

# 중학생의 정전기 개념 정립을 위한 튜토리얼 개발

홍명수<sup>1\*</sup>, 이정숙<sup>2</sup>, 김소연<sup>2</sup>, 김종복<sup>2</sup>

<sup>1</sup>시흥중학교, 서울특별시 153-033

<sup>2</sup>한국교원대학교, 충청북도 363-791

## Development of Tutorial for Concept Learning about Electrostatics in Middle School

Myeongsoo Hong<sup>1\*</sup>, Jungsook Lee<sup>2</sup>, Soyeon Kim<sup>2</sup> and Jung Bog Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Shi-heung Middle School, Seoul 158-076, Korea*

<sup>2</sup>*Department of Physics Education, Korea National University of Education, Chung-buk 363-791, Korea*

### 요약

본 연구는 정전기의 개념 정립을 위한 튜토리얼을 개발한 것이다. 개발된 튜토리얼 초안에 대해 학생들과 활동하면서 4차례 예비검사를 실시하여, 활동에서 드러나는 학생들의 오개념을 구체적으로 파악하고 각 오개념의 수정을 돕는 다양한 활동을 수정·보완하여 최종 튜토리얼을 개발하였다. 사전 검사-워크시트-사후검사의 통합적 시스템으로 구성되며, 실험과 추리에 기반한 정전기 튜토리얼은 학생들의 개념 학습에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판명되었다.

**주제어** : 정전기, 튜토리얼, 개념학습

### 서론

학생들은 특히 여러 물리 개념 중에서도 전기 개념을 학습하기 어려워한다. 전기는 생활에 필수적인 수단으로서 학생들 누구나 전기를 배우기 훨씬 전부터 그 용도와 특성에 비교적 친숙해 있다. 그리하여 학생들은 전기 개념에 대해 옳고 그름을 떠난 다양한 생각들을 가지고 있고, 전기 개념에 대한 정규 수업 받은 후에도 전기의 성질에 대해 잘못 이해하고 있는 경우가 많다(노은정과 이기중, 1996).

제 7차 과학과 교육과정에서 전기 관련 내용을 살펴보면, 과학적인 전기 개념의 학습은 8학년에서 체계적으로 이루어지며, 그 시작이 되는 단원은 정전기 단원이다(교육부, 1997). 이 단원에서 교사는 일상생활에서 경험할 수 있는 재미있는 현상을 도입하고 호기심을 유발하는 소재들을 사용하여 눈에 보이지

않는 전기를 구체적으로 이해하기 쉽도록 지도하며, 학생들이 거시적인 정전기 현상을 미시적인 원자 수준에서 바르게 이해하도록 지도하여, 이를 바탕으로 이어지는 단원에서 전류, 전압, 저항 등의 전기 관련 개념을 학습할 수 있도록 해야 한다.

그러나 학생들은 거시적인 정전기 현상을 미시적인 수준에서 이해를 하는데 많은 어려움을 겪고 있고, 단원 학습이 끝나고 난 후에도 정전기에 대한 다양한 오개념을 가지고 있다는 선행 연구 결과가 있지만, 학생들의 오개념을 변화시키는 구체적인 교수 학습 자료가 부족한 실정이다. 학습 후에 생기는 오개념을 줄이기 위해서는 정전기 오개념에 대한 선행 연구를 바탕으로 정전기에 대한 과학적 개념을 정립해나갈 수 있도록 하는 교수 학습 자료의 개발이 필요하다.

김재우와 오원근(2004)은 전기 개념의 교육과정에서 정전기를 먼저 도입하는 이유는 정전기를 통하여 전기의 개념을 형성하고, 이를 바탕으로 전류 개념과 그 작용에 대하여 학생들이 이해하도록 하려는 것이라고 하였다. 즉, 정전기 개념에 대한

\*교신저자: hongms00@naver.com

•2008년 9월 26일 접수, 2009년 2월 20일 통과.

과학적 학습은 이후의 전기 개념의 학습을 위한 중요한 기초라고 할 수 있다. 그러므로 8학년 학생들의 정전기의 개념 학습을 위한 교수 학습 자료의 개발은 전기 개념의 학습을 위해서 꼭 필요한 연구이며, 이를 위해서는 교수 학습 자료 개발에 대한 방향성을 올바르게 세우는 것이 매우 중요하다.

본 연구에서는 제 7차 교육과정과 정전기 오개념에 대한 선행연구에 대한 고찰을 통해 정전기 튜토리얼 개발의 방향성을 수립하고, 이를 바탕으로 학생들의 정전기 개념 정립을 위한 교수 학습 자료로서 튜토리얼을 개발하였다.

### 튜토리얼이란?

튜토리얼(Tutorial)은 Washington 대학의 Lillian C. McDermott 과 물리교육연구팀에 의해 개발된 교수 학습 자료이다.

Lillian C. McDermott(1991)은 학생과 교사 모두에게 잘 맞지 않는 교육 과정에 의해 교육의 문제점들이 더욱 악화되어 왔다고 지적하며, 교육과정의 본질은 무엇을(what) 알고 있는가와 함께 어떻게(how) 알고 있는가를 강조하는 것, 즉 내용과 과정(content and process) 사이의 균형에 의해 결정된다고 말하고 있다. 또한 교육 과정이 효과적이라면, 현재의 학생들의 지적 발달 수준에서 학생들과 만나야 한다고 주장하고 있다. 다시 말해 교육과정과 학생 사이의 불일치를 극복해야 한다는 것이다. 그러므로 교육 과정을 개발할 때 교사 중심적인 전통적인 접근보다는 구성주의적 접근을 해야 한다고 지적하고 있다.

튜토리얼은 사전검사, 워크시트, 숙제 그리고 사후 검사의 통합된 시스템으로 구성되어 있다.

사전검사는 학생들이 자료에 대해서 무엇을 이해하고 있는지와 무엇을 이해하지 못하고 있는지 그리고 앞으로 무엇을 배우게 될 예정인지를 확인하도록 도와주며, 교사에게는 학생들의 이해 수준에 대해 알려준다. 사전검사의 가장 중요한 가치는 학생들이 학습 전에 가지고 있는 개념을 이끌어내는 데 있다. 사전검사를 통하여 성적을 매겨서는 안 되지만, 사전검사의 참여도는 성적에 반영하여 학생들이 사전 검사를 진지하게 받아들이도록 할 필요가 있다. 교사는 학생들에게 워크시트 활동은 사전검사에 대답하기 위해 필요한 내용을 학습하는 것이라고 말해야 한다. 학생들이 워크시트 활동을 하고 난 후 교사는 학생들에게 사전검사와 관련한 내용을 언급할 수 있고, 사전검사에서의 자신의 답이 어떻게 변했는지에 대해 곰곰이 생각해보도록 한다.

워크시트는 기본 개념을 발전시키고 적용하는데 필요한 추

리를 통해 단계적으로 학생들을 이끌 수 있도록 하는 과제와 질문들로 구성되어 있다. 학생들은 동료와 교사와의 토론을 통해 스스로 답을 찾는다. 교사는 강의하지는 않지만 학생들 스스로 답을 찾도록 도와줄 수 있는 질문을 한다.

숙제는 워크시트에 포함된 내용을 강화하고 연장하는 과정이다. 튜토리얼이 보다 효과적이기 위해서는 사후검사(정규 시험)가 중요하다. 사후검사는 튜토리얼에서 강조된 개념적 이해와 추리 능력을 검사하는 정성적인 질문들로 구성된다. 검사 결과 예상하지 못한 오개념들이 표출되기도 하는데 이들은 추후 워크시트의 수정 보완자료로 활용할 수 있다.

본 논문에서는 튜토리얼을 구성하는 사전검사, 워크시트, 숙제, 사후검사 4개의 항목 중에서 숙제 부분을 뺀 사전검사, 워크시트, 사후검사 3개의 항목을 개발하였다.

### 연구 절차 및 방법

정전기 튜토리얼 개발의 방향성을 수립하기 위하여 기초연구로서 튜토리얼, 정전기 오개념에 대하여 문헌 연구 및 선행 연구를 고찰하였고, 제 7차 교육과정의 정전기 단원 내용에 대해 고찰하였다.

기초 연구에서 수립된 방향성을 토대로 튜토리얼 초안을 개발하였다. 개발된 튜토리얼 초안은 사전검사와 워크시트로 구성되었다. 사후검사는 사전검사의 문항을 그대로 사용하였다. 개발된 튜토리얼 초안에 대해 교육전문가 6명으로 구성된 세미나 팀에서 과학적이며, 논리적인 오류가 없는지를 검토한 후 4차례의 예비검사를 실시하였다. 매 검사마다 3~4명의 중학생이 참여하여 연구자와 함께 튜토리얼 학습 활동을 하였으며, 검사 내용은 녹음하여 전사하였고, 활동자료와 전사자료를 분석하였다. 예비검사가 끝날 때마다 그 결과를 바탕으로 세미나 팀에서 논의 과정을 거쳐, 튜토리얼을 수정·보완하여 총 6차시 분량의 튜토리얼이 개발되었다.

### 연구 결과 및 논의

#### 정전기 튜토리얼 개발의 방향성

제 7차 교육과정의 8학년에서 학생들은 정전기 현상에 대한 과학적 개념을 처음으로 학습하며, 이 학습은 이후의 올바른 전기 개념 학습에서 중요한 역할을 한다. 그러나 선행연구(김재우와 오원근, 2004; 김재원, 2007; 박묘현, 2006; 박종원 등,

1998; 송진웅 등, 2002; 이규명, 2000; Harrington, 1999; Knight 2002)를 고찰한 결과, 학습 내용에 따라 표 1과 같은 오개념을 가지고 있음을 알 수 있었다. 특히, 물체(도체와 부도체)와 물체의 대전상태(대전과 중성)의 구분, 대전체를 이용한 도체의 대전, 대전된 도체에서의 전하 분포, 대전된 부도체에서의 전하 분포, 부도체의 정전기 유도, 도체 사이의 정전기 유도에서 개념 형성이 제대로 되고 있지 않다고 지적하고 있다. 이에 대해 송진웅 등(2002)과 김재원(2007)은 도체와 부도체의 특성의 차이에 근거한 수업을 정전기 개념지도의 방향으로 제안하고 있다.

