

9학년 과학교과서 물질변화에서의 규칙성 단위 실험 분석과 Small-Scale Chemistry를 적용한 실험 개발

유란영[†] · 김동진 · 황현숙 · 박세열 · 이상권[‡] · 박국태^{*}

한국교원대학교 화학교육과

[†]전남과학고등학교

[‡]전남대학교 사범대학 화학교육과

(접수 2010. 10. 28; 수정 2011. 4. 23; 게재확정 2011. 4. 27)

Analysis of Experiments for the Rules of Material Change Unit in 9th Grade Science Textbooks and the Development of Experiments Applying Small-Scale Chemistry

Ran-Yeong Ryu[†], Dong-Jin Kim, Hyun-Sook Hwang, Se-Yeol Park, Sang Kwon Lee[‡], and Kuk-Tae Park^{*}

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

[†]Chonnam Science High School, Chonnam 520-824, Korea

[‡]Department of Chemistry Education, Chonnam National University, Chonnam 500-757, Korea

(Received October 28, 2010; Revised April 23, 2011; Accepted April 27, 2011)

요약. 이 연구는 9학년 과학교과서 물질변화에서의 규칙성 단위에 제시되어 있는 실험의 분석과 small-scale chemistry (SSC)를 적용한 실험을 개발하고자 하는 것이다. 연구를 위하여 9학년 9종 과학교과서의 물질변화에서의 규칙성 단위에 제시되어 있는 양금생성, 물의 전기분해, 과산화수소수의 분해 실험들을 분석하고, 13명의 과학교과사들에게 과학교과서의 실험들을 수행하게 하여 문제점과 개선해야할 사항들을 추출하였다. 개선해야할 사항들을 바탕으로 SSC를 적용하여 개발한 실험들을 19명의 예비교사들에게 과학교과서의 실험과 함께 수행하게 한 후 SSC를 적용한 실험의 장점과 단점을 조사하였다. 연구 결과, 요오드화납 양금생성 실험과 Hoffman식 물의 전기분해 실험, 그리고 이산화망간을 촉매로 사용하는 과산화수소수의 분해 실험이 9학년 과학교과서에 가장 많이 제시되어 있었다. 과학교과서의 실험들에서 개선해야할 사항 들로는 시약의 소모량, 실험시간, 실험장치 규모 등이었다. SSC를 적용하여 개발한 실험들의 장점은 적은 양의 시약 사용 으로 폐액 처리의 용이성과 실험의 안전성을 높여주며, 실험시간의 단축과 재현성이 있는 실험결과들을 얻을 수 있는 것 등이었다. 반면에 단점은 적은 양의 시약 사용으로 실험관찰에서 다소간의 어려움과 성취감의 감소, 작은 규모의 실험 기 구 사용의 미숙함 등이었다. 그러나 SSC를 적용하여 개발한 실험들을 9학년 과학실험으로 활용한다면, 적은 양의 시약을 사용하여 간편하게 재현성이 있는 실험을 이룬수업과 병행하여 실시할 수 있어, 학생들이 물질변화에서의 규칙성에 대한 과학적인 개념을 형성하는데 도움을 줄 것으로 기대된다.

주제어: Small-scale chemistry(SSC), 양금생성 실험, 물의 전기분해 실험, 과산화수소수의 분해 실험, SSC를 적용한 실험

ABSTRACT. The purpose of this study was to analyze experiments for the rules of material change unit in 9th grade science textbooks and develop experiments applying small-scale chemistry (SSC). For this study, experimental methods for the precipitation experiment, water electrolysis experiment, decomposition of hydrogen peroxide experiment presented in the 9 science textbooks were analyzed. Problems and improvements that were needed were extracted by 13 science teachers performing the experiments. Experiments applying SSC were developed based on the improvements needed. Afterwards, 19 pre-service science teachers performed both the developed SSC experiments and the science textbooks' experiments. A questionnaire about merits and demerits of the experiments applying SSC was performed. According to the results of this study, most of the 9th grade science textbooks included the lead iodide precipitation experiment, water electrolysis experiment by Hoffman voltameter, and decomposition of hydrogen peroxide experiment using catalytic manganese dioxide. Improvements were needed on the quantity of reagents, time for performing experiments, and scale of experimental apparatus. Merits of the developed experiments applying SSC which used small amount of reagents were safety, easy waste material disposal, short reaction time, and reproducible experimental results. Demerits of the experiments applying SSC were difficulty in observing, decreased achievement, and lack of skill in handling small-scale apparatus. Therefore, if the experiments developed applying SSC were to be utilized in 9th grade science experiments, it will be possible to use less reagent and be able to teach and carry out reproducible experiments at the same time. Also, the reproducible experiments based on SSC will help students under-

stand the scientific concepts for the rules of material change unit.

Keywords: Small-Scale Chemistry (SSC), Precipitation Experiment, Water Electrolysis Experiment, Decomposition of Hydrogen Peroxide Experiment, Experiments Applying SSC

서 론

제7차 교육과정에서 과학은 국민의 기본적인 과학적 소양을 기르기 위하여 자연을 과학적으로 탐구하는 능력과 과학의 기본 개념을 습득하고 과학적인 태도를 기르기 위한 과목으로 규정하고 있으며, 과학교육 목표로 탐구활동을 통한 과학개념의 이해와 탐구능력의 신장을 강조하고 있다.¹ 과학수업에서 탐구활동은 학습자가 개념을 얻고 수정해나가는 과정으로 매우 중요하다.

과학교육에서 탐구 과정의 습득이나 탐구능력의 향상을 강조하는데, 이를 위해서는 학생들이 직접 탐구의 과정을 수행해 보는 것이 중요하다. 탐구 과정을 수행할 수 있는 실험활동은 학생들에게 새로운 개념이나 이론을 학습할 수 있게 해주므로, 탐구능력을 신장시킬 수 있을 뿐만 아니라 과학개념을 학습하는데 도움을 줄 수 있다.²

탐구활동은 과학교육에서 빠질 수 없는 요소이므로, 교육과정에 따라 과학 교과서에 제시되는 실험장치와 실험방법에서 어떤 내용을 어떤 형태로 조직하느냐 하는 것이 매우 중요하다. 그러므로 실험장치와 실험방법에 잘못이 있거나 실험결과와 일치되지 않는 정의가 과학 교과서에 제시된다면, 학생들은 실험활동을 통해 오히려 비과학적인 개념을 획득하는 결과를 낳을 수 있다.³

과학 교과서의 화학영역은 시약의 양이나 실험기구 등의 미세한 변화에 의해 실험결과가 달라질 수 있는 물질의 변화를 다루기 때문에 교과서 실험결과의 오류에 관련된 문제가 많이 발생하므로 과학교과서 실험의 개선이 필요하다.⁴ 따라서 과학교과서에 제시된 탐구실험의 개선에 대한 관심이 증가하고 있다.^{5,6} 특히 9학년 과학의 물질변화에서의 규칙성 단원에서는 학생들이 미시적인 입자개념을 학습해야 하는데 대체적으로 어려워하므로,⁷ 미시적인 것을 거시적으로 보여줄 수 있는 탐구실험이 필요하다.

중등학교 과학교육에서 학급인원의 과다, 실험결과와 불명확, 실험교구의 미흡, 실험내용에 대한 교사의 지식 부족 및 과다한 업무로 실험준비와 정리의 어려움, 실험실 안전 등의 여러 가지 문제로 인하여 실험을 통한 탐구 수업이 원만히 이루어지지 못하고 있는데, 특히 실험에서 나타난 문제점을 알고 있으면서도 그 원인에 대해 해석하는데 어려움이 있어 실험과 이론적인 수업이 연결되지 못하는 현상이 나타나고 있다.⁶

UNESCO와 IUPAC에서는 이러한 과학교육의 문제점을 해결하기 위한 하나의 방안으로 1997년부터 *microchemistry program*을 추진하여 저가의 실험 장비를 사용하는 *small-scale chemistry(SSC)* 키트의 개발과 보급에 노력하여 과학교육의 활성화를 도모하고 있다.⁸ SSC 실험은 전통적인 큰 규모의 실험과 비교하였을 때 경제성, 안전성, 환경적인 측면에서 많은 장점을 가지고 있으면서 실험 기구들은 값이 싸고 쉽게 구입할 수 있기 때문에 기존의 많은 정성적인 실험을 대체할 수 있는 방안으로 주목받았다.

SSC 실험은 정성적인 실험뿐만 아니라 정량적인 실험에도 적용이 가능한데, Eggen 등⁹은 비용이 적게 드는 물의 전기분해 장치를 고안하였다. 이 장치는 폴리에틸렌 피펫(beral pipet)에 절화용 철사(floral wire)를 90° 각도로 장착하고 전해질로 황산나트륨(Na_2SO_4) 수용액을 사용하여 물에서 산소 기체와 수소 기체를 분리되는 과정을 전극 부위의 지시약을 이용한 색깔변화로 확인하였지만, 정량적인 부피관계에 대해서는 구체적으로 언급하지 않았다.

