

양금 생성 반응을 이용한 화학반응속도 측정 실험의 분석과 Small-Scale Chemistry를 적용한 실험 개발

박국태* · 노지현 · 김동진 · 유란영 · 노윤미 · 김묘경 · 이상권*

한국교원대학교 화학교육과

*전남대학교 사범대학 화학교육과

(2008. 1. 7 접수)

Analysis of Precipitate Formation Reaction for Measuring Chemical Reaction Rate and Its Development Applying Small-Scale Chemistry

Kuk-Tae Park*, Ji-Hyun Noh, Dong-Jin Kim, Ran-Yeong Ryu, Yun-Mi Noh,
Myo-Kyung Kim, and Sang Kwon Lee†

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

†Department of Chemistry Education, Chonnam National University, Chonnam 500-757, Korea

(Received January 7, 2008)

요약. 이 연구의 목적은 고등학교 과학 교과서에 제시된 양금 생성 반응을 이용한 화학반응속도 측정 실험으로 small-scale chemistry (SSC)를 적용한 실험을 개발하고자 하는 것이다. 연구를 위해서 고등학교 10종 과학 교과서에 제시된 화학반응속도에 미치는 농도와 온도의 영향에 대한 실험 방법을 반응 생성물 확인 방법에 따라 분류하고, 과학 교과서에 가장 많이 제시되어 있는 양금 생성 반응을 이용한 화학반응속도 측정 실험을 교과서 실험 방법에 따라 수행하였다. 그리고 실험 과정에서 나타나는 문제점들을 분석해서 양금 생성 반응을 이용한 화학반응속도 측정 실험에 SSC를 적용한 실험을 개발하였다. 연구 결과에 의하면, 과학 교과서에 제시된 양금 생성 반응을 이용한 화학반응속도 측정 실험에는 반응 용액들의 혼합 방법에 대한 번거로움, X자가 보이지 않는 시점의 애매모호함, 실험 결과 수집의 시간 지연, 유독한 이산화황 기체의 발생, 물중탕 장치 조작의 불편함, 그리고 반응 온도 통제의 어려움 등의 문제점들이 있었다. 또한, 실험 결과들의 재현성이 부족하였다. 이러한 문제점들은 양금 생성 반응을 이용한 화학반응속도 측정 실험에 SSC를 적용하여 개발한 실험으로 해결할 수 있었다. SSC를 적용한 실험에서는 A_1 용지 반응판에 실험의 순서를 명시하여 실험 방법을 명확하게 할 수 있었으며, 흡판과 스템 피펫을 사용하여 반응시간을 단축하여 실험 결과들을 연속적으로 얻을 수 있었다. 또한, 유독한 이산화황 기체의 발생량을 1/7 정도로 줄일 수 있었으며, X자가 보이지 않는 시점도 뚜렷하게 관찰할 수 있었다. 그리고 30분 내에 화학반응속도에 미치는 농도와 온도의 영향에 대한 두 실험을 간편하고 재현성 있게 수행할 수 있었다. 또한, 수업시간 중 실험 결과들을 해석하고 토의할 수 있는 시간을 확보할 수 있어, 고등학생들이 화학반응속도에 미치는 농도와 온도의 영향에 대한 과학적인 개념을 형성하는데 도움을 줄 것으로 기대된다.

주제어: Small-scale chemistry (SSC), 고등학교 과학 교과서, 화학반응속도 측정, 화학반응속도에 미치는 농도와 온도의 영향, 양금 생성 반응, 실험 개발

ABSTRACT. The purpose of this study was to understand the experiment for measuring chemical reaction rate by precipitate formation and to develop experiments applying small-scale chemistry. For this study, the experimental method for measuring the effect of concentration and temperature on chemical reaction rates presented in the 10 high school science textbooks were classified by their experimental methods of confirming production. Subsequently, problems

observed in carrying out the experiments for measuring chemical reaction rates by precipitate formation frequently presented in the 10 high school science textbooks were analyzed. Experiments applying small-scale chemistry were developed measuring chemical reaction rate by precipitate formation. According to the result of this study, there were some problems in the experimental method of precipitate formation for measuring chemical reaction rates presented in the high school science textbooks. Those problems in the science textbook experiments were insufficient specification of mixing methods of reaction solutions, obscurity of knowing when the character letter X disappeared, time delay in collecting the experimental data, formation of hazardous sulfur dioxide, uneasiness of fixing water bath container, controlling the reaction temperature, and low reproducibility. Those problems were solved by developing experiments applying small-scale chemistry. Presenting the procedure of mixing reaction solutions on the A₄ reaction paper sheet made the experimental procedure clearly, using well plates and stem pipette shortened the reaction time and made it possible to continuously collect the experimental data. Furthermore, the quantity of hazardous sulfur dioxide was reduced 1/7 times and the time when the character letter X disappeared could be observed clearly. Since experiments for measuring the effect of concentration and temperature on chemical reaction rates could be performed in 30 minutes, the developing experiments applying SSC would help students understand the scientific concepts on the effect of concentration and temperature on chemical reaction rates with enough time for experimental data analysis and discussion.

Keywords: Small-Scale Chemistry (SSC), High School Science Textbooks, Measuring Chemical Reaction Rates, Effect of Concentration and Temperature on Chemical Reaction Rates, Precipitate Formation, Developing Experiments

서 론

제7차 교육과정에서 과학은 국민의 기본적인 과학적 소양을 기르기 위하여 자연을 과학적으로 탐구하는 능력과 과학의 기본 개념을 습득하고 과학적인 태도를 기르기 위한 과목이라고 제시되어 있으며, 과학 교육 목표 또한 탐구 활동을 통한 과학 개념의 이해와 탐구 능력 신장을 강조하고 있다.¹ 이를 위해서는 학생들이 직접 탐구의 과정을 경험해 보는 것이 중요하다. 탐구의 과정을 경험해 볼 수 있는 기회인 실험 활동은 학생들에게 새로운 개념이나 이론을 탐색할 수 있는 구체적 학습 경험을 통하여 탐구 능력을 신장시킬 수 있을 뿐만 아니라 궁극적으로는 과학 개념의 이해에도 도움을 줄 수 있다.²

이러한 탐구 실험 활동의 중요성에도 불구하고, 과학 교육과정의 교과서 내용 구성에 있어서 실험 장치와 실험 방법이 잘못이 있거나, 실험 결과에 재현성이 없어서 학생들이 탐구 실험을 통해 오히려 비과학적인 개념을 획득하는 결과를 낳기도 한다.³ 특히 화학 영역의 탐구 실험은 시약의 양이나 실험기구 등의 미세한 변화에 의해 실험 결과가 달라질 수 있기 때문에 교과서에 제시된 실험의 개선이 더욱 필요하다.⁴ 그러므로 고등학교 과학 및 화학Ⅱ 교과서에 제시된 화학 실험의 개선에 대한 관심이 증가되고 있다.^{5,6}

