

## 고등학교 과학 교과서에 제시된 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험의 분석 및 개선

박국태\* · 이지영 · 박광서 · 조영자

한국교원대학교 화학교육과

(2006. 1. 11 접수)

### Analysis and Improvement of Experiments for Electrolysis of an Aqueous $\text{CuCl}_2$ Solution in High School Science Textbooks

Kuk-Tae Park\*, Ji-Young Lee, Kwang-Seo Park, and Young-Ja Cho

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

(Received January 11, 2006)

**요 약.** 이 연구의 목적은 고등학교 과학 교과서에 제시된 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험의 문제점을 분석하여, 학생들이 실험을 용이하게 수행하게 하고 환기 장치가 없는 과학실 여건을 고려해 염소 기체 발생으로 인한 안전 문제의 발생을 줄이기 위한 개선 실험을 제시하기 위한 것이다. 연구를 위하여 고등학교 11종 과학 교과서에 제시된 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험을 실험 방법에 따라 분류하고, 중등학교 화학 교사들에게 과학 교과서에 제시된 실험 방법대로 실험을 수행하게 한 후 문제점을 분석하여 개선 실험을 모색하였다. 연구 결과에 의하면, U 자관과 가지달린 U 자관을 반응 용기로 사용한 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험에서는 반응속도가 느려서 부반응으로 부산물이 발생하는 문제점이 있었으며, 비커를 반응 용기로 사용한 실험에서는 두 전극이 분리되어 있지 않아 각 전극에서 일어나는 화학반응을 분리하여 관찰할 수 없었다. 그리고 전기분해 장치를 반응 용기로 사용한 실험에서는 반응 생성물의 성질을 확인하기 어려운 문제점이 있었다. 이러한 문제점들을 개선하기 위하여 니자 모양의 반응 용기를 사용한 결과, 전기분해 반응속도가 빨라졌고, 각 전극에서 생성되는 반응 생성물의 특성을 분리해서 관찰할 수 있었다. 또한, 염화구리(II) 수용액의 사용량과 (+)극 주변에서 일어나는 부반응으로 인한 부산물의 생성량을 줄일 수 있었다. 그러므로 니자 모양의 반응 용기를 사용하는 개선 실험을 고등학교 과학 탐구 실험에 활용한다면, 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험을 용이하게 수행할 수 있어, 수용액의 전기분해에 관한 과학적인 개념 형성에 도움을 줄 수 있을 것이다.

**주제어:** 염화구리(II) 수용액, 전기분해, 과학 교과서, 니자 모양의 반응 용기, 개선 실험

**ABSTRACT.** The purpose of this study was to find out problems in experiments for electrolysis of an aqueous  $\text{CuCl}_2$  solution in high school science textbooks and to suggest an improved experiment considering students' capability of experimenting and laboratory safety in high schools. For this study, the experiments for electrolysis of an aqueous  $\text{CuCl}_2$  solution presented in 11 high school science textbooks were classified by their experimental methods. After high school chemistry teachers performed the experiments as presented in the high school science textbooks, an analysis was performed on problems of the experiments, and an improved experiment was devised. According to the results of this study, in the experiments for electrolysis of an aqueous  $\text{CuCl}_2$  solution using a U type tube and a U type tube with branch, reaction velocity of the electrolysis was slow, therefore, a side reaction was generated. In the experiment using a beaker, reaction of each electrode could not be observed separately. And in the experiment using an electrolysis instrument, it was difficult to identify property of the reaction product. In the improved experiment using a reaction vessel of H shape, reac-

tion velocity of the electrolysis was fast, reaction of each electrode could be observed separately, and the side reaction decreased. From these results, it was suggested that the improved experiment would help high school students understand scientific conception regarding electrolysis.

**Keywords:** Aqueous  $\text{CuCl}_2$  Solution, Electrolysis, Science Textbooks, Reaction Vessel of U Shape, Improved Experiment

## 서 론

제7차 과학과 교육과정에서 과학 교과목의 목표로 가장 중요시되고 있는 것은 탐구이며, 탐구 능력을 향상시키기 위해 실험 활동이 강조되고 있다.<sup>1</sup> 탐구 실험 활동을 통해 학생들의 관찰과 실험 수행 능력을 향상시키고, 구체적인 경험을 통해 탐구 능력과 문제 해결 능력을 신장시킬 수 있다.<sup>2</sup> 그러나 중등학교 과학 교과서에 제시된 탐구 실험 활동에는 전개 방법이 학생들의 자발적인 탐구 실험 활동을 방해하는 경우도 있고, 실험 설계가 잘못되거나 실험 준비물이 부적합해 잘못된 실험 결과를 낳게 하고 있는 경우도 있어, 좀 더 발전된 탐구 실험 활동을 유도하지 못하고 있다.<sup>3,4</sup> 이러한 이유들 때문에 중등학교에서는 탐구 실험 활동이 활발하지 못하고 이론 중심의 과학적 지식을 습득하는 교육에 더 많은 노력을 기울이고 있는 실정이다.