Kvittinggen 등¹⁰은 SSC를 적용하여 기체 포집 장치를 고안하였다. 이 장치는 폴리에틸렌으로 되어 있어 깨질 염려가 없고 간편하여 학생들이 이산화탄소와 같은 기체를 모으는데 효과적이었다. Ragsdale 등¹¹은 폴리에틸렌 피펫을 이용하여 연망간석(pyrolusite) 촉매 하에서 3% H_2O_2 의 재현성 있는 분해실험으로부터 과산화수소 분해 반응의 반응차수를 결정하였다.

SSC 실험은 학생 개인이 자신만의 실험키트를 가지고 실험을 수행할 수 있어서 실험에 소극적이었던 학생들도 적극적으로 실험에 임하였고, 자신이 수행한 실험결과를 다른 친구들과 비교하고 토론하는 기회를 가질 수 있어 높은 학습의 효과를 보여준다고 하였다.¹²⁻¹⁵ 그러나 실제로 화학 교수-학습의 탐구실험에 활용하기 위해서 SSC 적용에 대한 이론적 근거에 대한 논의와 실험의 개발은 부족한 편이다.¹⁶⁻¹⁷

9학년 과학교과서의 물질변화에서의 규칙성 단원은 화학의 기본개념인 화학양론을 미시적 입자개념으로 학습하여야 하고, 교과서에 제시되어 있는 탐구실험은 이러한 화학양론에 대한 개념을 습득하는데 도움을 주어야 할 것이다. 따라서 이 연구에서는 9학년 과학 물질변화에서의 규칙성 단원에 제시되어 있는 실험들을 실험내용 요

소별로 분류하고 분석하여 문제점을 파악하고자 하였다. 그리고 과학교사들에게 과학 교과서의 실험들을 수행하게 하여 문제점과 개선해야 할 사항들을 추출한 뒤, SSC를 적용한 실험들을 개발하여 예비교사들에게 과학교과서의 실험과 함께 수행하게 한 후, SSC를 적용한 실험의 장점과 단점을 조사하였다.

연구 방법

연구 자료

제7차 교육과정에 의해 9학년 과학 물질변화에서의 규칙성 단원에 제시되어 있는 실험들을 분석하기 위하여 9종의 9학년 과학교과서를 분석하였는데, 과학교과서¹⁸⁻²⁶의 종류와 출판사의 가나다 순서에 의하여 정한 기호는 Table 1과 같다.

연구 절차

9종의 9학년 과학교과서 물질변화에서의 규칙성 단원에 제시되어 있는 실험들을 내용별과 종류별로 분류하고, 이를 토대로 각 실험에서 가장 많이 제시된 실험내용의 실험방법과 실험장치 및 실험기구를 과학교과서별로 분석하였다. 그리고 13명의 과학교사들에게 3~4인 모둠을 이루어 과학교과서에 가장 많이 제시되어 있는 실험내용 중에서 실험방법과 실험장치 및 실험기구가 가장 구체적으로 제시되어 있는 교과서의 실험을 교과서에 제시된 실험방법에 따라 3회 연속 실험을 수행하게 한 후, 실험결과를 분석하고 실험에 대한 개선점으로 SSC 실험을 적용하는 것이 효과적이고 적절한지에 대한 설문지를 투입하여 개선할 사항들을 추출하였다. 이를 바탕으로 SSC를 적용한 실험들을 개발하여 19명의 예비교사들에게 3~4인 모둠을 이루어 과학교과서의 실험과 함께 수행하게 한 후 SSC를 적용한 실험의 장점과 단점에 대하여 준비물, 실험방법, 결과해석, 기타 분야로 서술하도록 설문조사를 하였다.

Table 1. Middle school science textbooks

Textbook	Author	Publisher	Year of publication
A	Kang, M. S. <i>et al.</i>	Kyohak Publishing Co.	2003
B	Jeong, W. H. <i>et al.</i>	Kyohak Publishing Co.	2003
C	Lee, S. M. <i>et al.</i>	Kumsung Publishing Co.	2003
D	Choi, D. H. <i>et al.</i>	Daeil Publishing Co.	2003
E	Park, B. S. <i>et al.</i>	Donghwa Publishing Co.	2003
F	So, H. S. <i>et al.</i>	Dusan Publishing Co.	2003
G	Kim, C. J. <i>et al.</i>	Didimdol Publishing Co.	2003
H	Kim, J. Y. <i>et al.</i>	Blackbox Publishing Co.	2003
I	Lee, K. M. <i>et al.</i>	Jihaksa Publishing Co.	2003

연구 결과 및 논의

일정성분비 법칙에 관한 실험종류와 실험방법의 분류

9종의 9학년 과학교과서 물질변화에서의 규칙성 단원에 제시되어 있는 일정성분비의 법칙에 관한 실험들을 실험종류에 따라 교과서를 분류하여 Table 2에 나타내었다.

Table 2를 보면, 일정성분비의 법칙에 관한 실험으로 4가지 종류가 있는데, A, C 과학교과서에는 두 가지 종류의 실험이 제시되어 있다. 그리고 요오드화납 양금생성 실험은 A, C, D, F, G, I 교과서에, 구리의 연소 실험은 A, C, H 교과서에, 탄산칼슘 양금생성 실험은 E 교과서에, 마그네슘과 염산의 기체생성 실험은 B 교과서에 제시되어 있다. 따라서 9종의 과학교과서에 일정성분비의 법칙에 관한 실험으로 가장 많이 제시되어 있는 것은 요오드화납 양금생성 실험이다.

A, C, D, F, G, I 과학교과서에 제시되어 있는 요오드화납 양금생성 실험에서 일정량을 사용하는 수용액의 종류, 시험관의 크기 제시의 유무, 부피 측정기구, 부피 측정기구의 개수, 양금이 가라앉는데 소요되는 시간, 폐기물 처리에 대한 유의사항의 제시 등에 따라 실험방법을 분석하여 Table 3에 나타내었다.

Table 3을 살펴보면, A, F, I 교과서에서는 질산납 수용액을, C, D, G 교과서는 요오드화칼륨 수용액을 사용하며, 크기가 같은 시험관을 사용해야 함에도 불구하고 C, G 교과서는 시험관 크기를 제시하지 않고 있다. 부피를 측정

Table 2. Experiments of the law of definite composition presented on science textbooks

Experiment	Textbook
Precipitation reaction of lead iodide (PbI ₂)	A, C, D, F, G, I
Precipitation reaction of calcium carbonate (CaCO ₃)	E
Reaction of magnesium (Mg) with hydrochloric acid (HCl)	B
Combustion reaction of copper (Cu)	A, C, H

Table 3. An analysis of the experimental methods for precipitation reaction of lead iodide (PbI_2)

Experimental methods	A	C	D	F	G	I
Solution of constant volume	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$	$\text{KI}(\text{aq})$	$\text{KI}(\text{aq})$	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$	$\text{KI}(\text{aq})$	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$
Size of test-tube	○	×	○	○	×	○
Volume measurement	Syringe	Syringe	Sput	Syringe	Sput	Pipette
Number of volume measurement apparatus	7	2	2	2	2	×
Time of precipitation (min.)	5	10	10	5	10	×
Cautions	×	×	○	×	○	○

○: presentation, ×: no presentation.

하는 기구로 A, C, F 교과서는 주사기를, D, G 교과서는 스포이트를, I 교과서는 피펫을 제시하고 있다. 그리고 C, D, G 교과서는 양금이 가라앉는데 소요되는 시간으로 10분을, A, F 교과서는 5분을 제시하고 있고, I 교과서는 제시하고 있지 않다. 폐기물 처리에 대한 유의사항은 D, G, I 교과서만 제시하고 있다. 따라서 D 교과서가 실험방법에 대하여 가장 구체적으로 제시하고 있다.

물의 전기분해 실험종류와 실험방법의 분류

9종의 9학년 과학교과서 물질변화에서의 규칙성 단원에 제시되어 있는 물의 전기분해에 대한 실험들을 실험종류에 따라 교과서를 분류하여 Table 4에 나타내었다.

Table 4에서와 같이 물의 전기분해 실험으로 사용하는 장치에 따라 2가지 종류가 있는데, Hoffman식 물의 전기분해 실험은 B, E, F 교과서에, V식 전기분해 실험은 G 교과서에 제시되어 있다. 따라서 과학교과서에 물의 전기분해 실험으로 가장 많이 제시되어 있는 것은 Hoffman식 물의 전기분해 실험이다.

B, E, F 과학교과서에 제시되어 있는 Hoffman식 물의 전기분해 실험에서 실험장치의 사용설명, 전해질의 종류, 전해질의 사용량, 전압, 사용 전극 등에 따라 실험방법을 분석하여 Table 5에 나타내었다.

Table 5를 살펴보면, Hoffman식 전기분해 실험장치에

Table 4. Electrolysis of water presented on science textbooks

Experiment of electrolysis of water	Textbook
Hoffman voltmeter	B, E, F
V's method of electrolysis of water	G

Table 5. An analysis of the experimental methods for Hoffman voltmeter of electrolysis of water

Textbook	B	E	F
Introduction of Hoffman voltmeter of electrolysis	×	×	×
Electrolyte	$\text{NaOH}(\text{aq})$	$\text{NaOH}(\text{aq})$	$\text{NaOH}(\text{aq})$
Amount of electrolyte	Little	×	4 g
Voltage	×	×	10 V
Electrode	Carbon	Carbon	Carbon

○: presentation, ×: no presentation.