고등학생들의 화학반응속도에 대한 과학적 개념이 잘 형성되어 있지 않다.⁹ 화학반응속도 측정 실험의 개선에 관한 연구들이 수행되고 있다. 염산과 마그네슘 리본의 화학반응으로 생성되는 수소 기체의 부피 변화를 이용하여 화학반응속도를 측정하는 실험에서 실험 장치의 미비한 제시로 반응시간이 지연되고, 반응열로 인하여 반응 초기 속도가 증가하는 실험 결과로, 고등학생들이 화학반응속도에 대한 과학적 개념을 형성하는데 어려움이 있어서, 이를 개선한 실험이 보고되었다.⁴ 그리고 고등학교 과학 교과서에 제시된 화학반응속도 측정 실험에서 실험 기구와 실험 조건, 실험 방법의 미비함을 개선하여 재현성 있게 화학반응속도를 측정하는 실험 방안이 제안되었다.⁸

제7차 교육과정에 의하여 고등학교 과학 교과서에 제시된 화학반응속도 단원에서는 간단한 실험을 통하여 농도와 온도 등의 요인들이 화학반응속도에 미치는 영향을 알아본다는 내용과 반응 조건에 따른 화학반응속도의 차이를 비교하는 실험하기가 심화과정으로 제시되어 있으므로, 고등학생들이 간단하고 편리한 실험 장치로 재현성 있는 실험 결과들을 얻을 수 있도록 하는 것이 화학 탐구 실험에서 중요한 과제인 것이다.

한편, UNESCO와 IUPAC에서는 기존의 화학교육의 문제점을 해결하기 위한 하나의 방안으로 1997년

부터 microchemistry program을 추진하여 small-scale chemistry (SSC)의 국제적인 보급에 노력하고 있다.¹⁰ SSC는 전통적인 실험 방법에 비하여 경제성과 안전성, 그리고 환경적인 측면에서 많은 장점을 가지고 있으면서도 실험 기구들의 값이 싸고 쉽게 구입할 수 있기 때문에, 기존의 실험들을 대체할 수 있는 방안으로 주목을 받고 있다.¹¹ 저가의 실험 기구들을 사용하는 SSC 키트의 개발과 보급에 노력한 결과 많은 나라에서 이를 적극적으로 받아들여 화학교육의 활성화를 도모하고 있다.^{10,12}

우리나라에서도 2002년 이후 SSC 실험이 소개되어, 전국과학교사협회에서 SSC 관련 실험 자료와 키트를 개발하여 보급에 힘쓰고 있으며, 정교사 자격연수와 과학교사 직무연수 등에서 SSC 관련 실험 연수가 활발하게 이루어지고 있다.¹³ 그러나 SSC 관련 실험을 학교 현장에 그대로 적용하기에는 내용이나 수준면에서 어려움이 있어, SSC 관련 실험 자료 개발과 더불어 이의 활용에 대한 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것이다.¹⁴

최근에 고등학교 과학에서 전해질과 이온 및 산 염기 반응에 대한 SSC를 적용한 실험 수업의 효과¹⁵에 대한 연구가 보고되었으나, 고등학교 과학 교과서에 제시된 화학반응속도 측정 실험과 관련하여 SSC를 적용한 실험에 대한 연구는 아직 미미한 편이다.

따라서 이 연구에서는 제7차 교육과정에 의해 고등학교 과학 교과서에 제시된 농도와 온도가 화학반응속도에 미치는 영향을 알아보는 실험에 대한 실험 방법을 분류하고, 과학 교과서에 제시된 실험 방법에 따라 실험을 수행한 후, 문제점을 분석해서 SSC를 적용한 실험을 개발하고자 한다.

연구 방법

연구 자료. 제7차 교육과정에 의해 고등학교 과학 교과서에 제시되어 있는 화학반응속도에 미치는 농도와 온도의 영향에 대한 실험 방법을 알아보기 위하여 10종의 고등학교 과학 교과서¹⁵⁻²⁴를 분석하였다. 이 연구에 사용된 고등학교 과학 교과서의 종류와 약어는 Table 1과 같다.

연구 절차. 10종의 고등학교 과학 교과서에 제시된 화학반응속도에 미치는 농도와 온도 의 영향에 대한 실험 방법을 반응 생성물 확인 방법에 따라 분류하고, 실험 방법으로 가장 많이 제시된 농도와 온도의 영향에 대한 양금 생성 반응을 교과서별로 심층 분석 하였다. 그리고 과학 교과서에 제시된 실험 방법에 따라 3회 연속해서 실험을 수행 한 후, 실험 과정에서 나타나는 문제점들을 분석하고, 문제점들을 해결할 수 있도록 SSC를 적용한 실험을 개발하였다.

화학반응속도에 미치는 농도와 온도의 영향에 대한 양금 생성 반응에서 X자가 보이지 않을 때까지의 시간(t)동안 생성된 황 양금의 양은 일정하므로 반응속도는 시간의 변화량의 역수에 비례한다. 즉, 일정량의 황 양금이 생성되어 X자가 보이지 않게 되는 시간의 역수($1/t$)를 반응속도라 할 수 있고, 이 값을 계산하여 반응속도를 상대적으로 비교할 수 있다.²⁵

연구 결과 및 논의

화학반응속도 측정 실험 방법 분류

고등학교 과학 교과서 10종에 제시되어 있는 화학반응속도에 미치는 농도와 온도의 영향에 대한 실험

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-Ho <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-Hwan <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

Table 2. A classification of 10 high school science textbooks by experimental method for measuring the effect of concentration and temperature on chemical reaction rates

Experimental method	Effect of concentration	Effect of temperature
Precipitate formation	B, G, H, J	A, E, J
Gas formation	D, E, I	D, G
Color change	F	-
Foam formation	-	F
Non-experiment	A ^a , C ^b	B ^a , C ^a , H ^a , I ^a

^adata analysis, ^brole playing game.

방법을 반응 생성물 확인 방법에 따라 분류하여 Table 2에 나타내었다.

Table 2를 살펴보면, 화학반응속도에 미치는 농도의 영향에 대한 실험 방법으로 양금 생성 반응이 10종의 과학 교과서 중 4종의 과학 교과서에 제시되어 가장 많은 것이며, 기체 생성 반응이 3종의 과학 교과서에, 색변화 반응이 1종의 과학 교과서에 제시되어 있다. 그리고 화학반응속도에 미치는 온도의 영향에 대한 실험 방법으로 실험이 아닌 자료 해석을 제시하고 있는 B, C, H, I 과학 교과서들을 제외하면, 6종의 과학 교과서 중에서 3종의 과학 교과서에 양금 생성 반응이 제시되어 있으며, 기체 생성 반응은 2종의 과학 교과서에, 거품 생성 반응은 1종의 과학 교과서에 제시되어 있다.

10종의 고등학교 과학 교과서에 화학반응속도에 미치는 농도의 영향에 대한 실험으로 양금 생성 반응이 가장 많이 제시되어 있다. 그러므로 양금 생성 반응에 대해 B, G, H, J 과학 교과서별로 반응 용액의 농도와 양, 반응 용기, 반응 용액 혼합 방법, 실험 결과 관찰 방법에 따라 분석하여 Table 3에 나타내었다.