중등학교에서 탐구 활동 없이 과학을 효과적으로 가르칠 수가 없으며, 학생들이 탐구 실험 활동으로 얻는 교육의 효과를 다른 방법으로 더 효과적으로 얻을 수가 없다.<sup>5</sup> 중등학교 과학 교사들도 학생들의 창의력 향상과 개발을 위하여 과학 탐구 활동의 중요성을 인식하고 있으며, 학생들의 창의력과 탐구 능력을 향상시키기 위해서 탐구 실험이 필요하다고 하였다.<sup>7,8</sup>

고등학교에서 전기화학에 관한 주제는 학생들뿐만 아니라 화학 교사들에게도 어려운 단원으로 인식되고 있으므로,<sup>9</sup> 학생들과 화학 교사들의 전기화학에 대한 개념과 교수-학습 방법에 관한 연구들이 다양하게 이루어지고 있다.<sup>10-13</sup>

고등학생들이 전류를 전자의 흐름으로만 생각하여 전기화학 전지와 전기분해 전지에서 anode와 cathode를 결정하는데 어려움을 가지고 있었으며,<sup>10</sup> 대학생들도 전기화학 전지와 전기분해 전지에 대한 이해<sup>14,15</sup>와 표준 환원 전위를 이용해서 화학반응의 자발성을 예상하는데<sup>16</sup>에 어려움을 가지고 있었다. 또한, 수용액의 전기분해 과정에서 수용액 중의 물( $\text{H}_2\text{O}$ )은 반응하

지 않는 것으로 생각하였으며, 각 전극에서 어떤 반응이 일어날 것인가를 예상하지 못하였다.<sup>17,18</sup> 그리고 고등학교 화학 교사들을 대상으로 한 전기화학을 가르칠 때의 어려움에 관한 조사에서 전기화학에 대한 전문지식이 교수-학습 방법에 매우 중요한 요소임을 확인하였다.<sup>19</sup>

이러한 국내외에서의 전기화학에 관한 개념 조사와 교수-학습 방법에 대한 연구들<sup>9-19</sup>은 전기화학에 관한 화학 교사들과 학생들의 이해가 쉽지 않다는 것을 잘 나타내 주는 것이다. 한편, 우리나라에서 중등학교의 전기화학 관련 실험에 대한 연구로 볼타전지 실험 장치 개발<sup>20</sup>과 과학 교과서에 제시된 볼타전지에 대한 문제점 분석<sup>12</sup>이 있으나, 전기분해 실험에 관한 연구 보고는 거의 없는 실정이다.

제7차 교육과정의 10학년 과학 교과서의 물질 단원에 심화과정으로 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험이 포함되어 있는데, 전기분해 실험을 통해 각 전극에서 일어나는 변화를 관찰하기, 수용액 속의 여러 가지 이온들의 이동과 변화를 이해하기, 또 각 전극에서 일어나는 변화를 화학 반응식으로 나타내기를 지도 내용으로 하고 있다.<sup>1</sup> 즉, 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험은 각 전극에서 일어나는 변화를 관찰해서 전해질 용액에서 이온의 이동과 변화를 이해할 수 있는 좋은 탐구 실험 활동으로 자료 변환, 자료 해석, 결론 도출, 일반화 등 통합 탐구 과정 요소가 많이 반영되어 있어, 고등학생들의 창의력과 탐구 능력을 향상시키는데 매우 적합한 것이다. 그러므로 고등학생들의 창의력과 탐구 능력을 향상시키고, 전기화학에 관한 과학적인 개념을 가질 수 있도록 하는 방안으로, 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험에 대한 연구가 시도되었다.

따라서 이 연구에서는 제7차 교육과정에 의해 고등학교 11종 과학 교과서에 제시된 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험을 실험 방법에 따라 분류하고, 과학 교과서에 제시된 실험 방법대로 중등학교 화학 교사들에게 실험을 수행하게 하여 문제점을 분석하고

개선 방안을 찾아서, 고등학생들이 실험을 용이하게 수행할 수 있도록 하고, 환기 장치가 없는 과학실 여건을 고려해 염소 기체 발생으로 인한 안전 문제의 발생을 줄일 수 있는 개선 실험을 제안하고자 한다.

## 연구 방법

**연구 자료.** 제7차 교육과정에 의해 고등학교 과학 교과서에 제시되어 있는 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험의 문제점을 알아보기 위하여 11종의 고등학교 과학 교과서<sup>2)</sup>를 분석하였다. 이 연구에 사용된 과학 교과서의 종류와 약어는 Table 1과 같다.

**연구 절차.** 11종의 고등학교 과학 교과서에 제시된 전기분해 실험을 실험 방법에 따라 분류하였고, 과학 교과서에 제시된 실험 방법대로 실험을 수행하여 문제점을 분석한 다음 개선 방안에 의한 실험을 실시하여 개선 실험을 제안하였는데, 구체적인 연구 절차는 다음과 같다.

첫 번째 단계로 고등학교 11종 과학 교과서에 제시된 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험의 실험 방법을 실험 조건과 실험 기구, 그리고 (+)극과 (-)극에서 생성되는 생성물의 확인 방법에 따라 분류하였다.

두 번째 단계로 11종의 고등학교 과학 교과서의 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험을 과학 교과서에 제시된 실험 방법에 따라, H대학교 대학원에 재학 중인 중등학교 화학 교사 12명이 2인 1조로 모둠을 나누어 실험 조건을 달리해 실험을 수행하였고, 실험 결과들로부터 찾아낸 문제점들을 분석하여 개선 방안을 모색하였다. 개선 방안으로 새로운 전기분해 반응

용기를 개발하고, 개발한 전기분해 반응 용기를 사용한 개선 실험 장치로 사범대학에 재학 중인 12명의 예비교사들이 6개 모둠으로 나누어 실험을 수행하게 하여, 염화구리(II) 수용액의 전기분해 개선 실험에 적합한 실험 조건을 찾았다.

## 연구 결과 및 논의

### 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험 방법의 분석

11종의 고등학교 과학 교과서에 제시된 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험 방법을 전압 또는 전류의 세기, 수용액의 농도 제시 유무, 전원 장치의 종류, 전기분해 반응 용기의 종류 등의 실험 조건과 실험 기구에 따라 분류하여 Table 2에 제시하였다.