대한 사용설명을 제시한 교과서는 없고, B, E, F 교과서는 전해질로 수산화나트륨을 제시하였으나 전해질의 사용량에 대해서는 F 교과서에서만 제시되어 있다. 또한, F 교과서에서만 사용되는 전압이 제시되어 있어, F 교과서가 실험방법에 대하여 가장 구체적으로 제시하고 있다.

과산화수소수의 분해 실험종류와 실험방법의 분류

9종의 9학년 과학교과서 물질변화에서의 규칙성 단원에 제시되어 있는 과산화수소수의 분해 실험들을 실험종류에 따라 교과서를 분류하여 Table 6에 나타내었다.

Table 6에서 과산화수소수의 분해 반응 촉매로 3가지 물질이 있는데, 촉매인 이산화망간은 C, F 교과서에, 감자 조각은 I, E 교과서에, 요오드화칼륨은 G 교과서에 제시되어 있다. 그러나 생체 효소 촉매인 감자 조각이외의 무기물질 촉매로는 이산화망간이 가장 많이 제시되어 있다. 이산화망간과 요오드화칼륨을 촉매로 사용하는 과산화수소수 분해 실험이 과학교과서를 위한 화학실험 교재²⁷에도 제시되어 있다.

C, F 교과서에 제시되어 있는 이산화망간을 촉매로 사용하는 과산화수소수 분해 실험에서의 과산화수소수의 농도, 과산화수소수의 사용량, 촉매의 양 제시, 반응용기, 반응용기의 크기 제시 등에 따라 실험방법을 분석하여

Table 6. Decomposition of hydrogen peroxide presented on science textbooks

Reactant	Textbook
$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{MnO}_2$	C, F
$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Piece of potato}$	I, E
$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{KI} + \text{Kitchen detergent}$	G

Table 7. An analysis of the experimental methods for decomposition of hydrogen peroxide by MnO₂ catalyst

Textbook	C	F
Concentration of H ₂ O ₂	×	30%
Amount of H ₂ O ₂	10 mL	30 mL
Amount of MnO ₂ catalyst	Little	Little
Reaction vessel	Erlenmeyer flask	Erlenmeyer flask
Size of reaction vessel	×	×

×: no presentation.

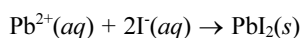
Table 7에 나타내었다.

Table 7을 살펴보면, C 교과서는 과산화수소수의 농도를 제시하고 있지 않으나 F 교과서는 제시하고 있으며, 과산화수소수의 사용량으로 C 교과서는 10 mL, F 교과서는 30 mL를 제시하고 있다. 촉매의 양은 C, F 교과서는 각각 소량, 조금이라고 제시하고 있고, 반응용기로 삼각플라스크를 두 교과서에서 모두 제시하고 있지만 반응용기의 크기를 두 교과서 모두 제시하고 있지 않다. 따라서 F 교과서가 실험방법에 대하여 가장 구체적으로 제시하고 있다.

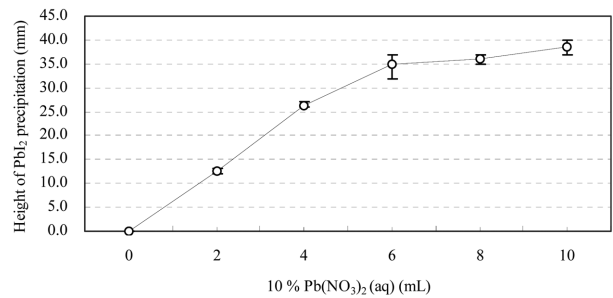
요오드화납 양금생성 실험 문제점 분석과 SSC를 적용한 실험 개발

9학년 과학 물질변화에서의 규칙성 단위에 일정성분비의 법칙에 관한 실험으로 가장 많이 제시되어 있는 요오드화납 양금생성 실험을 과학교사들에게 과학교과서의 실험방법대로 실험을 수행하게 한 후 문제점들을 분석한 다음, SSC를 적용한 실험을 개발하였다.

요오드화납 양금생성 실험의 문제점 분석: 9학년 과학 교과서에 제시되어 있는 요오드화납 양금생성 실험의 문제점을 구체적으로 알아보기 위해, 실험방법이 가장 구체적으로 제시되어 있는 D 과학교과서(Table 3)의 실험을 과학교사들에게 수행하게 하였다. 요오드화납 양금생성 높이에 의해 일정성분비의 법칙을 알아내는 D 과학교과서의 실험방법대로 1번부터 6번까지의 6개 시험관에 10% 요오드화칼륨 수용액을 6 mL씩 넣고, 질산납 수용액을 시험관 번호순에 따라 각각 1번 시험관에 0 mL, 2번 시험관에 2 mL, 3번 시험관에 4 mL, 4번 시험관에 6 mL, 5번 시험관에 8 mL, 6번 시험관에 10 mL씩을 넣으면 다음과 같은 반응이 진행되어 노란색의 요오드화납(PbI₂)이 생성되어 양금으로 가라앉는다.²⁸ 이것은 25에서 요오드화납의 용해도곱 상수(K_{sp})는 [Pb²⁺][I⁻]² = 9.8×10⁻⁹인데,²⁹ 납 이온과 요오드 이온의 이온곱 상수(Q)가 K_{sp}보다 매우 크기 때문에 양금이 생성된다.



그런데 10% 질산납 수용액과 10% 요오드화칼륨 수용

**Fig. 1.** The lead iodide (PbI₂) precipitation height produced on volume of 10% Pb(NO₃)₂(aq) reacting 10% KI(aq) 6 mL.

액의 몰농도는 두 용액의 밀도를 1 g/mL로 가정했을 때 각각 0.3 M, 0.6 M이므로, 10% 요오드화칼륨 수용액 6 mL에 10% 질산납 수용액 6 mL, 8 mL, 10 mL씩을 넣으면 모두 동일하게 요오드화납 양금이 생성되어야 한다. 질산납 6 mL를 가했을 때 이온곱 상수 Q는 1.35×10⁻²으로 K_{sp}보다 크므로 양금이 생성되는데, 8 mL, 10 mL를 가했을 때는 요오드화칼륨 수용액이 한계 반응물이 되기 때문에 생성되는 양금의 몰수는 거의 일정해야 된다.

따라서 생성된 요오드화납이 가라앉도록 시험관을 시험관대에 세워놓고 10분 후에 자를 이용하여 각 시험관에 가라앉은 요오드화납 양금의 높이를 측정하였다. 실험을 3회 연속 수행하여 1번부터 6번까지의 6개 시험관에 가라앉은 요오드화납 양금의 높이를 나타내 주는 예를 Fig. 1에 나타내었다.

Fig. 1을 살펴보면, 10% 요오드화칼륨 수용액 6 mL에 10% 질산납 수용액 6 mL, 8 mL, 10 mL씩을 넣었을 때 생성되는 요오드화납 양금의 높이를 3회 측정한 평균값이 각각 35.0 mm, 36.0 mm, 38.7 mm이고, 표준편차는 2.65, 1.00, 1.53으로 나타나 있다. 이러한 표준편차는 측정 때마다 측정값에 차이가 많이 난다는 것을 나타내 주는 것이므로 실험결과에 재현성이 없는 것이다. 그리고 이 실험에서 10% 요오드화칼륨 6 mL는 한계반응물로 10% 질산납 수용액 6 mL, 8 mL, 10 mL씩을 넣었을 때 생성되는 요오드화납 양금의 높이는 일정하여야 한다.

따라서 생성된 요오드화납 양금의 높이에 대한 선형 추세선 관계식 $y = 1.8333x + 32.889$ 에서 기울기는 0에 가까워야 하는데, 기울기가 1.8333으로 양금의 높이가 반응용액의 부피 증가에 따라 선형적으로 증가한 것을 나타내 주는 것이다.³⁰ 즉, 생성되는 요오드화납 양금의 높이가 일정하게 되는 것이 아니라 반응용액의 전체 부피가 증가할수록 증가하는 것이므로 측정값과 이론값 사이의 오차가 증가하는 것을 나타내 주는 것이다. 요오드화납 양금의 높이가 처음에는 증가하다가 일정해지는 옳은 실험 결과를 얻은 학생들일지라도 일정성분비의 법칙을 추론

해 내기가 어려운데,⁷ 양금의 높이가 일정해지는 대신에 불규칙적으로 관찰되면 이로 인해 화학반응이 화학양론적으로 일정한 몰 비로 반응하고, 화합물이 일정한 성분 비로 이루어져 있다는 과학적인 개념을 이끌어내기는 더욱 어렵게 된다.

