

과학고등학교 학생의 화학 전지에 대한 이해 분석: 분자적 수준의 미시적 관점에서 화학 평형과 연계하여

김현정 · 홍훈기*

서울대학교 화학교육과

(접수 2011. 11. 10; 게재확정 2012. 9. 14)

Science High School Students' Understandings on Chemical Cells : In Relation to Chemical Equilibrium from the Microscopic Viewpoint at Molecular Level

Kim Hyun-Jung and Hong Hun-Gi*

Department of Chemistry Education, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea.

*E-mail: hghong@snu.ac.kr

(Received November 10, 2011; Accepted September 14, 2012)

요 약. 이 연구의 목적은 과학고등학교 학생들을 대상으로 설문지 조사와 면담을 통해 화학 전지에 대한 개념 이해를 분자적 수준의 미시적 관점에서 화학 평형과 연계하여 분석하는 것이다. 과학고등학교 학생들은 전극을 전해질에 담그자마자 전극의 금속이 산화되는 반응과 금속 이온이 환원되는 반응이 동시에 일어난다는 것과 화학 전지의 화학 평형 상태를 고르는 것에 대한 이해는 높았다. 그러나 전극과 전해질 사이에서 일어나는 상호작용을 미시적 관점으로 이해하는 데는 어려움을 겪고 있어, 화학 전지에서의 전위차 발생, 전자의 흐름, 반쪽 전지의 전위 측정, 산화전극과 환원전극 사이의 전지 전위값 계산하기 등에서는 어려움을 겪었다.

주제어: 화학 전지, 전기화학 평형, 화학 평형, 미시적 관점

ABSTRACT. The purpose of this study is to analyze the understandings of science high school students on the conception of chemical cell in relation to chemical equilibrium from the microscopic viewpoint at molecular level through questionnaires and follow-up interviews. The results show that they have high understandings on the chemical equilibrium states in the electrochemical cell and on the redox reaction taking place simultaneously when a metal electrode is immersed in the metal ion solution. However, they do not fully comprehend the development of electrical potential difference, electron movement, electrode potential measurement in the half-cells, and calculation of the net cell voltage between anode and cathode in the chemical cell because of difficulties in the microscopic understanding the interaction on the interface at the electrode and the electrolyte solution.

Key words: Chemical cell, Electrochemical equilibrium, Chemical equilibrium, Microscopic viewpoint

서 론

노트북과 핸드폰, mp3 등 우리 주변의 많은 전자기기들이 화학 전지로 작동하게 되면서 화학 전지는 인류의 일상생활에서 흔히 볼 수 있는 물건이 되었다. 화학 전지는 물리와 화학 교육과정 모두에서 중요하며 학생들은 볼타 전지와 다니엘 전지로부터 화학 전지의 원리를 배우게 된다. 그러나 화학 전지와 관련한 전기화학 개념들이 추상적이고 동적인 성질을 가지고 있어 학생들뿐 아니라 교사들도 이해에 어려움을 겪는 것으로 알려져 있다.^{1,2} 이에 전기화학 분야에서는 학생들과 교사들의 오개념을

조사하는 연구들이 많이 진행되었는데, 연구 결과 여러 나라의 학생들과 교사들이 서로 다른 수준이지만 공통적인 오개념들을 갖고 있는 것으로 나타났다.³⁻¹² 그동안 진행된 많은 선행 연구들이 학생들과 교사들이 가지고 있는 화학 전지와 관련된 오개념에 대한 연구였다면, 최근의 연구들은 오개념의 원인을 밝히거나 이를 개선하기 위한 방법에 대한 연구들이 진행되고 있다.

화학 전지와 관련된 오개념으로 교과서의 진술 방식과 모호한 상황 설명이 학생들과 교사들의 개념 이해를 더 어렵게 하거나 개념상의 혼돈을 유발하기도 하며, 화학 전지와 관련한 개념이 화학 전지에서 전위차가 발생하는

근본적인 원리가 분자 수준의 미시적 관점으로 다루어지지 않고 전극과 전해질 사이의 반응성에 기초한 산화환원 반응으로 설명하는 것이 화학 전지의 이해를 더 어렵게 한다는 연구들이 나오고 있다.³⁻⁵ 화학 전지는 우리나라 화학 교육과정에서 중요한 개념이지만 일반적으로 고등학교 3학년 때 배우는 화학 II의 마지막 단원에서 다루고 있어 화학 수업에서 중요하게 다루지지 못하고 있다. 이에 우리 나라에서는 화학 전지를 비롯한 전기화학 분야의 이해에 대한 심화된 연구가 많이 이루어지지 못하고 있다.