Table 2를 살펴보면, F, G, K 3종의 과학 교과서를 제외한 8종의 과학 교과서에는 전압 또는 전류의 세기를 제시하지 않았고, A와 F 과학 교과서에는 염화구리(II) 수용액의 농도를 제시하지 않았다. 그리고 A와 D 과학 교과서에는 실험에 필요한 시약이나 기구들을 제시하지 않아 실험 장치 그림을 통해 대략적으로 이들을 파악해야 했다.

염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험 장치의 종류로는 건전지와 U 자관을 사용한 것(Fig. 1), 직류전원 장치와 가지달린 U 자관을 사용한 것(Fig. 2), 직류전원 장치와 비커를 사용한 것(Fig. 3), 그리고 건전지와 전기분해 장치를 사용한 것(Fig. 4)이 있었다.

염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험을 (+)극과 (-)극에서 생성되는 생성물을 확인하는 방법에 따라 분류하여 Table 3에 제시하였다.

Table 1. High school science textbooks

Textbook	Author	Publisher	Year of publication
A	Kang, Man-Sik <i>et al.</i>	Kyohak Publishing Co.	2002
B	Jeong, Wan-Ilo <i>et al.</i>	Kyohak Publishing Co.	2002
C	Lee, Moon-Won <i>et al.</i>	Kumsung Publishing Co.	2002
D	Lee, Gyu-Seok <i>et al.</i>	Daehan Printing & Publishing Co.	2002
E	Kim, Chan-Jong <i>et al.</i>	Didimdol	2002
F	Sung, Min-Woong <i>et al.</i>	Munwongak	2002
G	Lee, Yeon-Woo <i>et al.</i>	Kyobo P & B	2002
H	Woo, Gyu-Iwan <i>et al.</i>	Institute for Better Education	2002
I	Lee, Myon-Woo <i>et al.</i>	Jihaksa	2002
J	Cha, Dong-Woo <i>et al.</i>	Chunjae Company	2002
K	Sung, Ho-Bong <i>et al.</i>	Hongjin P & M	2002

Table 2. Experimental conditions and instruments for electrolysis of an aqueous  $\text{CuCl}_2$  solution in the high school science textbooks

Textbook	Voltage or electric current intensity	Concentration	Kind of power equipment	Reaction vessel
A	-	-	Dry cell	U type tube with branches
B	-	10%	Dry cell	U type tube with branches
C	-	10 g/100 ml. of water	Direct-current power instrument	U type tube with branches
D	-	10 g/100 ml. of water	Dry cell	U type tube
E	-	10%	Direct-current power instrument	U type tube
F	10 V	-	Direct-current power instrument	U type tube with branches
G	6 V	18 g/100 ml. of water	Dry cell	Electrolysis instrument
H	-	10%	Direct-current power instrument	U type tube with branches
I	-	10%	Direct-current power instrument	U type tube with branches
J	-	10%	Direct-current power instrument	Beaker
K	300 mA	5%	Direct-current power instrument	Beaker

no presentation.

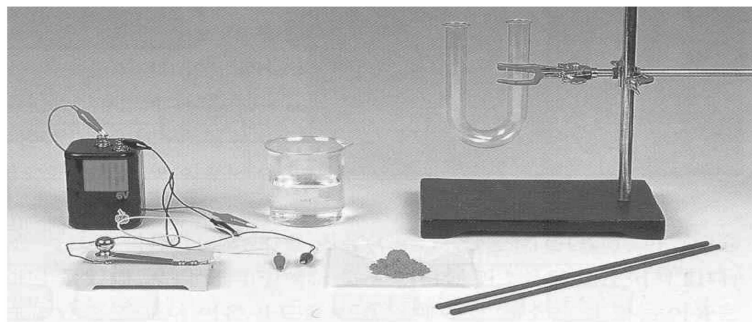


Fig. 1. Using a dry cell &amp; a U type tube (D science textbook).

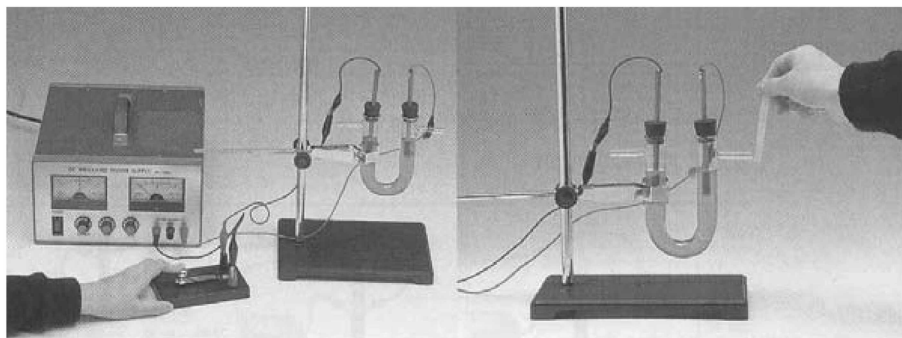


Fig. 2. Using a direct-current power instrument &amp; a U type tube with branches (F science textbook).

Table 3을 살펴보면, 대부분의 과학 교과서에서 생성물을 확인하는 방법으로 (-)극에서는 전극 표면에 생성된 구리를 긁어보아 색깔을 관찰하는 것을 제시하였고, (+)극에서는 발생된 염소 기체의 표백 작용을 이용하여 색깔 변화를 관찰하는 것을 제시하였다.