과학교과서에 제시된 실험방법대로 용액들을 사용하여 요오드화납 양금의 높이를 측정할 때는 두 용액을 혼합한 뒤 20~30분 정도 경과한 후에 측정하는 것이 바람직하나,³¹ 과학교과서 실험에서는 양금이 가라앉는데 소요되는 시간으로 10분을 제시하고 있다(Table 3). 그러므로 두 용액을 반응시킨 10분 후에 가라앉은 양금의 높이를 측정할 경우 양금의 높이가 불규칙적이어서 실험오차 범위가 너무 크므로 실험의 재현성이 낮아진다.^{31,32} 또한 생성된 요오드화납의 양을 양금의 높이로 측정하는 실험방법이 아닌 질량으로 측정하는 실험방법에서도 건조과정에 따라 많은 실험오차가 발생할 수 있다.³³

그러므로 학생들이 일정성분비의 법칙을 추론해 내는 것을 돕기 위해서는 일정량의 질산납 수용액이 반응한 후에는 일정한 요오드화납 양금의 높이가 관찰되어야 한다. 따라서 반응용액의 부피를 가능한 한 정확하게 측정해야 하는데, 부피를 측정하는 기구로 스포이트를 사용하기 때문에 3회 연속적으로 수행한 실험에서 재현성 있는 실험결과들이 나오지 않았다. 그리고 시험관 직경도 커서 생성된 양금이 울퉁불퉁하게 쌓여 양금의 높이 구분이 명확하지 않았다.

한편, 과학교과서 실험에서는 사용하는 요오드화칼륨 수용액과 질산납 수용액의 사용량이 많아서 1회 실험 수행 시에 약 66 mL의 납 성분이 들어 있는 폐액이 발생하는 것도 실험의 문제점으로 나타났다.

SSC를 적용한 요오드화납 양금생성 실험의 개발: 요오드화납 양금생성 실험에서 시약의 사용량을 줄이고 실험 시간을 단축하기 위해서 실험기구로 직경이 작은 시험관을 사용해야 하며, 9학년 수준에서 수용액의 부피를 정확하게 측정할 수 있는 측정 기구를 사용해야 한다. 따라서 Fig. 2와 같은 SSC 실험기구인 96-홈판, 플라스틱 제품의 눈금 달린 투명 원통관, 실리콘 마개, 마이크로 피펫 등을 사용하여 SSC를 적용한 요오드화납 양금생성 실험을 개발하였다.

Fig. 2에서와 같이 눈금이 부착된 투명 원통관 아래쪽에 실리콘 마개로 막고 96-홈판에 세운다. 마이크로 피펫을 사용하여 1번부터 6번까지의 6개 눈금 투명 원통관에 10% 요오드화칼륨 수용액을 0.75 mL씩 넣어준 뒤, 10% 질산납 수용액을 1번 원통관에 0 mL, 2번 원통관에 0.25 mL, 3번 원통관에 0.50 mL, 4번 원통관에 0.75 mL, 5번 원통관에 1.00 mL, 6번 원통관에 1.25 mL씩 넣어준다. 이러

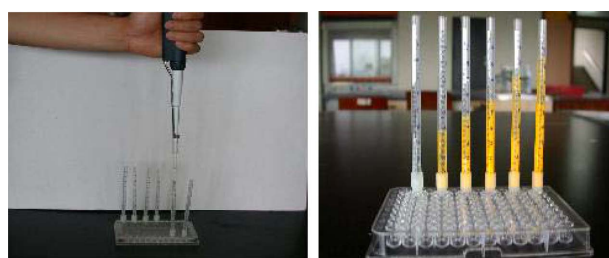


Fig. 2. SSC experimental apparatus developed for lead iodide (PbI_2) precipitation.

한 SSC를 적용한 실험에서 눈금 투명 원통관은 교과서 실험에서의 시험관과 자에 해당하며, 마이크로 피펫은 부피를 정확하게 측정할 수 없었던 스포이트를 대신하는 것이다.

SSC를 적용한 요오드화납 양금생성 실험에서 빠른 시간 내에 양금생성을 완결하기 위해서 반응용액이 들어 있는 눈금 투명 원통관을 손으로 여러 번 두드려주었다. 이로 인하여 원통관 위 부분에 생성된 양금이 아래쪽으로 내려가 차곡차곡 가라앉아서 생성된 양금의 표면이 일정하게 되고, 또한 원통관에 눈금이 있어서 양금의 높이를 쉽게 측정할 수 있었다. 두 가지 수용액을 혼합한 뒤 20분이 지난 후 각 원통관에 생성된 양금의 높이를 측정하였다.

SSC를 적용한 요오드화납 양금생성 실험을 3회 연속 수행하여 1번부터 6번까지의 6개 원통관에 생성된 요오드화납 양금의 높이를 나타내 주는 예를 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3을 살펴보면, 질산납 수용액 0.75 mL, 1.00 mL, 1.25 mL씩을 넣었을 때 생성되는 요오드화납 양금의 높이는 각각 27.0 mm, 27.3 mm, 27.3 mm이고, 표준편차는 0, 0.58, 0.58로 나타나 과학교과서 실험인 Fig. 1의 표준편차보다 훨씬 작다. 따라서 SSC를 적용한 요오드화납 양금생성 실험이 과학교과서 실험에 비해서 생성되는 양금의 높이를 측정하는데 재현성이 있다고 할 수 있다. 그리고 선

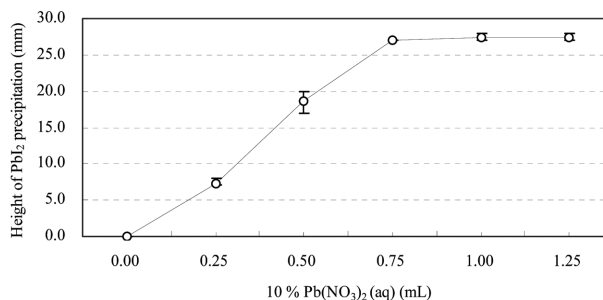


Fig. 3. The lead iodide (PbI_2) precipitation height produced by SSC experiment.

형 추세선 관계식 $y=0.1667x+26.889$ 에서 기울기가 0.1667로 과학교과서 실험의 기울기 1.8333보다 0에 더 가까우므로, 측정값과 이론값 사이의 오차는 더 작은 것이다. 그러나 과학교과서 실험과 마찬가지로 반응용액의 전체 부피가 증가함에 따라 양극의 높이가 어느 정도 증가하는 경향을 나타내지만, 질산납 수용액이 1.00 mL와 1.25 mL 일 때는 양극의 높이가 27.3 mm로 일정하므로 화학양론적으로 요오드화납이 일정성분비로 이루어져 있음을 학습하는 데 큰 무리는 없는 것이다. 그러므로 요오드화칼륨 수용액과 질산납 수용액의 반응에서 과량의 질산납 수용액을 사용해도 요오드화납 양극을 일정량 이상은 얻을 수 없다는 즉, 일정성분비 법칙에 관한 과학적인 개념을 이해할 수 있는 것이다.

SSC를 적용한 요오드화납 양극생성 실험에서는 과학교과서 실험에 비해서 요오드화칼륨 수용액과 질산납 수용액의 사용량이 8배 정도 적어 생성된 양극이 차곡차곡 쌓이는데 어느 정도 기여하여 가라앉는 시간과 양극 높이 측정 시의 실험오차를 줄일 수 있었다.²⁸ 수용액에서 생성된 양극이 가라앉는 속도는 양극 주변에서 발생하는 역방향의 유체 흐름에 영향을 받는데,³⁴ 지름이 큰 시험관의 경우 지름이 작은 원통관의 경우보다 양극의 크기가 커서 양극 주변에서 발생하는 역방향 유체 흐름의 영향도 커진다. 또한 지름이 작은 원통관을 두드리는 경우 양극들이 가라앉는 속도 차이를 줄여 양극과 양극사이의 빈 공간을 적게 하는 효과도 얻을 수 있다. 그러므로 수용액의 사용량이 과학교과서 실험에 비해 8배 정도 적은 SSC를 적용한 실험의 작은 원통관에서 생성된 양극이 과학교과서 실험의 큰 시험관에서 생성된 양극보다 차곡차곡 쌓일 수 있는 것이다. 그리고 1회 실험 수행 시에 단지 8.25 mL 정도의 납 성분이 들어 있는 폐액만 발생하므로, 과학교과서 실험에서 1회 실험 수행 시 약 66 mL의 납 성분이 들어 있는 폐액이 발생하는 것에 비하여 폐액의 발생량을 87.5% 줄일 수 있다.

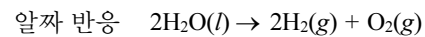
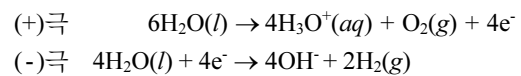
Hoffman식 물의 전기분해 실험 문제점 분석과 SSC를 적용한 실험 개발

9학년 과학 물질변화에서의 규칙성 단원에 물의 전기분해에 관한 실험방법으로 가장 많이 제시되어 있는 Hoffman식 물의 전기분해 실험을 과학교과사들에게 과학교과서의 실험방법대로 실험을 수행하게 한 후 문제점들을 분석한 다음, SSC를 적용한 실험을 개발하였다.