고등학교 교육과정에서 화학 전지는 볼타 전지로 도입되어 볼타 전지를 구성하는 전해질(산)과 전극으로 사용한 금속의 이온화 경향의 차이에 의해 전류가 형성되는 것으로 설명된다. 교과서들은 볼타 전지에서 전류를 얻을 수 있는 것이 두 전극의 전위차 때문이며 전극마다 고유의 전위가 있고 금속마다 그 전위가 모두 다르다고 설명하고 있으나 전위가 정확히 어떤 개념인지도 설명하지 않고 있다.¹³⁻¹⁹ 그러나 전기화학 분야의 개념 이해를 향상시키기 위하여 화학 전지에서 전류의 기원이 되는 전극 전위에 대한 설명을 도입하여 전해질 용액과 전극의 계면에서의 상호작용을 설명하고³⁻⁴ 교과서의 설명 방식과 그림의 제시가 열역학과 반응 속도와 연계되어 좀더 구체적이고 심화될 필요가 있다.⁵ 현재의 서술 방식은 교사들과 학생들이 볼타 전지에 대한 이해를 쉽게 할 수 있도록 하나 전류의 기원이 되는 전위차의 형성과 전극 전위의 개념을 설명하고 있지 않아 이와 관련된 대부분의 전기화학 개념 역시 이해하기 어려운 것이 사실이다.³⁻⁵ 결국 화학 전지에 대한 이해를 높이려면 두 전극을 전해질 용액에 넣었을 때 미시적으로 각 전극과 전해질 용액의 양이온 사이에 화학 평형이 일어날 때까지 서로 전기적 상호작용이 일어남을 제대로 이해하고, 이 두 전극의 상호작용의 차이가 전위의 차이로 나타나 전기장이 형성되며 이를 통해 전류의 흐름이 이루어진다는 점을 이해하는 것이 필요하다.^{1,3-5}

2009개정 교육과정의 화학 II에서도 ‘화학 평형’ 부분에 화학 전지를 구성하여 전극과 전해질 사이의 전기적 상호작용을 화학 평형의 개념과 연계하여 화학 전지를 설명하도록 하고 있다.²⁰ 이는 화학 평형의 개념과 연계하여 전기화학 분야를 다룸으로써 화학 전지에 대한 이해를 돕기 위한 것으로 볼 수 있다. 과거 고등학교 화학 교과서나 일반화학 교과서들이 전위의 기원, 화학 전지에서 두 전극 사이의 전압 측정 방법 등을 자세히 설명하고 있지 않으며, 전극의 전위값으로 제시되는 표준 환원 전위 E^0 가 관습적으로 환원되는 방향으로 쓰기는 하나 평형 상태의 값이므로 평형 반응을 반대로 쓰더라도 표준 환원 전위

값이 변하지 않는 값이라는 것에 대한 설명이 부족하다. 그러나 2009 개정 교육과정에 맞추어 개발된 교과서들도^{21,22} 기존 교과서의 설명 방식과 유사하며 화학 평형과 화학 전지 개념을 연계하여 설명하고 있지 않다. 따라서 학생들은 여전히 화학 전지의 중요 개념들을 이해하기에 어려움을 가질 것으로 예상된다. 이에 화학 전지에 대한 이해도를 구체적으로 알아보기 위하여 화학 전지 개념의 이해가 높을 것으로 판단되는 과학고등학교 학생들을 대상으로 화학 전지와 관련된 개념의 이해 정도를 미시적 관점으로 분석해보았다.

연구내용 및 방법

연구대상 및 시기

이번 연구는 서울과 경기도 소재한 과학 또는 과학영재 고등학교 3개교 1, 2학년 242명을 대상으로 하였으며, 연구는 2010년 11월부터 2011년 10월 사이에 진행되었다.

연구절차 및 검사도구

선행 연구¹에 기초하여 과학고등학교 학생들의 화학 전지에 관련한 개념을 알아보기 위한 설문지를 제작하였다. 설문 문항은 선행 연구를 바탕으로 화학 전지에서 학생들이 보여주는 대표적인 오개념을 포함하여 화학 전지에서 일어나는 화학 반응들을 미시적 관점으로 이해하고 있는 지를 묻는 문항과 화학 전지에서의 화학 평형 개념을 묻는 문항으로 구성되었다. 설문에 사용할 문항은 과학 교육 전문가와 화학 교사 7명의 검토를 통해 최종적으로 수정 보완하였다. 화학 교사들은 과학고등학교 또는 과학영재고등학교에 근무하는 화학 교사 5명과 일반계 고등학교에 근무하는 화학 교사 2명, 화학 전문가 1명, 화학 전공 박사 과정 1명이었으며, 이들을 대상으로 워크숍을 진행하여 화학 전지에서 일어나는 미시적인 반응에 대한 논의를 진행하였다. 문항은 총 13가지로 대부분 그림과 함께 제시되었으며, 구체적인 내용은 Table 1과 같다.

연구 결과 및 논의

화학 전지는 두 전극과 전해질로 이루어지는데, 일반적으로 금속 전극을 전해질 용액에 담갔을 때 발생하는 전위차에 의해 전류가 발생한다.^{1,3-5} 이를 이해하기 위해선 전극을 전해질 용액에 넣었을 때 전극과 전해질 사이에서 일어나는 미시적 화학 반응을 이해해야 한다. 금속을 그 금속 이온을 포함한 용액에 담그게 되면 금속 이온이 금속에 부딪혀서 전자를 얻어 금속 원자로 환원되는 반응과 금속이 전자를 잃고 금속 이온으로 산화되는 반응