#### 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험의 문제점 분석 및 개선

11종의 고등학교 과학 교과서에 제시된 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험 방법의 분석 결과에 따라, Table 4와 같이 4가지의 서로 다른 실험 장치를

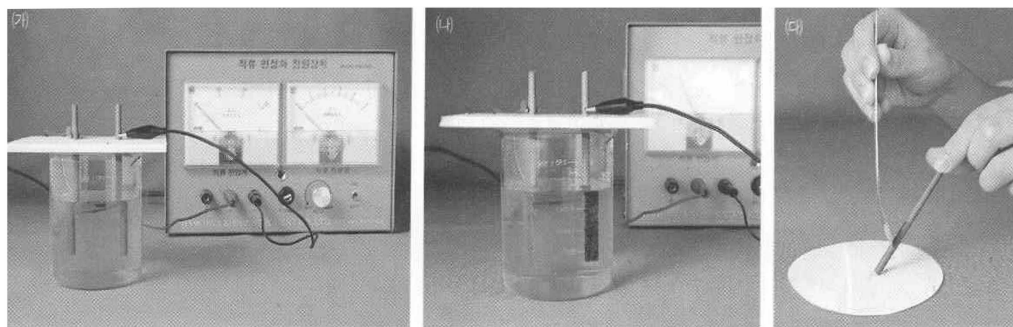


Fig. 3. Using a direct-current power instrument & a beaker (J science textbook).

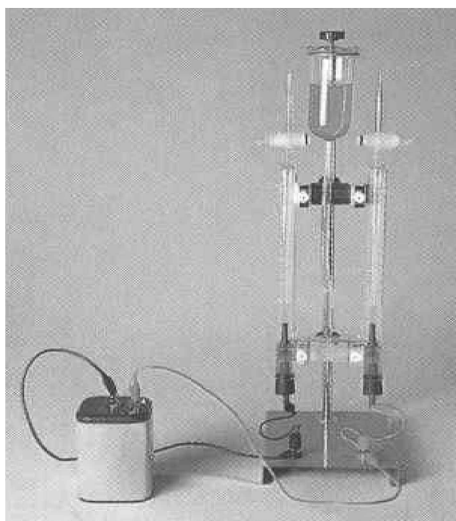


Fig. 4. Using a dry cell & an electrolysis instrument (H science textbook).

사용하여 13가지 실험 조건으로 과학 교과서에 제시된 실험 방법대로 실험을 수행하여 문제점을 분석한 다음 개선 실험을 제안하였다.

Table 4의 13가지 실험 조건에서 4가지 실험 장치의 전원 장치로는 고등학교 과학 교과서에 제시된 것과 같이 실험 장치 1과 실험 장치 4는 건전지이며, 실험 장치 2와 실험 장치 3은 직류전원 장치이다. 전원 장치인 건전지와 직류 전원 장치는 취급 및 사용상의 편리함과 소모성 등에서 차이는 있었지만, 실험 조건으로 전압의 세기가 제시되고 10분 내외의 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험에서는 거의 차이를 나타내지 않았기 때문에 독립적인 변인으로 취급하여 연구하지 않았다.

**염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험의 문제점 분석.**

Table 4의 실험 장치 1에 의한 실험은 (+)극에서 생성물로 염소 기체가 발생하므로 용기 내부의 압력이 높아지는 현상을 피하기 위하여 탄소 막대를 꽂은 고무 마개로 U 자관의 입구를 완전히 막지 않았다. 6 V의 전압으로 5% 염화구리(II) 수용액을 전기분해 실험한 경우에 (-)극 주변의 수용액이 수용액 표면에서부터 흰색의 부유물 즉, (-)극에서 석출된 구리가 염화구리(II) 수용액과 다시 반응을 하여  $\text{CuCl}(s)$ 이 생성,<sup>32</sup>  $\text{Cu}(s) + \text{CuCl}_2(aq) \rightarrow 2\text{CuCl}(s)$ 이 되면서 뿌옇게 변했고, (-)극 주변에서 부반응으로 만들어진  $\text{CuCl}(s)$ 이 수용액 중의 산소와 반응하여 구리(III)염이 생성되어 서서히 진한 초록색<sup>33</sup>으로 변하였다. 6 V의 전압에서 수용액의 농도를 10%로 하여 실험한 경우에는 5%의 농도에서 실험할 때보다 반응속도는 빨랐지만, (-)극 주변에 부반응으로 인한 부산물이 생기는 정도는 비슷하였다. 9 V의 전압에서 5%의 농도로 실험한 경우에는 6 V의 전압에서 10%의 농도로 실험한 경우에 비해서 반응속도는 비슷하였으나, (-)극 주변에서 생성되는 부산물의 양은 줄어들었다.

그리고 9 V의 전압에서 10%의 농도로 실험한 경우에는 9 V의 전압에서 5%의 농도로 실험한 경우에 비해서 반응속도는 빨랐지만, (-)극 주변의 수용액이 더 진한 초록으로 변하였다. 또한, 6 V의 전압에서 5%의 농도로 실험한 경우에는 실험 시간이 1시간 이상 걸렸고, 9 V의 전압에서 10%의 농도로 실험한 경우에는 반응속도는 빨랐지만, (-)극 주변에 부반응으로 부산물이 생기는 현상은 없어지지 않았다.

Table 4의 실험 장치 2에 의한 실험은 전기분해 반응 용기로 가지달린 U 자관을 사용하고, 전원 장치로 직류전원 장치를 사용하였다. 이 실험에서도 실험 장치 1에 의한 실험과 같이 반응이 진행되면서 (-)극 주

Table 3. Identifying methods of the reaction products in the experiments for electrolysis of an aqueous  $\text{CuCl}_2$  solution in the high school science textbooks

Textbook	Identifying method	
	(-) Electrode	(-) Electrode
A	-	-
B	Take little solution of each carbon electrode circumference and put into test tubes, and then drop blue ink and observe.	
C	Check for gaseous smell and observe color change.	Observe color after raking up the substance from surface of carbon electrode.
D	-	-
E	Check for gaseous smell, put paper which was damped in ink into solution and observe.	Observe color after raking up the substance from surface of carbon electrode.
F	Observe color change of litmus paper or a petal wetted in water after contact with generated gas.	Observe color after raking up the substance from surface of carbon electrode and removing moisture.
G	-	-
H	Observe color change of a petal wetted in water.	Observe color after raking up the substance from surface of carbon electrode.
I	Fill generated gas into a flask, put a petal wetted in water, and then observe color change.	-
J	Observe solution color of carbon electrode circumference.	Observe solution color of carbon electrode circumference, and scratching on surface of the electrode.
K	Check for gaseous smell.	Observe color after raking up the substance from surface of carbon electrode.