그리고 오개념 선행 연구(송진웅 등, 2004; 김재원, 2007)를 8학년 정전기 학습 이전과 이후로 구분하여 고찰한 결과, 학생들은 학습 이전에 정전기에 대한 견고한 오개념을 가지고 있다 기보다는 정전기에 대한 과학적 개념이 거의 없는 상태라고 생각된다. 그리고 학생들은 학습 이후에도 정전기의 과학적 개념이 정립되어 있지 않은데, 이것은 학습 이전의 학생의 오개념이 원인인 경우도 있지만, 그보다는 교과서를 중심으로 한 정전기 교육이 과학적 개념 정립에 도움이 되지 못하고 있음을 알 수 있었다.

문헌 및 선행 연구 고찰을 통해 다음과 같이 개발 방향성을

수립하였다.

첫째, 8학년의 정전기 개념 학습은 학생들의 오개념이 과학적 개념으로 변화하도록 유도하는 측면도 있지만 개념 정립의 측면이 더 강조되어야 한다.

둘째, 정전기의 과학적 개념 정립을 위해서는 도체와 부도체의 전자의 특성의 차이를 바탕으로 정전기 현상을 이해하도록 해야 한다.

셋째, 선행 연구에서 학생들이 학습 이후에도 견고하게 자리 잡고 있는 오개념을 참고로 하여 그러한 오개념이 생겨나지 않도록 개발한다.

### 정전기 튜토리얼의 구성

정전기 튜토리얼은 사전검사, 워크시트, 사후검사로 구성된다.

사전 검사는 튜토리얼 소단원의 학습 목표와 선행연구에서 지적되었던 학습 이후에도 자리 잡고 있는 오개념을 바탕으로, 송진웅 등(2002)의 오개념 연구에서 사용되었던 검사지를 수정하여 사용하거나 새로 제작하였다. 해당 차시에서 사전 검사가 차지하는 시간은 5분 정도이다. 각 소단원마다 문항 수는 2개 정도로 하고, 문제 형식은 '선택 후 설명' 방식을 취하였다. 사

표 1. 학습 내용에 따른 정전기 오개념

전기의 기본개념과 전기력에 대한 오개념	물체의 대전과 방전에 대한 오개념
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 전하를 물질의 특성이라기보다는 물체로 생각한다.</li> <li>■ 전기와 정전기를 별개의 현상으로 생각한다.</li> <li>■ 정전기와 전류의 차이를 이해하지 못한다.</li> <li>■ 전하량이 다른 두 전하 사이에 작용하는 힘의 크기는 서로 다르다.</li> <li>■ 두 전하 사이에 위치한 또 다른 전하는 두 전하 사이에 작용하는 힘을 막을 수 있다.</li> <li>■ 대전체를 중성의 물체에 가까이 할 때, 두 물체 사이에는 전기력이 작용하지 않는다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 물체(도체와 부도체)와 물체의 대전 상태(대전과 중성)를 구분하지 못한다.</li> <li>■ 원자적 수준에서 중성과 대전 상태를 알지 못한다.</li> <li>■ 물체의 전하분포를 도체와 부도체의 전자의 특성으로 이해 못한다.</li> <li>■ 대전체를 중성의 물체에 가까이 할 때, 대전체의 전하들이 중성의 물체로 이동하고, 멀리 하면 전하들이 대전체로 되돌아온다.</li> <li>■ 대전체가 공기 중에서 방전된다는 것을 이해 못한다.</li> <li>■ 대전체에 손을 댈 때, 손을 통해 전자가 이동하지만 대전체는 중성이 아니다.</li> </ul>

표 2. 사전검사 문항 내용

소단원	문항 번호	문항 분석 번호	문항 내용
1. 마찰전기의 발생과 전기력	1	문항 1.1	마찰한 두 물체 사이에 작용하는 힘
	2	문항 1.2	원자적 수준에서 물체의 대전 여부의 이해
2. 물체(도체/부도체)와 물체의 대전 상태	1	문항 2.1	물체(도체와 부도체)와 물체의 대전 상태(중성과 대전)의 구별
	2	문항 2.2	대전된 부도체에서의 전하 분포
3. 유도와 접촉에 의한 대전	1	문항 3.1	중성의 도체와 대전체 사이의 정전기 유도
	2	문항 3.2	대전된 도체에서의 전하 분포
4. 방전	1	문항 3.3	사람의 손을 통한 도체의 방전

표 3. 튜토리얼 소단원의 학습 주제와 학습 목표

소단원	차시	학습 주제	학습 목표
1. 문지르면 나타나는 것은	1, 2	마찰전기의 발생과 전기력	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 마찰한 물체(도체, 부도체) 사이에 전기력이 작용함을 알 수 있다.</li> <li>■ 마찰에 의한 대전현상의 원인은 전하의 이동임을 알 수 있다.</li> <li>■ (+)전하와 (-)전하의 양을 비교하여 물체의 대전 상태를 알 수 있다.</li> </ul>
2. 마찰하여 전하를 띤 털가죽과 비닐 띠는 도체일까?	3	물체(도체/부도체)와 물체의 대전 상태 (중성/대전)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 도체와 부도체의 전자의 특성의 차이를 이해할 수 있다.</li> <li>■ 마찰하여 전하를 띤 털가죽과 비닐 띠가 도체인지 예상해보고, 실험으로 확인하여 도체·부도체와 대전을 구분할 수 있다.</li> <li>■ 부도체가 대전되었을 때의 전하분포를 이해할 수 있다.</li> </ul>
3. 마찰하지 않고도 전하를 띤 수 있을까?	4, 5	유도와 접촉에 의한 대전	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 알루미늄포일 공의 대전 실험과 검전기 실험을 통해 유도와 접촉에 의한 대전의 원리를 이해할 수 있다.</li> <li>■ 도체가 대전되었을 때의 전하 분포를 이해할 수 있다.</li> </ul>
4. 검전기로 알아보는 방전	6	방전	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 검전기를 이용하여 방전의 개념을 이해할 수 있다.</li> <li>■ 손을 통한 도체의 방전에 대해 이해할 수 있다.</li> </ul>

점검사 문항의 내용은 표 2와 같다. 사전 검사의 실시는 개인적으로 이루어져야 하고 실시 후에 답을 말해주지 말아야 한다.

워크시트는 사전검사에서 제시된 문제들에 대해 스스로 답할 수 있도록 하기 위하여 실험과 추리에 기반하여 문제를 해결해 나가도록 구성하였다. 이 때 실험과 추리의 내용은 학생들의 수준에 적합해야 하며, 추리의 단계를 적절하고 신중하게 구성하여 학생들이 추리 과정을 따라갈 수 있도록 하였다. 사전 검사에서 갈등하거나 해결하지 못한 부분을 워크시트 활동을 통해 해결할 수 있다.

사후검사는 사전검사서 풀었던 문제에 대해 워크시트 활동을 한 후 그 문제에 대해 제대로 이해를 하였는지를 평가하기 위해 사전검사의 문항을 그대로 사용하였다. 사후검사는 워크시트 활동이 끝나고 바로 실시되었다. 사후검사서 학생들의 오개념이 수정되지 않거나 또 다른 오개념이 발견되는 경우에는 워크시트의 수정으로 이어지고, 이러한 4차례의 예비 검사에서의 수정·보완 과정을 통해 튜토리얼을 최종 개발하여 학생들이 튜토리얼의 세 단계를 통해 오개념 수정과 과학적 개념 정립을 할 수 있도록 하였다.

정전기 튜토리얼의 학습 목표는 도체와 부도체의 전자의 차이를 바탕으로 마찰, 유도, 접촉에 의한 대전 현상, 그리고 방전 현상의 원리를 이해하는 것이다. 튜토리얼은 4개의 소단원으로 구성되며, 각 소단원의 학습 주제와 학습 목표는 표 3과 같다.

### 정전기 튜토리얼 개발 과정

개발과정에 참여한 학생은 1차에 4명, 2-4차까지 10명이었

다. 본 논문에서는 10명의 반응에 대하여 주로 기술한다. 튜토리얼의 수정·보완 과정에서 학생들이 활동 내용을 최대한 이해하고 수업(활동)에 참여하기 위하여 내용적인 측면뿐만 아니라 형식적인 측면도 함께 고려하여야 함을 알았다.

형식적인 측면에서 다음과 같은 사항을 고려하였다.

첫째, 워크시트가 텍스트 위주로 개발이 되어서 학생들의 집중력이 저하되는 현상이 관찰되었다. 그러므로 텍스트의 의미를 명확하고 간결하게 표현하고, 그림, 사진, 기호 등의 시각적인 표현을 활용하여, 질문에서 주목해야 할 부분을 진하게 강조 처리하는 방향으로 수정하였다.

둘째, 워크시트의 질문들이 주로 개방형 질문으로 되어 있어서 학생들이 지나치게 확산적인 사고를 하거나, 혹은 사고 자체를 하지 않는 현상이 관찰되었다. 그러므로 추리를 요구하는 질문이 아닌 경우에는 질문을 단답형이나 선다형으로 수정하였다. 추리를 요구하는 질문의 경우에는 질문의 내용에 따라 적절하게 형식을 선택하였다.

내용적인 측면에서는 추리를 요구하는 질문의 경우 내용이 추상적이거나 전개가 비약적인 경우가 있어 학생들이 추리를 어려워하는 것이 관찰되었다. 그러므로 추리를 할 때 가능한 구체적이고 흥미로운 실험을 제시하거나 단계를 추가하여 새롭게 구성하였다. 그리고 추리 과정에서 학생들이 개념적인 어려움을 겪는 부분에 대해서는 힌트를 제시하거나 추리가 용이하도록 그림이나 문장을 수정하였다. 내용적인 측면에서 튜토리얼 활동과정의 구체적인 분석 결과를 소단원별로 정리하였다.

**(1) 소단원 1**

소단원 1의 사전검사 문항은 문항 1.1과 문항 1.2이다.