Table 1. The Contents of the Questionnaire

Contents
1. Which of the following reactions occur immediately after a zinc metal is immersed into a solution of ZnSO ₄ (aq)?
2. Is it possible to measure the potential difference between the copper strip and the solution containing copper ions as shown in this figure? And why do you choose one of the alternatives?
3. Which of the following figures requires represents the polarity(the separation of positive and negative charges at each metal/solution interface) of each electrode correctly for the Daniel cell?
4. In which of the setups above is/are the galvanic cell/cells at chemical equilibrium?
5. Which is the cathode in the galvanic cell? And why do you choose one of the alternatives?
6. Which one(s) of the figures below represent correctly the direction movement during the passage of current in a galvanic cell?
7. What is the standard reduction potential of the Ni Ni ²⁺ half cell at 25 °C knowing that the Standard Gibbs Free Energy of the Cell below is -113870J? (E°(Cu ²⁺ Cu)=0.34V F=96500C/mol), Ni Ni ²⁺ (1M) Cu ²⁺ (1M) Cu
8. Which one of the following values is equal to the value of E°(Cu ²⁺ Cu)? (E°(Cu Cu ⁺)=-0.521 V, E(Cu ²⁺ Cu)=0.337 V)
9. Which is the potential of the cell given below at 25 °C? Zn Zn ²⁺ (1M) Cd ²⁺ (1M) Cd (E°(Zn ²⁺ Zn)=-0.76 V, E°(Cd ²⁺ Cd)=-0.40 V)
10-12. Which of the statement below is true? (It is possible to measure the potential of an half-cell without coupling it with another one (with a standard half-cell), The potential of the standard hydrogen is in the middle of the activity series for metals, In galvanic cells, the electrode with the higher standard reduction potential is always cathode.)
13. What is the most difficult concept to comprehend in the electrochemistry?

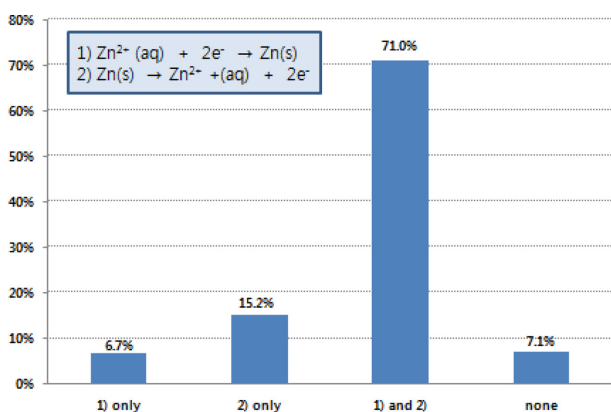


Fig. 1. Answer for Question 1(Which of the following reactions occur immediately after a zinc metal is immersed into a solution of ZnSO₄(aq)?).

이 매우 짧은 시간 안에 일어나며 평형에 도달하게 된다. 이 과정에서 소량의 전하 이동이 생기게 되고 금속과 용액의 계면 사이에는 전기 이중층이 형성된다(금속이 약간의 전하를 얻게되고, 용액은 금속과 반대의 전하를 얻게된다). 이 과정이 모든 금속 전위의 기원이 되며, 이 때의 평형 상태를 전기화학 평형(electrochemical equilibrium)이라 부른다.^{1,4}

이 반응에 대한 학생들의 이해를 알아보기 위하여 아연 금속을 아연 이온을 포함한 전해질에 담갔을 때 일어나는 반응에 대해 물어본 결과 아연 금속이 산화하는 반응과 아연 이온이 환원되는 반응이 둘 다 일어난다는 것을 대다수의 학생들(71.0%)이 알고 있었다(Fig. 1).

아연 금속의 산화만 일어난다고 이해하는 경우(15.2%)

도 있었으며 정답을 제시한 경우에도 이들의 이해를 구체적으로 알아보기 위하여 인터뷰를 실시한 결과 전극과 전해질 사이의 미시적 반응을 정확히 이해하지 못하는 경우가 있었다. 정답을 고르거나 금속의 산화만 일어난다고 답한 학생들 중에서 예시를 구리 금속을 구리 이온을 포함한 전해질에 담근 경우로 바꾸어 제시하였을 경우에, 금속의 산화 반응과 전해질에 있는 금속 이온의 환원 반응 모두 일어나지 않는다고 인식하는 경우가 있었다. 학생들이 전기화학의 반응을 금속의 반응성에 기초하여 개념을 배우고 있어 반응성이 큰 아연의 경우와 반응성이 작은 구리의 경우 다른 반응이 일어난다는 개념상의 혼돈을 가지고 있었다.

T: 구리 금속을 황산구리용액에 넣었을 경우에는 어떤 반응이 일어날까요?

A: 아무 반응도 일어나지 않아요.

T: 왜 그럴까요?

A: 구리는 수소보다 반응성이 작아서 반응을 할 수 없어요. (학생 사후 인터뷰 중에서)

이는 교과서에서 제시하고 있는 화학 전지의 경우 설명의 편의를 위해 산을 전해질로 다루는 경우만을 제시하고 있고 금속의 반응성이 수소와 비교하여 크냐 작냐에 따라서 산화 환원 반응이 일어나는 것으로 화학 전지의 원리를 설명하기 때문에 일어나는 개념상의 오류라 볼 수 있다. 이 개념은 화학 교사들에게도 발견되었는데 워크샵에 참여한 화학 교사들 중에도 산화와 환원 모두 일어나지 않는다고 인식하여 전극과 전해질 사이의 반응을 미시적으로 이해하는데 어려움을 겪고 있는 경우가 있었다.

