

## 고등학교 화학 교과서에 기술된 볼타 전지의 오개념을 줄이기 위한 실험 장치 개발

장낙한<sup>†</sup> · 이경옥<sup>‡</sup> · 이진승<sup>†</sup> · 서정쌍<sup>\*</sup>

서울대학교 대학원 화학부

서울대학교 화학교육과

<sup>†</sup>연남고등학교

(2002. 12. 17 접수)

## Modification of the Experimental Setup to reduce Misconceptions for the Voltaic Cell described in High School Chemistry Textbooks

Nak Han Jang<sup>†</sup>, Kyung Ok Lee<sup>‡</sup>, Jin Seung Lee<sup>†</sup>, and Jung Sang Suh<sup>\*</sup>

School of Chemistry and Molecular Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

<sup>†</sup>Department of Chemistry Education, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

<sup>‡</sup>Eonnam High School, Seoul 137-132, Korea

(Received December 17, 2002)

**요 약.** 볼타 전지에 대한 학생들의 오개념과 고등학교 화학 II 교과서에 기술된 내용을 연구·분석하였다. 볼타 전지에 대해 많은 학생들이 오개념을 가지고 있으며 몇몇 화학교과서의 경우 내용이 잘못 기술되어 있다는 것을 본 연구에서 밝혔다. 대부분의 교과서에는 볼타 전지의 초기 측정 전압이 왜 1.1 V와 유사하며 시간이 지남에 따라 감소하는지에 대한 명확한 설명이 없다. 표준 상태에서 볼타 전지의 기전력은 0.76 V 이지만 어떤 교과서에는 다니엘 전지처럼 1.1 V로 기술되어 있다. 대부분의 학생들은 볼타 전지를 배우거나 실험을 한 후에도 여전히 오개념을 가지고 있으며 이것은 적어도 다음 두 가지 요인에서 기인된다고 여겨진다. 첫째, 볼타 전지의 초기 측정 전위값이 다니엘 전지의 전위와 매우 유사하기 때문에 학생들이 혼동하여 오개념을 가진다. 둘째, 대부분 교과서의 볼타 전지 실험은 표준 상태가 아닌 조건에서 수행되도록 기술되어 있으므로 학생들이 실험을 하더라도 표준 상태 기전력값을 얻을 수 없기 때문에 여전히 오개념을 가지게 된다. 따라서 우리는 학생들의 오개념을 줄일 수 있는 개선된 볼타 전지의 실험 모형을 제안하였다.

**주제어:** 볼타 전지, 오개념, 실험 모형

**ABSTRACT.** Misconceptions of students for a Voltaic cell were studied and their contents described in the high school chemistry II textbooks were analyzed. This study shows that students have many misconceptions and a few of chemistry textbooks contain some false description in a Voltaic cell. In the most textbooks, the reasons why the measured cell voltage of a Voltaic cell is near 1.1 V at the initial stage and then it decreases with time are not explained clearly. The emf of a Voltaic cell at a standard state is 0.76 V but in some textbooks it is described as 1.1 V of a Daniel cell. Even after learning the Voltaic cell or performing the experiment of textbooks, most students still have some misconceptions. These may be due to at least two following facts: the first is that the measured cell voltage of a Voltaic cell at the initial stage is very similar to that of a Daniel cell. The second is that the most experiment of a Voltaic cell is not performed under the condition of a standard state. Therefore, we have suggested a model of the modified experimental setup of a Voltaic cell that could reduce misconceptions of students.

**Key words:** Voltaic Cell, Misconception, Modified Experimental Setup

## 서 론

제6·7차 교육과정에서 고등학교 화학II 교과 내용 중에는 '산화·환원 반응' 단원이 포함되어 있다. 학생들은 화학 전지의 원리와 기전력(emf)에 대한 개념을 이해하는 것을 어려워하며, 실제로 많은 오개념을 가지고 있다. 임혜경<sup>1</sup>은 산화·환원 및 화학 전지의 오개념 분석 연구에서 볼타 전지에 불이 들어오는 원인과 볼타 전지의 전극에 관한 설문에 학생들은 각각 37%와 36%만이 올바른 개념을 가지고 있다고 하였다. Garnett과 Treagust의 연구<sup>2,3</sup>에 의하면 화학 전지의 산화에서 학생들은 전자, 수소 이온 및 이온의 이동에 대하여 오개념을 가진다고 하였다. 또 학생들은 화학 전지의 전자의 이동이나 기전력 계산 등에 오개념을 가지며, 이런 오개념들은 교과서의 오류나 잘못된 기술 등에서 온다고 보고하였다.<sup>4,5</sup> 이밖에 Ogude와 Bradley의 연구<sup>6</sup>는 또한 학생들이 화학 전지에 관한 오개념이 교과서의 오류나 교사들의 잘못된 설명에서 기인할 수 있으며 때때로 전극 현상에 대한 잘못된 이해로부터 온다고 설명하였다.