문항 1.1(그림 1)은 마찰한 두 물체 사이에 작용하는 힘에 관하여 묻는 문항이다. 학생들은 이미 7학년 힘 단원에서 전기력에 대하여 학습을 하였기 때문에 마찰전기, 전기력에 대해 사전 개념을 가지고 학습에 임하고 있다. 선행 연구에서 이러한 문항에 대한 개념 조사는 없었지만, 학생들은 마찰력, 자기력이라고 대답하는 경우가 종종 있다.

1.1. 건조한 겨울날, 플라스틱 빗으로 머리카락을 빗으면 머리카락이 빗에 끌려온다. 플라스틱 빗과 머리카락 사이에 작용하는 힘이 있는가? \_\_\_\_\_

만약 힘이 있다면 그 힘은 무엇인가? \_\_\_\_\_


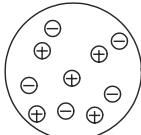


그림 1. 문항 1.1

문항 1.1의 응답 내용을 보면 일상생활에서 많이 사용하는 용어인 정전기라고 쓴 학생들이 10명 중 4명이 있었다. 마찰력이라고 쓴 학생이 3명이 있었는데 이 학생들은 마찰한 후에 작용하는 힘이기 때문이라고 말을 했다. 이것은 시간적 전후 관계를 인과적 관계로 파악하는 오개념의 특징을 보여주고 있다. 자기력이라고 쓴 학생은 두 물체가 서로 끌어당기는 현상이 자석의 서로 다른 두 극이 끌어당기는 현상과 같은 것이라고 생각하였다. 이러한 생각은 워크시트 활동에서 털가죽으로 두 가닥의 비닐 띠를 문질렀을 때 두 가닥의 비닐 띠가 띠는 전기의 종류는 같은가 다른가라는 질문에 대해 같은 극끼리는 밀어낸다

1.2. 다음은 어떤 물체를 나타낸 그림이다.



⊕ : (+)전하를 띠는 알갱이.  
⊖ : (-)전하를 띠는 알갱이.  
하나하나의 알갱이가 띠는 전하의 양은 같다

1) 이 물체는 전하를 띠고 있는가? 다음에서 골라라. (      )  
① 전하를 띠고 있지 않다. ② (+)전하를 띤다. ③ (-)전하를 띤다.  
2) 1)과 같이 생각한 이유를 설명하여라.  
\_\_\_\_\_

그림 2. 문항 1.2

는 자기력의 성질을 근거로 들어 같은 종류의 전기라고 답을 하는 데서도 나타나며, 전기력을 설명할 때 (+)전하와 (-)전하 대신에 (+)극과 (-)극이라는 단어를 사용하는 데서도 확인이 된다.

문항 1.2(그림 2)는 원자적 수준에서 물체의 대전 여부를 이해하는지를 묻는 문항으로서, 학생들은 이에 대해 이전 교육과정에서 학습한 바가 없는 상태이다. 그러므로 이 문항은 앞으로 학습해야 할 내용을 확인하여 워크시트 활동에서 보다 적극적으로 참여하도록 하기 위한 문항이다.

문항 1.2에 대해 학생 10명 중 8명이 사전검사에서 전기를 띠지 않는다고 옳은 대답을 하였다. 사전 학습이 없었지만 7학년 수학 7-가에서 양수와 음수의 덧셈을 배웠기 때문에 (+)전기를 띠는 알갱이의 수와 (-)전기를 띠는 알갱이의 수를 비교하여 산술적으로 계산하는 과정으로 사전검사 문항을 이해하여 정답률이 높은 것으로 생각이 된다. 그러나 그 이유를 서술하는 과정에서 '(+)와 (-)가 만나면 없어질 것 같아서'라는 답변을 보면 수학적 계산에서 0이 되는 것을 전하가 없어지는 것으로 생각할 수도 있음을 의미하며, 이것은 학습 이후에도 중성인 물체는 전하가 없다는 오개념의 존재 가능성을 말해주고 있다.

워크시트 활동에서는 털가죽과 비닐 띠의 마찰 실험으로 마찰전기를 확인하고, 이 실험의 방법과 결과를 근거로 털가죽과 비닐 띠가 띠는 전기의 종류와 전기력을 추리하도록 한 후 학습 내용을 정리하였다. 그리고 원자의 구조에 대한 읽기자료를 근거로 마찰열에 의한 전자의 이동을 추리하고, 물체의 대전의 개념을 (+)전하의 양과 (-)전하의 양을 비교하여 이해하도록 하였다. 또한 마찰전기가 부도체에서만 아니라 도체에서도 발생함을 보여주는 금속과 털가죽의 마찰 실험을 통해 마찰에 의한 전자의 이동을 다시 한 번 정리하였다.

사후검사에서 문항 1.1의 경우, 10명 모두 옳은 답을 하였는데, 이것은 워크시트 활동 과정에서 대전된 물체 사이에 작용하는 전기력에 대한 과학적 개념 학습이 이루어졌기 때문이라고 생각한다. 문항 1.2의 경우, 학생들은 '없어져서'라는 응답은 나오지 않았으나, '원자핵과 전자의 개수가 같아서'라고 2명이 답했는데, 이것은 수업에서 제시한 원자 모형이 원자핵과 전자 한 개로 각각 이루어진 모형을 사용하였기 때문에 나온 응답이라고 생각한다.

**(2) 소단원 2**

소단원 2의 사전검사 문항은 문항 2.1과 문항 2.2이다.

문항 2.1은 물체(도체와 부도체)와 물체의 대전 상태(중성과 대전)를 구별하는 문항이다. 학생들은 4학년에서 도체는 전기

2.1. 건조한 겨울날, 플라스틱 빗으로 머리카락을 빗으면 마찰 전기가 발생해 머리카락이 빗에 끌려온다.

1) 이 현상을 보고 소연이는 플라스틱 빗이 도체라고 생각하였다. 소연이의 의견에 대해 동의하는가, 동의하지 않는가? (\*도체: 전기가 잘 통하는 물체)

\_\_\_\_\_

2) 이유를 설명하여라.

\_\_\_\_\_



그림 3. 문항 2.1

가 잘 통하는 물체이며 부도체는 전기가 잘 통하지 않는 물체임을 회로검사기 실험을 통하여 학습하였고, 소단원 1에서 서로 다른 중성의 두 물체를 마찰하여 전기를 띠는 과정, 즉 대전 과정에 대한 학습을 하였다. 또한 ‘전기가 통한다.’와 ‘전기를

2.2. 전기적으로 중성인 플라스틱 공이 있다. 3개의 전자를 그림과 같이 공에 추가하였다. 잠시 후에 전자들의 움직임은 어떻게 될까? ( )

① 그대로 있다.  
 ② 공의 바깥 표면에 고르게 퍼진다.  
 ③ 공의 내부에 골고루 퍼진다.  
 ④ 공의 내부에서 활발하게 움직이며 돌아다닌다.  
 그 이유는 무엇인가? \_\_\_\_\_

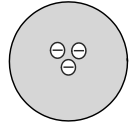


그림 4. 문항 2.2

띠다.’는 일상생활에서 많이 사용하는 용어이기도 하므로 학생들이 두 개념을 구별하고 있는지를 확인하고자 하는 문항이다.

문항 2.1의 응답 결과를 보면 10명 중에서 4명의 학생이 대전된 플라스틱 빗이 도체라고 잘못 생각하였다. 그러나 옳은 응답을 한 6명의 학생의 경우에도 대전과 도체의 개념, 즉 전기를 띠는 것과 전기가 통하는 것의 구분을 정확히 하는 학생이 한 명도 없었다.

문항 2.2(그림 4)는 대전된 부도체에서의 전하 분포에 대한

“털가죽과 비닐 띠를 마찰하면 서로 끌어당긴다. 이 현상을 보고 현수는 털가죽과 비닐 띠가 도체라고 생각하였다. 현수의 의견에 대해 동의하는가? \_\_\_\_\_”

1) 현수는 털가죽과 비닐 띠가 도체인지 부도체인지 확인하는 실험을 하려고 한다. 어떻게 실험하면 확인할 수 있다고 생각하는가?

\_\_\_\_\_

2) **미찰하기 전에** 털가죽과 비닐 띠는 도체인가, 부도체인가? 실험으로 확인하여라. 털가죽 ( ), 비닐 띠 ( )

3) **미찰한 후에** 전하를 띤 털가죽과 비닐 띠는 도체인가, 부도체인가? 실험으로 확인하여라. 털가죽 ( ), 비닐 띠 ( )

4) 위 실험의 결과로 보아 마찰에 의해 털가죽에서 비닐 띠로 이동한 전자들(a, b)은 어떻게 될 것이라고 생각하는지 보기에서 골라라.

① 비닐 띠 안에서 자유롭게 돌아다닌다.  
 ② 비닐 띠로 이동한 후 그 자리에 머물러 있다.

5) 현수의 의견에 대해 두 학생이 이야기를 하고 있다. 어느 학생의 말이 옳다고 생각하는가? ( )

소연: 털가죽과 비닐 띠는 마찰하면 서로 끌어당겨. 이것은 전기력이 작용하는 거야. 그러니까 털가죽과 비닐 띠는 도체야.  
 수미: 아니야. 마찰을 해서 털가죽에서 비닐 띠로 전자가 이동했지만, 이동한 전자는 비닐 띠에서 자유롭게 움직이지 못해서 한 곳에 머물러 있어. 그러니까 도체라고 할 수 없어.

6) 현수는 일회용 플라스틱 접시를 실에 매달아 털가죽으로 마찰하였더니 전기력이 작용하여 서로 끌어당겼다. 마찰하기 전과 마찰한 후에 두 물체는 도체인지 부도체인지 예상하고 실험으로 확인하여라.

	마찰하기 전		마찰한 후	
	예상	확인	예상	확인
플라스틱 접시				
털가죽				

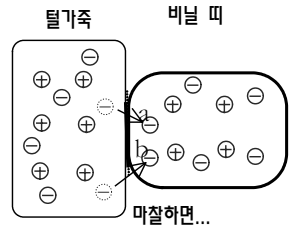


그림 5. 물체와 물체의 대전 상태 구분하는 추리

문항이다. 학생들은 플라스틱 공이 부도체라는 것을 알고는 있으나 부도체에서의 전자의 특성에 대해 학습하지 않은 상태에서 이 문항을 풀어야 한다. 배우지 않은 학생들이 예상을 해보는 것은 또 다른 인지 갈등의 한 면이라고 볼 수 있다.