-: no presentation.

Table 4. Thirteen experimental conditions of four experimental apparatuses presented in eleven high school science textbooks for electrolysis of an aqueous  $\text{CuCl}_2$  solution

Experimental apparatus	Voltage	Concentration
1 (Figure 1)	6 V	5%, 10%
1 (Figure 1)	9 V	5%, 10%
2 (Figure 2), 3 (Figure 3)	6 V	5%, 10%
2 (Figure 2), 3 (Figure 3)	10 V	5%, 10%
4 (Figure 4)	6 V	18 g/100 mL of water

변에 부산물이 만들어졌다.

그리고 실험 장치 1과 실험 장치 2에 의한 전기분해 실험에서 전기분해 반응 용기로 사용한 U 자관의 용량이 90 mL로 커서, 필요 이상의 반응 용액을 사용하는 문제가 있었다. 실험 장치 2로 6 V와 10 V의 전압의 세기에서 농도를 5%와 10%로 달리 하여 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험을 했을 때의 실험 결과들은 실험 장치 1로 염화구리(II) 수용액을 전기분해 했을 때의 실험 결과들과 거의 비슷하였다.

Table 4의 실험 장치 3에 의한 실험은 전기분해 반응 용기로 250 mL 용량의 비커를 사용하고, 전원 장치로는 직류전원 장치를 사용하여 염화구리(II) 수용액을 전기분해 하는 것이다. 전기분해 반응 용기로 비

커를 사용한 실험의 경우에는 두 전극사이의 거리가 U 자관에 비해 가깝기 때문에, 동일한 전압을 가했을 때 실험 장치 1과 실험 장치 2에 의한 실험에 비하여 흐르는 전류의 양이 많아서 반응이 아주 빠르게 진행되었다. 그러나 두 전극이 U 자관 전기분해 반응 용기에서처럼 분리되어 있지 않으므로, 각 전극 주위에서 일어나는 변화들을 분리하여 관찰하기가 힘들었다. 또한, (+)극에서 발생한 염소 기체가 반응 용기 전체로 퍼져 나가므로 염소 기체를 포집할 수 없어서, 냄새를 맡아 보는 것으로만 염소 기체의 생성을 확인할 수 있었다.

그리고 6 V의 전압보다 10 V의 전압으로 실험을 했을 때 반응속도가 더 빨랐으며, 염화구리(II) 수용액의 농도가 5%보다 10%일 때 반응속도가 더 빨랐다. 그러나 10 V의 전압에서 10%의 농도로 실험한 경우에는 염소 기체의 생성량이 너무 많아서 환기 장치가 미비 된 고등학교 과학 실험실에서는 염소 기체로 인한 안전 문제를 일으킬 수가 있었다.

Table 4의 실험 장치 4에 의한 실험은 전기분해 반응 용기로 전기분해 장치를 사용하고 전원 장치로 건전지를 사용하여 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험을 수행하는 것이다. 전기분해 장치는 탄소 전극이

용기의 아랫부분에 위치하기 때문에 고무마개로 단단히 막고, 반응 용액이 새어나오는 것을 방지하기 위하여 파라필름(parafilm)으로 밀봉하였다. 전기분해 실험에서 (+)극과 (-)극에서 생성되는 생성물을 확인해야 하는데, 전기분해 장치의 아랫부분에 탄소 전극이 위치하므로 실험을 완전히 끝내고 사용한 반응 용액을 모두 따라내기 전까지는 (-)극의 탄소 전극 표면에 석출된 구리를 확인해 볼 수가 없었으며, 또한 염화구리(II) 수용액을 주입한 후에 아래로 흘러나오지 못하도록 밀봉하는데 어려움이 있었다.

그리고 전기분해 장치에 의한 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험은 U 자관이나 비커를 사용한 실험들에 비하여 생성물을 확인하는 과정과 실험 후에 사용한 반응 용액을 처리하는 과정이 불편하였으며, 반응 용기의 용량이 110 mL로 U 자관의 반응 용기를 사용한 전기분해 실험 보다 반응 용액의 사용량이 많았다.

**염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험의 개선.** 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험에 대한 개선 방안으로 전기분해 반응 용기는 두 전극에서 일어나는 반응을 분리하여 관찰할 수 있도록 두 전극이 분리되어야 하고, (-)극의 탄소 전극 표면에 생성되는 구리를 확인하기 위하여 실험 도중에도 탄소 전극을 쉽게 끄집어내어 관찰할 수 있어야 한다. 또한, 전극을 고정시키기 위하여 전기분해 반응 용기의 입구를 고무마개로 막더라도 반응 용기가 열린 상태를 유지하도록 유도 가지가 있어 (+)극에서 발생하는 염소 기체를 유도해 낼 수 있어야 한다. 그리고 전기분해 반응이 빠르게 일어날 수 있도록 두 전극 사이의 거리가 가까워야 하며, 염화구리(II) 수용액의 사용량을 적게 할 수 있는 것이어야 한다.