화학 전지에 대한 학생들의 이해를 돕기 위해 개념변화를 일으킬 수 있는 교수 전략이 매우 중요하다. 선행 연구들에서 학생들이 화학 전지를 이해하는데 많은 어려움을 갖고 있다고 하였으며, 따라서 '산화·환원 반응'의 한 부분으로 볼타 전지와 다니엘 전지를 이용하여 화학 전지의 원리와 기전력에 대한 개념을 학습하는 것이 필요하다. 특히, 볼타 전지는 화학 전지의 원리를 설명하고 화학 전지가 갖는 기전력 값을 이론적으로 구할 수 있는 능력을 키우는 데 매우 중요한 역할을 한다. 그러나 교과서에 서술된 화학 전지에 관한 많은 오류나 학생들에게 오개념을 일으킬 수 있는 내용들이 있기에 이를 비교하고 분석하는 것이 매우 중요하리라 생각된다.

본 연구는 화학 전지의 전극 반응과 기전력과의 관계 개념을 올바르게 이해할 수 있는 능력을 향상시켜 화학 전지의 개념을 안정화시킬 목적으로 볼타 전지에 관한 교과서 오개념 분석과 개선된 실험 장치를 제안하였다. 본 연구의 구체적인 내용은 다음과 같다.

먼저 학생들의 볼타 전지에 대한 개념을 조사하고 이들의 오개념 원인의 하나인 교과서를 분석하였다. 볼타 전지의 구리가 녹아서 반응에 참여한다는 오개념을 개선하기 위하여 표준 상태의 조건을 만들어서 기전력을 측정하였다. 이 실험에서 볼타 전지의 기전력은 측정할

때마다 달라지는데 그 이유를 설명하고 표준 상태의 기전력이 정확하게 얼마인지를 알아보고자 하였다. 또한 교과서에 실린 실험 장치의 구성상 부적합성을 개선하여 학교 수업에서도 표준 상태의 이론적 기전력에 근접하는 실험값을 얻을 수 있도록 수소 발생 장치를 이용하는 개선된 볼타 전지의 실험 모형을 제안하였다.

## 연구 방법

볼타 전지의 개념에 대한 학생들의 설문 조사는 서울 시내 과학 고등학교 학생 45명을 대상으로 하여 실험 전·후 두 차례에 걸쳐 실행하였다. 또 볼타 전지의 실험은 교과서에 수록된 모형으로 학생들에 의해 실행되었으며 개선된 볼타 전지 모형 실험은 연구자에 의해 실험실에서 실행되었다.

제6차 교육과정 화학 II 교과서 10종의 '산화와 환원' 단원<sup>8</sup>과 제7차 교육과정 화학 II 교과서 5종의 '산화·환원' 단원<sup>9</sup> 중에서 볼타 전지 부분을 분석하였다. 각 교과서 별로 볼타 전지의 내용, 모형 및 기전력의 언급 유무를 분석하였다. 이 연구에 사용된 교과서의 종류는 임의적인 방법에 의하여 분류되었다.

## 연구 결과 및 논의

### 볼타 전지에 대한 고등학교 학생들의 개념 분석

과학 고등학교 학생을 대상으로 표준 환원 전위를 이용하여 표준 상태에서 볼타 전지의 기전력을 계산하는 것에 대한 설문 결과를 Table 1에 표시하였다.

이 결과에 의하면 학생들 모두 볼타 전지의 기전력을 0.76 V 또는 1.10 V로 대답하였고, -0.76 V 혹은 -0.42 V로 답한 학생은 전혀 없었다. 이것은 설문에 대답한 모든 학생들은 (-)극에서 아연의 산화 반응이 일어난다고

Table 1. Types of question and answer. It was questioned before doing the experiment of a Voltaic cell

Question		Percent of answers
Calculate the theoretical cell voltage in a voltaic cell at a standard state (25 °C, 1 atm).		
half-reaction	E°(V)	
Zn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Zn(s)	-0.76	1.10 V : 96%
Cu <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Cu(s)	0.34	0.76 V : 4%
2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → H <sub>2</sub> (g)	0.00	

(1)극에서 수소나 구리의 환원 반응이 일어난다는 것으로 생각하고 볼타 전지의 기전력을 구한다고 추정할 수 있다. 그러나, 단지 4%의 학생만이 0.76 V라고 올바른 답을 한 것으로 보아 조사 대상 학생들의 대부분인 96%는 볼타 전지 전위를 계산할 때는 (+)전극에서 구리 이온의 환원 반응이 일어난다고 생각하고 기전력을 1.1 V로 계산한다고 추정할 수 있다. 즉 학생들이 볼타 전지의 기전력을 1.1 V로 계산하는 것은 다니엘 전지의 반응을 볼타 전지와 혼동하여 볼타 전지 기전력 계산에 구리가 환원된다고 잘못 이해하고 있다고 생각된다. 따라서 우리는 여기서 학생들이 왜 볼타 전지와 다니엘 전지를 혼동하는 오개념을 가지게 되는지를 조사해 보기 위해 먼저 학생들이 배우는 교과서의 볼타 전지 내용을 분석해 보았다.

**볼타 전지에 대한 고등학교 화학 교과서 분석**

서론에서 교과서를 오개념을 유발하는 환경적 요인 중 하나로 예를 들었다. 따라서, 현재 사용하고 있는 6차 화학 II 교과서와 앞으로 사용될 7차 화학 II 교과서에서 볼타 전지에 관한 개념 분석과 학생들에게 오개념을 줄 수 있는 내용을 찾아서 분석하여 Table 2에 제시하였다.

