류라고 한다.

전하의 흐름을 전류라고 한다.

전하가 움직일 수 있는 길을 만들어 주면 전하는 이 길을 따라 흐르게 된다.

이러한 진술로 인해 선행연구 고찰에서 분석한 '(1) 전하와 전자의 개념을 혼동하는 경우'의 오류가 발생할 수 있다. 즉 '전지는 전하를 저장한다. 그리고 이 전하는 전선에서 흐른다' 등과 같은 오개념(Beaty, 1998)을 형성하게 되는 것이다. 전하를 전하나 전하를 띤 입자와 동일한 개념으로 보는 것은 입자의 성질(전하)과 입자를 구분하지 않은 데에 기인한다고 본다.

중학교 2학년 물리 단원과 화학 단원의 관련 내용을 살펴보면, 물질을 구성하는 입자에 대한 시각의 차이를 볼 수 있다. 물리 단원에서 전기에 대한 내용을 이해하기 위해서는 전하의 개념이 필요하고 이를 위해서는 원자의 구조에서 양성자와 전자의 개념이

선행되어야 한다. 그런데 물질을 구성하는 입자의 개념이 설명되는 화학 단원에서는 돌턴의 원자설, 즉 전하의 개념이 없는 입자론이 제시되어 있다. 이 때문에 물리 단원에서는 입자의 관점을 배제하고 물질의 성질인 전하의 개념으로만 전류나 전기 현상을 다루는 것은 아닐까? 만약 그렇다면 화학에서 전하의 개념이 포함된 정확한 현대적 원자 개념이 제시되고 이를 토대로 물리학에서 전하를 띤 입자의 개념으로 전류를 명확히 진술해 주는 노력이 앞으로 이루어져야 할 것이다.

교과서 진술의 첫째 오류로부터 전기에너지와 전하의 개념을 혼동하고, 또한 둘째 오류로부터 전하와 전하를 띤 입자의 개념을 혼동하게 되면, 전기에너지와 전하를 띤 입자 사이의 관계에 대해서도 불분명해지는 것은 당연하다. 이로 인해 전류를 전하를 띤 입자의 흐름으로 이해하지 못하고, 전기 에너지의 흐름으로 이해할 가능성도 배제할 수 없다. 즉 전류 개념 없이 전기 현상을 설명한 초등학교와 마찬가지로 '(2) 전기와 전류의 개념을 혼동하는 경우'의 오개념(Beaty, 1998)을 형성할 가능성이 높다.

셋째, 도선을 통로의 개념으로 제시하는 것이다. 대다수의 교과서에서 수도관의 비유로부터 도선의 전류 흐름을 설명하고 있는데, 수도관의 비유 역시 도선을 통로의 개념으로 받아들이는 데 기여할 가능성이 크다. 따라서 도선이 도체로서 그 속에 전자나 이온으로 꽉 차 있다는 개념을 가지기 어려울 수 있다.

전하가 움직일 수 있는 길을 만들어 주면 전하는 이 길을 따라 흐르게 된다(공구영 외 12인, 1999).

양전하들이 이 통로를 따라 흐르면서 전구에 불이 켜지게 하고...(송인명 외 7인, 1999)

전하의 이동이 도선 내에서 물의 흐름과 같으므로...(우규환 외 7인, 1999)

물이 수도관을 거쳐 다시 물탱크로 돌아오는 것과 같이 음전하를 띤 전자가 도선을 따라 움직이는 것이다(강영희 외 12인, 1999).

이러한 진술로 인해 선행연구 고찰에서 분석한 '(3) 전류의 흐름과 전기 현상에 대한 이해가 부족한 경

우'의 오류가 발생할 수 있다. 즉 텅 빈 통로의 개념으로부터 전류가 흘러 전기 현상이 나타나기 위해서는 '전류가 빛 속도로 움직여야 한다(Beaty, 1998)'든지, 전류의 흐름은 순차적이라는 '순차적 흐름 모형(Thorley & Treagust, 1987; 권재술, 안수영, 1989)'이라든지, 수도관의 비유로부터 '전지의 한쪽 극만 도선과 연결해도 전류가 흐른다'는 단일극 모형(Shipstone, 1985; Tasker & Osborne, 1985; 권재술, 안수영, 1989)과 같은 오류를 형성하게 될 가능성이 있다. 이러한 오류의 근본 원인은 전위차 개념과 이로부터 도체 내 전하를 띤 입자인 자유전자들의 움직임을 명확히 설명해 주지 못하는 데에서 기인한다고 본다.