Table 3을 살펴보면, B, G, H, J 과학 교과서에서 다양한 반응 용액의 농도와 양을 사용하고 있다. 과학 교과서 B에서는 5% 티오황산나트륨 용액을 1/2, 1/3, 1/4, 1/5 농도로 어떻게 만드는지 토의하여 만들어 사용하도록 제시하고, 네 가지 농도 즉 1%, 1.25%, 1.67%, 2.5%의 티오황산나트륨 용액을 각각 50 mL씩 사용하도록 하고 있다. 그리고 염산 용액은 묽은 염산을 10 mL씩 사용하도록 제시하면서, 진한 염산과 물을 1:6의 부피비로 섞어서 묽은 염산을 만들어 사용하도록 하고 있다. 시판되는 35% 염산의 몰농도가 대략 11.3 M이므로 실험에 사용하는 염산의 농도는 약 1.61 M이다. 또한, 학생들이 토의하여 구체적인 실험 과정에 대한 실험 설계를 하도록 안내하고, 믿을 만한 실험 결과를 얻으려면 어떻게 해야 하는지 토의해 보라고 하여, 실험 결과의 신뢰성을 강조하고 있다.

과학 교과서 G와 J에서는 한 가지 농도의 티오황산나트륨 용액 10 mL, 20 mL, 30 mL에 염산 용액을 각각 10 mL씩 사용하도록 제시하고 있다. 그리고 과학 교과서 H에서는 세 가지 농도 즉 3%, 6%, 9%의 티오황산나트륨 용액은 50 mL씩 사용하고, 염산 용액은 5 mL씩 사용하도록 제시하고 있다.

반응 용기로는 B, G, H, J 과학 교과서 모두 바닥이 넓은 삼각 플라스크를 제시하고 있다. 그리고 반응 용액의 혼합 방법에 대해서는 섞는다, 흔든다, 가한다 등으로 제시되어 있는데, 유리막대로 저어준다, 몇 회 또는 몇 초 간 흔들어 준다 등의 구체적인 혼합 방법은 제시하고 있지 않다. 특히 반응 생성물인 황 양금이 생성되어 X자가 보이지 않을 때까지 관찰하는 방법을 제시하고 있지 않아, 실험자가 실험 결과를 수집하는 과정에서 혼동을 일으킬 수가 있다.

고등학교 과학 교과서 10종에 제시되어 있는 화학

Table 3. An analysis of confirming precipitate formation in the experimental method for measuring the effect of concentration on chemical reaction rates

Textbook	B	G	H	J
Concentration of Na ₂ S ₂ O ₃ solution	1%, 1.25%, 1.67%, 2.5%	0.16 M	3%, 6%, 9%	10%
Concentration of HCl solution	Dilute	1 M	Dilute	2%
Quantity of Na ₂ S ₂ O ₃ solution	200 mL	60 mL	150 mL	60 mL
Quantity of HCl solution	40 mL	30 mL	15 mL	30 mL
Reaction vessel	Erlenmeyer flask	Erlenmeyer flask	Erlenmeyer flask	Erlenmeyer flask
Method of mixing	Mixing	Shake well	Adding	Shaking
Method of observation	×	×	×	×

×: not presented.

반응속도에 미치는 온도의 영향에 대한 실험 방법 중에서 실험이 아닌 자료 해석을 제시하고 있는 B, C, H, I 과학 교과서들을 제외하면, 양금 생성 반응이 가장 많이 제시되어 있다. 양금 생성 반응이 제시되어 있는 A, E, J 과학 교과서별로 반응 용액의 농도와 양, 반응 용기, 반응 용액의 혼합 방법, 실험 결과 관찰 방법, 물증탕 방법에 따라 분석하여 Table 4에 나타내었다.

Table 4를 살펴보면, A, E, J 과학 교과서에서 다양한 반응 용액의 농도와 양을 사용하고 있으며, 반응 용기는 주로 삼각 플라스크를 사용하고 있다. 과학 교과서 A에서는 티오황산나트륨 용액과 황산 용액을 반응시키는데, 황산 용액의 농도를 정확하게 제시하지 않고, 묽은 황산을 15 mL 사용하도록 제시하고 있다. 그리고 과학 교과서 E에서는 1% 티오황산나트륨 용액 60 mL와 1% 염산 용액 60 mL를 사용하도록 제시하고 있으며, 과학 교과서 J에서는 10% 티오황산나트륨 용액 30 mL와 1% 염산 용액 30 mL를 사용하도록 제시하고 있다.

한편, 반응 용액의 혼합 방법에 대해서는 혼든다, 두 용액을 섞는다 등으로만 제시하고 있어, 고등학생들이 일관성 있게 실험을 수행하는데 혼동을 줄 수 있다. 또한, A와 J 과학 교과서에서는 반응 생성물인 황 양금이 생성되어 X자가 보이지 않을 때까지 관찰하는 방법과 물증탕 방법에 대하여 구체적으로 제시하고 있지 않다.

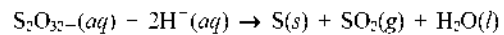
화학반응속도 측정 실험 문제점 분석과 SSC를 적용한 실험 개발

고등학교 과학 교과서 10종에 제시된 화학반응속도에 미치는 농도와 온도의 영향에 대한 실험 방법으로 가장 많이 제시된 양금 생성 반응을, 실험 방법이 보

다 구체적으로 제시된 과학 교과서의 실험 방법에 따라 실험을 수행한 후 문제점들을 분석한 다음, SSC를 적용한 실험을 개발하였다.

농도의 영향에 대한 양금 생성 반응의 문제점 분석. 고등학교 과학 교과서에 제시된 화학반응속도에 미치는 농도의 영향에 대한 양금 생성 반응을 구체적으로 알아보기 위해, 티오황산나트륨 용액의 몰농도가 제시되어 있는 G 과학 교과서의 실험 방법에 따라 실험을 수행하였다. G 과학 교과서의 실험 방법으로 3개의 삼각 플라스크에 0.16 M 티오황산나트륨(Na₂S₂O₃) 용액을 10 mL, 20 mL, 30 mL씩 넣고, 각각에 증류수 30 mL, 20 mL, 10 mL씩 넣은 후, 1 M의 염산(HCl) 용액 10 mL와 반응시킨다. 각각의 경우 티오황산나트륨의 농도는 0.04 M, 0.08 M, 0.12 M이다.

이 반응에서 티오황산이온이 산과 반응해서 티오황산이 생성되는데, 이것은 불안정하여 대부분 분해되어 황(S) 양금과 이산화황(SO₂) 기체가 생성된다.²⁶



티오황산나트륨 용액과 염산 용액과의 반응에서 반응 생성물로 생성된 황 양금에 의해 삼각 플라스크 밑의 흰색 종이에 표시해 둔 X자가 보이지 않는 데 걸리는 시간을 초 단위로 측정하였다. 측정된 시간의 역수 값으로 티오황산나트륨 용액의 농도에 따른 상대적인 반응속도를 계산하였으며, 티오황산나트륨 용액 각각의 농도에서 반응속도를 3회 측정하여 평균값과 오차범위를 Fig. 1에 나타내었다.