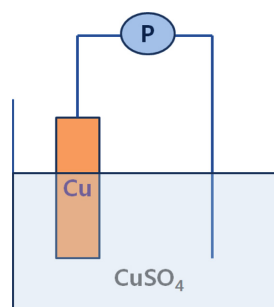
화학교사 C: 이 문제는 좀 위험하네요. 제가 전에도 물어본 것 같은데 같은 종류의 금속과 이온 사이에는 반응이 관찰되지 않는다고 화학 I 금속의 반응성 단원에서 가르치는데... 제가 금속 수용액과 금속판으로 전지가 아닌 상태에서 실험을 해봐도 반응이 관찰되지 않았거든요. 반응 속도가 느려서 그런가요?

면담자: 이 문항은 분자적 수준의 미시적 관점으로 실제 금속과 금속 이온 사이에서 일어나는 반응을 모두 고려하는 것입니다. 이 두 반응이 매우 빠르게 전기 화학 평형에 도달하고 소량의 전하 이동이 생기므로 거시적 관점에서는 반응이 일어나지 않는 것으로 보일 수 있습니다.

(전문가 워크샵 중에서)

7차 교육과정에서는 화학 전지를 금속과 전해질 용액 사이의 산화와 환원 반응에 의한 자발적인 시스템으로 설명하고 있고 전해질 용액과 금속 전극의 계면에서 일어나는 미시적인 입자간 상호 과정을 설명하고 있지 않다.^{5,13-19} 이렇게 갈바니 전지를 가르칠 때 각 반쪽 전지에서 일어나는 산화 환원 반응에 초점을 두어 가르치는 것이 화학 전지 시스템의 옳은 이해에는 도움이 되지 않으므로,³ 학생들은 전류가 두 전극 사이의 전위차에 의해 생긴다는 전류의 기원에 대한 이해가 필요하다. 이를 위해 미시적으로 두 전극을 이루는 금속 입자들과 용액 중의 양이온 사이에서 화학 평형이 일어날 때까지 서로 상호작용이 일어남을 이해할 필요가 있다.^{1,5} 또한 학생들은 교과서들에서 화학 전지가 산화 환원 반응이 동시에 일어나므로 하나의 반쪽 전지의 전위만을 측정할 수는 없으며, 전위의 기준이 필요하여 수소 전극이 필요한 것으로 배우고 있다.¹³⁻¹⁹ 그러나 갈바니 전지에서 두 전극은 각각 전해질 용액과 전기화학적 상호작용을 하고 있어 각각의 계면에 전기 이중층(electrical double layer)이 형성되어 이 두 전기 이중층 사이의 전압만을 측정하는 것이 가능하므로 한쪽 반쪽 전지가 표준 수소 전극이 되어 변하지 않는 값을 가질 때에 표준 수소 전극과 연결된 반쪽 전지의 전위를 측정할 수 있다.¹ 그러나 학생들은 이런 이유를 배우지 않고 교과서에서 이 부분을 산화 환원이 동시에 일어나기 때문에 하나의 반쪽 전지만의 전위를 측정하는 것은 불가능하다고 배우고 있다.¹³⁻¹⁹

이번 연구에서 학생들은 Fig. 2와 같이 반쪽 전지의 전위를 측정하기 위한 상황의 그림을 주고(하나의 반쪽 전지의 전압을 측정하기 위해 금속선을 담근 경우) 반쪽 전지의 전위를 측정할 수 있는 지 묻은 결과 44.7%의 학생들이 다음의 장치를 이용하여 반쪽 전지의 전위 측정이 가능하다고 생각하고 있었다. 그러나 여기서 측정되는 전압은 구리판과 구리 이온 사이의 전기 이중층과 금속선



The figure pictures a half-cell in which the copper strip and the solution containing the Cu^{2+} ions are connected to each other by two pieces of metal wire and a potentiometer (P, a voltmeter with a very high resistance)

- It is possible. 44.7%
- It is not possible. 55.3%

Fig. 2. Answer for Question 2 (Is it possible to measure difference between the copper strip and the solution containing copper ions as shown in this figure?).

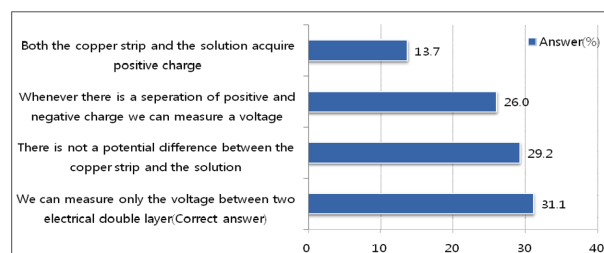


Fig. 3. Reason for Question 2.

과 구리 이온 사이의 전기 이중층 사이의 전압으로 두 전기 이중층 사이의 전압일 뿐이다.

학생들에게 Question 2에 대해 답한 이유를 물어본 결과 반쪽 전지의 전위를 측정할 수 없는 정확한 이유(이 장치에서는 두 개의 전기 이중층 사이의 전압만을 측정할 수 있다)를 알고 있는 경우는 31.1%였으며, 금속과 금속 이온 사이에는 전위차가 발생하지 않으므로(29.2%) 하나의 반쪽 전지의 전위를 측정할 수 없다고 생각하거나, 양 전하와 음전하의 분리가 있을 때는 전위차를 측정할 수 있다(26.0%)고 인식하는 등 잘못된 개념을 갖고 있는 경우가 많았다(Fig. 3).