볼타 전지의 기전력이 약 1.1 V라는 서술에서 주는 오개념. 현재 사용하고 있는 제6차 교육과정 화학 II 교과서들 중 조사된 10종 중 7종의 교과서에서 볼타 전

지 내용을 다루고 있었으며, 또 6종의 교과서가 볼타 전지의 모형과 방전할 때 일어나는 변화를 화학 반응식을 사용하여 설명하고 있다. 그러나, 이들 10종 중 4종의 교과서는 볼타 전지의 방전시 전위차별 1.1 V로 잘못 서술하고 있으며, 이같이 서술한 것들 중 대표적인 예는 다음과 같다.

‘볼타 전지는 전지가 방전된 처음에는 약 1.1 V 정도의 전압을 나타내지만...’(6-G) ‘볼타 전지의 기전력은 약 1.1 V이다’(6-E).

특히 6-E 교과서는 다니엘 전지의 모형을 제시하고 볼타 전지라고 기술하는 잘못을 보여 주고 있다.

제7차 교육과정에서 사용할 교과서 5종 중 3종이 여전히 볼타 전지에 관하여 언급하였으며, 그 중 한 교과서에서도 아래와 같은 내용이 서술되었다.

‘실제로 볼타 전지를 구성하여 실험하면 기전력이 저유에 약 1.1 V 이던 것이...’(7-C)

이와 같이 제7차 교과서에도 제6차 교과서들과 마찬가지로 볼타 전지의 기전력을 측정하면 약 1.1 V가 나온다고 서술하여 학생들에게 표준 상태에서 볼타 전지의 기전력이 1.1 V 라는 오개념을 주게 되는 한 요인

Table 2. Analysis of a Voltaic cell in the high school chemistry II textbooks based on the 6th and 7th educational curricula (○ : mentioned, - : not mentioned, - : not published)

Textbook	6th			7th			Misconceptions
	Content	Model	emf(V)	Content	Model	emf(V)	
6-A	○	○	1.1	-	-	-	mentioned the Daniel cell voltage instead of 0.76 V.
6-B	○	○	-	-	-	-	No
6-C	○	○	-	-	-	-	No
6-D	○	○	1.1	-	-	-	mentioned the Daniel cell voltage instead of 0.76 V.
6-E	○	-	1.1	-	-	-	Daniel cell model regarded as a Voltaic cell model and mentioned the Daniel cell voltage instead of 0.76 V.
6-F	-	-	-	-	-	-	-
6-G	○	○	1.1	-	-	-	mentioned the Daniel cell voltage instead of 0.76 V.
6-H	○	○	-	○	○	-	No
7-A	-	-	-	-	-	-	-
6-I	-	-	-	-	-	-	-
7-B	-	-	-	-	-	-	-
6-J	-	-	-	○	○	1.1 V	mentioned the Daniel cell voltage instead of 0.76 V.
7-C	-	-	-	○	○	-	No
7-D	-	-	-	○	○	-	No
7-E	-	-	-	-	-	-	-

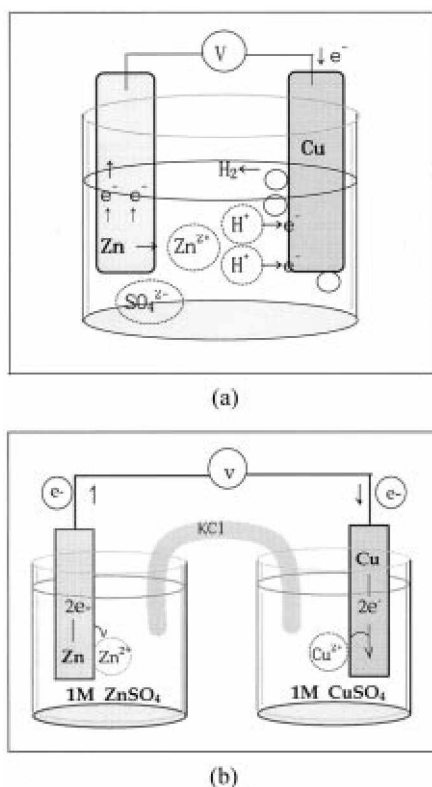


Fig. 1. Experimental setup model of (a) a Voltaic cell, and (b) a Daniel cell in high school chemistry II textbooks.

이 되며 이는 선행 연구의 결과와 일치한다고 생각한다.<sup>16</sup>

다니엘 전지와 볼타 전지를 혼동하는 것으로부터 오는 오개념. 제6·7차 교과서 들 중 각각 6종과 3종이 Fig. 1과 같은 볼타 전지 (a)와 다니엘 전지 (b)를 모두 이용하여 화학 전지의 원리를 설명하고 있으며, 한 예는 아래와 같다.

볼타 전지에서 ...중략... (-)극은 전자들 내놓은 아연판이고 (-)극은 전자를 받아들이는 구리판이 된다. ...중략...

(-)극 아연판:  $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e$  (산화)

(-)극 구리판:  $2H^+ + 2e \rightarrow H_2$  (환원)

...중략...