Hoffman식 물의 전기분해 실험의 문제점 분석: 9학년 과학교과서에 제시되어 있는 Hoffman식 물의 전기분해 실험의 문제점을 구체적으로 알아보기 위해, 실험방법이 가장 구체적으로 제시되어 있는 F 과학교과서(Table 5)의

실험을 과학교과사들에게 수행하게 하였다. F 과학교과서의 실험은 Hoffman식 전기분해 장치를 이용하여 물을 전기분해하는 것으로 H 모양의 실린더 아래 부분에 탄소전극을 잘 밀착하여 꽂고, 0.5 M의 수산화나트륨(NaOH) 수용액을 U자 모양의 깔때기에 넣어 0의 눈금에 맞춘다. 전원장치에서 전선을 통해 10 V의 전류를 공급해 주면서 5분마다 (+)극에 모아지는 기체와 (-)극에 모아지는 기체의 부피를 5회 측정된 뒤, (+)극과 (-)극의 코크 마개를 열어 꺼져 가는 성냥불을 각각에 대어 보는 것이다.

물을 전기 분해할 때 (-)극과 (+)극에서 일어나는 반응과 중화 반응을 고려한 알짜 반응은 다음과 같다.³⁵



(-)극에서 모아지는 기체는 수소이고 (+)극에서 모아지는 기체는 산소인데, 각각은 2:1의 부피 비로 발생하므로, (+)극에 모아지는 산소의 부피에 대한 (-)극에 모아지는 수소의 부피 비를 전기분해 시간에 따라 측정한다. 실험을 3회 연속 수행하여 (+)극에 모아지는 산소 기체의 부피(V_{O_2})와 (-)극에 모아지는 수소 기체(V_{H_2})의 부피를 측정하여 시간에 따른 $V_{\text{H}_2}/V_{\text{O}_2}$ 비의 변화를 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 4를 살펴보면, Hoffman의 전기분해 장치를 이용하여 물을 전기분해하는 경우, 전기분해 시간이 5분, 10분, 15분, 20분, 25분일 때 $V_{\text{H}_2}/V_{\text{O}_2}$ 비가 각각 2.6, 2.8, 2.9, 3.0, 3.1이고, 표준편차는 0.3, 0.1, 0.2, 0.3, 0.3으로 나타나 전기분해 시간에 따라 표준편차의 크기가 대체적으로 증가되므로 실험결과에 재현성이 없는 것이다. 그리고 선형 추세선 관계식 $y=0.0243x+2.5081$ 에서 기울기가 0.0243으로 0보다 크므로, $V_{\text{H}_2}/V_{\text{O}_2}$ 비가 전기분해 시간 증가에 따라 선형적으로 증가하였음을 나타내 주는 것이다. 그런데 물의 전기분해에서 (-)극에 모아지는 수소 기체의 부피와 (+)극에 모아지는 산소 기체의 부피 비($V_{\text{H}_2}/V_{\text{O}_2}$)는 이론적으로 2.0인데,³⁵ 실험값은 2.6~3.1로 오차 범위가 큰 실험

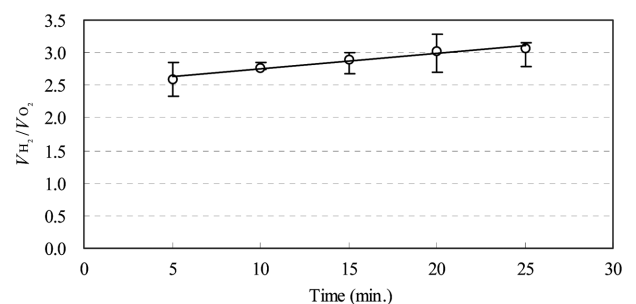


Fig. 4. The volume ratio of hydrogen and oxygen formed by Hoffman voltameter of water electrolysis.

결과가 나왔다.

Hoffman식 물의 전기분해 실험에서의 또 다른 문제점은 반응용기의 용량이 커서 1회 실험 시에 0.5 M의 수산화나트륨(NaOH) 수용액을 108 mL 정도를 사용하므로, 시약의 사용량이 많고 실험 후 많은 양의 폐액이 발생하는 것이다. 또한, 실험장치가 가로 35 cm이고 높이가 45 cm인 제법 큰 유리 제품의 실험 장치이므로, 교실 이론수업의 시범 실험장치로 이동시킬 때 불편함이 많다. 그리고 수용액이 아래로 흘러나오지 못하도록 밀봉하는데 어려움이 있으며, 실험이 끝난 후 실험장치 안에 들어 있는 수용액을 처리하는 것도 쉽지가 않다.

더욱이 많은 양의 수용액을 전기분해하기 위해 사용되는 직류 전원장치는 중량이 많이 나가 운반하기 어려우며, 전기 소모량이 많아 환경적인 측면에서 바람직하지 못하다. 물을 전기분해하기 위해 가해주어야 하는 전압은 열역학적으로 1.23 V 이상이어야 하는데 전해질의 농도와 기체에 의한 과전압을 고려해야 하므로 실험적으로는 1.5 V 이상을 가해주어야 한다.³⁶ 그러나 물을 전기분해 실험에서 6 V 이상을 주로 사용하였으므로,^{5,9,35} 6 V는 1.5 V 건전지 4개를 연결하거나 랜턴용 건전지로부터 얻을 수 있다. 이렇게 1.5 V 건전지 4개를 연결하여 사용하는 것은 간편하다고 할 수가 없으며, 또한 6 V 랜턴용 건전지는 부피가 너무 크므로 이보다 크기가 매우 작은 9 V 건전지를 사용하였다.

SSC를 적용한 물의 전기분해 실험의 개발: Hoffman식 물의 전기분해 실험에서 시약의 사용량을 줄이고 전기분해 반응 시간을 단축시키기 위해서 실험장치의 규모를 작게 해야 하며, 9학년 수준에서 쉽게 다룰 수 있는 전기분해 실험 장치를 사용해야 한다. 따라서 Fig. 5와 같은 SSC 실험기구인 24-홈판, 눈금 달린 투명 원통관, 실리콘 마개, PE병, 9 V 건전지, 스테인리스 스틸의 시침핀 등을 사용하여 SSC를 적용한 물의 전기분해 실험을 개발하였다.

Fig. 5에서와 같이 수용액의 사용량을 적게 할 수 있는 PE병에 0.5 M의 수산화나트륨 수용액을 절반가량인 3 mL를 넣고 24-홈판의 한개 홈에 세워둔다. 두 개의 눈금 달린 투명 원통관 한 쪽을 실리콘 마개로 막고 0.5 M의 수산

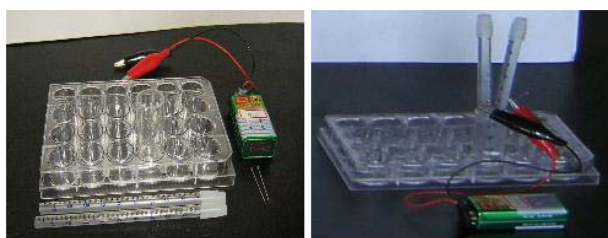


Fig. 5. SSC experimental apparatus developed for Hoffman voltameter of water electrolysis.

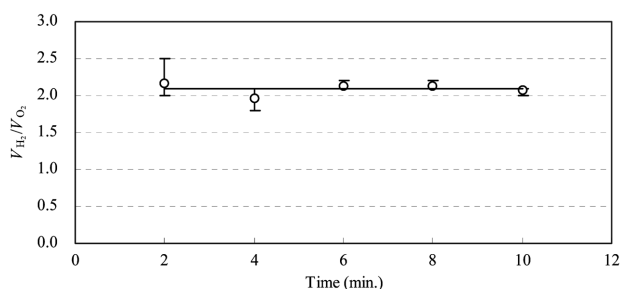


Fig. 6. The volume ratio of hydrogen and oxygen formed by SSC experiment of water electrolysis.