또한 학생들은 교과서에서 표준 수소 전극의 전위가 0 V로 기준이 되며 이를 이용하여 다른 반쪽 전지의 전위를 측정한다고 배우지만, 수소 전극 없이 단지 하나의 반쪽 전지의 전위만을 측정하는 것이 가능하다(Question 10, 59.4%)고 생각하는 학생들이 많았다. 학생들은 수소 전극의 개념은 배우고 있으나 왜 표준 수소 전극이 필요한지의 이유를 정확히 인지하지 못하고 있음을 알 수 있다. 이는 하나의 반쪽 전지의 전위만을 측정하는 것이 불가능하다는 것을 이해하기 어렵하다는 기존의 연구 결과와 일치한다.¹

이어서 선행연구에서 지적한 화학 전지의 전극과 전해질 사이의 미시적 상호작용에 관해^{1,3,4} 구체적으로 알아보기 위하여 화학 전지의 전극과 전해질 사이의 전하 분

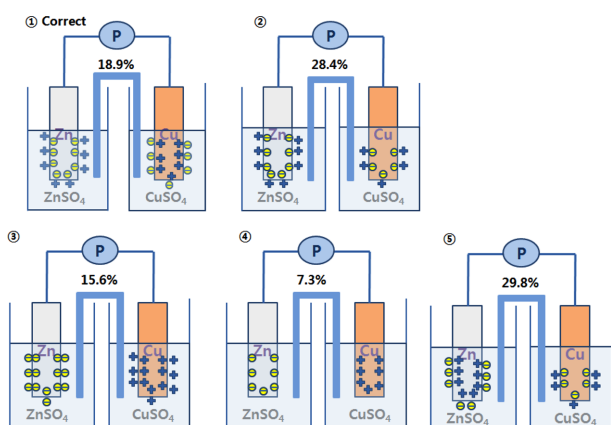


Fig. 4. Answer for Question 3. (Which of the following figures requires represents the polarity (the separation of positive and negative charges at each metal/solution interface) of each electrode correctly for the Daniel cell?).

리에 대해 물어보았다(Question 3). Question 3에서는 학생들에게 교과서에서 친숙하게 제시되는 다니엘 전지를 보고 각 전극과 전해질 사이에서 이루어지는 전하 분리로 옳은 것을 고르도록 하였다.

위의 화학 전지에서 전하가 분리되는 메커니즘은 다음과 같다. 금속 전극을 그 금속 이온을 포함한 전해질 용액에 담으면, 금속이 산화되는 반응과 전해질 속의 금속 이온이 환원되는 반응이 동시에 일어나 빠르게 평형에 도달하고 금속과 용액의 계면 사이에서 전위차가 발생하게 된다. 이때 아연은 금속이 산화되는 반응이 더 강하게 일어난 상태로 전기화학 평형에 도달하여 금속판은 아연 원자가 산화하고 남긴 전자에 의해 (-)전하를 띠게 되고, 그 결과 용액 보다 더 낮은 전위를 갖게 된다. 구리는 아연보다 이온으로 산화되려는 경향이 약하여 전해질 속 구리 이온의 일부가 환원되는 반응이 더 강하게 일어나 주변 전해질이 (-)전하를 갖게 된다. 그 결과 구리는 전해질용액보다 더 높은 전위를 갖게 된다. 학생들은 전극과 전해질 사이에 전하 분리가 이루어지는 것은 부분적으로 알고 있었으나, 화학 전지의 두 전극과 전해질 용액 사이의 화학 반응에 의한 전하 분리를 옳게 이해하고 있는 학생들은 18.9%정도였다. 전하 분리를 반대로 이해하거나 (29.8%), 두 전극의 전하 분리가 동일한 형식으로 이루어지는 것으로(28.4%)로 이해하기도 하였다. 학생들이 한쪽 반쪽 전지는 모두 (+)로 다른 반쪽 전지는 모두 (-)로 전하 분리가 일어난다고 인식한다는 연구 결과처럼⁹ 15.6%의 학생들은 같은 종류의 전하로 전하 분리가 일어난다고 생각하고 있었다. 학생들이 전극과 전해질 용액 사이의 전기화학 평형을 이해하면 전극과 전해질 용액 사이의 전기화학 평형에서 이동하는 전하의 양이 금속마다 모두

다르므로 모든 금속이 서로 다른 표준 환원 전위를 갖게 되는 지를 이해하기 쉬울 것이며, 화학 전지를 구성했을 때의 전류의 흐름 역시 연계적으로 이해할 수 있을 것이다. 그러나 현재 학생들은 전극과 전해질 용액 사이의 상호작용을 분자 수준으로 자세히 배우지 않고 전위차 발생의 근본적인 내용에 대한 소개를 접한 적이 없으므로 전극과 전해질 사이의 전하 이동과 전하 분리의 내용이 생소하였을 것으로 판단된다. 전하 분리가 반대로 이루어진다고 답한 학생들을 인터뷰한 결과 반응성이 큰 아연이 양이온인 아연 이온으로 산화되는 것을 아연 전극이 (+)로, 구리가 전자를 얻어 환원되는 것을 (-)전하를 띠는 것으로 받아들이는 경우가 있었다.