문항 2.2의 응답 결과를 보면 절반의 학생이 모르겠다고 답을 하였고, 나머지 학생들은 전자들에게 먹힌다는 표현을 쓰거나, 마찰을 한다는 내용이 문제에 제시되지 않았음에도 마찰을 했다고 생각하고 문제를 해석하거나, 전자가 가볍다는 학습 내용에 근거하여 움직임이 활발하다는 등의 다양한 답을 하였다.

워크시트 활동(그림 5)에서는 도입 단계에서 '마찰하여 서로 끌어당기는 털가죽과 비닐 띠는 도체'라는 현수의 의견에 대해 먼저 생각해보도록 한 후, 도체와 부도체의 구별 실험, 도체와 부도체의 전자의 특성의 차이를 학습하고 나서, 현수의 문제를 해결하기 위한 실험을 설계하고 실험결과를 근거로 물체(도체/부도체)와 물체의 대전 상태(중성/대전)를 구분하도록 하였다.

워크시트 활동에서 학생들이 겪는 개념적 어려움을 정리하면 다음과 같다.

학생들은 워크시트 도입 부분의 '마찰하여 서로 끌어당기는 털가죽과 비닐 띠는 도체'라는 현수의 의견에 동의하는가?라는 질문에서 갈등을 겪었고, 이 갈등은 활동 과정에서도 계속하여 나타났다. 예를 들면 3차 검사에 참가했던 4명의 학생들은 현수의 의견에 모두 동의하지 않았고, 현수의 의견을 확인하는 실험으로 모두 회로검사가 실험을 제안하였다. 연구자는 먼저 마찰 전의 두 물체가 부도체임을 회로검사가 실험으로 확인한 후, 두 물체를 마찰하여 서로 끌어당기는 것을 보여주었다. 그런 다음 마찰 후의 회로검사가 실험을 하기 전에 다시 한 번 현수의 생각에 동의하는지를 묻자 이번에는 모두 동의한다고 답을 하였다. 아까 동의하지 않는다고 답변한 것을 환기시키며 다시 생각해보도록 하자, 동의하는 학생이 2명, 동의하지 않는 학생이 2명으로 의견이 나뉘어졌다. 실험으로 부도체임이 확인된 후에도 학생들은 더 많이 마찰하면 불이 켜질 것 같다고 하면

서 계속하여 갈등하는 모습을 보였다.

그리고 학생들은 토의 과정에서 어떤 물체가 '전기를 띤다'는 것과 '전기가 잘 통한다'는 것을 혼동하여 사용하였는데, 이는 학생들이 물체(도체와 부도체)와 물체의 대전 상태(중성과 대전)를 명확하게 구별하지 못함을 의미한다. 마찰 후의 털가죽과 비닐 띠에 대한 회로검사가 실험 후에 나눈 다음의 대화에서 학생들의 개념혼동의 한 예를 살펴볼 수 있다.

학생 A : 실험했던 것 보고 생각한 건데요. 원래 털가죽이 전기를 띠지 않았잖아요.

연구자 : 처음에는 전기를 띠지 않았지.

학생 A : 그런데 비닐 띠에 마찰한 다음에도 전기를 띠지 않았잖아요.

연구자 : 마찰한 다음에는 마찰 전기를 띠었지.

학생 A : 띠기는 띠는데요. 털가죽이 처음에 전기를 띠지 않았잖아요. 그러니까 털가죽이 전기를 띠지 않았으니까요. 아니, 통하지 않았으니까요. 비닐 띠로 마찰해도 그렇게 많이 띠지 않을 것 같아요. 그래서 (전자들이) 그 자리에 머물러 있을 것 같아요.

이러한 개념혼동의 원인으로는 일상생활에서 '전기를 띤다'와 '전기가 통한다'는 자주 사용하는 말인데, 과학적 개념이 아닌 일상적 언어로 사용되면서 그 구별이 명확하지 않게 사용되기 때문이라고 생각한다.

워크시트 활동을 마치고 그림 6과 같은 내용으로 학습 내용을 정리하였는데, 학생들은 좀 더 개념이 잘 구별될 수 있도록 분명하게 정리해줄 것을 요청하였다. 연구자 역시 학생들이 겪는 개념적 어려움이 무엇인지를 깨닫게 되었고, 이 두 개념을 정확히 구별하는 것이 필요하다는 생각을 하게 되었다. 또한 이 개념의 구별은 이후의 정전기와 전류의 개념 학습에도 영향을 미치기 때문에 아주 중요한 의미를 가지고 있다는 생각이

계속하기 전에 선생님과 함께 토의한 내용을 검토하고, 아래 글을 정리하여라.

**정리:** 두 종류의 부도체를 마찰하면 한 물체에서 다른 물체로 ( )가 이동하여 마찰전기를 띠므로 두 물체 사이에는 ( )이 작용한다. 이동한 전자는 부도체에서 (자유로우므로, 자유롭지 못하므로) 그 자리에 머물러 있다. [이런 이유에서 마찰전기를 정전기(머물러 있는 전기)라고도 한다.] 그러므로 부도체가 마찰전기를 띠어 전기력이 작용하면 도체가 된다는 생각은 (맞다. 틀리다.)

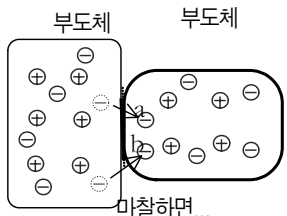


그림 6. 물체와 물체의 대전 상태 구분에 대한 정리 내용

들었다.

그래서 튜토리얼 수정·보완 과정에서 그림 7과 같이 정리 단계의 내용에서 ‘대전과 중성/ 도체와 부도체’의 개념을 구별하는 현수의 개념정리표를 추가하여 학생들이 워크시트 활동의 결과로 두 개념의 차이가 무엇인지를 표로 정리하면서 구별할 수 있도록 하였다.

* 현수의 개념 정리표		
개념	구분 기준	특징
<ul style="list-style-type: none"> <li>중성(전기를 띠지 않음)</li> <li>대전(전기를 띤다)</li> </ul>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>도체(전기가 잘 통하는 물체)</li> <li>부도체(전기가 잘 통하지 않는 물체)</li> </ul>		

그림 7. 물체와 물체의 대전 상태 구분에 대한 추가 정리 내용

사후검사에서 문항 2.1의 경우 10명의 학생 모두 동의하지 않는다고 답을 하였고, 응답 이유에서는 8명의 학생이 옳은 답을 하였다. 이것은 실험에서 부도체임을 확인하였고, 추리의 과정에서 부도체의 전자의 특성에 대해 알게 되었기 때문이라고 생각한다. 하지만 대전과 도체의 오개념은 이후의 학습에서도 나타나므로 이 응답 결과만을 가지고 학생의 개념이 과학적인 개념으로 완전히 바뀌었다고 할 수는 없다. 문항 2.2의 경우 9명의 학생이 옳은 답을 하였고 나머지 한 명은 그림에서 원자핵이 그려져 있지 않아 자유롭게 움직인다고 답을 하였다. 부도체의 전하의 분포에 대한 개념은 학생들이 처음 배우는 추상적인 개념이므로 한 번의 학습으로 개념이 정립되는 것이 아니라, 이후에도 지속적으로 강조하면서 정전기 개념학습을 지도할 필요가 있었다.

(3) 소단원 3

소단원 3의 사전검사 문항은 문항 3.1과 문항 3.2이다.

문항 3.1(그림 8)은 중성의 도체와 대전체 사이의 정전기 유도에 대한 문항이다. 학생들은 대전된 물체 사이에 전기력이 작용하는 것과 도체와 부도체에서 전자의 차이에 대해 배웠지만, 정전기유도를 학습하지는 않았기 때문에 이 문항은 중성의 도체와 대전체 사이에 작용하는 힘에 대한 학생의 개념을 알아볼 수 있다.

이 문항에 대한 응답 결과를 보면 서로 끌어당기는 전기력이 작용한다고 선택한 학생이 4명이었는데, 응답 이유를 통해 학생들의 개념을 정리해보았다. 금속공의 (-)전하가 플라스틱 공으로 이동한다는 학생은 금속의 자유전자의 활발한 움직임만을 생각할 뿐, 플라스틱 공의 (-)전하와의 척력은 고려하지 못하고 있다. 서로 성질이 다른 공이라고 답변한 학생은 금속은 도체이고, 플라스틱은 부도체라는 차이로 인해 인력이 작용한다고 생각하여 도체와 부도체 사이에는 전기력이 작용한다고 생각하고 있다. 서로 다른 전기력을 띠기 때문에 붙을 것이라고 답한 학생은 중성과 (-)전하를 서로 다른 전하를 띤 것으로 생각하고 있으며, 이것은 (+)전하와 (-)전하와 함께 중성도 또 하나의 전하라고 생각하고 있음을 보여준다. 그리고 전기력이 작용하지 않는다고 답을 한 학생은 대전체 사이에서 전기력이 작용한다고 학습하였기 때문에 중성의 금속공과 대전된 플라스틱공 사이에는 힘이 작용하지 않는다고 생각했음을 알 수 있다.

문항 3.2(그림 9)는 대전된 도체에서의 전하 분포에 대한 문항이다. 학생들은 도체의 전자들이 자유전자이며, 같은 종류의 전기 사이에는 척력이 작용함을 학습한 상태이다. 그러므로 이 문항을 통해 학생들이 두 개념을 동시에 생각하는지를 알아볼 수 있다.


문항 3.2의 응답 결과를 보면 5명의 학생이 활발하게 움직인

3.1. 아래 그림과 같이 전하를 띠지 않은 알루미늄공과 (-)전하를 띤 플라스틱 공을 가까이 하면 어떤 힘이 작용하는가? (      )


① 서로 밀어내는 전기력이 작용한다.                      ② 서로 끌어당기는 전기력이 작용한다.

③ 전기력이 작용하지 않는다.