화나트륨 수용액을 기포 없이 가득 넣어 PE병에 거꾸로 세우고, 시침핀을 각 눈금 달린 투명 원통관 아래쪽에 깊숙이 찌러 넣어둔다. 9 V 건전지를 연결하여 2분마다 (+)극과 (-)극에 모아지는 기체의 부피를 기록한다. 발생된 기체의 부피를 5회 측정 한 후 (-)극의 실리콘 마개를 열고 꺼져가는 성냥불을 대어보면 일시적인 수소 기체의 발화를 볼 수 있고, 또한 (+)극의 실리콘 마개를 열고 꺼져가는 성냥불을 대어보면 불꽃이 살아남을 확인할 수 있다. SSC를 적용한 물의 전기분해 실험을 3회 연속 수행하여 전기분해 반응 시간에 따른 (-)극과 (+)극에서 발생하는 수소/산소의 부피 비 변화를 나타내 주는 예를 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 6을 살펴보면, (-)극에 모아지는 수소 기체의 부피 (mL)와 (+)극에 모아지는 산소 기체의 부피(mL) 비인 전기분해 시간이 2분, 4분, 6분, 8분, 10분일 때 각각 2.2, 2.0, 2.1, 2.1, 2.1이고, 표준편차는 0.3, 0.2, 0.1, 0.1, 0.1로 나타나 과학교과서 실험인 Fig. 4에 비해서 전기분해 시간이 증가할수록 표준편차가 감소하므로 재현성이 있는 실험결과를 얻을 수 있었다. 그리고 선형 추세선 관계식 $y = -0.0017x + 2.1033$ 에서 기울기가 -0.0017로 과학교과서 실험의 기울기 0.0243보다 0에 더 가까우므로, 비가 2.0~2.2로 거의 일정하여 Hoffman식 물의 전기분해 실험인 Fig. 4에서의 비 값인 2.6~3.1보다 오차 범위가 더 작은 이론값에 가까운 실험결과를 얻을 수 있었다. 따라서 물을 전기분해 하면 발생하는 수소 기체와 산소 기체의 부피 비가 2:1이라는 것을 가시적으로 확인할 수 있으므로, 물이라는 화합물이 화학양론적으로 수소 2몰과 산소 1몰로 구성되어 있음을 확인하는데 도움을 줄 수 있다. SSC를 적용한 물의 전기분해 실험 장치에서는 1회 실험 수행 시에 수산화나트륨 수용액을 5 mL만 사용하므로, Hoffman식 물의 전기분해 실험에서의 1회 실험 수행 시의 사용량인 108 mL에 비해서 22배 정도로 적게 사용한다.

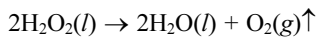
SSC를 적용한 물의 전기분해 실험장치는 24-홈판의 한개 홈에 들어가는 규모이어서 어느 장소에서도 간편하게 조작할 수 있으므로, 교실 수업과 병행하기에 편리하고

실험 후 폐액의 처리도 간편하다. 그리고 전극과 전극사이의 간격을 많이 좁혔고, Hoffman식 물의 전기분해 실험 장치의 H형 유리관 아래쪽에 잘 끼워지지 않는 탄소 전극 대신에 스테인리스 스틸의 시침핀을 전극으로 사용하여 짧은 시간 안에 재현성이 있는 실험결과들을 얻을 수 있어, 전기분해 관련 과학개념에 대한 학생과 교사의 이해에 도움을 줄 수 있다.³⁷ 특히 Hoffman식 물의 전기분해 실험에서의 탄소 전극 대신에 일상생활에서 사용하는 시침핀을 전극으로 사용함으로써, 생활 주변에서 흔히 사용하는 물건도 탐구실험의 기구로 사용할 수 있다는 것을 학생들에게 보여줄 수 있는 것이다.

과산화수소수의 분해 실험 문제점 분석과 SSC를 적용한 실험 개발

9학년 과학 물질변화에서의 규칙성 단원에 무기물질 촉매에 의한 과산화수소수 분해반응 실험으로 가장 많이 제시되어 있는 이산화망간을 촉매로 사용하는 과산화수소수 분해 실험을 과학교사들에게 과학교과서의 실험방법대로 실험을 수행하게 한 후 문제점들을 분석한 다음, SSC를 적용한 실험을 개발하였다.

과산화수소수의 분해 실험의 문제점 분석: 9학년 과학교과서에 제시되어 있는 이산화망간을 촉매로 사용하는 과산화수소수 분해 실험의 문제점을 구체적으로 알아보기 위해, 실험방법이 가장 구체적으로 제시되어 있는 F 과학교과서(Table 7)의 실험을 과학교사들에게 수행하게 하였다. F 과학교과서의 실험은 삼각플라스크에 30% 과산화수소수 30 mL를 넣고 적당량의 이산화망간을 넣었을 때 다음 반응식과 같은 분해 반응이 일어난다. 과산화수소수의 분해 반응을 관찰하고 염화코발트 종이를 이용하여 물이 과산화수소수에서 분해하여 나왔다는 것을 확인하며, 꺼져가는 불씨를 이용하여 산소 기체가 발생한다는 것을 알아내는 실험이다.



과산화수소수의 분해 실험 (반응판)

촉매 반응액	이산화망간	인산	감자즙	
과산화수소수				X
과산화수소수	X	X	X	
증류수	X	X	X	

과학교과서의 실험방법에 반응용기인 삼각플라스크의 크기가 제시되어 있지 않아서 모둠별로 사용하는 삼각플라스크의 크기에 차이가 많았으며, 많은 양의 과산화수소수를 사용해야 하므로 실험 후에 처리해야 할 반응하지 않은 과산화수소수가 있었다. 그리고 촉매인 이산화망간의 양도 구체적으로 제시되지 않아 많은 양을 넣었을 경우 과산화수소수가 급격하게 분해하여 갑자기 많은 산소가 발생함으로써, 안전사고가 발생할 위험성이 있었다.

그리고 단순히 과산화수소수에 이산화망간을 넣어 봄으로써 이산화망간과 과산화수소수가 화학반응을 해서 물과 산소기체가 생기는 것인지, 또는 이산화망간이 과산화수소수의 분해 반응에 촉매로 작용하여 반응이 활발하게 일어나는지를 구별하기가 어려운 실험이었다. 그러므로 이산화망간 이외의 다른 물질을 촉매로 사용하는 비교실험을 수행하여 과산화수소수 분해 반응에서 촉매의 역할에 대하여 더 잘 이해할 수 있도록 해야 할 필요가 있었다.

SSC를 적용한 과산화수소수 분해 실험의 개발: 9학년 과학교과서에 제시되어 있는 이산화망간을 촉매로 사용하는 과산화수소수 분해 실험의 문제점을 해결하기 위해서 과산화수소수의 사용량을 적게 하고 산소의 갑작스러운 과다 발생으로 인한 안전사고 위험을 없애야 하며, 다양한 물질로 촉매의 역할을 올바르게 이해할 수 있도록 해야 한다. 이를 위하여 실험기구로는 24-홈판, 정촉매인 이산화망간, 부촉매인 인산, 생체 효소 촉매인 감자즙, 유리병, 유리병 마개 등을 이용하여 SSC를 적용한 과산화수소수의 분해 실험(Fig. 7)을 개발하였다.

Fig. 7에서와 같이 24-홈판 맨 위 줄의 맨 오른쪽 여섯 번째 홈에 30% 과산화수소수를 10방울을 떨어 뜨려 분해 반응을 관찰하고, 두 번째 줄과 네 번째 줄의 첫 번째, 세 번째, 다섯 번째의 홈에는 차례로 각각 소량의 이산화망간, 인산, 감자즙을 넣어 둔다. 두 번째 줄의 첫 번째, 세 번째, 다섯 번째의 세 개 홈에는 각각 3% 과산화수소수를 10방울씩 떨어뜨리고, 네 번째 줄의 첫 번째, 세 번째, 다



Fig. 7. SSC experimental apparatus developed for decomposition of 30% and 3% hydrogen peroxide.

첫 번째의 세 개 홈에는 각각 증류수를 10방울씩 떨어뜨려, 과산화수소수와 증류수의 변화를 서로 비교하면서 관찰한다.

SSC를 적용한 과산화수소수의 분해 실험에서 30% 과산화수소수 10방울만 들어있는 홈에서 기포가 발생함을 볼 수 있어 상온에서 과산화수소수가 서서히 물과 산소로 분해됨을 관찰할 수 있었다. 두 번째 줄 첫 번째 홈에서는 정촉매인 이산화망간에 의해 과산화수소수가 급격하게 분해되어 산소기체를 발생하는 반응이 일어나, 세 번째 홈에서는 인산이 부족매이므로 분해 반응이 일어나지 않음을 볼 수가 있다. 그리고 다섯 번째 홈에서는 과산화수소수가 감자즙에 의하여 빠르게 분해되는 것을 볼 수 있다. 그러나 증류수가 들어있는 네 번째 줄의 세 개 홈에서는 아무런 변화가 일어나지 않는다.

이러한 SSC를 적용한 과산화수소수 분해 실험결과들로부터 과산화수소수는 상온에서 그대로 놓아두더라도 분해가 되지만, 이산화망간이나 감자즙과 같은 촉매가 있을 때는 빨리 분해한다는 것을 알 수 있다. 그리고 검은색의 이산화망간은 과산화수소수와 반응 후에도 검은색 그대로 남아 있기 때문에 이산화망간이 촉매라는 것을 정성적으로 쉽게 알 수 있다.

한편, 과산화수소수가 정촉매인 이산화망간에 의해 빨리 분해되어 물과 산소기체를 발생하는 것을 좀 더 구체적으로 확인하기 위해서는 용량이 2 mL인 유리병에 20방울의 과산화수소수와 소량의 이산화망간을 넣고 구멍이 뚫린 병마개로 막아준 후, 구멍위에 끼여가는 성냥불을 가까이 대어보고, 분해반응열에 의해 생성된 수증기가 생겨 유리병 벽면에 응결된 액체에 염화코발트 종이를 대어 변화를 관찰한다.

과산화수소 분해반응은 ΔH 가 -98.0 kJ/mol 인 발열반응이므로 과도한 열이 발생할 위험성이 있는데,³⁸ SSC를 적용한 과산화수소수 분해 실험에서는 1회 실험 수행 시에 1 mL 미만의 아주 적은 양의 과산화수소수를 사용하여, 안전사고의 위험 없이 과산화수소수가 이산화망간 촉매로 빠르게 분해되어 물과 산소기체를 생성하는 것을 확인할 수 있다.