다니엘 전지는 ...중략...

(-)극 아연판:  $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e$  (산화)

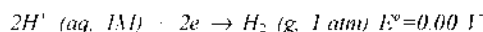
(-)극 구리판:  $Cu^{2+} + 2e \rightarrow Cu$  (환원)

위 서술에서 보듯이 두 전지의 (-)극은 모두 구리판

으로 구성되어 있고 방전시 볼타 전지와 다니엘 전지의 (-)극은 모두 전자를 받아들여 환원 반응이 일어난다. 그러나 볼타 전지의 (-)극에서 반응에 직접 참여하는 물질은 구리가 아니고 수소 이온이며, 전자를 받아 수소 기체로 환원되더라도 불구하고 학생들은 다니엘 전지의 경우처럼 구리 이온이 구리로 환원되는 것으로 생각하고 기전력 계산에서 1.1 V로 오개념을 가진다고 생각된다. 따라서 교과서에서 화학 전지를 설명할 때 볼타 전지의 모형 실험을 통해 학생들의 개념을 이해시키거나, 단지 다니엘 전지만으로 설명하는 것이 학생들의 오개념을 줄일 수 있다고 생각한다.<sup>11</sup>

그러나, 제6차 교육과정의 4종과 제7차 교육과정 1종의 교과서가 볼타 전지와 다니엘 전지 예를 함께 들어 표준 상태에서 화학 전지의 기전력에 대한 설명을 하고 있다. 이들 교과서에서 기전력을 구하는 전 단계로 백금을 사용하는 표준 수소 전극과 다른 전극들의 표준 환원 전위를 구하는 방법에 대해 서술하고 있다. 표준 수소 전극에 대한 한 교과서의 서술의 예는 아래와 같다.

표준 수소 전극은 ...중략... 수소 이온 농도가 1 M인 용액 속에 백금판을 꽂고 이 백금판을 1기압의  $H_2$  기체가 둘러싸고 있는 구조로 이루어져 있다. 이 때,  $H^+(aq)$  와  $H_2(g)$ 의 다음 반쪽 전지 반응에 대한 전위( $E^\circ$ )를 0.00 V로 정하였다.



위와 같이 제6차 교과서뿐만 아니라 7차 고등학교 화학 II 교과서에는 표준 수소 전위의 기본적인 내용만을 서술하고 있어서 볼타 전지의 (-)극의 반응이 표준 수소 전극의 반응과 같은 반응이므로 표준 상태에서 볼타 전지의 (-)극의 전위가 0 V라는 것을 이해하기는 매우 어렵다. 그러므로 볼타 전지의 기전력을 설명할 때 (-)극에서는 구리가 반응에 참여하는 것이 아니라 수소 이온이 수소 기체로 환원되는 반응이 일어나기 때문에 표준 상태에서 반쪽 반응의 전위는 0 V라는 것을 강조해야만 학생들이 볼타 전지의 개념과 기전력에 대한 이해를 할 때 오개념을 줄일 수 있다고 생각된다.

#### 교과서 볼타 전지 모형 실험

Fig. 1(a)에 있는 실험 모형을 사용하여 학생들에게 볼타 전지 실험을 수행하게 하였다. 학생들은 구리판과 아연판을 측정할 때만 담가서 5초 동안 전압값을 읽고 기록하였다. 실험을 수행한 후 학생들에게 설문을 하여

Table 3. Types of question and answer. It was questioned after doing the experiment of a Voltaic cell described in textbooks

Question	Percent of answers
Q1. What is the observed cell voltage?	Over 0.97 V: 35% 0.93 V: 50% 0.90 V: 15%
Q2. What is the theoretical cell voltage in a voltaic cell at a standard state (25 °C, 1 atm).	1.10 V: 95% 0.76 V: 5%
Q3. Explain the reason why the measured cell voltage is different from the theoretical one.	Hydrogen polarization: 75% Solution concentration gradient: 10% Temperature difference: 6% Instrument error: 6% Air bubble: 3%

그 결과를 Table 3에 표시하였다.

설문 1에 의하면 모든 학생들이 관찰한 볼타 전지의 전압값은 처음 5초 동안에 변화가 있지만 0.90 V 이하로 내려가지 않았다. 15% 학생들은 실험의 전압값이 내려가는 것을 보고 볼타 전지의 전압을 0.90 V라고 응답했으나 35% 학생들은 전압값이 내려가기 전 측정 초기값으로 응답하였다. 그리고 더수인 50%의 학생들은 중간값인 0.93 V라고 답하였다. 이 실험 결과는 볼타 전지의 전위 실험값이 대체적으로 매우 높게 얻어져 학생들이 1.1 V와 유사하다고 생각할 수 있다. 설문 2의 결과에 의하면 교과서 볼타 전지 모형의 실험을 수행한 후에도 거의 대부분인 95% 학생들은 여전히 볼타 전지의 이론적인 기전력이 1.10 V인 것으로 인식하고 있음을 보여 주었다. 따라서 이 결과는 학생들이 교과서의 볼타 전지 실험을 수행하더라도 그들의 전위 개념은 여전히 1.10 V로 생각하고 있으며 실험에서 실험 전위값이 이보다 작아지는 것은 단지 분극 현상 때문이라고 오개념을 가질 수 있음을 보여주고 있다. 실제로 설문 3에서 많은 학생들은 수소 기체가 발생하는 것을 관찰하고 볼타 전지의 기전력이 측정할 때 달라지는 이유로 분극 현상 때문이라고 생각하고 있다. 그 밖에 소수의 학생들은 농도나 온도의 차이, 전극 표면에 이물질의 부착하거나 전압계가 정확하지 못하기 때문이라고 답하였다. 이것은 기전력은 전극 표면에 붙은 이물질에 의해 달라지며, 전지의 분극 현상은 방전하자마자 나타나는 것으로 학생들이 인식하고 있다는 것으로 해석된다.