따라서 이러한 개선 방안의 조건들을 만족시킬 수 있도록 개발한 H자 모양의 전기분해 반응 용기(Fig. 5)는 수용액내에서 전기저항을 줄일 수 있도록 가운데에 통로를 만들어 두 전극 사이를 가깝게 하였고, 수용액이 용이하게 순환을 할 수 있도록 아래 부분에도 통로를 만들었다. 또한, 전기분해 반응에서 발생하는 기체를 배출할 수 있도록 양쪽에 유도 가지를 만들었는데, (+)극 쪽의 유도 가지는 아래쪽으로 30° 정도 경사지게 하여 (+)극에서 발생하는 염소 기체를 하방 치환으로 포집할 수 있도록 하였고, 반응 용기의 크기와 용량이 Fig. 2의 가지달린 U 자관의 1/2 정도



Fig. 5. A reaction vessel of U shape.

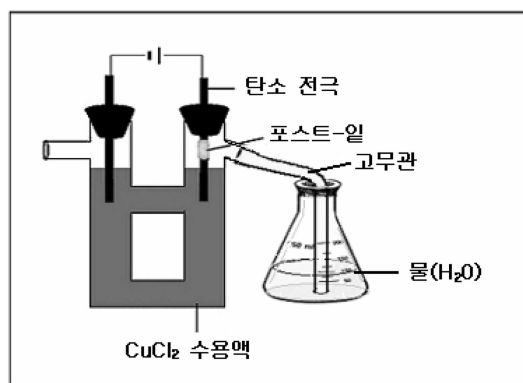


Fig. 6. An improved experimental apparatus for electrolysis of an aqueous  $\text{CuCl}_2$  solution.

반응 용액의 사용량을 줄일 수 있도록 하였다. 개발된 H자 모양의 전기분해 반응 용기를 사용한 염화구리(II) 수용액의 전기분해 개선 실험 장치는 Fig. 6과 같다.

Fig. 6의 개선 실험 장치로 Table 4에서와 같은 서로 다른 4가지의 실험 조건에서 염화구리(II) 수용액의 전기분해에 대한 실험을 수행하여 부반응에 의한 부산물의 양을 최소화하면서 짧은 시간 내에 (+)극과 (-)극에서 생성되는 생성물을 확인하기에 필요한 양을 얻을 수 있는 실험 조건을 찾아보았다.

Table 5에서와 같은 서로 다른 실험 조건으로 Fig. 6의 개선 실험 장치를 사용하여 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험을 각각 10분 동안 수행하였다. 개선 실험 결과, 6 V의 전압으로 10%의 수용액을 전기분해했을 때와 10 V의 전압으로 5%와 10%의 수용액을 전기분해했을 때, 모두 (-)극 주변의 수용액이 초록

Table 5. Four experimental conditions in the improved experiment using a reaction vessel of H shape for electrolysis of an aqueous  $\text{CuCl}_2$  solution

Reaction vessel	Voltage	Concentration
Reaction vessel of H shape	6 V	5%, 10%
	10 V	5%, 10%

색으로 변하는 현상이 나타났다. 그 중에서도 10 V의 전압으로 10%의 수용액을 전기분해 했을 때 (-)극 주변이 초록색으로 변하는 부반응이 가장 많이 일어났다. 6 V의 전압으로 10%의 수용액을 전기분해 할 때와 10 V의 전압으로 5%의 수용액을 전기분해 할 때의 실험 결과들은 거의 비슷하였고, 전기분해 시간을 10분보다 짧은 7분으로 했을 때는 (-)극 주변의 수용액이 초록색으로 변하기 전에 실험을 마칠 수 있었다.

그리고 전압의 세기를 6 V로 하고 염화구리(II) 수용액의 농도를 5%로 했을 때 부반응으로 인한 부산물의 양을 최소화 할 수 있었고, 10분 동안에 생성된 생성물의 양은 생성물의 존재를 충분히 확인할 수 있을 만큼의 양이었다. 그러므로 부반응을 최소화하면서 실험을 용이하게 수행하기 위한 조건으로, 6 V의 전압의 세기와 5%의 수용액의 농도가 염화구리(II) 수용액의 전기분해 개선 실험으로 적합하다고 생각된다. 이러한 개선 실험에서는 (+)극의 탄소 전극 윗부분에 진한 색깔의 포스트-잇(post-It)을 감아 (+)극에서 발생하는 염소 기체의 표백 작용에 의한 탈색 현상을 용이하게 관찰할 수 있었고, 유도 가지에 고무관을 연결하여 플라스크의 물속에 넣음으로써 공기 중으로 방출되는 염소 기체의 양을 최소화 할 수 있어 실험실 안전 문제 발생도 줄일 수 있었다.

가지달린 U 자관과 H 자관의 반응 용기를 사용한 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험의 비교. 11종의 고등학교 과학 교과서 중에서 6개의 과학 교과서가 전기분해 반응 용기로 사용하고 있는 가지달린 U 자관을 사용한 실험 장치(Fig. 2)와 개발한 H 자관의

전기분해 반응 용기를 사용한 실험 장치(Fig. 6)에서, 개선 실험에서 찾은 가장 적합한 실험 조건인 6 V의 전압의 세기와 5%의 농도로 염화구리(II) 수용액의 전기분해 비교 실험을 수행하여 얻은 결과들을 Table 6에 나타내었다. Table 6의 비교 실험 결과들은 동일한 종류의 직류전원 장치를 사용하고, 염화구리(II) 수용액은 각 반응 용기의 (+)극 쪽의 염소 기체 유도 가지의 1 cm 아래 부분까지 채웠으며, (-)극의 탄소 전극에는 포스트-잇을 염소 기체 유도 가지와 나란하게 위치하도록 하여 얻은 것들이다.