Fig. 1을 살펴보면, 티오황산나트륨 용액의 농도가 각각 0.04 M, 0.08 M, 0.12 M일 때 반응속도 평균값이 0.0087, 0.0202, 0.0274이고, 표준편차는 0.0005, 0.0032, 0.0027로 나타났다. 티오황산나트륨의 농도가

Table 4. An analysis of confirming precipitate formation in the experimental method for measuring the effect of temperature on chemical reaction rates

Textbook	A	E	J
Concentration of Na ₂ S ₂ O ₃ solution	20%	1%	10%
Concentration of acid solution	Dilute H ₂ SO ₄	1% HCl	2% HCl
Quantity of Na ₂ S ₂ O ₃ solution	150 mL	60 mL	30 mL
Quantity of acid	15 mL	60 mL	30 mL
Reaction vessel	Beaker	Erlenmeyer flask	Erlenmeyer flask
Method of mixing	Mixing	Adding	Mixing
Method of observation	×	○	×
Water bath	×	○	×

○: presented, ×: not presented.

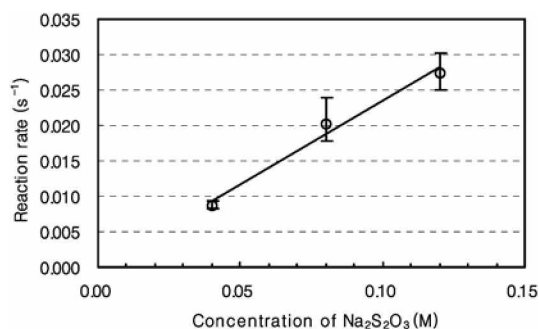


Fig. 1. The reaction rate on concentration of Na₂S₂O₃ solution measured by science textbook experiment of precipitate formation.

0.04 M일 때 보다 0.08 M, 0.12 M일 때 표준편차와 오차범위가 크게 나타났다. 또한, 이 반응에서 일정한 양의 0.2 M 염산과 반응시켰으므로, 반응속도는 티오황산나트륨의 농도에 비례한다고 볼 수 있다. 티오황산나트륨의 농도가 2배, 3배로 증가할 때 반응속도는 2.3배, 3.1배로 증가하는 것으로 보아 티오황산나트륨의 농도에 대해 1차 반응으로 가정할 수 있고, 선형 회귀 분석결과 R^2 값이 0.9832로 나타났다. 따라서 표준편차와 오차범위를 줄이기 위해 G 과학 교과서에 제시되어 있는 실험 방법에 따라 실험을 수행하는 과정에서 발생할 수 있는 문제점들을 분석하였다.

화학반응속도 측정 실험에서 반응물들의 혼합 방법에 대한 구체적인 언급이 없을 때는 실험자마다 다른 순서로 반응물들을 혼합할 수가 있다. 그리고 G 과학 교과서에 티오황산나트륨과 증류수를 먼저 혼합한 후 염산을 넣고 잘 흔들어 섞어주라고 제시되어 있지만, 실험자가 흔드는 횟수와 혼합 후 시간 측정 시작까지 시간을 동일하게 통제하기가 어려웠으며, X자가 보이지 않는 데 걸리는 시간 측정에만 모두 60초 약 10.1분이 소요되었다.

또한, 반응 생성물인 황 앙금에 의해 X자가 보이지 않는 시점을 삼각 플라스크 입구 위에서 관찰해야 하는데, 눈의 관찰 높이나 위치에 따라 관찰 결과가 달라지며, X자가 보이지 않는 시점이 순간적인 것이 아니라 서서히 희미해지면서 안보이다가 다시 보이면서 사라지는 등으로 인하여 반응 생성물인 황 앙금이 생성되어 X자가 보이지 않는 시점을 시각적으로 알아내기가 어려웠다.

과학 교과서에 제시된 실험의 실험실 안전상의 문제점으로는 티오황산나트륨(Na₂S₂O₃)과 염산(HCl)의

반응에서 반응 생성물인 노란색의 황(S) 앙금과 함께 이산화황(SO₂) 기체가 부산물로 발생하는 것이다. 이산화황 기체는 무색으로 자극적인 냄새가 나고 인체에 유독하여 많은 양에 노출되었을 때는 점막이 자극되어 목과 가슴이 아프고 호흡이 곤란해질 수 있으며, 기관지염이나 폐렴을 일으킬 수 있다. 그리고 이산화황 기체가 산성비의 원인이 되는 대기 오염 물질이므로 대기 중으로 이산화황 기체를 배출하지 않도록 노력을 해야 한다.

과학 교과서 G에 제시되어 있는 실험 방법에 따라 실험을 3회 수행한 결과(Fig. 1), 반응 생성물인 황 앙금을 1회 실험 때는 0.333 g, 2회 실험 때는 0.298 g, 3회 실험 때는 0.294 g을 얻어, 평균적으로 0.308 g (0.00961 mole)을 얻었으므로, 매 실험 때마다 이산화황 기체도 평균적으로 0.00961 mole 즉 0.616 g이 발생할 것이다. 그러므로 실험 과정에서 학생들이 이산화황 기체를 직접적으로 흡입하는 안전상의 문제가 발생할 수 있으므로 주의가 필요하다.

농도의 영향에 대한 앙금 생성 반응에 SSC를 적용한 실험 개발. 화학반응속도에 미치는 농도의 영향에 대한 과학 교과서 G에 제시되어 있는 앙금 생성 반응 실험에서의 문제점들인 반응 용액들의 혼합 방법에 대한 번거로움, 실험 결과 수집의 시간 지연, 유독한 이산화황 기체의 발생, X자가 보이지 않는 시점에 대한 관찰 방법의 애매모호함 등을 해결하기 위하여, Fig. 2에서와 같은 SSC 실험 기구인 96-흡판과 스템 피펫, 그리고 A₁용지를 반응판(원쪽 그림)으로 사용하는 SSC를 적용한 실험을 개발하였다. 그리고 티오황산나트륨 용액은 0.1-0.5 M 범위의 농도로 이 반응을 진행시킬 수 있는데, 이 실험에서는 0.2 M의 용액을 제조하여 사용하였다.²⁶

SSC를 적용한 실험으로 개발된 농도의 영향에 대한 앙금 생성 반응을 이용하여 화학반응속도 측정 실험을 3회 연속해서 수행하기 위하여, Fig. 2에서 보는 바와 같이 반응판의 가로줄에는 실험 횟수를, 세로줄에는 티오황산나트륨 용액과 증류수의 방울수를 적고, 대응되는 각각의 칸에는 X자를 표시한다. 그러므로 반응 용액의 상대적인 농도와 실험 과정이 반응판에 일목요연하게 정리되어, 실험자가 반응판에서 실험순서를 혼동하지 않고 집중하여 수행할 수 있어 실험 절차상의 번거로움은 없었다.