일반적으로 학교에서 흔히 볼 수 있는 볼타 전지의

실험에서 학생들은 구리판과 아연판을 황산 용액에 담그게 되며 이 때 구리 표면과 아연 표면에서 어떤 기체가 발생하는지 관찰하게 된다. 금속의 이온화 경향이 수소 보다 큰 금속은 황산 용액과 반응하여 수소 기체를 발생시킨다. 볼타 전지에서 학생들의 오개념은 구리가 황산 용액속에서 안정된 금속임에도 불구하고 단순히 수소가 발생하므로 구리가 구리 이온으로 되면서 수소를 발생시킨다고 생각하거나 또는 다니엘 전지와 혼동하여 구리 이온이 구리가 된다고 생각하는 데서 온다고 추정할 수 있다. 그러므로 학생들에게 볼타 전지 실험에서 구리는 금속의 이온화 경향에서 수소 기체 보다 이온화 경향이 작은 쪽에 위치하므로 황산 용액에서 수소 기체를 발생시킬 수 없다는 것을 주지시키는 것이 오개념을 줄이는데 도움이 되리라 생각된다.

학생들의 볼타 전지의 실험에서 얻을 수 있는 전압값은 초기에 1.02 V 부터 0.90 V까지 변화하는데 이런 현상은 전지 전위가 용액 중에 존재하는 화학 종들의 농도, 반응에 참여하는 기체들의 부분압력, 그리고 반응이 일어나는 온도 등에 의존하기 때문이다. 전극 반응에서는 순간적으로 농도가 진한 부분과 묽은 부분이 있을 수 있고 반응에 참여하는 수소의 분압이 일정하지 않을 때 측정하면 전압값은 분압에 따라 달라지게 된다. 또한 비커 내의 황산 용액의 위쪽 표면은 산소와도 접촉하고 있으므로 전압을 순간적으로 측정할 때 개방된 비커 상태에서는 수소 분압이 낮아 전지 반응에 영향을 주게 될 것으로 생각된다. 따라서 학생들이 교과서의 볼타 전지 모형 실험을 수행하더라도 여러 가지 요인 때문에 정확한 전위값을 얻을 수 없어 오개념 해결에 도움을 얻지 못한다고 생각된다. 그러므로 학생들의 볼타 전지에 대한 오개념을 줄이는데 도움이 되도록 정확한 전위값을 얻을 수 있는 새로운 볼타 전지 모형 실험이 요구된다고 생각한다.

**개선된 볼타 전지 모형 실험**

볼타 전지의 기전력 실험에서 전위에 영향을 줄 수 있는 여러 요인에 대해 정량적인 분석을 하였다. 25 °C에서 Nernst 방정식을 이용하면 볼타 전지의 기전력은 아래와 같이 표현되며, 이 방정식은 농도에 따라 볼타 전지의 기전력이 어떻게 나타나는 지를 보여준다.<sup>11</sup>

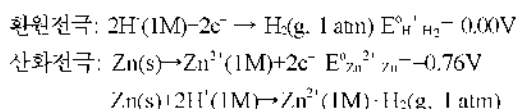


Table 4. Experimental results measured by using a Voltaic cell at 25 °C, 1 atm hydrogen pressure

Experimental condition	Solution concentration	Observed emf (V)	Theoretical emf (V)
(A) Different concentration of H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.76	-
	0.1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.75	-
	0.01 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.70	-
(B) Same concentration of H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> but different concentration of ZnSO <sub>4</sub>	1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 1 M ZnSO <sub>4</sub>	0.77	0.76
	1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 0.1 M ZnSO <sub>4</sub>	0.79	0.79
	1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 0.01 M ZnSO <sub>4</sub>	0.79	0.82
(C) Different concentration of H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> but same concentration of ZnSO <sub>4</sub>	1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 1 M ZnSO <sub>4</sub>	0.77	0.76
	0.1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 1 M ZnSO <sub>4</sub>	0.70	0.70
	0.01 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 1 M ZnSO <sub>4</sub>	0.65	0.64

$$\Delta E = \Delta E^{\circ} - \frac{0.0591}{2} \log \frac{[a_{Zn^{2+}}] \times [a_{H_2}]}{[a_{Zn}] \times [a_{H^+}]^2}$$

$$\Delta E = 0.76 - \frac{0.0591}{2} \log \frac{[Zn^{2+}] \times P_{H_2}}{[1] \times [H^+]^2} \quad (1)$$

식 (1)에서 보듯이 기전력  $\Delta E$ 는 아연 이온의 농도  $[Zn^{2+}]$ , 수소 이온의 농도  $[H^+]$ , 수소 분압  $P_{H_2}$ 에 의존한다. 볼타 전지의  $\Delta E$ 가  $[Zn^{2+}]$ 와  $[H^+]$ 에 어느 정도 의존하는지를 알기 위하여 수소 탱크를 사용하여 수소의 압력을 1기압을 유지하고 용액의 여러 농도 조건에서 볼타 전지 실험을 수행하여 Table 4와 같은 결과를 얻었다.