수도관의 비유는 직렬과 병렬 연결시 전압과 전류의 올바른 개념을 형성하는 데에도 방해 요인이 될 수 있다. 수도관의 굵기는 일정하기 때문에 직렬로 연결하든지 병렬로 연결하든지 흐르는 전류의 양(물의 양으로 비유가 되는)이 일정하다는 생각(일정전류 모형, 분배 모형)을 가질 수 있기 때문이다. 이는 선행 연구 고찰에서 분석한 '(7) 직렬과 병렬시 전류와 전압 개념을 혼동하는 경우'에 해당한다. 현재까지는 중학교 교과서에서 수도관의 비유로 전류에 관련된 개념을 설명하는 것이 가장 보편적인 교수법이었다. 그러나 이러한 비유의 한계를 지적하고 원동만(2000)의 연구에서는 병렬 연결시 전류가 흐르는 관의 두께가 달라짐을 보여줌으로써 올바른 개념 획득의 가능성을 알아보았다. 이러한 연구는 전류가 흐르는 관의 두께에 대한 고정관념을 깨려는 시도로 볼 수 있다.

넷째, 양전하의 흐름과 전자의 흐름을 각각 설명하는 것이다. 일부 교과서에서는 다음과 같이 제시하고 있다.

양전하들이 통로를 따라 흐르면서 ... 도선을 따라 이동하게 된다. 통로를 따라 이동하는 전하가 전류를 이루며 이 전류가 꼬마 전구를 밝게 하는 것이다.... 전지를 연결하면 불규칙한 운동을 하던 전자들이 규칙적인 운동을 하면서 전지의 양극쪽으로 일제히 끌려가게 된다. 이러한 전자의 흐름이

전류이다(송인명 외 7인, 1999).

이러한 진술로 인해 선행연구 고찰에서 분석한 '(5) 전류의 흐름과 전자의 이동 개념을 혼동하는 경우'의 오류가 발생할 수 있다. 즉 전류와 전자가 전지의 양쪽 극에서 흘러서 서로 만나 충돌하여 전구에 불이 켜진다는 충돌 모형(Shipstone, 1985; Tasker & Osborne, 1985; 권재술, 안수영, 1989)이 학습자에게 형성될 가능성이 있다.

이러한 오류가 형성되지 않고 올바른 과학적 개념이 형성되기 위해서는 전류를 전하를 띤 입자의 움직임으로 통일하여 정의하고, 양전하의 개념을 버리고 도체 내에서는 자유전자의 이동으로 전류의 흐름을 설명해 주는 것이 필요하다고 본다.

3. 중학교 3학년 과학 교과서의 내용 분석

중학교 3학년 화학 단원에서 제시된 내용 중 눈에 띄는 부분은 첫째, 전류가 흐르게 되는 과정에 대한 설명이다.

구리판과 아연판을 묶은 황산에 넣었을 때 구리는 수소보다 이온화되기 어려우므로 반응이 일어나지 않으나 아연은 수소보다 이온화되기 쉬우므로 양이온으로 되어 용액 속으로 녹아 나오면서 전자를 아연판에 남기게 된다. 구리판과 아연판을 도선으로 연결하면 아연판에 남은 전자는 도선을 통하여 구리판으로 이동하게 된다.

대부분의 교과서에서는 금속의 이온화 경향에 따라 아연판이 구리판보다 쉽게 반응하고, 따라서 전자가 발생한다고 설명하고 있다. 즉 금속의 반응에만 초점을 두고 전자의 발생으로만 전류의 흐름을 설명하고 있다. 따라서 전압이 왜 생기는지 학생들이 이해하기 어려울 것이다. 금속의 이온화경향과, 금속이 전해질 용액 내에서 산화환원 반응을 함으로 인해 발생한 자유전자로부터 전압의 개념을 도출해 내는 것의 매끄러운 연결이 없다면 학생들은 중학교 2학년때 배운 전류의 개념과 중학교 3학년에서 배우는 전류의 개념

을 연결짓기 힘들 것이다. 그리고 단순히 산화환원 반응에 의해 생긴 전자가 쌓여서 밀려 도선으로 이동하게 된다는 생각을 가질 수 있을 것이다.