SSC를 적용한 개발 실험의 장점과 단점

예비 교사들에게 요오드화납 양금생성 실험과 Hoffman 식 물의 전기분해 실험, 그리고 이산화망간을 촉매로 사용하는 과산화수소수의 분해 실험을 과학교과서의 실험과 SSC를 적용한 개발 실험을 모두 수행하게 한 후 SSC를 적용한 개발 실험의 장점과 단점을 조사하였다.

요오드화납 양금생성에 대한 개발 실험의 장점과 단점: SSC를 적용한 요오드화납 양금생성 실험의 가장 큰 장점은 적은 양의 시약 사용으로 폐액 처리가 용이하다

는 것이다. 즉, 과학교과서 실험의 경우 1회 실험 수행 시에 66 mL의 시약을 사용하지만 SSC를 적용한 개발 실험에서는 8.25 mL만을 사용한다. 그리고 유리제품의 실험기구에 비해 잘 깨지지 않는 플라스틱 실험기구 사용에 따른 실험과정에서의 안정성과 간편성으로 실험을 손쉽게 누구나 할 수 있다는 점을 장점이라고 하였다. 또한 시약의 사용량이 적고 실험기구가 작은 규모이어서 실험의 준비와 정리가 간편하며, 과학교과서 실험의 양금생성 시간인 10분 보다 더 많은 20분을 사용하고도 수업시간을 효과적으로 활용할 수 있어, 실험 후 남은 시간을 실험에 대한 토의시간으로 활용할 수 있다는 점도 장점이라고 하였다.

또한, 과학교과서의 실험방법대로 실험하는 경우보다 SSC를 적용한 개발 실험을 하는 경우 사용하는 플라스틱 원통관에 눈금이 표시되어 있어 측정관찰과 실험결과 정리가 용이하며, 재현성이 있는 실험결과들이 나와서 실험결과를 더 신뢰할 수 있고, 실험 과정이 간편하여 실험을 잘못하였을 경우에도 신속하게 다시 수행할 수 있어 여러 번의 반복 실험도 가능하다는 것을 장점이라고 하였다.

한편, 단점으로는 처음으로 사용해 보는 마이크로 피펫의 사용 미숙과 실험을 모두 작은 규모로 수행하다보니 작은 실수라도 큰 오차가 생길 수 있다는 점, 그리고 요오드화납 양금의 색깔이 노란색이어서 실리콘 마개를 씻을 경우 노란색이 쉽게 세척이 되지 않는다 등이 있었다.

물의 전기분해에 대한 개발 실험의 장점과 단점: SSC를 적용한 물의 전기분해 실험에서 가장 큰 장점은 실험결과가 과학교과서 실험의 실험결과보다 더 신뢰할 수 있는 것으로 나왔다는 것이었다. 또한, 적은 양의 시약과 작은 규모의 실험장치 사용으로 실험시간의 단축과 실험의 안정성, 실험준비와 정리의 편리성, 폐액 처리의 용이성 등은 SSC를 적용한 요오드화납 양금생성 실험에 대한 장점과 같은 맥락이었다.

반면에 단점으로는 실험장치가 작은 규모이어서 기존의 큰 규모보다는 실험장치가 작아서 반응 후 변화나 반응이 격렬하다거나 하는 등의 극적 요소가 떨어지고, 이로 인해 실험 수행에 대한 성취감 감소라고 하였다. 그리고 시약의 사용량이 적기 때문에 물이 전기분해하여 산소와 수소 기체를 확인 하는데 어려움이 있고, 실험기구 사용이 익숙하지 않다는 점을 단점이라고 하였다. 이러한 단점들은 SSC 실험이 가지는 한계점으로 SSC 실험기구 사용에 대한 적절한 안내, 모듬원의 개인차를 고려한 지도, 기존의 전통적인 실험을 병행하는 방법 등으로 보완될 필요가 있다고 생각된다.

과산화수소수의 분해에 대한 개발 실험의 장점과 단점: SSC를 적용한 과산화수소수의 분해 실험에서 가장 큰 장점은 적은 시약이 소모되며, 과학교과서의 분해 실험에

비하여 하나의 홉판에서 여러 가지 실험을 한꺼번에 할 수 있어 여러 물질을 촉매로 사용하는 비교실험들을 동시에 수행할 수 있다는 것이다. 그리고 실험결과의 신뢰성, 실험 준비와 정리의 편리성, 실험 수행의 안정성, 반복 실험의 용이성 등은 SSC를 적용한 요오드화납 양금생성 실험과 물의 전기분해 실험들에서의 장점과 같은 맥락이었다.

반면에 단점으로는 홉판의 한 홉에 시약을 넣고 변화를 관찰함으로써 측면에서 보는 경우에는 관찰하기가 용이하지 않고, 촉매인 이산화망간을 극소량보다 조금 많이 넣는 경우 홉의 높이가 낮아 다른 홉으로 넘쳐난다는 것이었다.

결론 및 제언

이 연구에서는 제7차 교육과정에 의해 9학년 9종 과학교과서의 물질변화에서의 규칙성 단원에 제시되어 있는 실험들을 분류하고 실험방법을 분석하였다. 이를 토대로 과학교과서의 실험으로 가장 많이 제시된 실험내용의 실험방법과 실험장치 및 실험기구를 과학교과서별로 분석하였다. 그리고 과학교사들에게 과학교과서의 실험들을 수행하게 하여 문제점과 개선해야 할 사항들을 추출한 뒤, SSC를 적용한 실험들을 개발하여 예비교사들에게 과학교과서의 실험과 함께 수행하게 한 후, SSC를 적용한 실험의 장점과 단점을 조사하였다. 연구결과들로부터 얻은 결론과 제언은 다음과 같다.

9학년 9종 과학교과서의 물질변화에서의 규칙성 단원에 일정성분비 법칙에 관한 실험으로 가장 많이 제시되어 있는 요오드화납 양금생성 실험, 전기분해에 관한 실험방법으로 가장 많이 제시되어 있는 Hoffman식 물의 전기분해 실험, 무기물질 촉매에 의한 과산화수소수 분해반응에 관한 실험으로 가장 많이 제시되어 있는 이산화망간을 촉매로 사용하는 과산화수소수 분해 실험들을 수행해 본 결과, 시약의 소모량, 실험시간, 실험장치 규모 등에 문제점이 있었으며, 또한 실험결과들에 재현성이 부족하였다. 이러한 문제점들은 SSC를 적용하여 개발한 실험으로 해결할 수 있었다.

SSC를 적용하여 개발한 요오드화납 양금생성 반응 실험에서는 플라스틱 제품의 눈금 달린 투명 원통관을 반응용기로 사용하여 양금이 가라앉는 시간이 20분 이상 확보되어야 함을 알 수 있었고, 반응용액을 손으로 여러 번 두드려줌으로써 양금이 원통관 아래로 차곡차곡 밀도 있게 쌓이도록 할 수 있어 양금의 높이 측정 시 실험오차를 줄일 수 있었다. 그리고 원통관에 눈금이 있어서 양금의 높이를 쉽게 측정할 수 있고 재현성 있는 실험결과들

을 얻을 수 있어 화학양론적으로 요오드화납 화합물이 일정 성분비로 되어있다는 과학적인 개념을 가시적으로 확인할 수 있었다. 또한 실험기구가 세트화 되어있어 어디에서나 실험이 가능하여 이론적인 수업을 병행할 수 있다.

SSC를 적용하여 개발한 물의 전기분해 실험에서는 전기분해 실험장치를 간편하게 조작할 수 있었고, 실험 후 폐액의 처리도 간편하였다. 그리고 전극과 전극사이의 간격이 많이 좁아져서 재현성 있는 실험결과를 얻을 수 있었고, 눈금 달린 플라스틱 원통관을 사용함으로써 (-)극과 (+)극에서 발생하는 기체가 수소와 산소라는 것과 수소와 산소의 부피 비의 값이 2:1이라는 것을 가시적으로 확인할 수 있었다. 그러므로 물이라는 화합물이 화학양론적으로 수소 2몰과 산소 1몰로 구성되어 있음을 확인하는 데 도움을 줄 수 있다.

SSC를 적용하여 개발한 과산화수소수 분해 실험에서는 적은 양의 과산화수소수를 사용하여 안전사고의 위험 없이 과산화수소수가 분해하여 물과 산소 기체를 생성한다는 것을 보여 주었다. 그리고 이산화망간의 물질들을 사용하여 과산화수소수의 분해 정도를 비교할 수 있어서 이산화망간이 촉매라는 사실과 과산화수소가 물과 산소로 분해되는 화학변화의 화학양론적 규칙성을 확인할 수 있다.