Table 6을 살펴보면, 6 V의 전압으로 5%의 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험을 수행했을 때, H 자관을 전기분해 반응 용기로 사용한 개선 실험에서 흐르는 전류의 양이 가지달린 U 자관을 전기분해 반응 용기로 사용한 실험의 경우보다 2배 이상 큰데, 이것은 H 자관을 반응 용기로 사용한 개선 실험의 전기분해 속도가 가지달린 U 자관을 반응 용기로 사용한 실험의 전기분해 속도보다 더 빠르다는 것을 의미하는 것이며, 전기분해 반응속도가 빠르다는 것은 포스트-잇이 염소의 표백 작용으로 탈색되기까지 걸린 시간이 1/3정도로 더 짧다는 것에서도 확인할 수 있는 것이다. 그리고 H 자관을 전기분해 반응 용기로 사용한 개선 실험에서 사용된 반응 용액의 양은 가지달린 U 자관을 반응 용기로 사용한 실험에서 사용된 반응 용액의 1/2 이하이다. 그러므로 전기분해 반응속도와 반응 용액의 사용량을 고려할 때, H 자관 반응 용기를 사용한 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험은 6 V의 전압과 5%의 농도가 가장 적합한 실험 조건이라고 할 수 있다.

## 결론 및 제언

제 7차 고등학교 11종 과학 교과서에 제시된 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험에는 반응 시약의 양과

Table 6. Comparative experiment results for electrolysis of 5% aqueous  $\text{CuCl}_2$  solution using a U type tube with branches and the reaction vessel of H shape

Reaction vessel	U type tube with branches	Reaction vessel of H shape
Intensity of supplied voltage	6 V	6 V
Intensity of flowing current	40 mA	96 mA
Quantity of aqueous solution	72 mL	33 mL
Time taken until post-it was decolorized	6 min	2 min 5 sec



농도 및 전압 세기의 미 제시와 생성물의 확인 방법과 실험 방법의 설명에 미비한 점이 있었으며, 전기분해 실험 장치의 반응 용기로는 비커, U 자관, 가지달린 U 자관, 그리고 전기분해 장치가 있었다.

과학 교과서에 제시된 실험 장치들로부터는 각 전극에서 일어나는 변화들을 쉽게 관찰할 수 없는 경우가 있었으며, 부반응으로 인한 부산물의 생성량이 많았다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 개발한 H자 모양의 반응 용기를 염화구리(II) 수용액의 전기분해 개선 실험에 사용한 결과, 6 V의 전압과 5%의 농도에서 짧은 시간 내에 (+)극에서 생성되는 염소 기체와 (-)극에서 생성되는 구리를 쉽게 확인할 수 있었으며, 부반응에 의한 부산물의 생성량과 반응 용액의 사용량을 줄일 수 있었다. 또한, 유도 가지에 고무관을 연결하여 플라스크의 물속에 넣음으로써 염소 기체로 인한 실험실에서의 안전 문제 발생을 줄일 수 있었으므로, 개선 실험이 고등학교 과학과의 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험으로 적합한 것으로 생각된다.

그러나 H자 모양의 반응 용기에서 수용액의 용이한 순환을 위해 만든 아래 부분 통로의 역할은 같은 용량으로 만든 H자 모양이나 가지달린 U 자관 반응 용기를 사용한 비교 실험을 통해서 앞으로 명확하게 할 필요가 있다. 또한, 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험에서는 (+)극에서 인체에 유해한 염소 기체가 발생되며, 부반응으로 인한 부산물의 생성을 완전히 없앨 수 없으므로, 유해한 물질이 발생되지 않고 부반응도 일어나지 않는 반응 용액에 대한 후속 연구가 필요하다.

제7차 교육과정의 고등학교 과학 교과서 물질 단원의 심화과정에 제시된 염화구리(II) 수용액의 전기분해 실험은 각 전극에서 일어나는 변화를 관찰함으로써 수용액 속의 이온들의 이동과 변화를 추론해 볼 수 있게 하며, 전자의 이동으로 인한 산화와 환원을 이해할 수 있게 하고, 전해질과 이온 단원의 기본 개념들을 심화할 수 있도록 하는 탐구 실험이다. 그러므로 H자 모양의 반응 용기를 사용하는 염화구리(II) 수용액의 전기분해 개선 실험을 고등학교 과학 실험에 활용한다면, 전기분해 생성물을 쉽게 확인함으로써 수용액에서의 이온의 이동과 변화에 관한 개념들 뿐만 아니라 전기분해에 대한 개념 형성도 용이하게 할 수 있을 것이라 생각된다.

그리고 염화구리(II) 수용액의 전기분해 개선 실험

이 고등학교 과학 실험에 활용되도록 하기 위해서는 중등학교 과학 교사 실험 연수에서와 과학 교육 학술 발표 대회에서 중등학교 과학 교사들에게 홍보하는 것이 필요하다고 생각된다.

이 논문은 한국교원대학교 2005년도 기성회계 학술연구비 지원을 받아 수행된 것입니다.