이로 인해 '(3) 전류의 흐름과 전기 현상에 대한 이해가 부족한 경우'의 오개념이 형성될 가능성이 있다. 즉 단순히 전류의 흐름만을 이해하고 전류가 흐르기 위해 전압이 형성되어야 한다는 개념을 가지지 못하여 전지의 한쪽 극만 도선을 연결하여도 전류가 흐를 수 있다고 생각하는 단일극 모형(Shipstone, 1985; Tasker & Osborne, 1985; 권재술, 안수영, 1989)이나, 순차적 흐름 모형(Thorley & Treagust, 1987; 권재술, 안수영, 1989)과 같은 사고를 가지게 될 수 있을 것이다.

위의 설명에 이어서 음극과 양극에 대한 설명은 보편적으로 다음과 같이 제시된다.

산화 반응이 일어나는 전극을 음극이라 하고, 환원반응이 일어나는 전극을 양극이라 한다(강영희 외 12인, 1999; 김시중 외 13인, 1999).

이와 같이 전류의 흐름이나 음극과 양극의 개념을 금속의 반응성에 초점을 두어 설명하기 때문에 '(4) 음극과 양극에 대한 개념 부족'의 오류도 발생할 수 있다. 즉 음극은 음이온의 입장에서 볼 때 위치에너지가 높은 쪽이고, 양극은 위치에너지가 낮은 쪽이므로 이러한 위치에너지의 차이 때문에 전자는 음극에서 양극으로 흐르게 된다는 개념을 가지지 못하고, 단순히 음극은 전자를 잃기 때문에 양으로 하전되고, 양극은 전자를 얻기 때문에 음으로 하전된다(Sanger & Greenbowe, 1997)는 식으로 물질의 반응성과 그로 인해 발생한 생성물에만 초점을 두어 사고할 가능성이 있다. 따라서 반응에 의해 발생한 전자에만 초점을 두어 설명하지 말고, 발생한 전자로 인해 생기는 전위차의 개념으로 극과 전류의 흐름을 설명하는 것이 매우 필요하다고 본다.

산화환원 반응이 반드시 전자의 이동 개념과 관련지어지지 않을 가능성도 있다. 교육과정 구성상 화학전지 단위 이전에 산화환원 단원이 제시되는데, 이때 산화환원의 개념을 전자의 이동 뿐 아니라 산소와

결합하는 반응, 수소와 결합하는 반응 등으로 설명하기 때문이다. 산화환원을 산소나 수소와의 결합으로 이해하는 경우, 극에 대한 이해를 반응으로 발생한 전자의 전위차로 이해하기는 더욱 어려운 것이다.

극에 대한 이해가 어려운 이유를 교과서의 설명 유형에서 좀더 찾아볼 수 있다.

(1) 아연판과 같이 전자가 흘러 나가는 금속을 음극이라 하고, 구리판과 같이 도선을 통해 전자를 받아들이는 금속을 양극이라고 한다(박봉상 외 7인, 1999).

(2) 반응성이 큰 금속판을 음극이라 하고, 반응성이 작은 금속판을 양극이라 한다(공구영 외 12인, 1999).

예로 제시한 설명 중에서 (1)번은 전자의 이동으로 극을 설명한 사례이다. 이러한 경우에는 금속의 반응성에 초점을 맞추지 않았다. 따라서 마치 도체 속에서 전자가 이동하듯이 아연판에서 전자가 이동한다고 생각할 가능성마저 있다.

(2)번은 반응으로 설명하였지만, 산화환원 반응이라고 언급하지 않았다. 따라서 반응 중 전자의 이동이 없는 반응들도 많기 때문에 학생들은 극의 개념을 전자와 관련짓지 못할 가능성이 있다. 이러한 교과서 진술상의 문제점들은 학생들이 전류와 전압을 전하를 띤 입자와 에너지 개념으로 명확히 이해하는데 방해요인으로 작용할 가능성이 높다.

둘째, 수용액 내에서의 입자 이동에 대한 설명이다.

전해질 수용액에 존재하는 이온은 수용액 속에서 전자를 이동시켜 주는 매개체 역할을 하는 것이다(권재술 외 8인, 1999).

이러한 설명은 '(6) 자유전자의 이동과 이온의 이동에 대한 개념 혼동'을 유발할 수 있다. 즉 용액 속에서 전자들은 한 이온에서 다른 이온으로 끌어당겨지면서 이동한다(Singer & Greenbowe, 1997)고 생각하게 될 가능성이 있다. 이러한 혼동은 중학교 2학년 화학 단원과 물리 단원에서 입자론을 설명할 때,

도체 내 자유전자의 개념과 원자가 이온이라는 입자로 될 때 중요한 역할을 하는 전자의 개념을 구분해 주지 못하였기 때문이라고 할 수 있다.