이와 같이 SSC를 적용하여 개발한 실험들은 시약을 적게 사용하고 폐액의 처리가 용이하여 경제적이며, 환경오염을 줄일 수 있는 것이다. 또한, 실험 수행 시에 안전성을 주고, 실험시간의 단축뿐만 아니라, 재현성이 있는 실험결과들을 얻을 수 있다는 장점들이 있었다. 반면에 적은 양의 시약 사용으로 실험관찰에서 다소간의 어려움과 성취감의 감소, 작은 규모의 실험기구 사용의 미숙함 등이 단점들이었다. 이러한 단점들은 SSC 적용에 대한 적절한 안내와 개인차를 고려하여 기존의 전통적인 실험을 병행함으로써 보완되어야 할 것으로 생각되며, 더불어 SSC 실험 기구에 대한 환경적인 면의 보완도 필요하다고 생각된다.

그러나 9학년 과학 물질변화에서의 규칙성 단원에서 요오드화납 양금 생성 실험, 물의 전기분해 실험, 과산화수소수의 분해 실험에 SSC를 적용하여 개발한 실험들을 과학 실험으로 활용한다면, 실험시간을 예측하게 하여 실험 후 실험결과들을 해석하고 토의할 수 있는 시간을 확보할 수 있고, 시약의 사용량을 적게 하면서도 재현성이 있는 실험결과들을 얻을 수가 있다. 그리고 SSC를 적용한 실험을 학교 현장에 도입하기 위해서는 과학교과서에 제시되어 있는 실험들에 대하여 SSC를 적용한 실험의 지속적인 개발과 더불어 직접 학생들에게 적용되는 후속연

구가 계속되어야 하며, 이에 대한 과학교사들의 연수도 필요하다고 생각된다.

감사의 글

이 연구는 한국교원대학교 2010학년도 연구년 교수로 선정되어 수행된 것입니다.

REFERENCES

1. Ministry of Education, *Science Curriculum*; Daehan Printing & Publishing: Seoul, Korea, 2001. pp 28-29.
2. Kim, J. Y.; Shin, A. K.; Park, K. T.; Choi, B. S. *J. Kor. Chem. Soc.* **2001**, *45*, 470.
3. Ryu, O. H.; Choi, M. Y.; Song, J. H.; Kwon, J. G.; Paik, S. H.; Park, K. T. *J. Kor. Chem. Soc.* **2001**, *45*, 481.
4. Bang, J. A.; Yoon, H. S.; Choi, W. H.; Jeong, D. H. *J. Kor. Chem. Soc.* **2006**, *50*, 404.
5. Park, K. T.; Lee, J. Y.; Park, K. S.; Cho, Y. J. *J. Kor. Chem. Soc.* **2006**, *50*, 328.
6. Jeon, Y. H.; Hong L. S.; Kang Y. J.; Kang, S. J. *J. Kor. Chem. Soc.* **2004**, *48*, 189.
7. Han, Y. H.; Lee, M. S.; Paik, S. H. *J. Kor. Assoc. Sci. Edu.* **2007**, *27*, 50.
8. Bradley, J. D. *Pure and Applied Chemistry* **2001**, *73*, 1215.
9. Eggen, P. O.; Kvittingen, L. *J. Chem. Educ.* **2004**, *81*, 1337.
10. Kvittingen, L.; Verley, R. *J. Chem. Educ.* **2004**, *81*, 1339.
11. Ragsdale, R. O.; Vanderhooft, J. C.; Zipp, A. P. *J. Chem. Educ.* **1998**, *75*, 215.
12. Kim, H. K.; Choi, B. S. *J. Kor. Chem. Soc.* **2005**, *49*, 208.
13. Park, J. Y.; Hong, J. H. *J. Kor. Assoc. Sci. Edu.* **2007**, *27*, 318.
14. Yoo, M. H.; Yoon, H. S.; Hong, H. G. *J. Kor. Chem. Soc.*, **2007**, *51*, 433.
15. Yun, J. N.; Lee, J. H.; Moon, S. B. *J. Kor. Assoc. Sci. Edu.* **2007**, *27*, 1.
16. Park, K. T.; Noh, J. H.; Kim, D. J.; Ryu, R. Y.; Noh, Y. M.; Kim, M. K.; Lee, S. K. *J. Kor. Chem. Soc.* **2008**, *52*, 303.
17. Yoo, M. H.; Yoon, H. S.; Hong, H.-G. *J. Kor. Chem. Soc.* **2006**, *50*, 256.
18. Kang, M. S.; Joung, C. H.; Lee, W. S.; Han, I. S.; Park, E. H.; Lee, C. J.; Kim, I. H.; Jang, B. G.; Joung, B. H.; Yoon, Y.; Lee, T. U.; Han, C. O. *Middle School Science 3*; Kyohak Publishing Co.: Seoul, Korea, 2003; pp 160-184.
19. Jeong, W. H.; Kwon, J. S.; Kim, B. G.; Kim, S. H.; Paik, S. H.; Woo, J. O.; Lee, B. H.; Lee, S. H.; Jeong, J. W.; Choi, B. S. *Middle School Science 3*; Kyohak Publishing Co.: Seoul, Korea, 2003; pp 156-180.
20. Lee, S. M.; Chae, K. P.; Kim, K. D.; Kim, Y. S.; Kim, Y. T.; Lee, S. Y.; Lee, M. W.; Kwon, S. M.; Son, Y. U.; Noh, T. H.; Jeong, J. H.; Seo, I. H. *Middle School Science 3*; Kumsung Publishing Co.: Seoul, Korea, 2003; pp 160-195.
21. Choi, D. H.; Kim, D. Y.; Kim, B. R.; Kim, J. Y.; Noh, S. G.; Shin, Y. J.; Kim, G. Y.; Lee, D. H.; Lee, M. W.; Lee, M. J. *Middle School Science 3*; Daeil Publishing Co.: Seoul, Korea, 2003; pp 170-202.
22. Park, B. S.; Kim, Y. W.; Park, M. S.; Shim, K. S.; Shim, J. S.; Jeong, D. Y.; Jin, M. S.; Jang, J. C.; Choi, B. S.; Choi, J. B.; Hong, D. S. *Middle School Science 3*; Donghwa Publishing Co.: Seoul, Korea, 2003; pp 164-191.
23. So, H. S.; Gu, S. G.; Kim, D. H.; Kim, Y. S.; Kim, W. S.; Kim, J. K.; Mok, C. S.; Park, G. S.; Park, W. G.; An, T. I.; Lee, M. H.; Choi, S. U. *Middle School Science 3*; Dusan Publishing Co.: Seoul, Korea, 2003; pp 144-169.
24. Kim, C. J.; Kim, H. B.; Park, S. J.; Oh, C. H.; Yang, J. C.; Jang, H. S.; Jeong, J. M.; Jo, H. S.; Choi, H. N.; Han, S. H.; Hyun, J. O.; Hong, K. H. *Middle School Science 3*; Didimdol Publishing Co.: Seoul, Korea, 2003; pp 176-203.
25. Kim, J. Y.; Go, H. D.; Kim, J. H.; Kim, N. I.; Im, Y. W.; Dong, H. K.; Kim, S. J.; Nam, C. J.; Kim, Y. S.; Lee, J. Y. *Middle School Science 3*; Blackbox Publishing Co.: Seoul, Korea, 2003; pp 164-191.
26. Lee, K. M.; Hur, D.; Lee, K. W.; Jeong, M. H.; Bang, D. C.; Lee, G. S.; An, T. G.; Jeong, S. Y.; Bok, W. G.; Jeong, I. H. *Middle School Science 3*; Jihaksa Publishing Co.: Seoul, Korea, 2003; pp 150-171.
27. Summerlin, L. R.; Ealy, J. L. *Chemical Demonstrations*; American Chemical Society, U.S.A., 1988; Vol. 1, pp 101-102.
28. Goodman, R. C.; Petrucci, R. H. *J. Chem. Educ.* **1965**, *42*, 104.
29. Lide, D. R., Ed. *Handbook of Chemistry and Physics*, 87th ed.; CRC Press: New York, 2006; pp 8-120.
30. DeMeo, S. *J. Chem. Educ.* **2005**, *82*, 1219.
31. Song, Y. B. *A Study on Analysis and Improvement of Chemical Experiments in the Middle School, With Focus on the Theme of Four Experiments*; M. Ed. Thesis, Korea National University of Education. 2000.
32. Jeong, S. J.; Paik, S. H. *J. Kor. Chem. Soc.* **2006**, *50*, 374.
33. Matuchová, M.; Procházková, O.; Žďánský, K.; Zavadil, J.; Maixner, J. *Materials Science Forum* **2005**, *480*, 477.
34. Koo, S. *J. Korean Ind. Eng. Chem.* **2008**, *19*, 609.
35. Heideman, S.; Wollaston, G. *J. Chem. Educ.* **1986**, *63*, 809.
36. Roffia, S.; Concialini, V.; Paradisi, C.; Lambert, J. *J. Chem. Educ.* **1988**, *65*, 725.
37. Park, J. H.; Paik, S. H.; Kim, D. Y. *J. Kor. Assoc. Sci. Edu.* **2003**, *23*, 660.
38. Trujillo, C. A.; Senkbeil, E.; Krause, P. *J. Chem. Educ.* **2005**, *82*, 855.