SSC를 적용한 실험에서 농도의 영향에 대한 화학

화학반응속도에 미치는 농도의 영향 (반응판)
(티오황산나트륨 + 염산 반응)

횟수	1회	2회	3회
방울수 (증류수)			
2(4)	X	X	X
4(2)	X	X	X
6(0)	X	X	X



Fig. 2. An developing experiment applying SSC experiment apparatus of precipitate formation for measuring the effect of concentration on chemical reaction rate.

반응속도 측정 실험을 3회 연속해서 수행할 때는, 96-홈판 중 1회의 실험에 해당하는 3개의 홈에 스템 피펫으로 0.2 M 티오황산나트륨 용액을 2방울, 4방울, 6방울씩 차례대로 넣은 다음, 이어서 증류수를 4방울, 2방울, 0방울씩 넣는다. 첫 번째 홈에 1 M 염산 용액을 1방울 떨어뜨리고 X자가 보이지 않는 데 걸리는 시간을 초 단위로 측정하였다. 동일한 방식으로 두 번째 홈과 세 번째 홈에서도 X자가 보이지 않는 데 걸리는 시간을 초 단위로 측정하였다. 같은 실험 조건과 실험 방법으로 2회와 3회의 실험도 연속적으로 수행하였다. SSC를 적용한 실험에서 96-홈판의 3개 홈이 G 과학 교과서에 제시된 양금 생성 반응에서의 반응 용기인 삼각 플라스크 3개에 해당되는 것이다.

농도의 영향에 대한 양금 생성 반응에 SSC를 적용한 실험에서는 X자가 보이지 않는 데 걸리는 시간 측정에 모두 335초 약 7.3분이 소요되었는데, 이것은 G 과학 교과서에 제시되어 있는 실험 방법에 따라 실험을 수행할 때보다 약 3분이 줄어든 것이다.

농도의 영향에 대한 양금 생성 반응에 SSC를 적용한 실험으로 티오황산나트륨 용액을 2방울, 4방울, 6방울씩 넣었을 때 각각의 농도에서 반응속도를 3회 측정하여 평균값과 오차범위를 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3을 살펴보면, 티오황산나트륨 용액의 농도가 각각 2방울, 4방울, 6방울로 농도가 증가할수록 반응속도 평균값이 0.0120, 0.0266, 0.0424로 증가하였고, 표준편차는 0.0005, 0.0014, 0.0028로 나타났다. 이 반응의 반응속도가 티오황산나트륨의 농도에 비례하므로 선형회귀 분석결과 R^2 값이 0.9995로 나타나, G 과학 교과서의 실험방법으로 얻은 R^2 값 0.9832보다

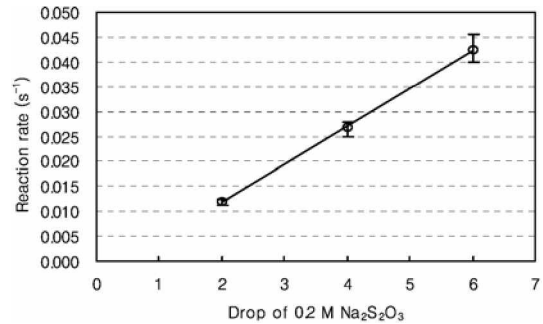


Fig. 3. The reaction rate on concentration of Na₂S₂O₃ solution measured by developing SSC experiment of precipitate formation.

0.0163 더 크고 표준편차와 오차범위는 더 작게 나왔다. 반응속도가 티오황산나트륨 농도에 대해 1차 반응으로 1차 함수의 직선 형태로 재현성 있게 측정된 것임을 알 수 있다.

과학 교과서 G에 제시되어 있는 양금 생성 반응의 실험실 안전 문제인 이산화황 기체의 발생량을 줄이기 위한 SSC를 적용한 실험을 3회 수행한 결과(Fig. 3), 반응 생성물인 황 양금을 1회 실험 때는 0.043 g, 2회 실험 때는 0.040 g, 3회 실험 때는 0.045 g을 얻어, 평균적으로 0.043 g (0.00134 mole)를 얻어서, 과학 교과서 G에 제시된 실험(Fig. 1)에서의 황 양금 평균 생성량인 0.308 g에 비해 생성량이 약 1/7로 감소하였다. 이것은 반응 부산물로 생성되는 인체에 유해한 이산화황 기체의 발생량도 약 1/7로 감소함을 의미하는 것이다.

과학 교과서 G에 제시된 실험 방법에 따라 실험을

수행하는 동안에 반응 부산물로 생성되는 이산화황 기체를 흡입할 수밖에 없었으나, SSC를 적용한 실험에서는 SSC 반응 용기인 96-홈판에 투명한 덮개가 있어서 덮개를 덮은 상태에서 반응 생성물인 황 앙금에 의해 X자가 보이지 않는 것을 관찰할 수 있어, 실험을 수행하는 동안에 반응 부산물로 생성되는 이산화황 기체의 직접적인 흡입은 어느 정도 막을 수 있었다.

과학 교과서 G에 제시된 앙금 생성 반응의 경우, X자가 반응 생성물인 황 앙금에 의해 서서히 희미해지면서 안보이다가 다시 보이면서 사라지는 등으로 X자가 보이지 않는 시점에 대한 기준이 애매모호하였다. 그러나 SSC를 적용한 실험의 경우에는 반응 생성물인 황 앙금에 의해 X자가 시각적으로 뚜렷하게 보이지 않음으로써, 반응 생성물인 황 앙금의 생성 시점을 분명하게 알 수 있었다. 농도의 영향에 대한 앙금 생성 반응에 SSC를 적용한 실험에서 X자가 반응 생성물인 황 앙금에 의하여 시각적으로 뚜렷하게 보이지 않을 수 있었던 것은, 생성된 황 앙금의 농도에 따른 투광도에 기인한다고 할 수 있다.

96-홈판의 홈에서 반응시킨 반응 용액의 총량은 약 0.5 mL이었고, 반응 용액의 높이는 0.5 cm 정도였다. 그러나 G 과학 교과서에 제시되어 있는 실험 방법에 따른 실험에서는, 250 mL 삼각 플라스크에서 반응시킨 반응 용액의 총량은 50 mL이었고, 반응 용액의 높이는 1 cm 정도였다. 그러므로 SSC를 적용한 실험에서 생성될 수 있는 황 앙금의 농도는 2.7 M (0.00134 mol/0.005 L)로, 과학 교과서 G에 제시되어 있는 실험에서 생성될 수 있는 황 앙금의 농도 0.20 M (9.61 mol/0.050 L)보다 약 14배 증가한 것이다. 그러나 반응 용액의 높이가 1/2 정도이므로, 투광도는 약 7배 감소할 것이다. 따라서 SSC를 적용한 실험은 과학 교과서 G에 제시되어 있는 실험에 비해서 X자가 보이지 않는 시점을 시각적으로 더 뚜렷하게 찾을 수 있었다고 생각된다.