자유전자의 개념은 도체인 금속의 특성 중 하나이고, 이온 내 전자와는 달리 독립된 입자이다. 물질을 구성하는 입자 중에는 자유전자, 양이온, 음이온, 분자 등이 있는데, 이러한 구성 입자에 따라 금속 도체(자유전자)의 성질을 나타내기도 하고, 전해질(양이온과 음이온)의 성질을 나타내기도 하고, 부도체나 비전해질(분자나 이온결합 물질)의 성질을 나타내기도 한다.

그러나 교과서에서 자유전자와 이온 내의 전자 개념을 물질의 특성으로 구분하지 않기 때문에 수용액 내에서 이온이 이동하는 것이 아니라 전자가 이동한다는 식의 오류를 유발할 수 있다. 따라서 이러한 오류를 피하기 위해서는 우선적으로 원자의 구조를 양성자와 전자의 관계로 설명하고, 자유전자와 이온은 각각 독립된 물질의 구성 입자라는 개념으로 명확히 제시해 줄 필요가 있다고 본다. 이를 위하여 중학교 2학년 화학 단원에서 돌턴의 원자설과 아보가드로의 분자설로, 즉 전자와 양성자, 이온, 자유전자 등 금속과 전해질의 이해에 필수적인 입자의 개념 없이 물질의 구성 입자를 설명하는 현재까지의 교육과정 구성을 변화시킬 필요성이 있다고 본다.

IV. 요약, 결론 및 제언

현재까지 올바른 과학 개념을 형성하는데 학생들이 느끼는 어려움은 대부분 구성주의적 관점인 학습자의 인지 수준에서 이해하려는 시도가 많았다. 또한 이러한 문제점을 해결하기 위한 시도도 학습자의 인지 갈등 제공으로부터 출발하는 연구가 주류였다.

그러나 이 연구에서는 학습자의 문제보다는 교수법에서 그 문제를 찾아보고자 하였다. 특히 눈으로 관찰하기 어려운 에너지 개념이나 미시세계의 입자관이 요구되는 분야의 경우에는 학습자의 자연 발생적인 오개념 형성이 어렵다고 보기 때문에 교수법에서 그 문제를 찾아보는 것이 더 타당할 수 있다고 보았다. 특히 직접적인 관찰이 어려운 분야에서 학습자가 가

지는 오개념이 과학사적으로 나타난 오개념과 유사한 형태를 가질 때, 이는 교육과정 구성이나 교과서의 진술에서 이러한 오개념을 제공해 주었을 가능성이 높다고 보인다.

이 연구에서는 이러한 문제가 가장 크게 부각되는 영역은 물리학과 화학처럼 서로 다른 학문에서 유사한 주제를 다룰 때일 것이라고 가정하였다. 그 이유는 학문 영역에 따라 동일한 학년의 학생들에게 한 학문에서는 과거의 개념(오늘날 잘못된 것으로 밝혀진 오개념)을, 그리고 다른 학문에서는 현대적 개념을 제시할 가능성이 높기 때문이다. 또한 학문 영역이 다를 경우 전체적인 내용 중 서로 다른 일부분만을 부각하여 가르침으로써 학생들의 이해를 방해할 수도 있기 때문이다.

따라서 전류와 전지 단원을 중심으로 교수법의 문제점을 분석하였다. 이 단원은 물리학과 화학에서 모두 다루고 있으면서 학습자의 오개념 연구가 매우 활발히 이루어진 분야이다.

초등학교 자연 교과서와 중학교 8종 과학 교과서를 분석한 결과, 교과서 진술이나 교육과정 구성에서 현재까지 이루어진 학습자의 오개념 연구 결과와 관련지을 수 있는 많은 문제점이 발견되었다. 특히 물질의 구성 입자에 대한 개념과 에너지의 개념이 혼동되어 교과서에 진술되어 있는 점이 드러났다. 가장 심각한 문제점은 물리에서는 전압을 설명할 때, 산화환원 반응으로 발생한 자유전자에 의해 형성되는 것이라는 설명을 제시하지 않고, 화학에서는 산화환원 반응에서의 전자 출입에만 관심을 가지고 전압의 형성을 전자의 위치에너지 관점에서 설명하지 않음으로써, 정확한 화학전지와 전류 개념을 획득하기 어렵도록 교과서가 구성되어 있다는 점이었다.