조건(A)의 결과는 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 전해질로 하여 농도를 달리 하면서 전지의 기전력을 측정 한 값이다. 측정값은 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>의 농도가 낮을수록 기전력의 값은 작아지는 경향을 보이며, 이것은 식 (1)에서 보여주는 경향성과 일치한다. 조건(B)는 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>의 농도를 1M로 유지하고 ZnSO<sub>4</sub>의 농도가 각각 1 M, 0.1 M, 0.01 M일 때의 기전력을 측정하여 이론값과 비교한 것이다. ZnSO<sub>4</sub>의 농도가 1 M, 0.1 M일 때 측정값은 이론값과 거의 일치하나 0.01 M일 경우는 이론값 보다 0.03 V 낮다. 또 조건(C)에서 ZnSO<sub>4</sub>의 농도를 1 M로 유지하고 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>의 농도를 1 M, 0.1 M, 0.01 M로 변화시키면서 기전력을 측정하여 비교하면 측정값과 이론값과 거의 일치한다. 따라서 수소 기체의 분압을 1기압으로 유지하는 경우 수소 이온 농도  $[H^+]$ 와 아연 이온 농도  $[Zn^{2+}]$ 는 기전력에 큰 영향을 주지 않는 것을 볼 수 있다. 즉 식 (1)에서 수소 이온의 농도  $[H^+]$ , 수소 기체의 분압  $P_{H_2}$ 와 아연 이온의 농도  $[Zn^{2+}]$ 의 변화는 모두 볼타 전지의 기전력값에 영향을 줄 수 있으나 실제 (-)전극 반응에서 생성된 아연 이온은 용액에 남게 되므로 용액 밖으로 달아나는

수소 기체의 분압  $P_{H_2}$ 이 더 크게 기전력에 영향을 줄 것이다.

볼타 전지 실험에서 수소 기체의 분압이 1 atm 일 때 25 °C, 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 1 M ZnSO<sub>4</sub> 용액에서의 화학 전지의 이론값은 아래와 같이 표현된다.

$$\Delta E = 0.76 - \frac{0.0591}{2} \log \frac{[1] \times [1]}{[1] \times [1]^2} = 0.76 \text{ V}$$

황산과 아연 이온의 농도가 각 1 M인 용액에 구리와 아연 전극을 단극 전압을 측정 한 결과 초기 실험값이 0.99 V로 측정되었으며, 식 (1)로 부터

$$\Delta E = 0.76 - \frac{0.0591}{2} \log \frac{[1] \times P_{H_2}}{[1] \times [1]^2} = 0.99 \text{ V}$$

이 경우 실제 작용한 수소 기체의 분압은 약  $1.6 \cdot 10^8$  atm으로 계산되며 문헌상<sup>1)</sup>에 나타난 대기중의 수소 기체의 분압이  $5 \cdot 10^{-7}$  atm 이므로 어느 정도 타당할 수 있다고 추정할 수 있다. 수소 기체로 포화(50분 이상)된 황산 용액에서의 전압값을 측정하면 전압은 0.62 V로 떨어지는 것이 관찰되었다. 표준 상태에서 시간이 경과되면 전압이 떨어지며 이것은 분극 현상 때문이라고 설명하고 있다. 분극이 일어나면 수소 기포가 구리 판 주위에 붙게 되어 전자 전달의 장벽 역할을 하게 되어 전압은 떨어지게 된다.

학생들에게 화학 전지에서 단순히 양전극에서 일어나는 변화와 전류의 흐름에 대한 인식뿐 아니라 표준 환원 전위를 측정하는 실험 조건을 이해시키는 것이 중요하다고 생각한다. 따라서 볼타 전지에서 발생하는 수소 기체의 분압을 1기압과 같게 하고 각 이온의 농도를 1 M로 하여 기전력값을 측정할 때 이론값인 0.76 V와 유사한 값이 얻어짐을 보임으로써 학생들이 오개념을 줄일 수 있다고 생각한다. 수소 기체의 분압을 1기압과

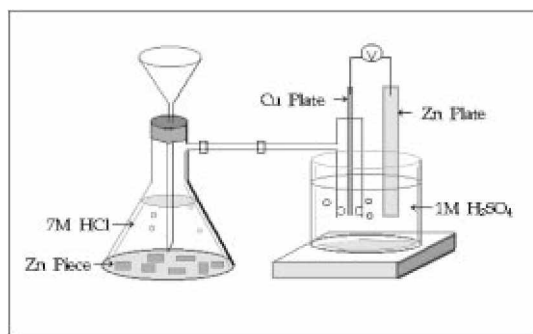


Fig. 2. Modified experimental setup model of a Voltaic cell.