온도의 영향에 대한 앙금 생성 반응의 문제점 분석. 고등학교 과학 교과서에 제시된 화학반응속도에 미치는 온도의 영향에 대한 실험 방법 중 앙금 생성 반응을 구체적으로 알아보기 위해, 반응 생성물의 관찰 방법과 반응 용액의 증탕 방법에 대해서 비교적 명확하게 제시하고 있는 E 과학 교과서의 실험 방법에 따라 실험을 수행하였다. E 과학 교과서의 실험 방법으로 삼각 플라스크에 1% 티오황산나트륨 용액 20 mL

와 1% 염산 용액 20 mL를 얼음물(10 °C), 실온물(25 °C), 더운물(40 °C) 증탕에서 각각 반응시켜, 반응 생성물인 황 앙금에 의해 X자가 보이지 않는 데 걸리는 시간을 초 단위로 측정하였다.

이 반응의 반응속도는 $rate = k[S_2O_3^{2-}]$ 으로 나타낼 수 있고, 여기서 반응속도 상수(k)는 측정된 시간의 역수 값($1/t$)에 비례하므로, 시간의 역수 값을 각 온도에서의 k 로 가정할 수 있다. 상온 근처에서 반응 온도 10 °C 이상 증가에 따른 화학반응속도의 증가가 아레니우스 식에 의해 지수 함수 형태로 나타나는데,²⁵ 이 아레니우스 식에 자연로그를 취하면 $1/T$ 에 대해 $\ln k$ 값이 직선으로 나타난다. 따라서 각각의 온도에서 반응속도를 3회 측정하여 반응 온도의 역수 값($1/T$)에 따라 $\ln k$ 의 평균값과 오차범위를 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 4를 살펴보면, $1/T$ 에 대해 $\ln k$ 값이 직선에 가깝게 나타났는데, 각각의 $1/T$ 값 $3.2 \times 10^{-3} K^{-1}$, $3.4 \times 10^{-3} K^{-1}$, $3.5 \times 10^{-3} K^{-1}$ 에서 $\ln k$ 의 평균값이 -4.3958, -4.6834, -5.0266이고, 표준편차는 0.1426, 0.1554, 0.1070이며, 오차범위는 0.28, 0.30, 0.20이다. 선형회귀 분석결과 R^2 값이 0.9431로 나타났다. 따라서 E 과학 교과서에 제시되어 있는 실험 방법에 따라 실험을 수행하는 과정에서 발생할 수 있는 문제점들을 분석하였다.

과학 교과서 E에 제시된 실험 방법에 따라 화학반응속도에 미치는 온도의 영향에 대한 앙금 생성 반응 실험을 수행하는 과정에서, 과학 교과서 G에 제시된 농도의 영향에 대한 앙금 생성 반응 실험에서 나타났던 문제점들과 같은 문제점들이 나타났다. 즉, 반응 용액들의 혼합 방법에 대한 번거로움, 실험 결과 수집의 시간 지연, 독특한 이산화황 기체의 발생 등의 문제점들이 나타났다.

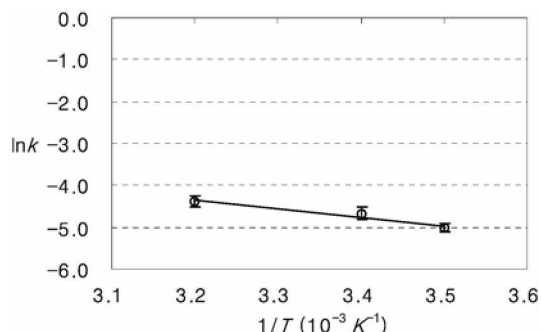


Fig. 4. The Arrhenius plot of $\ln k$ against $1/T$ for the precipitate formation measured by science textbook experiment.

특히, 물중탕 비커에서 반응 용기인 삼각 플라스크가 부력에 의하여 떠 있으므로, 삼각 플라스크 내에 있는 반응 용액의 온도 유지에 어려움이 있었고, 또한 물중탕 비커에 떠 있는 삼각 플라스크를 통해서 물중탕 비커 밑에 있는 X자가 사라지는 것을 일관성 있게 관찰하기가 어려웠다. 즉, 삼각 플라스크 내에 있는 반응 용액을 물중탕 비커에서 지속적으로 흔들어 주어야 반응 온도를 일정하게 유지시킬 수 있는데, 반응 용액이 흔들거리는 상태에서 물중탕 비커 밑에 있는 X자가 보이지 않는 시점을 시각적으로 뚜렷하게 구별하기가 어려웠다.

온도의 영향에 대한 양금 생성 반응에 SSC를 적용한 실험 개발. 화학반응속도에 미치는 온도의 영향에 대한 과학 교과서 E에 제시된 양금 생성 반응 실험에서의 문제점들인 반응 용액들의 혼합 방법에 대한 번거로움, 실험 결과 수집의 시간 지연, 유독한 이산화황 기체의 발생, X자가 보이지 않는 시점의 애매모호함, 물중탕 비커에서 삼각 플라스크 내에 있는 반응 용액의 반응 온도 유지 등의 문제점들을 해결하기 위하여, Fig. 5에서와 같은 SSC 실험 기구인 24홈판과 스템 피켓, 그리고 A₁ 용지를 반응판(왼쪽 그림)으로 사용하여 SSC를 적용한 실험을 개발하였다.

SSC를 적용한 실험으로 개발된 온도의 영향에 대한 양금 생성 반응을 이용하여 화학반응속도 측정 실험을 3회 연속해서 수행하기 위하여, Fig. 5에서 보는 바와 같이 반응판의 가로줄에는 반응 온도를 즉 얼음물(10°C), 실온물(25°C), 더운물(40°C)을 적고, 세로 줄에는 0.5 M 티오황산나트륨 수용액의 방울수를 적은 후에 대응되는 각각의 칸에 X자를 표시한다. 그러므로 반응 용액의 반응 온도와 실험 과정이 반응판에

일목요연하게 정리되어, 실험자가 반응판을 보고 실험을 집중하여 수행할 수 있어 실험 절차상의 번거로움은 없어졌다. 그리고 과학 교과서 E에 제시된 1% 티오황산나트륨 용액보다 진한 0.5 M 티오황산나트륨 용액을 제조하여 사용하였고, 또한 염산 용액도 과학 교과서 E에 제시된 1% 염산 용액 대신에 농도의 영향에 대한 양금 생성 반응에 SSC를 적용한 실험에서 사용한 1 M 염산 용액을 제조하여 사용하였다.