- T: 왜 5번이라고 생각하였나요?
 S: 아연이 구리보다 이온화되려는 경향이 크잖아요.
 T: 아연이 구리보다 이온화 경향이 크면 아연 전극이 (+)전하를, 구리 전극이 (-)전하를 띠게 되나요?
 S: 아연이 이온으로 되면 양이온이 되고 전자를 내놓고, 구리는 전자를 받아서 환원되니까요.
 (학생 사후 인터뷰 중에서)

위의 같은 전극과 전해질 사이의 전하 분리는 전위차이를 쉽게 설명하고 화학 전지에서의 전자의 흐름을 이해하는 데 매우 중요하다. 따라서 전극과 전해질 사이의 미시적 상호작용을 정확하게 이해하고 있지 않은 상태에서는 Fig. 5 (Question 6)와 같이 화학 전지에서의 전류의 방향을 정확하게 이해하지 못할 수 있다. 다니엘 전지에서의 전자의 이동 방향을 옳게 이해하고 있는 경우는 32.6%였으며, 선행 연구들에서 밝혀진 오개념인 전자가 전해질 용액이나 염다리를 통과한다고 생각하는 경우도^{1,2,7,8,10} 24.4%로 나타났다.

(+)전하는 전기장을 걸었을 때 높은 전위에서 낮은 전위로 이동하며, (-)전하는 낮은 전위에서 높은 전위로 이동한다. 따라서 화학전지에서 전자는 외부 회로를 따라 낮은 전위에서 높은 전위로 이동하므로 산화전극(anode)에서 환원전극(cathode)로 이동하게 된다. 또한 학생들이

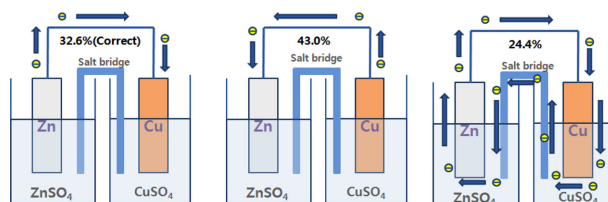


Fig. 5. Answer for Question 6. (Which one(s) of the figures below represent correctly the direction movement during the passage of current in a galvanic cell?).

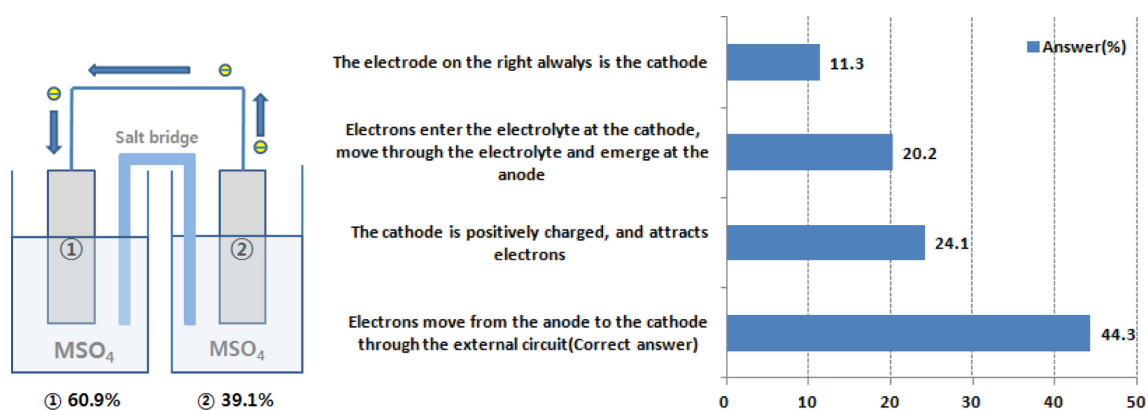


Fig. 6. Answer for Question 5 (Which is the cathode in the galvanic cell? And why do you choose one of the alternatives?).

염다리가 필요한 이유를 화학 전지의 두 반쪽 전지에서 전하의 차이를 맞추기 위한 것으로만 배울 뿐 전자의 이동에 대한 설명과 연계하여 접하지 않기 때문에 전자가 염다리를 통해서 이동하면서 화학 전지가 폐회로가 되고 전류가 흐르게 되는 것으로 오해하기 쉬운 것으로 생각된다. 따라서 학생들의 화학 전지에 대한 이해를 높이기 위해서는 학생들이 전극과 전해질 용액의 전기 화학 평형에서 전극의 전위를 판단하고 이로부터 전류의 흐름을 이해한다면 화학 전지에서의 전류의 흐름에 대한 이해 역시 높일 수 있을 것으로 생각된다.

화학 전지에서 전자의 흐름에 대한 이해는 Question 5 (Fig. 6)에서도 알아 볼 수 있었는데, 화학 전지 그림에서 전류가 흐르는 방향을 이용하여 환원전극(cathode)를 옳게 찾은 학생은 60.9%였다.

전자의 흐름을 통해서 환원 전극을 옳게 찾은 학생들의 경우에도 그 이유를 전자가 외부 회로를 통해 산화전극(anode)에서 환원전극(cathode)로 이동하기 때문이라고 옳은 이유를 알고 있는 경우는 44.3%였으며, 환원 전극이 늘 양전하를 띠고 전자를 끌어당긴다(24.1%)고 생각하거나 오른쪽에 있는 전극이 항상 환원전극이라고 생각하는 경우(11.3%)도 있었다. 또한 학생들은 화학 전지에서 표준 환원 전위가 높은 전극이 항상 환원 전극이 된다(Question 12)고 생각하는 비율이 높아(56.1%) 같은 종류의 금속을 사용하여도 전해질의 농도를 다르게 하거나 다른 전극을 사용하더라도 농도에 따라 산화전극과 환원전극이 달라질 수 있다는 점을 인식하지 못하고 있었다. 학생들은 전위의 발생으로부터 화학 전지의 근본 원리를 접하는 것이 아니라 주로 서로 다른 종류의 반쪽 전지의 짝으로 구성되며 이를 산을 이용한 전해질과의 반응성에 기초한 산화환원 반응으로 화학 전지의 원리를 배우고 있어 다양한 화학 전지의 예에 대해 충분한 이해가 이루어지지 않은 것으로 생각된다.