같이 만들기 위해 학교에서 사용하기에 위험한 수소 탱크 대신에 간단한 실험 장치로 외부에서 수소를 발생시켜 구리 부극의 수소 기체의 분압을 1기압과 비슷하게 만들 수 있는 폐쇄된 구리 (+)전극을 만들었다. 학생들의 오개념을 줄일 수 있는 개선된 볼타 전지의 실험 모형을 Fig. 2에 제시하였다.

자세한 실험 조건들은 다음과 같다. 볼타 전지를 가지 달린 삼각 플라스크에 연결하고 튜브 사이는 밀봉을 하여 수소 기체가 누출되지 않도록 한다. 500 ml의 가지 달린 삼각 플라스크의 안쪽에는 수소가 많이 발생되도록 충분한 양의 아연 조각 (약 30 g 정도)을 넣고 7 M 염산(또는 8 M 염산)을 짝때기를 통해 250 ml~450 ml 정도 넣는다.

이 때 주의해야 할 사항은 염산 용액을 천천히 방울방울 흘려보내야 하며 갑작스럽게 많은 양을 흘려 보낸다면 수소 기체의 압력에 의해 황산 용액이 비커 밖으로 넘쳐 나오게 된다. 가지 달린 삼각 플라스크에서 연속적으로 수소 기체가 발생하며 이 수소 기체는 튜브를 통과해서 비커에 있는 구리 전극 쪽으로 흘러서 황산

용액은 수소 기체로 포화 상태가 된다. 스톱워치를 준비하여 수소를 흘려준 시간을 알 수 있게 한다. 약 20 분 동안 수소를 흘려 보면 후 수소 분압이 대기압과 평형이 되는 것으로 간주하고 전압을 측정할 때만 아연판을 담그도록 한다. 아연판을 담가두면 초기 전압값이 약간 변화하나 1분 안에 0.76 V값에 도달한다. 이 실험에서는 전극의 크기나 모양에 따른 전압의 상관성을 알아보기 위해 금속판의 크기를 다르게 하며 전압을 측정하였다. 실험 결과 전지의 기전력이 0.76 V에 근접하게 되는 구리판의 조건은 구리판을 길이를 약 10 cm 정도로 하고 끝의 모양을 십자각형인 0.5~0.8 cm의 크기로 가늘게 만들어 사용하는 것이 좋다는 것을 알았다. 수소 기체가 기포로 생성되는 지점에서 정사각형의 구리판은 전해질에 절반 정도 잠기도록 한다. 또한 아연판은 넓이 0.5 cm, 길이 10 cm의 크기를 사용하는 것이 좋았다.

위의 같은 개선된 볼타 전지 실험 모형으로 여러 가지 용액 및 농도에서 볼타 전지 실험을 한 결과, 측정 전압값이 이론값인 0.76 V에 근접하는 것을 확인할 수 있다(Table 5). 이 실험 결과는 수소 기체의 분압을 1기압으로 고정시키고 실험한 결과인 Table 4와 유사함을 나타내며, 따라서 우리가 제안한 실험 모형이 수소 기체의 분압을 고려하는데 효과적이고, 또한 정확한 볼타 전지의 전압값을 측정할 수 있기 때문에 학생들에게 오개념을 줄일 수 있다고 생각한다.

### 결론 및 제언

볼타 전지의 표준 상태 기전력 계산에서 학생들은 볼타 전지를 다니엘 전지와 혼동하여 구리 이온이 반응에 참여한다고 생각하는 오개념을 가지는 것으로 나타났다.

또한 교과서의 볼타 전지 내용 분석에서 많은 교과서

Table 5. Experimental results measured by using the modified setup of a Voltaic cell

Solution concentration	Observed voltage (V)	Theoretical voltage (V)	Experimental temp. (°C)
1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.76~0.77	-	26
0.1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.76	-	26
0.01 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.73	-	26
1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 1 M ZnSO <sub>4</sub>	0.77~0.78	0.76	25
0.1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 1 M ZnSO <sub>4</sub>	0.73	0.70	26
0.01 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 1 M ZnSO <sub>4</sub>	0.67~0.68	0.64	25
1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 1 M ZnSO <sub>4</sub>	0.77~0.78	0.76	25
1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 0.1 M ZnSO <sub>4</sub>	0.79	0.79	25
1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 0.01 M ZnSO <sub>4</sub>	0.79~0.80	0.82	26

들이 볼타 전지의 기전력을 다니엘 전지의 1.1 V로 기술하고 있어서 교과서가 학생들에게 오개념을 주는 한 요인이 되고 있음을 확인하였다. 그러나, 교과서의 볼타 전지의 실험이 표준 상태에서 수행되지 않고 있기 때문에 다니엘 전지와 비슷한 기전력이 측정되어 실험 후에도 학생들의 오개념은 제거되지 않은 것으로 나타났다.