## 인용문헌

1. Ministry of Education, *Science Curriculum*, Daehan Textbook Publishing: Seoul, Korea, 2001. pp 13-17.
2. Choi, K.-H.; Jo, Y.-S.; Jo, D.-J. *Kor. Assoc. Res. Sci. Educ.*, **1998**, *18*, 149.
3. Her, G.-H. *The Journal of Jeonbuk Education*, **2002**, *24*, 63.
4. Jeon, Y.-H.; Hong, L.-S.; Kang, Y.-G.; Kang, S.-J. *J. Kor. Chem. Soc.* **2004**, *48*, 189.
5. Park, K.-T.; Kim, E.-S.; Park, K.-S.; Kim, M.-H. *J. Kor. Chem. Soc.* **2005**, *49*, 105.
6. Jenkins, E. In *Practical Work in Science School*, Wellington, J., Ed.; Routledge: London, U. K., 1998; p 49.
7. Kim, G.-Y.; Sung, S.-K.; Park, J.-Y.; Choi, B.-S. *Kor. Assoc. Res. Sci. Educ.*, **2002**, *22*, 757.
8. Hur, M. *Kor. Assoc. Res. Sci. Educ.*, **1990**, *10*, 1.
9. Butts, B.; Smith, R. *Aust. Sci. Teach. J.* **1987**, *32*, 45.
10. Garnett, P. J.; Treagust, D. F. *J. Res. Sci. Teach.* **1992**, *29*, 1079.
11. Moran, P. J.; Gileadi, E. *J. Chem. Educ.* **1989**, *66*, 912.
12. Shin, T.-H.; Lee, S.-K.; Choi, B.-S. *J. Kor. Chem. Soc.* **2002**, *46*, 363.
13. Park, G.-H.; Kim, D.-W.; Baek, S.-H. *Kor. Assoc. Res. Sci. Educ.* **2004**, *24*, 544.
14. Ogude, N. A.; Bradly, J. D. *J. Chem. Educ.* **1994**, *71*, 291.
15. Ogude, N. A.; Bradly, J. D. *J. Chem. Educ.* **1996**, *73*, 1145.
16. Allsop, R. T.; George, N. H. *Educ. Chem.* **1982**, *19*, 57.
17. Sanger, M. J.; Greenbowe, T. J. *J. Res. Sci. Teach.* **1997**, *34*, 377.
18. Sanger, M. J.; Greenbowe, T. J. *J. Chem. Educ.* **1997**, *72*, 819.
19. De Jong, O.; Acampo, J.; Verdonk, A. *J. Res. Sci. Teach.* **1995**, *32*, 1097.
20. Jang, N.-H.; Lee, K.-O.; Lee, J.-S.; Suh, J.-S. *J. Kor. Chem. Soc.* **2003**, *47*, 79.
21. Lee, G.-S.; Jo, H.-Y.; Park, B.-S.; Park, M.-S.; Sim, K.-S.; Sim, J.-S.; Choi, J.-B.; Jang, J.-C.; Lee, C.-I.; Lee, Y.-J. *High School Science*; Daehan Printing & Publishing Co.: Seoul, Korea, 2002; p 129.

22. Kim, C.-J.; Seo, M.-S.; Kim, H.-B.; Sim, J.-H.; Hyun, J.-H.; Han, I.-O.; Gweon, S.-G.; Park, S.-S. *High School Science*; Didimdol: Seoul, Korea, 2002; p 119.
23. Lee, Y.-W.; Gang, S.-B.; Kim, I.-S.; Lee, J.-W.; An, J.-J.; Bae, M.-J.; Jeon, W.-Y. *High School Science*; Kyobo P & B: Seoul, Korea, 2002; p 113.
24. Woo, G.-H.; Lee, C.-W.; Oh, D.-W.; Kim, Y.-Y.; Kyeong, J.-B.; Lee, K.-H.; Park, T.-Y.; Lee, Y.-J.; Baek, S.-K.; Kim, B.-I.; Kim, B.-R.; Lee, G.-Y. *High School Science*; Institute for Better Education: Seoul, Korea, 2002; p 137.
25. Lee, M.-W.; Jang, B.-K.; Go, J.-D.; Yun, S.-H.; Lee, J.-S.; Rye, S.-I.; Kim, H.-S.; Lim, C.-S.; Bae, J.-H.; Baek, S.-Y.; Lee, S.-J.; Choi, B.-G. *High School Science*; Jihaksa: Seoul, Korea, 2002; p 127.
26. Cha, D.-W.; Kim, H.-S.; Lee, M.-S.; Choi, J.-H.; Lee, B.-Y.; Ok, J.-S.; Yun, S.-J.; Lee, W.-K.; Jeong, N.-S.; Sin, D.-W. *High School Science*; Chunjae Company: Seoul, Korea, 2002; p 113.
27. Jeong, W.-H.; Kwon, J.-S.; Kim, D.-S.; Kim, B.-G.; Sin, Y.-J.; Woo, J.-O.; Lee, G.-J.; Jeong, J.-W.; Choi, B.-S.; Hwang, W.-G. *High School Science*; Kyohak Publishing Co.: Seoul, Korea, 2002; p 131.
28. Sung, M.-W.; Kim, B.-G.; Jo, S.-D.; Kang, D.-H.; Kang, C.-H.; Goo, J.-O.; No, I.-H.; Lee, Y.-C.; Lim, T.-H.; Choi, B.-S.; Han, E.-T. *High School Science*; Munwongak: Seoul, Korea, 2002; p 139.
29. Lee, M.-W.; Jeon, S.-Y.; Choi, B.-S.; Kwon, S.-M.; Noh, T.-H.; Hur, S.-I.; Kim, C.-B.; Gang, S.-J.; Park, H.-S.; Kim, G.-S.; Chae, K.-P.; Kim, J.-M.; Jeong, D.-Y. *High School Science*; Kumsung Publishing Co.: Seoul, Korea, 2002; pp 138-139.
30. Kang, M.-S.; Jeong, C.-H.; Lee, W.-S.; Han, Y.-S.; Kwon, S.-Y.; Lee, M.-H.; Park, S.-Y.; Yun, Y.; Lee, K.-S.; Lee, T.-W.; Jeong, K.-H.; Yang, Y.-J. *High School Science*; Kyohak Publishing Co.: Seoul, Korea, 2002; p 131.
31. Sung, H.-B.; Jeong, Y.-S.; You, B.-S.; Lee, Y.-S.; Kim, Y.-S.; Jeong, T.-Y.; Lee, H.-W.; Yun, D.-Y. *High School Science*; Hongjin P & M: Seoul, Korea, 2000; pp 136-137.
32. Keller, R. N.; Wycoff, H. D. In *Inorganic Syntheses*; Fernelius, W. C., Ed.; Robert E. Krieger Publishing Company: New York, U.S.A., 1978; Vol. II, pp 1-4.