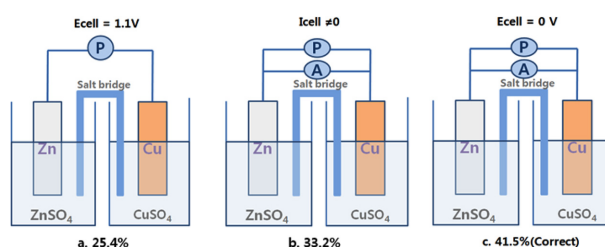


Fig. 7. Answer for Question 4 (In which of the setups above is/are the galvanic cell/cells at chemical equilibrium?).

화학 전지에서 진행되는 각 전극과 전해질 사이의 반응과 화학 평형의 개념을 제대로 연계하고 있는 지 알아보기 위하여 화학 평형 상태(Chemical equilibrium state)를 찾아보도록 하였다(Fig. 7). a는 Fig. 4에서 설명하고 있는 전기 화학 평형 상태로 그림과 같이 저항이 매우 큰 전압계를 연결하면 이 화학 전지의 기전력을 측정할 수 있다. b는 전지에 전류가 흐르고 있는 상태로 전기화학 평형 상태에서 벗어나 전기 화학 반응이 진행되고 있으며 화학 전지의 전압도 계속해서 감소한다. 이 화학 전지를 구성하는 두 반쪽 전지의 반응이 모두 진행된 후에 모든 화학종의 농도가 평형값에 도달하면 하면 화학 평형 상태가 되며 전압이 0 V가 된다. 이 상태가 c로, 이 상태는 화학 평형 상태이면서 또한 전기화학 평형 상태이기도하다. 41.5%의 학생들이 화학 평형 상태에 도달한 화학 전지를 옳게 골랐으나 33.2%의 학생이 전류가 흐르는 상태를 화학 평형 상태라 생각하고 있었다.

이처럼 학생들은 화학 전지를 접하기 전 화학 평형 단원을 배우지만 화학 전지에서의 반응을 화학 평형 개념에 연계하여 이해하는 데에는 어려움을 겪고 있었다.

비교적 과학고등학교 학생들이 화학 전지와 관련한 계산 문제에 높은 정답률을 보일 것이라 예상하고 전지의 전위를 계산하는 문제들을 제시하였으나(Question 7-9) 예

상 외로 낮은 정답률을 보였다. 그 이유를 알아보기 위하여 과학고등학교 교사들과의 사후 인터뷰를 해본 결과 일반 고등학교에서 화학 전지가 고등학교 3학년 마지막 단원으로 구성되어 학생들이 심도 있게 공부할 수 있는 환경이 마련되지 않는 것처럼, 과학고등학교의 학생들은 1학년 말에 화학 전지를 접하며, 학년 말의 특성에 따라 다른 파트에 비해 가르치고 배우는 중요도가 떨어지는 경우가 많은 것으로 조사되었다. 또한 화학 전공인 학생들 중에서 심화선택으로 분석화학을 수강할 수도 있으나 개설되지 않는 경우도 있으며, 대부분 3학년 때 개인적 필요에 의해 다시 화학 전지 분야를 공부하게 되면서 학생들의 전기화학 분야에 대한 지식이 깊이 있어지는 것으로 설명하고 있다.

과학고등학교 학생들에게 전기화학과 관련하여 이해하기 힘든 개념에 대해서 자율 서술식으로 묻은 결과 많은 학생들이 전기화학 분야의 용어 자체가 어려우며, 산화전극과 환원전극의 개념, 환원전극과 산화전극의 전위 값으로 기전력 계산하기, 전기화학과의 깁스 자유에너지의 연관, 네른스트식, 화학 평형과 화학 전지의 연관, 염다리에서 전하 균형을 맞추는 원리, 화학 전지에서 전자의 이동 등 전기화학에서 중요한 개념들을 어렵다고 기술하고 있었다. 또한 대부분 화학 전지의 원리를 이해하기 보다 화학 전지 개념을 외워서 관련 문제를 풀고 있다고 답하고 있었으며 외운 개념이 오래 가지 않아 화학 전지에 관련된 부분이 어렵게 느껴진다고 대답하였다.

결론 및 제언

본 연구에서는 과학고등학교 학생들을 대상으로 화학 전지에 대한 개념을 분자적 수준의 미시적 관점으로 분석해보았다. 그 결과 학생들은 전극을 전해질에 담그자마자 전극의 금속이 산화되는 반응과 금속이온이 환원되는 반응이 동시에 일어나고 있음을 이해하고 있었으나, 전극과 전해질 사이의 상호작용을 금속의 반응성에 기초하여 이해하여 반응성이 작은 금속을 제시하였을 때는 아무런 반응이 일어나지 않는다고 인식하는 경우도 있었다. 또한 전극을 전해질에 담그었을 때 일어나는 전기화학 평형에서의 전하 분리와 표준 수소 전극이 필요한 이유, 화학 전지에서의 전류의 흐름, 화학 전지에서 전기화학 반응이 진행되어 화학 평형 상태에 도달하는 것 등에 대한 이해가 부족하였다.