그렇게 생각한 이유는 무엇인가? \_\_\_\_\_



전하를 띠지 않은 중성의 알루미늄공



(-)전하를 띤 플라스틱공

그림 8. 문항 3.1



3.2. 전기적으로 중성인 금속공이 있다. 3개의 전자를 그림과 같이 공에 추가하였다. 잠시 후에 전자들은 어떻게 될까? ( )

- ① 그대로 있다.
  - ② 공의 바깥 표면에 고르게 퍼진다.
  - ③ 공의 내부에 골고루 퍼진다.
  - ④ 공의 내부에서 활발하게 움직이며 돌아다닌다.
- 그 이유는 무엇인가? \_\_\_\_\_

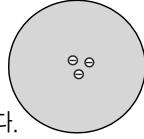


그림 9. 문항 3.2

다고 답을 하였고, 그 이유로는 도체이기 때문이라고 응답한 것으로 보아, 두 가지 개념 중 자유전자이기 때문에 활발하게 움직이는 것만을 고려하고 있음을 알 수 있다. 나머지 학생들은 여러 응답을 하였으나 응답 이유에 대해서는 모르겠다고 답을 하였다.

워크시트의 활동 목표는 알루미늄포일 공의 대전 실험과 검전기 실험을 통해 유도와 접촉에 의한 대전의 원리를 이해하고, 도체가 대전되었을 때의 전하 분포를 이해하도록 하는 것이다. 이를 위한 활동 내용은 알루미늄포일 공의 대전 실험에 대해 먼저 원리를 이해한 후, 검전기 실험에서 다시 한 번 학습한 내용을 적용하여 강화하는 방식으로 구성되어 있다. 학생들은 도체와 부도체의 전자의 특성과 전기력에 대해 이미 학습하였기 때문에 각 실험에 대해 예상하고, 실험으로 확인한 후 추리의 과정을 거쳐 개념을 정립하도록 하였다.

이 활동에서 학생들은 개념학습에서 다음과 같은 특징을 나타내었다.

첫째, 알루미늄포일 공의 대전 실험의 예상 단계에서의 추리의 과정(그림 10)에서 나타나는 개념적 어려움을 정리해 보았다.

실에 매달린 알루미늄포일 공과 음으로 대전된 에보나이트 막대 사이에 작용하는 힘을 예상하기 위해서는 실에 매달린 알루미늄 공의 대전 상태에 대해 먼저 생각해야 한다. 그러나 학생들은 도체와 대전 개념을 혼동하는 모습을 보였으며 이러한 생각은 크게 셋으로 나누어 볼 수 있다.

- 알루미늄은 도체니까 전하를 띤다. 이 생각은 도체와 대전 을 아직도 구별하지 못함을 보여주며, 학생들의 비과학적 개념이 상당히 견고함을 알 수 있다. 그러므로 현수의 개념정리표와 같이 두 개념을 과학적으로 비교 정리하여 구분하도록 한 후 지속적으로 지도할 필요가 있다.
- 알루미늄이 대전열에 없기 때문에 전하를 띠지 않는다, 혹은 금속이 대전열에서 오른쪽(-)전하를 띠기 쉬운 쪽)에 치우쳐 있기 때문에 (-)전하를 띤다. 학생들은 대전열은 마찰을 했을 때의 결과를 나타낸 것이라는 것을 미처 생각하지 못하고 있었다. 연구자가 대전열에 대해 다시 설명을 하고 알루미늄 공은 마찰을 하지 않았다는 것을 환기시키자 학생들은 '아, 그렇지.'하며 그제서야 자신들의 잘못된 생각을 바꾸었다.
- 에보나이트 막대가 (-)전하를 띠니까 알루미늄 포일공은 (+)전하를 띤다. 이렇게 생각한 학생은 알루미늄 포일은 도체니까 전하를 띠어야 하는데, 에보나이트 막대가 (-)전하를 띠고 있으니 알루미늄 포일은 (+)전하를 띠어야 한다고 생각을 한 것이다.

둘째, 알루미늄포일 공 실험을 하고 난 후 유도에 의한 대전을 추리하는 과정(그림 11)에서의 개념적 어려움을 정리해 보았다. 대전된 에보나이트 막대를 알루미늄 포일 공에 가까이

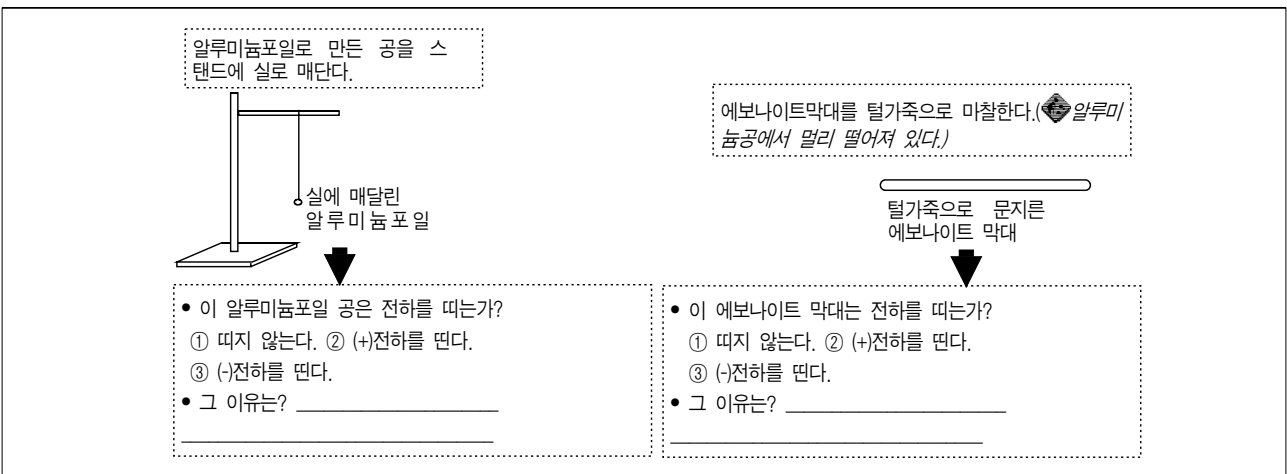
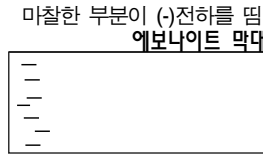


그림 10. 알루미늄 공의 대전 실험

- 에보나이트 막대를 가까이 했을 때 물체 안에서 무슨 일이 일어났는지 생각해보자.



- ① 에보나이트 막대를 가까이 하면 에보나이트 막대의 전자들의 움직임은 어떻게 될까? (👉:에보나이트 막대는 부도체이다.)
- ② 에보나이트 막대를 가까이 하면 알루미늄 공의 전자들의 움직임은 어떻게 될까? (👉:알루미늄 공은 도체이다.)
- ③ 만약 전자가 3개 움직였다면 전자가 어디에서 어디로 움직였는지 위 그림에 화살표로 표시하여라. 그러면 **물체가 띠는 전하**가 어떻게 되는지 그림에 나타내어라.

그림 11. 알루미늄 공의 유도에 의한 대전 과정

했을 때 전자의 움직임에 대해 학생들은 다음과 같은 잘못된 개념을 가지고 있었다.

- 에보나이트에 있던 전자가 알루미늄 쪽으로 간다. 이 생각은 에보나이트가 (-)전하를 띠고 있기 때문에 그 (-)전하가 중성의 알루미늄 포일 공으로 이동한다는 것인데, 학생들은 (-)가 많은 쪽에서 (-)가 없는 쪽으로 전하가 이동한다고 생각하고 있었다. 이것은 물의 흐름과 같이 학생들이 직관적으로 많은 쪽에서 적은 쪽으로 이동한다고 생각하는 것이라 여겨진다.
- 알루미늄 포일 공 안의 전자들은 방향 없이 활발하게 움직인다. 학생들은 알루미늄 포일 공의 전자들이 자유전자이기 때문에 그렇게 움직일 것이라고 생각하고 있었다.
- 알루미늄 포일 공의 전자가 에보나이트 막대로 이동한다. 이 생각 역시 알루미늄 포일 공의 전자가 자유전자이어서

에보나이트 막대로까지 이동할 수 있다고 생각하고 있었다. 두 물체가 접촉하지 않았음에도 한 물체에서 다른 물체로 전자가 이동한다는 오개념은 여러 선행연구에서도 지적되고 있다. 이것은 공기가 도체가 아니라 부도체임을 학생들이 생각하지 못하기 때문이며, 이를 교사가 지적하고 다시 생각해보도록 하여 학생들이 바른 개념을 가질 수 있도록 지도해야 한다.

그리고 학생들은 (-)으로 대전된 에보나이트 막대와 알루미늄포일 공의 자유전자 사이의 전기력을 생각하지 못하고 있음을 알 수 있는데, 도체의 전자는 자유전자이기 때문에 항상 방향성 없이 움직일 것이라는 생각을 강하게 하고 있으며, 또한 전기력은 거시적인 물체들 사이에 작용하는 힘이라고만 생각하며, 미시적 세계에서 물체 내부의 전하들 사이에도 전기력이 작용하고 있음을 생각하지 못하고 있음을 알 수 있다.

유도에 의한 대전은 도체와 부도체의 전자의 차이, 전기력,

- 접촉한 순간에 물체 안에서 무슨 일이...

- ① 접촉한 순간, 어느 곳의 전하가 어느 곳으로 이동하는가?(👉 두 물체 사이의 **전기력**을 생각해 보아라.)\_\_\_\_\_



만약 접촉한 순간 전하가 3개 이동했다고 하자. 그러면 공이 띠는 전하는 (+, -), 막대가 띠는 전하는 (+, -)이므로 두 물체는 서로 (밀어낸다. 당긴다.)

- ② 털가죽으로 문지른 에보나이트 막대는 마찰에 의해 전자를 얻어서 대전된 것이다. 이 경우 알루미늄 공은 어떻게 해서 대전되었는지 다음 중에서 골라라. (마찰, 유도, 접촉)

- 접촉한 후 두 물체를 아주 멀리 해서 두 물체 사이에 힘이 작용하지 않게 할 때 **두 물체가 띠는 전하**를 그림에 그려보자.(👉:알루미늄공은 도체이고, 에보나이트 막대는 부도체이다.)