볼타 전지에 대한 학생들의 기전력의 오개념을 개선할 목적으로 교과서에 실린 실험장치의 부적합성을 개선하여 학교 수업에서도 이론적 기전력에 근접하는 실험값을 얻는 개선된 볼타 전지 실험 장치를 제안하였다. 각 이온의 농도를 1 M로 고정하고 수소 발생 장치를 사용하여 수소 기체의 압력을 1기압과 비슷하게 고정하여 전압을 측정하면 볼타 전지의 기전력은 약 0.76 V가 되어 이론값과 유사함을 확인하였다. 따라서 우리가 제안한 개선된 볼타 전지 실험 모형은 표준 상태의 기전력을 측정할 수 있어 학생들에게 볼타 전지와 다니엘 전지의 차이를 이해시킬 수 있기 때문에 학생들의 오개념을 줄일 수 있다고 생각된다.

## 인 용 문 헌

1. Im, H. K. Study of 'Misconceptions' Analysis of Students for Oxidation-Reduction and Electrochemical Cell. M. Ed. Thesis, Chungnam National University, 1996.
2. Gamett, P. J.; Treagust, D. F. *J. Res. Sci. Teach.* **1992**, *29*, 121.
3. Gamett, P. J.; Treagust, D. F. *J. Res. Sci. Teach.* **1992**, *29*, 1099.
4. Sanger, M. J.; Greenbowe, T. J. *J. Res. Sci. Teach.* **1997**, *34*, 377.
5. Sanger, M. J.; Greenbowe, T. J. *J. Chem. Educ.* **1997**, *74*, 819.
6. Ogude, A. N.; Bradley, J. D. *J. Chem. Educ.* **1994**, *71*, 29.
7. Niaz, M. *Int. J. Sci. Educ.* **2002**, *24*, 425.
8. Chemistry II textbooks in the 6th educational curriculum: (a) Lee, W. J.; Bang, T. C.; Lee, S. Y. *Chemistry II*; Koryo Books Publishing: Seoul, Korea, 1997, p 397. (b) Oh, J. J.; Kim, J. H.; Park, B. B.; Choi, S. N. *Chemistry II*; Kyohaksa Publishing: Seoul, Korea, 1997, p 406. (c) Kim, S. J.; Moon, J. D.; Lee, J. M.; Koo, C. H.; Lee, S. J. *Chemistry II*; Kumsung Publishing: Seoul, Korea, 1997, p 362. (d) Jeong, G. J.; Ryo, J. H.; Lee, D. H. *Chemistry II*; Donga Books Publishing: Seoul, Korea, 1997, p 365. (e) Park, T. G.; Jeong, G. C.; Kim, W. T. *Chemistry II*; Bakyoungsa Publishing: Seoul, Korea, 1997, p 410. (f) Park, W. K.; Yoon, S. J. *Chemistry II*; Jihaksa Publishing: Seoul, Korea, 1997, p 417. (g) Woo, K. W.; Kim, G. J.; Lee, I. G.; Yeo, S. I. *Chemistry II*; Cheonjae Education Publishing: Seoul, Korea, 1977, p 341. (h) Yeo, S. D.; Yeo, H. J.; Jang, Y. G.; Lee, G. O. *Chemistry II*; Cheongmoongak Publishing: Seoul, Korea, 1997, p 410. (i) Choi, B. S.; Moon, Y. S.; Shim, J. S.; Kim, D. S.; Hyeon, J. O. *Chemistry II*; Hansam Publishing: Seoul, Korea, 1998, p 377. (j) Song, H. B.; Jeong, Y. S. *Chemistry II*; Hyungseul Publishing: Seoul, Korea, 1997, p 394.
9. Chemistry II textbooks in the 7th educational curriculum: (a) Suh, J. S.; Huh, S. I.; Kim, C. B.; Park, J. W.; Hah, Y. K.; Im, Y. J.; Bae, B. I. *Chemistry II*; Kumsung Publishing: Seoul, Korea, 2002, p 296. (b) Lee, D. H.; Kim, D. S.; Shim, K. S.; Jeon, S. C.; Lee, J. H.; Shim, J. S.; Suh, I. H.; Noh, K. J. *Chemistry II*; Daehan Textbooks Publishing: Seoul, Korea, 2002, p 319. (c) Woo, K. W.; Choi, S. N.; Oh, D. H.; Han, E. T.; Kim, B. R.; Kang, B. J. *Chemistry II*; Joongang Education Development Center Publishing: Seoul, Korea, 2002, p 270. (d) Kim, H. J.; Yoon, K. B.; Lee, J. Y.; Hwang, S. Y.; Lee, B. Y.; Jeon, H. Y. *Chemistry II*; Cheonjae Education Publishing: Seoul, Korea, 2002, p 296. (e) Yeo, S. D.; Yeo, H. J.; Jang, Y. G.; Lee, G. O.; Cho, C. H.; Park, H. Y.; Yang, D. K.; Lee, C. G. *Chemistry II*; Cheongmoongak Publishing: Seoul, Korea, 2002, p 267.
10. Shim, T.-H.; Lee, S.-K.; Choi, B.-S. *J. Kor. Chem. Soc.* **2002**, 363.
11. Harris, D. C. *Quantitative Chemical Analysis*, 5th ed.; Freeman: New York, U.S.A., 1999.
12. Oxtoby, D. W.; Gillis, H. P.; Nachtrieb, N. H. *Principles of Modern Chemistry*; 4th eds.; Saunders College Publishing: New York, U.S.A., 1998.