전류와 전지에 관련된 학생들의 수많은 오개념 형성을 방지하고 올바른 과학 개념을 가지도록 하기 위해서는 이에 관련된 내용을 정확한 입자 관점과 에너지 관점으로 재구성할 필요가 있다. 즉, 전기는 전기 에너지(전하를 띤 입자가 가지는 위치 에너지, 즉 전위) 개념으로, 전압이나 전위차는 전하를 띤 입자들이 가지는 위치 에너지 차이의 개념으로, 전류는 전하를 띤 입자의 움직임이라는 개념으로, 전하를 띤

입자로는 자유전자, 양이온, 음이온이 있다는 것과 전하는 입자가 아닌 물질의 성질 중 하나라는 개념, 물질을 구성하는 입자로서의 자유전자 개념과 이온 입자를 구성하는 전자의 개념 등이 물리학과 화학에서 통일된 시각으로 정리되어 교과서에서 제시되어야 할 것이다. 그렇지 않으면 메르츠바헤르의 퍼즐과 같은 문제가 앞으로 또다시 일어나게 될 것이다.

또한 과학사적으로 볼 때 잘못된 것으로 판명된 돌턴의 원자설과 같은 입자론으로 화학에서 물질의 구성을 설명함으로써 물리학과 화학에서 설명하는 전류와 전지 개념을 이온이나 자유전자와 같은 현대적 입자 개념으로 이해하기 어렵도록 구성된 현재와 같은 과학 교육과정의 구성을 과감히 수정해야 할 필요가 있다고 본다. 학문간 시각의 괴리를 줄이고 조화를 이룸으로써 학생들이 과학을 올바르게 이해할 수 있도록 하는 노력이 절실히 필요하다고 하겠다.

앞으로는 교육과정의 구성 방식이나 교과서의 진술 방식을 이 연구에서 제안한 형태로 바꾸어 가르쳤을 때 학습자의 오개념이 감소하고 보다 정확한 과학 개념의 획득이 이루어지는지에 대한 후속 연구가 이루어져야 할 것이다. 또한 기압, 열 등과 같이 여러 학문 분야에서 공통적으로 다루는 다른 주제에 대해서도 유사한 연구가 계속될 필요가 있다고 본다.

적 요

초등학교 자연 교과서와 중학교 8종 과학 교과서에서 다루어지는 '전류'와 '전지'에 관련된 내용을 분석한 결과, 교과서 진술이나 교육과정 구성에서 현재까지 이루어진 학습자의 오개념 연구 결과와 관련지을 수 있는 문제점이 많이 발견되었다. 이 단원의 내용은 물리학과 화학 분야에서 모두 다루고 있는데, 특히 물리학 분야에서는 입자 관점의 부족으로 인해, 그리고 화학 영역에서는 에너지 관점의 부족으로 인해 전체적인 개념 획득이 어렵도록 내용이 구성되어 있었다. 물리와 화학에서 제시하는 개념의 시각 차이 뿐 아니라, 같은 학문 안에서도 단원에 따라 다른 시각을 제시하는 경우가 많았다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 현대적 입자와 에너지 관점으로 통합하여

〈연구논문〉 입자와 에너지 관점에서 분석한 초등학교와 중학교 전류와 전지 단원의 문제점: 유성이·백성혜

전류와 전지 단원의 교육과정과 교과서의 진술 방식을 재구성할 필요가 있다. 이를 통해 학문간의 괴리를 줄이고 조화를 이루기 위한 노력이 매우 필요하다.

감사의 글: 이 논문을 쓰는데 필요한 물리, 화학, 전자기학 분야의 지식을 제공해 준 한국과학기술원 물리학과 이순철 교수, 재료공학과 박종욱 교수에게 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