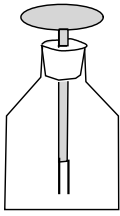


알루미늄 공이 띠는 전하를 왜 그렇게 그렸는지 설명하여라. \_\_\_\_\_  
 에보나이트 막대가 띠는 전하를 왜 그렇게 그렸는지 설명하여라. \_\_\_\_\_

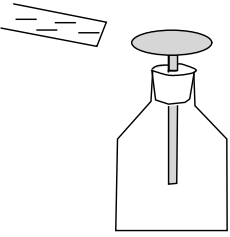
그림 12. 알루미늄 공의 접촉에 의한 대전 과정

2) **실험 전 예상하기** : 아래 그림의 순서대로 실험한다면 그림 (나), (다)에 금속박의 움직임이 어떻게 예상하여 **연필로** 그려 넣고, 그렇게 예상한 이유를 써라.

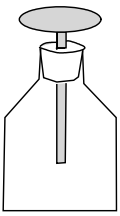
(가)전기를 띠지않음.



(나)털가죽으로 문지른 에보나이트 막대를 **금속판에 가까이 한다.**



(다)에보나이트막대를 **금속판에 접촉한 후 멀리 치운다.**



검전기는 처음에 전하를 띠지 않으므로 두 금속박은 벌어지지 않는다.

<예상한 이유>

<예상한 이유>

3) 위 순서대로 실험을 한 후 금속박의 움직임을 관찰하여 그림 (나), (다)에 **빨간색 볼펜으로** 그려 넣어라. 검전기의 각 부분이 **띠는 전하를** 그림에 그리고 금속박의 움직임을 설명하여라.

- (나) :
- (다) :

그림 13. 검전기 실험의 추리

그리고 양전하가 움직이는 것이 아니라 음전하가 움직인다는 것을 모두 다 생각하고 있어야 바른 개념을 가지게 되는 것이므로 학생들이 이 내용을 동시에 생각하기는 어려울 수가 있다. 그러므로 교사는 이 상황을 이해할 때 생각해야 할 근거들이 무엇인지 학생들과 하나하나 정리하면서 바른 개념을 가질 수 있도록 지도해야 할 것이다.

셋째, 알루미늄포일 공의 대전 실험에서 접촉에 의한 대전과 도체에서의 전하의 분포(그림 12)에 대한 학생들의 개념적 어려움을 정리하였다.

학생들은 다음과 같은 잘못된 개념을 가지고 있었다.

- 접촉에 의한 대전의 문제에서 전기력에 의해 알루미늄 공의 (+)전하가 에보나이트 막대로 이동한다. 이 경우에 (+)전하는 무거워서 이동할 수 없다는 것을 환기시키면 학생들은 옳은 답을 하였다.

- 접촉에 의한 대전의 문제에서 에보나이트 막대의 (-)전하가 자유전자가 아니라서 알루미늄 공으로 움직일 수 없다. 이 경우에 털가죽과 에보나이트 막대를 마찰할 때 털가죽의 전자가 자유전자가 아니지만 마찰열에 의해 이동했음을 설명하고, 자유전자가 아니어도 서로 접촉하여 전기력이 작용하면 이동할 수 있음을 설명하면 학생들은 어느 정도 이해를 하였다. 그러

나 정확히 이해했는지는 검전기 실험을 통한 적용 학습을 통해 확인해야 할 것이다.

- 도체(알루미늄 포일 공)에서의 전하의 분포를 그릴 때 학생들은 골고루 퍼지게 그린다. 이러한 생각도 거시적인 대전된 물체들 사이의 전기력은 생각을 하지만 미시적인 세계에서의 물체가 띠는 전하들의 전기력을 바로 생각하지 못함을 알 수 있다. 대전된 도체의 전자들이 (-)전하를 띠고 있다는 것을 확인시킨 후 다시 한 번 생각해보게 하면 학생들은 옳은 대답을 하였다.

넷째, 검전기 실험에서의 유도과 접촉에 의한 대전, 그리고 도체의 전하 분포(그림 13)에 대한 학생들의 개념적 어려움을 정리하였다.

학생들은 알루미늄포일 공의 대전 실험에서 학습한 내용을 검전기에 적용하여 문제를 풀게 되는데, 예상-실험-추리의 과정을 거쳐 개념을 정립하도록 하였다. 예상의 단계에서 가장 많이 나타나는 생각은 다음과 같다.

(나)의 경우, 10명 중에 8명이 금속박이 벌어진다고 예상했고, 그 이유는 다음과 같이 세 가지로 나뉘었다. 첫 번째는 자유전자의 움직임으로 옳게 설명하는 경우이고, 두 번째는 과정에 대한 설명은 하지 않고 전기를 느껴서 혹은 전기력이 작용

해서라고 간단하게 설명하는 경우이고, 세 번째는 알루미늄 포일 공 실험에서 에보나이트 막대를 가까이 했을 때 포일공이 끌려온 실험의 결과를 떠올리면서 막대와 검전기가 서로 끌어당겨서 접촉하게 되어 전기력이 작용한다고 생각하는 학생이 있었다.

(다)의 경우, 10명 중에 8명이 금속막이 원래대로 돌아간다고 답을 하였고, 그 이유로는 8명 모두 더 이상 전기력이 작용하지 않기 때문이라고 답을 하였다.

실험 단계에서 (나)의 경우 실험 결과를 보여주고, 검전기의 금속이 도체임을 확인시킨 후 검전기 안에서 어떤 일이 일어났는지를 설명해보라고 하자, 학생들은 자유전자의 움직임으로 설명을 하기 시작했고, 같은 전기를 띠기 때문에 벌어진다는 걸 이해했다.

(다)의 경우, 접촉한 후 멀리 했을 때도 벌어지는 현상을 보고 접촉했을 때 어떤 일이 일어났는지를 설명해보라고 하자, 접촉했을 때 전자가 금속판으로 옮겨갔다고 답을 하였다.

이 활동으로 학생들이 유도와 접촉의 대전을 학습했다고 하더라도 학습한 내용으로 예상을 하는 것이 아니라 실험 방법에 따라 직관적으로 결과를 예상함을 알 수 있었다. 그런데 예상 단계에서 같던 학생들이 실험 결과를 보고 난 후에는 비교적 어렵지 않게 유도와 접촉에 의한 대전을 설명하는 모습을 보였는데, 이것은 실험 결과가 확인이 되자 결과를 적극적으로 해석하려는 동기가 부여되었기 때문이라고 생각이 된다.

사후검사에서 문항 3.1의 경우, 10명 모두 옳은 답을 하였고, 응답 이유 역시 정확하게 설명하였는데, 학생들은 워크시트 활동에서 알루미늄 공의 움직임을 예상하도록 한 후, 결과를 확인하고, 그 원리를 추리를 통해 깨달아나가는 활동이 도움이 되었다고 하였다. 문항 3.2의 경우 학생들은 모두 옳은 응답을 하였다. 그러나 부도체에서의 전하 분포와 마찬가지로 이 개념 역시 처음 배우는 추상적인 개념이므로 한 번의 학습으로 개념이 정립되는 것이 아니라 이후에도 지속적으로 강조하면서 정전기 개념 학습을 지도할 필요가 있다.

**(4) 소단원 4**

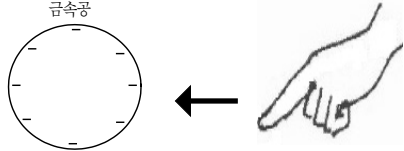
소단원 4의 사전검사 문항은 문항 4.1이다.

문항 4.1(그림 14)은 사람의 손을 통한 도체의 방전에 대한 문항이다. 학생들은 사람의 손을 통한 방전을 일상생활에서 많이 경험하는데, 사람의 손을 통해 전자가 들어온다고 생각하는지, 아니면 손을 통해 전자가 빠져나간다고 생각하는지를 알아

보기 위한 문항이다.

문항 4.1에 대한 학생들의 응답은 각각 다르게 나타났는데, 주로 사람의 손을 통한 전자의 이동 방향에 대한 오개념과 손을 통해 방전이 일어난 후에도 도체는 대전되어 있다고 생각하는 오개념이 있음을 확인할 수 있었다. 사실 무시할 만큼 작은 양의 전하가 남아있기는 하지만 이것을 대전되었다고 하는 것은 오개념으로 간주한다. 이 오개념은 선행연구에서도 많이 지적되는 오개념이다.

4.1. 아래 그림과 같이 (-) 전하를 띠고 있는 금속공이 있다.




1) 이 금속공에 손가락을 **접촉하면 금속공이 띠는 전하**는 어떻게 될까? ( )  
 ① (+) 전하를 띤다. ② (-) 전하를 띤다. ③ 전하를 띠지 않는다.  
 2) 1)과 같이 생각한 이유는 무엇인가?  
 \_\_\_\_\_

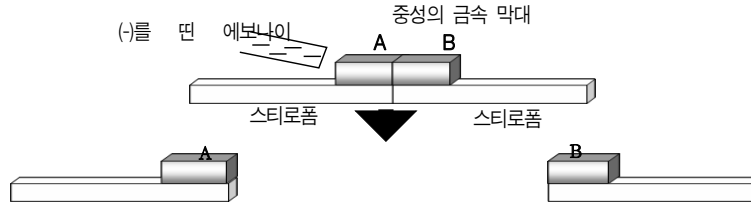
그림 14. 문항 4.1

도체의 방전에 대한 워크시트 개발은 다음과 같은 수정단계를 거쳤다.

처음에 개발된 워크시트에서는 도입 단계에서 음전하로 대전된 검전기의 전하를 잃게 하는 방법에 대해 문제제기를 하고, 손가락을 통한 방전 실험을 통하여 방전의 개념을 형성하는 활동을 하고, 중성의 도체에 대전체를 가까이 한 상태에서 손가락을 접촉한 후 대전체와 손가락을 동시에 멀리 한 경우에 방전 개념을 적용하여 이해하는 활동을 한다. 이 워크시트에 대한 예비검사 결과를 다음과 같이 세 단계 활동으로 구분하여 분석하였다.