Fig. 5에서와 같이 반응판 위에 24홈판을 올려놓고 물중탕 비커 대용인 홈 주변의 4개 모서리의 빈 공간에, 홈과 쉽게 구분할 수 있도록 하며 또한 시각적으로 X자가 보이지 않게 되는 시점을 분명하게 확인할 수 있도록 하기 위해서 푸른색 잉크를 소량 넣은 얼음물(10°C)을 채워 넣는다. 홈 주변의 4개 모서리의 빈 공간에 채워진 얼음물이 홈의 맨 아래 부분까지 다다르지는 않지만 홈 내부의 온도 측정 결과, 50초 동안에 홈의 온도가 10~11°C에서 유지됨을 0.2°C 단위로 눈금이 새겨진 수은 온도계로 확인할 수 있었다. 그러므로 SSC를 적용한 실험에서는 과학 교과서 E에 제시된 실험에서와 같이 반응 용액의 반응 온도를 일정하게 유지시키기 위하여 삼각 플라스크를 물속에 넣어 잡고 있거나 스탠드로 고정시키는 불편함과 삼각 플라스크 내에 있는 반응 용액을 물중탕 비커에서 지속적으로 흔들어 주어야 하는 번거로움은 없어진다.

SSC를 적용한 실험에서는 홈 안에 스템 피켓으로 0.5 M 티오황산나트륨 용액을 8방울 넣은 후 티오황산나트륨 용액의 온도가 홈 모서리의 얼음물에 의하여 일정하게 되도록 10초 정도가 지난 후에 스템 피켓을 사용하여 1 M 염산 용액을 1방울 떨어뜨리고, 반응 생성물인 황 양금에 의해 X자가 보이지 않는 데



Fig. 5. An developing experiment applying SSC experiment apparatus of precipitate formation for measuring the effect of temperature on chemical reaction rate.

걸리는 시간을 초 단위로 측정하였다.

과학 교과서 E에 제시된 실험 방법에 따라 실험을 수행한 경우에 얼음물(10°C), 실온물(25°C), 더운물(40°C) 온도에서 반응시간이 평균적으로 각각 153초, 109초, 82초 정도였으며, 매회의 실험시간으로 6분 정도가 소요되었으나 실험 기구 조작 시간을 포함하면, 전체 실험시간으로 30분 정도가 걸렸다. 그러나 SSC를 적용한 실험에서는 얼음물(10°C), 실온물(25°C), 더운물(40°C) 온도에서 반응시간이 평균적으로 각각 47초, 38초, 19초 정도였고, 매회의 실험시간이 2분 정도 소요되어, 실험 기구 조작 시간을 포함하더라도 전체 실험 시간은 15분 정도였다. 그러므로 과학 교과서 E에 제시된 실험에 비해서 실험시간이 15분 정도 줄어들었다.

Fig. 5에 SSC를 적용한 실험의 얼음물(10°C) 온도에서 0.5 M 티오황산나트륨 용액에 1 M 염산 용액 1 방울을 떨어뜨린 직후의 모습(가운데 그림)과 반응 생성물인 황 앙금에 의해 X자가 보이지 않는 모습(오른쪽 그림)을 나타내었다.

Fig. 5의 얼음물(10°C) 온도에서와 같은 실험 방법으로 실온물(25°C)과 더운물(40°C)에서도 반응 생성물인 황 앙금에 의해 자가 보이지 않는 데 걸리는 시간을 측정해서 반응 용액의 온도에 따른 반응속도를 계산하였다. 각각의 온도에서 반응속도를 3회 측정하여 반응 온도의 역수 값($1/T$)에 대한 $\ln k$ 의 평균값과 오차범위를 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 6을 살펴보면, $1/T$ 에 대해 $\ln k$ 값이 직선에 가깝게 나타났는데, 각각의 $1/T$ 값 $3.2 \times 10^{-3} K^{-1}$, $3.4 \times 10^{-3} K^{-1}$, $3.5 \times 10^{-3} K^{-1}$ 에서 $\ln k$ 의 평균값이 -3.8344, -3.6456, -2.9434이고, 표준편차는 0.0840, 0.0557, 0.0531이며, 오차범위는 0.15, 0.11, 0.11이다. 선형회귀 분석결과

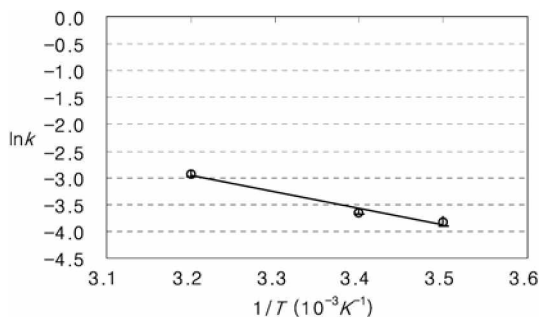


Fig. 6. The Arrhenius plot of $\ln k$ against $1/T$ for the precipitate formation measured by experiment developing SSC.

R^2 값이 0.9829로 G 과학 교과서의 실험방법으로 얻은 R^2 값 0.9431보다 0.0398 더 크고, 표준편차와 오차범위도 작게 나왔다. 따라서 반응 온도 증가에 따른 화학반응속도의 증가가 지수 함수 형태²⁶로 재현성 있게 측정된 것임을 알 수 있다.

온도의 영향에 대한 앙금 생성 반응에 SSC를 적용하여 개발한 실험에서는 24-흡판의 특징을 이용하여 흡을 둘러싼 4개 모서리의 빈 공간에 원하는 반응 온도의 물 즉 얼음물(10°C), 실온물(25°C), 더운물(40°C)로 채워 반응 용액의 반응 온도를 일정하게 유지해주는 물중탕의 역할을 하도록 하였으며, 24-흡판의 흡 하나가 반응 용기의 역할을 하도록 하였다. 즉, 과학 교과서 E에 제시된 실험과 비교하면, 24-흡판에서 하나의 흡을 둘러싼 4개 모서리의 빈 공간이 물중탕 비커에 해당되고, 하나의 흡이 반응 용기인 삼각 플라스크에 해당되는 것이다. 따라서 SSC를 적용한 실험에서는 반응 용기에 반응 용액의 반응 온도를 반응 시간 범위 내에서 어느 정도 일정하게 유지해주는 항온 장치가 붙어 있는 형태이므로, 반응 용액들의 혼합 방법이 간단하였고, 또한 얼음물(10°C) 온도에서도 반응이 50초 내에 끝나므로 반응 용액의 반응 온도를 쉽게 유지할 수 있었다.

특히, SSC를 적용한 실험에서 24-흡판의 흡을 반응 용기로, 흡판의 4개 모서리의 빈 공간을 항온 장치로 이용함으로써, 실험 기구가 간단하여 실험 조작이 매우 간편하였다. 또한, 모든 실험을 24-흡판의 흡에서 간편하고 편리하게 수행할 수 있어서, 재현성이 있는 실험 결과들을 얻은 것으로 생각된다.

한편, 과학 교과서 E에 제시된 실험 방법에 따른 실험에서는 실험 기구로 비커, 삼각 플라스크, 메스플라스크, 피펫이 필요하였지만, SSC를 적용한 실험에서는 24-흡판과 스템 피펫만 있으면 실험을 수행할 수 있었다. 그러므로 실험 준비가 번거롭고 실험 후에 실험 기구의 정리에 많은 시간이 걸림으로 인하여 실험을 기피하는 교육 현장의 실정을 감안할 때,²⁷ SSC를 적용한 실험은 교육 현장에서 화학 탐구 실험의 활성화를 위한 좋은 방안이 될 수 있을 것이다.