학생들이 금속의 반응성을 기초로 화학 전지를 이해하는 것이 화학 전지를 쉽게 이해하는 방법이 될 수는 있으나, 산을 전해질로 사용하고 이를 기준으로 반응성이 큰 금속과 작은 금속으로 구성되는 화학 전지의 구성만 접하

는 경우 화학 전지의 일부분에 대한 것만 배우게 되어 전기화학 개념의 이해에 어려움을 갖을 수 있다. 또한 화학 전지에서 두 반쪽 전지를 이용해 화학 전지를 구성하였을 때의 기전력을 이론적으로 배우나 대부분의 교과서에서 실제로 기전력을 측정하기 위한 방법을 자세히 기술하지 않으며, 전위의 개념을 명확히 설명하고 있지 않다. 따라서 전위의 발생, 전위의 차이, 화학 전지에서의 기전력 측정, 화학 전지에서의 전류의 흐름, 화학 전지의 전기화학 반응과 이의 진행에 따른 화학 평형 상태, 화학 전지에서 표준 수소 전극이 필요한 이유를 이해하기 위해서는 전극과 전해질 사이의 전기화학 평형과정을 다루어야 하며 이를 바탕으로 전위를 도입하는 것이 학생들의 이해를 도울 수 있다. 또한 학생들이 표준 환원 전위가 평형 상태의 값이라는 것을 잘 이해하지 못하여 관습적으로 환원되는 방향으로 쓰기는 하나 하나의 평형 상태의 값이므로 평형 반응을 반대로 쓰더라도 표준 환원 전위 값이 변하지 않는 값이라는 것이라는 설명도 화학 전지 분야의 이해를 높이기 위해 필요할 것이다.

이를 위해서는 화학 전지를 가르치는 교사들이 전기화학 분야에서 주로 나타나는 오개념에 대해 미리 인식하고 화학 전지의 원리를 제대로 이해할 수 있도록 노력해야 하며, 더 나아가 화학 전지에서 이루어지는 전기화학 반응에 대해 분자적 수준의 미시적 관점으로 이해하고 이를 바탕으로 전위의 발생으로부터 체계적으로 화학 전지의 원리 전반에 이르는 내용을 설명하는 것이 필요하다고 생각된다.

REFERENCES

- Özkaya, A. R.; Üce, M.; Saricayir, H.; Sahin, M. *J. Chem. Educ.* **2006**, *83*, 1719.
- Finley, F. N.; Stewart, J.; Yaroch, W. L. *Sci. Educ* **1982**, *66*, 531.
- Boulabiar, A.; Bouraoui, K.; Chastrette, M.; Abderrabba, M. *J. Chem. Educ.* **2004**, *81*, 754.
- Park, J. H.; Kim, D. U.; Paik, S. H. *J. Korea Assoc. Res. Sci. Edu.* **2006**, *26*, 279.
- Birss, V. I.; Truax, D. R. *J. Chem. Educ.* **1990**, *67*, 403.
- Park, H. J.; Kim, J. B. *J. Korea Assoc. Res. Sci. Edu.* **2010**, *30*, 389.
- Park, J. H.; Kim, D. U.; Paik, S. H. *J. Korea Assoc. Res. Sci. Edu.* **2004**, *24*, 544.
- Ogude, A. N.; Bradley, J. D. *J. Chem. Educ.* **1994**, *71*, 29.
- Huddle, P. A.; White, M. D. *J. Chem. Educ.* **2000**, *77*, 104.
- Sanger, M. J.; Greenbowe, T. J. *J. Chem. Educ.* **1997**, *74*, 819.
- Garnett, P. J.; Treagust, D. F. *J. Research in Schience Teaching* **1992**, *29*, 1079.

12. Bouraoui, K.; Chastrette, M. *Didaskalia* **1999**, *14*, 39.
 13. Yun, Y. et al. *Chemistry II*; Kyohaksa Inc.: Seoul, Korea, 2008.
 14. Yeo, S. I. et al. *Chemistry II*; Jihaksa Inc.: Seoul, Korea, 2008.
 15. Suh, J. S. et al. *Chemistry II*; Geumseoung Inc.: Seoul, Korea, 2007.
 16. Lee, D. H. et al. *Chemistry II*; Daehan Textbook Co.: Seoul, Korea, 2007.
 17. Yeo, D. S. et al. *Chemistry II*; Cheongmungak Inc.: Seoul, Korea, 2008.
 18. Kin, H. J. et al. *Chemistry II*; Chunjae Edu. Co.: Seoul, Korea, 2007.
 19. Woo, K. H. et al. *Chemistry II*; Jungangkyoyuk Research Center Inc.: Seoul, Korea, 2007.
 20. Ministry of Education, Science and Technology. *The Revised 2009 National Curriculum Science*; Ministry of Education, Science and Technology 2011-361; Korea, 2011.
 21. Noe, T. H. et al. *Chemistry II*; Chunjae Edu. Co.: Seoul, Korea, 2011.
 22. Rue, H. Y. et al. *Chemistry II*; Visang Edu. Co.: Seoul, Korea, 2011.
-