첫째, 도입 단계에서, 학생들의 답변은 '(+)를 띤 털가죽으로 접촉한다, (-)를 띤 에보나이트 막대를 접촉한다, (-)전하를 빼낸다.' 등으로 나누어 볼 수 있었다. (-)전하를 빼내는 실험은 해볼 수 없었지만, 대전된 털가죽과 에보나이트 막대를 접촉하여 금속막의 변화를 보는 실험을 하였더니 털가죽의 경우에는 금속막이 오므라들고, 에보나이트의 경우에는 금속막이 벌어졌다. 학생들은 이 결과를 보면서 굉장히 흥미로워했다.

- 1)  **검전기**, 두 금속막대(스티로폼 위에 테이프로 부착되어 있다), 털가죽, 에보나이트 막대를 준비하여 다음 실험을 해보자.
  - ① 먼저 두 금속막대가 중성임을 검전기로 확인하여라. (금속막대를 검전기의 금속판에 **가까이하어** 금속박의 움직임을 관찰한다.)
  - ② 두 금속막대를 접촉시킨 후 털가죽으로 문지른 에보나이트 막대를 금속막대 A에 **가까이한 상태에서 금속막대 B를 멀리 떨어뜨린 후 에보나이트 막대를 치운다.**



- 이제 두 금속막대가 전하를 띠는지 검전기로 확인하여라.  
 금속막대 A : 금속박이 ( ) -> 전하를 ( )  
 금속막대 B : 금속박이 ( ) -> 전하를 ( )
- 두 금속막대가 전하를 띠다면 각각 어떤 전하를 띠는가? 그 이유는 무엇인가?
- ③ 두 금속막대에 각각 손가락을 접촉시킨 후 손가락을 치운다.



- 두 금속막대가 전하를 띠는지 검전기로 확인하여라.  
 금속막대 A : 검전기의 금속박이 ( ) → 전하를 ( )  
 금속막대 B : 검전기의 금속박이 ( ) → 전하를 ( )
- 두 금속막대에 손가락을 접촉했을 때 어떤 일이 일어났는지 설명하여라.



 정리 : 위와 같이 '대전된 물체가 전하를 띠지 않게 되는(중성이 되는) 현상'을 '\_\_\_\_\_' 이라고 한다. 대전된 물체를 방전시키는 방법은 \_\_\_\_\_.

그림 15. 방전 개념 이해 실험 (1)

둘째, 방전 개념 이해 실험(그림 15)에서 다음과 같은 문제 점이 드러났다.

• 이 실험은 '방전'이라는 개념을 배우는 실험으로서는 적절하지 않았다.

- 2)  스티로폼에 부착한 길다란 금속막대, 털가죽, 에보나이트 막대, 검전기를 준비하여 다음 실험을 해보자.

- ① 먼저 금속막대가 중성임을 검전기로 확인하여라.
- ② 털가죽으로 문지른 에보나이트 막대를 금속막대의 왼쪽에 **가까이 한 상태에서** 금속 막대의 오른쪽에 손가락을 접촉시킨다. 그 다음 에보나이트 막대와 손가락을 치운다.



- 금속막대가 전하를 띠는지 검전기로 확인하여라.  
 검전기의 금속박이 ( ) → 전하를 ( )
- 금속막대가 어떤 전하를 띠는지 생각해보고 적어라. ( )  
 그렇게 생각한 이유를 적어라. \_\_\_\_\_

그림 16. 방전 개념 적용 실험

이 실험의 제목을 붙인다면 손가락을 통한 방전이고, 방전의 기본 개념을 이해하는 실험으로는 정확하지 않음을 알게 되었다. 이 실험으로 학생들은 손가락을 통한 방전만이 유일한 방전인 것으로 오해할 소지가 있었다.

- 실험의 결과가 제대로 나오지 않았다. 금속막대가 대전되었는지를 검전기의 금속박의 움직임으로 확인해야 하는데, 금속박의 움직임이 너무나 미약하여 관찰이 쉽지 않았고, 날씨의 영향을 많이 받았다. 연구자가 사전에 실험을 했던 시기는 초여름이었는데, 이때는 어느 정도 결과가 관찰되었다. 그런데 학생들과의 활동은 학교 교육과정을 고려해 기말고사가 끝나고 실사가 되어 무덥고 습기가 많을 때였는데, 이때는 결과가 잘 나오지 않았다. 그러므로 날씨에 관계없이 확실한 결과가 나오도록 하는 실험으로 대체할 필요성이 있었다.

셋째, 방전의 개념을 알고 난 후 손가락을 통한 방전의 적용 실험(그림 16)에서는 다음과 같은 문제점이 드러났다.

- 이 실험 역시 앞서의 실험 결과와 마찬가지로 실험 결과가 제대로 나오지 않는다는 문제점이 나타났다. 이 실험과 유사한 실험으로서 검전기를 이용한 실험이 있으며, 이 경우에는 실험

결과가 아주 잘 나타난다. 검전기 실험은 음으로 대전된 에보나이트 막대를 검전기의 금속판에 가까이 한 상태에서 금속판에 손을 접촉시킨 후 막대와 손을 동시에 치운 후 금속박을 관찰하는 것이다. 그러나 이 실험에서 에보나이트 막대를 가까이 했을 때의 금속박의 벌어지는 정도보다 막대와 손을 동시에 치운 후에 금속박이 더 많이 벌어지는데, 이 내용은 학생들이 이해하기에는 너무 어려운 내용이다.

- 이 실험의 결과를 통해 학생들은 손가락을 통한 방전으로 인해 물체는 (+)전하를 띤다고 단편적으로 생각해버리는 모습이 나타났다. 그림 15의 실험에서는 손가락을 통한 방전으로 중성이 되었는데, 이 실험에서는 손가락을 통한 방전으로 (+)전하를 띠게 되는, 학생의 입장에서 보면 모순적인 결과가 제시가 되는 것이다.

워크시트 활동이 끝나고 사후 검사에서 학생들은 모두 잘못된 답을 하였기 때문에 워크시트의 내용을 대폭 수정할 필요가 있었다. 예비검사의 결과를 바탕으로 다음과 같이 수정의 방향을 정하였다.


- 방전의 개념을 이해하기 위하여 도입 단계의 문제제기를 해결할 수 있는 다양한 방법을 생각해보도록 하고 그에 대

🔑 “털가죽으로 문지른 에보나이트 막대를 검전기의 금속판에 접촉한 후 치우면 검전기는 (-)로 대전된다. 이 검전기가 띠는 (-)전하를 잃게 하려면 어떻게 해야 할지 각자의 생각을 써보아라.”


나의 생각: \_\_\_\_\_

1) 🧸 검전기 3개, 털가죽, 에보나이트 막대를 준비하여 다음 실험을 해보자.


- 각각의 검전기의 금속판에 털가죽으로 문지른 에보나이트 막대를 접촉한 후 치워서 검전기를 **(-)로 대전시킨 상태에서** 다음의 실험을 해보자.



(-)로 대전된  
검전기 A



(-)로 대전된  
검전기 B



(-)로 대전된  
검전기 C

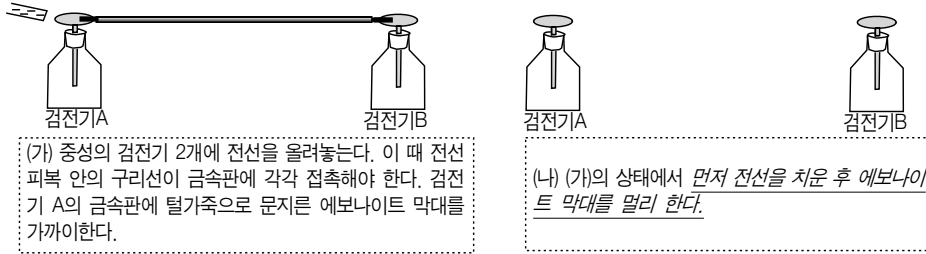
- ① 검전기 A의 금속판에 에보나이트 막대((-)를 띠고 있음)를 접촉해보자. 검전기의 금속박은 어떻게 되는가? \_\_\_\_\_  
그 이유는 무엇이라고 생각하는가? \_\_\_\_\_
- ② 검전기 B의 금속판에 털가죽(+)를 띠고 있음)를 접촉해보자. 검전기의 금속박은 어떻게 되는가? \_\_\_\_\_  
그 이유는 무엇이라고 생각하는가? \_\_\_\_\_
- ③ 검전기 C의 금속판에 손가락을 접촉해보자. 검전기의 금속박은 어떻게 되는가? \_\_\_\_\_  
그 이유는 무엇이라고 생각하는가? \_\_\_\_\_

- 위 실험의 결과를 종합하여 검전기가 띠는 (-)전하를 잃게 하려면 어떤 방법을 사용하면 되는지 정리해보아라.

🔑 **정리** : 위와 같이 '대전된 물체가 전하를 잃는 현상'을 ' \_\_\_\_\_ ' 이라고 한다. 대전된 물체를 공기 중에 오래 놓아두어도 대전체와 공기 사이에 전자가 이동하여 방전이 된다.

그림 17. 방전 개념 이해 실험 (2)

1) 검전기 2개, 50cm 정도의 전선(양끝의 피복이 벗겨져 있고, 2개의 플라스틱 빨대 안에 들어 있다), 털가죽, 에보나이트 막대로 다음과 같이 실험한다. 금속박의 움직임을 관찰하여 아래 그림에 그려라.



- 이 실험에 대한 다음 문제에 답하여라.
- ① (나)의 과정이 끝난 후 두 검전기는 전하를 띠는가? 띠지 않는가?  
 검전기 A (                                  ), 검전기 B (                                  )
- ② 전하를 띠다면 두 검전기가 띠는 전하가 같은 종류의 전하인지, 다른 종류의 전하인지를 어떻게 확인할 수 있는가?