- 강영희, 조완규, 권숙일, 나일성, 소현수, 조희구, 이민호, 윤길수, 하효명, 서평웅, 김종권, 이영만, 목창수(1999). 중학교 2·3학년용 과학교과서. 두산동아:서울.
- 공구영, 김진규, 이광만, 허동, 김택중, 정문호, 이기성, 김병국, 안태근, 김영국, 김수웅, 정익현, 박병훈(1999). 중학교 2·3학년용 과학교과서. 지학사:서울.
- 교육부(1996). 초등학교 자연 3 - 6학년용 교과서. 대한교과서주식회사:서울.
- 교육세계대백과사전연구소(1989). 김도민 편집. 교육세계대백과사전. 교육도서:서울.
- 권재술·김범기(1998). 전기에 관한 학생들의 개념. 한국교원대학교 물리교육연구소.
- 권재술, 김범기, 최병순, 현종오, 이길재, 임건일, 정진우, 이연우, 홍성일(1999). 중학교 2·3학년용 과학교과서. 한샘출판사:서울.
- 김시중, 정원호, 한복수, 우종욱, 이종면, 임경배, 정근화, 민경덕, 구창현, 이광석, 최돈형, 김병국, 이상진, 박범익(1999). 중학교 2·3학년용 과학교과서. 금성출판사:서울.
- 김영민(1993). 전류 측정 실험을 통한 전류 개념 변화. 한국물리학회지 물리교육, 7(1), 26-41.
- 김영민, 박승재(1992). 중학생의 전류 개념 변화에 미치는 체계적 비유 수업의 영향. 한국물리학회지 물리교육, 10(1), 39-68.
- 김영민, 권성기(1992). 전류 개념 변화를 위한 순환 학습의 효과. 한국과학교육학회지, 12(3), 61-76.
- 김영민, 박윤희, 박승재(1990). 중학생의 전류에 대한 학습전 개념과 관계 현상 관찰 후의 설명. 한국과학교육학회지, 10(1), 47-56.
- 두산동아백과사전연구소(1998). 양성모 편집. 두산 세계백과사전. 두산동아:서울.
- 문충식, 권재술(1991). 전류에 관한 학생들의 오인 유형변화의 종단적 연구. 한국교원대학교 석사학위논문.
- 박봉상, 서정쌍, 박희승, 김윤우, 정대영, 허성일, 서광호, 최병수(1999). 중학교 2·3학년용 과학교과서. 동화사:서울.
- 브리태니커 세계대백과사전 연구소(1994). 이연상 편집. 브리태니커 세계대백과사전. 한국브리태니커:서울.
- 송인명, 이춘우, 오제직, 최석남, 박영철, 문형태, 우영균, 곽종흠(1999). 중학교 2·3학년용 과학교과서. 교학사:서울.
- 안수영(1989). 전류 현상 관찰 전후에 있어서 학생들의 오인 유형 및 그 변화. 한국교원대학교 석사학위논문.
- 우규환, 김강진, 이인길, 여상인(1999). 고등학교 화학 II 교과서. 천재교육:서울.
- 우규환, 홍종배, 안태인, 권병두, 진황운, 손영진, 이평윤, 전성용(1999). 중학교 2·3학년용 과학교과서. 천재교육:서울.
- 운평어문연구소(1996). 김낙준 편집. 금성 NEWACE 국어사전. 금성교과서:서울.
- 원동만(2000). 논리제시에 의한 초등학생의 인지갈등 측정 도구 개발과 적용. 한국교원대학교 석사학위논문.
- 정창희, 이원식, 강만식, 이인규, 송희성, 윤홍식, 이금휘, 한인섭, 박은호, 문찬호, 윤용(1999). 중학교 2·3학년용 과학교과서. 교학사:서울.
- 조성호, 박승재, 박봉상, 권순일, 정대영(1999). 고등학교 물리II교과서. 금성출판사:서울.
- 주충렬(1994). 분석화학. 형설출판사:서울.
- Beaty, W. J.(1998). "Electricity" Misconceptions in K-6 Textbooks. <http://www.amasci>.

- com/miscon/eleca.html
- Dupin, J. J. & Johsua, S.(1987). Conceptions of French Pupils Concerning Electric Circuits: Structure and Evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(9), 791-806.
- Ogude, A. N. & Bradly, J. D.(1994). Ionic Conduction and Electrical Neutrality in Operating Electrochemical Cells: Pre-College and College Student Interpretations. *Journal of Chemical Education*, 71, 29-34.
- Sanger, M. J. & Greenbowe, T. J.(1997). Students' Misconceptions in Electrochemistry: Current Flow in Electrolyte Solutions and the salt Bridge. *Journal of Chemical Education*, 74, 819-823.
- Shipston, D. M.(1985). *Electricity in Simple*. Open University Press Milton Keynes Philadelphia. 33-51.
- Tasker, R. & Osborne, R. (1985). Science Teaching and Science, Osborne, R. & Freyberg, P.(Ed.), *The implications of children's science*, Heinemann. Auckland London Portsmouth N. H., 15-27.
- Thorley, N. R. & Treagust, D. F.(1987). Conflict within dynamic interactions as a stimulant for conceptual change in physics. *International Journal of Science Education*, 9(2), 203-216.