결론 및 제언

이 연구에서는 제7차 교육과정에 의해 고등학교 10종 과학 교과서에 제시된 화학반응속도에 미치는 능

도와 온도의 영향에 대한 실험 방법을 반응 생성물 확인 방법에 따라 분류하고, 과학 교과서에 가장 많이 제시되어 있는 양금 생성 반응을 이용한 화학반응속도 측정 실험을 교과서 실험 방법에 따라 실험을 수행하게 하였다. 그리고 실험 과정에서 나타나는 문제점들을 분석해서 양금 생성 반응을 이용한 화학반응속도 측정 실험에 SSC를 적용한 실험을 개발하였다. 연구 결과로부터 얻은 결론과 제언은 다음과 같다.

고등학교 10종 과학 교과서에 화학반응속도에 미치는 농도와 온도의 영향에 대한 실험 방법으로 양금 생성 반응이 가장 많이 제시되어 있었다, 그리고 과학 교과서 G와 E에 제시된 양금 생성 반응을 이용한 화학반응속도 측정 실험들을 수행하여 본 결과, 반응 용액들의 혼합 방법에 대한 번거로움, X자가 보이지 않는 시점의 애매모호함, 실험 결과 수집의 시간 지연, 유독한 이산화황 기체의 발생, 물중탕 장치 조작의 불편함으로 인해 반응 용액의 반응 온도 유지의 어려움 등의 문제점들이 있었으며, 또한 실험 결과들의 재현성이 부족하였다.

과학 교과서 G와 E에 제시된 양금 생성 반응을 이용한 화학반응속도 측정 실험에서의 문제점들은 양금 생성 반응에 SSC를 적용하여 개발한 화학반응속도 측정 실험으로 해결할 수 있었으며, SSC를 적용하여 개발한 실험으로 화학반응속도에 미치는 농도와 온도의 영향을 간편하고 편리하게, 어느 정도 안전하고 재현성 있게 측정할 수 있었다.

SSC를 적용하여 개발한 실험은 유독한 이산화황 기체의 발생량을 1/7 정도로 줄일 수 있었으나, 이산화황 기체의 간접적 흡입을 완전히 막기에는 한계가 있었다. 또한, SSC를 적용한 실험으로 과학 교과서에 제시된 양금 생성 반응 실험에서의 반응 생성물인 황 양금에 의해 X자가 보이지 않는 시점의 애매모호함도 7배 정도의 투광도 감소로 인해서, 시각적으로 뚜렷하게 관찰할 수 있어 해결될 수 있었다. 그리고 반응 용액의 반응 온도를 유지하기 위한 물중탕의 방법도 24-흡판의 특징을 이용하여 흡을 둘러싼 4개 모서리의 빈 공간에 물을 넣어 물중탕 비커 대용으로 사용함으로써, 반응시간 동안 반응 용액의 반응 온도를 용이하게 유지할 수 있었다.

SSC를 적용한 실험에서는 반응판에서 실험 결과를 관찰하고 측정하므로 실험에 대한 집중이 잘 되고, 실험 과정이 반응판에 일목요연하게 정리되어 있어 실험

방법이 혼동되지 않았다. 그리고 실험 준비와 실험의 뒷정리를 빠르고 편리하게 할 수 있고, 혼자서도 실험을 수행할 수 있었다. 그런데 이러한 간편성이 실험 수행 능력과 실험 기구 조작 능력 및 실험의 성취감을 감소시킬 우려가 예상되는 것이 SSC를 적용한 실험의 한계점일수 있다고 생각할 수 있다.

그러나 화학반응속도에 미치는 농도와 온도의 영향에 대한 양금 생성 반응에 SSC를 적용하여 개발한 실험을 고등학교 과학 탐구 실험에 활용한다면, 고등학교 수업시간 50분 중에 30분 동안 화학반응속도에 미치는 농도와 온도의 영향에 대한 두 가지 실험들을 완료할 수가 있다. 그러므로 나머지 20분 동안 실험 결과들을 해석하고 토의할 수 있는 시간을 확보할 수 있어, 고등학생들이 화학반응속도에 미치는 농도와 온도의 영향에 대한 과학적인 개념을 형성하는데 도움을 줄 것으로 기대된다.

이 논문은 한국교원대학교 2008학년도 KNUE 학술연구비 지원을 받아 수행된 것입니다.

인용 문헌

1. Ministry of Education *Science Curriculum*, Daehan Textbook Publishing: Seoul, Korea, 2001. p 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.; Kweon, J.-G.; Baik, S.-H.; Park, K.-T. *J. Kor. Chem. Soc.* **2001**, *45*, 481.
4. Bang, J.-A.; Yoon, H.; Choi, W.; 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. Sin, T.-H.; Lee, S.-K.; Choi, B.-S. *J. Kor. Chem. Soc.* **2002**, *46*, 363.
7. Jang, N.-H.; Lee, K.-O.; Lee, J.-S.; Seo, J.-S. *J. Kor. Chem. Soc.* **2003**, *47*, 79.
8. Park, K.-T.; Kim, E.-S.; Park, K.-S.; Kim, M.-H. *J. Kor. Chem. Soc.* **2005**, *49*, 105.
9. Park, K.-T.; Kim, K.-S.; Park, K.-S.; Kim, E.-S.; Kim, D.-J. *J. Kor. Chem. Soc.* **2006**, *50*, 247.
10. Bradley, J. D. *Pure and Applied Chemistry.* **2001**, *73*, 1215.
11. Kim, H.-K. *Chem. Educ. of Kor. Chem. Soc.* **2003**, *30*, 106.
12. Ragsdale R. O.; Vanderhooft, J. C.; Zipp, A. P. *J. Chem.*

- Educ.* **1998**, *75*, 215.
13. Yoo, M.-H.; Yoon, H.; Hong, H.-G. *J. Kor. Chem. Soc.* **2006**, *50*, 256.
 14. Kim, H.-K.; Choi, B.-S. *J. Kor. Chem. Soc.* **2005**, *49*, 208.
 15. 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 156-175.
 16. 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 160-169.
 17. 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; p 180-186.
 18. 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.-J.; Lee, Y.-J. *High School Science*; Daehan Printing & Publishing Co.: Seoul, Korea, 2002; p 162-168.
 19. 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 150-158.
 20. 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 172-180.
 21. 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 140-145.
 22. 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 170-178.
 23. 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 160-167.
 24. 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 142-149.
 25. Frost, A. A.; Pearson, R. G. *Kinetics and Mechanism*; 2nd ed.; John Wiley & Sons, Inc.: New York, U. S. A., 1961; p 8-25.
 26. Tykodi, R. J. *J. Chem. Educ.* **1990**, *67*, 146.
 27. Kim, H.-W. *The choice of experiments in high school chemistry II textbooks*. M. Ed. Thesis, Korea National University of Education. 2001.
-