실험으로 확인하고 두 검전기가 띠는 전하가 같은 종류의 전하인지, 다른 종류의 전하인지 써라. \_\_\_\_\_

- ③ 두 검전기가 각각 어떤 전하를 띠다고 생각하는가? 그렇게 생각한 이유는?  
 ▶ 검전기 A : (                                  )전하. 검전기 B : (                                  )전하  
 ▶ 이유 : \_\_\_\_\_
- (가)와 (나)의 과정을 반복한다. 이번에는 두 검전기의 금속판에 각각 손가락을 **접촉시킨 후 손가락을 치운다**. 금속박이 어떻게 되는지 결과를 정리하고, 그 이유를 써라.  
 ▶ 검전기 A: 금속박이 \_\_\_\_\_ → 검전기는 전하를 ( 띠다. 띠지 않는다.)  
 이유 \_\_\_\_\_  
 ▶ 검전기 B: 금속박이 \_\_\_\_\_ → 검전기는 전하를 ( 띠다. 띠지 않는다.)  
 이유 \_\_\_\_\_

정리 : 손가락을 통한 방전

(+)로 대전된 도체에 손가락을 접촉하면 손가락을 통해서 \_\_\_\_\_, 그러므로 도체는 (                  )  
 (-)로 대전된 도체에 손가락을 접촉하면 손가락을 통해서 \_\_\_\_\_, 그러므로 도체는 (                  )

그림 18. 손가락을 통한 방전 실험

한 확인 실험을 수행하며, 그 결과에 대한 추론을 통해 방전의 개념을 정립해나가는 내용(그림 17)으로 개발한다.

- 예비 검사에서 실시했던 손가락을 통한 방전 실험 두 가지 중에서 두 번째 방전 실험(그림 16)은 빼고, 첫 번째 방전 실험(그림 15)을 결과가 잘 나오는 실험(그림 18)으로 개발하여 손가락을 통한 방전의 결과를 실험에 근거하여 올바르게 이해할 수 있도록 한다.

이와 같은 방향으로 방전의 개념 이해 실험(그림 17)과 손가락을 통한 방전 실험(그림 18), 그리고 실험에 근거하여 단계적으로 진행되는 추리를 중심으로 워크시트가 수정되었다. 수정 후 학생들은 실험의 결과가 뚜렷이 관찰되면서 높은 흥미를 보였으며, 활동에 적극적으로 참여하는 모습을 나타냈다. 그리고

동료간에 활발한 토론이 이루어졌다. 또한 추리의 과정에서도 그동안의 학습 내용을 바탕으로 하나하나 문제를 해결해 나갔으며, 방전 개념 정립에서 별다른 어려움을 보이지 않았다.

사후검사의 결과는 워크시트를 수정·보완하기 전과 후에 다른 결과가 나왔다. 수정·보완하기 전에는 모두 (+)전하를 띠다고 잘못된 응답을 하였지만, 후에는 모두 옳은 응답을 하였다.

소단원 4의 워크시트 초안으로 예비검사를 실시하고 이를 분석하여 초안을 수정·보완 과정에서, 워크시트의 내용과 학생의 오개념과의 관계에 대해 고찰하는 계기가 되었으며, 학생의 수준에 맞지 않는 워크시트 활동은 오히려 학생의 오개념을 더 강화시킬 수도 있다는 것을 알게 되었다.

## 결론 및 제언

학생들의 개념 정립을 위한 정전기 튜토리얼의 개발은 전기 개념 학습의 기초로서 거시적 현상을 미시적인 원자 수준에서 바르게 이해하도록 하기 위해서 개발되었다. 튜토리얼의 개발에서 가장 중요한 것은 방향성의 수립이다. 튜토리얼이 연구로서 끝나는 것이 아니라 학교 현장에서 학생의 과학적 개념 학습에 활용되기 위해서는 방향성을 수립할 때 다각적으로 문헌 및 선행 연구를 해야 한다. 과학과 교육과정과 오개념 선행연구에 대한 고찰은 가장 필수적이다. 연구자는 이 고찰을 통하여 튜토리얼 학습에서의 목표와 구체적인 소단원을 결정하였고, 각 소단원에서 중점적으로 다루어야 할 개념들과 이에 바탕을 둔 사전검사의 문항을 결정하였으며, 사전검사의 문제를 해결하기 위한 워크시트의 활동계획을 수립할 수 있었다. 튜토리얼은 사전검사-워크시트-사후검사의 통합적 시스템으로 구성된다. 정전기 튜토리얼은 정전기의 개념 정립을 위하여 개발이 되었기 때문에 사전검사서에서 주요 개념을 제거하고, 이 제거된 개념에 대해서 워크시트에서는 실험과 추리 활동을 하고, 사후검사서에서 다시 한 번 사전검사의 문항을 풀어보도록 구성하였다.

개발된 튜토리얼 초안에 대한 예비검사의 결과를 분석하여 튜토리얼을 수정·보완하였다. 4차례의 예비검사를 하면서 튜토리얼의 실험과 추리의 내용은 학생들의 개념적 어려움의 지점을 포착하여 학생들 스스로 개념학습을 해나가기에 용이하도록 수정하였다. 예비검사를 하면서 학생들은 '대전된 물체는 도체인가?'라는 질문과 관련하여 토론 과정에서 '전기를 띤다'와 '전기가 통한다'를 혼동하여 사용하였는데, 이는 학생들이 대전과 도체의 개념을 구분하는데 어려움을 겪고 있음을 의미한다. 또한 학생들은 유도과 접촉에 의한 대전에서 미시적인 원자 수준의 이해에 대해 어려움을 겪고 있었는데, 이는 눈으로 확인할 수 없으며, 관련된 여러 개념을 종합적으로 사고해야만 과학적 이해가 가능한 내용이기 때문인 것으로 생각한다.

워크시트 활동과 사후검사의 결과에서 학생들의 개념학습은 비교적 잘 이루어진 것으로 나타났다. 학생들은 종합적인 개념적 사고를 해야만 풀 수 있는 미시적 세계의 움직임에 대해서는 어려움을 느끼는 경우가 있었지만, 사전검사서에서 생긴 궁금증을 실험을 통해서 빨리 이해할 수 있었으며, 사후검사서에서 자신의 처음 생각과 비교하면서 어떤 부분이 틀렸는지를 잘 알 수 있어서 기억에 남고 성취감도 높아졌다고 하였다. 사전검사-워크시트-사후검사의 통합적 시스템으로 실험과 추리에 기반한

정전기 튜토리얼은 학생들의 과학적 개념학습에 긍정적 영향을 미친다고 생각된다.

이 연구의 결론을 바탕으로 정전기 교수 학습 자료 개발과 관련한 후속 연구에 대하여 다음과 같이 몇 가지 제언을 한다.

첫째, 이 연구는 정전기 튜토리얼을 개발하여 튜토리얼이 개념학습에 미치는 영향을 알아보기 위한 연구였으며, 학생들의 오개념의 근원에 대한 체계적인 연구를 실시하지는 않았다. 이 연구에서 제기된 학생들의 오개념이 어떤 원인에 의해 생겨난 것인지에 대한 좀 더 심도깊은 연구를 통하여 오개념이 발생하지 않도록 하는 교수 학습 자료의 개발의 기반이 되었으면 한다.

둘째, 정전기 현상에 대한 과학적 개념학습은 학생들이 거시적인 정전기 현상을 미시적인 원자 수준에서 바르게 이해하도록 하는 것이다. 그러나 미시적인 세계에 대해 실험이나 추리를 통해 이해하는 데에는 학생들에게 어려움이 있으므로, 미시적인 원자 수준에서 일어나는 운동을 시각화할 수 있는 애니메이션 자료의 개발이 필요하다고 생각한다. 애니메이션 자료가 추가된 정전기 튜토리얼 활동이 정전기 개념학습에 미치는 영향에 대한 보다 깊이 있는 연구가 이루어질 필요가 있다.

셋째, 이 연구에서 사후검사는 워크시트 활동 직후에 이루어진 것으로서 추후검사를 실시하지는 않았다. 학생들의 과학적 개념이 이후에도 지속되는지를 확인하기 위하여 추후검사가 필요하며, 추후 검사의 결과를 분석하여 학생들의 개념 학습에서 극복해야 할 내용이 무엇인지를 살펴보고 이를 바탕으로 튜토리얼을 수정·보완할 필요가 있다.

## ABSTRACT

The purpose of this study was to develop a tutorial for concept learning about electrostatics. The preliminary test of the draft of tutorial was performed four times. On the basis of the results of the preliminary test, we appropriately modified the tutorial and developed the final version. We found that the electrostatics tutorial, which had an integrated system of pretest-worksheet-posttest and was based on the experiment and reasoning, had a positive influence on concept learning.

**Key words:** electrostatics, tutorial, concept learning

## 참고문헌

교육부 (1997) 과학과 교육과정. 교육부 고시 제 1997-15호 (별



책 9).

김재원 (2007) 중학생들의 정전기에 관한 개념 조사. 한국교원대학교 석사학위 논문.

김재우, 오원근 (2004) '전기'와 '정전기' 개념의 차이에 대한 중학생들의 이해. 새물리 49(3):224-231.

노은정, 이기종 (1996) 중학교 2학년 전기단원의 오개념 지도 방안. 과학교육논총 20: 45-63.

박묘현 (2006) 중학생들이 정전기 개념에 관한 실험실 상황과 실생활 상황에서의 이해도 조사. 한국교원대학교 석사학위 논문.

송진웅, 김익균, 김영민, 권성기, 오원근, 박종원 (2002) 학생의 물리 오개념 지도. (주)복스힐.

이규명 (2000) 중학생과 교사의 전기 개념 조사를 위한 문항 개발과 결과 분석. 한국교원대학교 석사학위논문.

박종원, 김익균, 이무, 김명환 (1998) 학생 선개념을 지지하는 증거와 반증하는 증거에 대한 학생들의 반응. 한국과학교육학회지 18(3): 283-296.

Lillian C. McDermott (1991) What we teach and what is learned : Closing the gap. American Journal of Physics, 59(4): 301-315.

Lillian C. McDermott, Peter S. Shaffer and the Physics Education Group (2002) Tutorials in Introductory Physics. 1st Ed. Prentice Hall.

Randall D. Knight (2002) Five Easy Lessons. Addison Wesley.

Randal Harrinton (1999) Discovering the reasoning behind the words: An example from electrostatics. American Journal of Physics 67(7): S58-S59.

## 부 록

정전기 튜토리얼 활동 자료(사전검사, 워크시트).  
한국현장과학교육학회 홈페이지(<http://www.kosss.org>)에 탑재함.