초등과학에서 미량화학(SSC)을 이용한 황산구리 결정 만들기 의 새로운 방법

한상준 · 김성규*

마산호계초등학교, *진주교육대학교

(2008년 5월 9일 접수; 2008년 8월 8일 수정; 2008년 8월 8일 채택)

New Methods of Producing Copper Sulfate Crystals Using Small-Scale Chemistry(SSC) in Elementary School Science

Sang-Joon Han and Sung-Kyu Kim*

Hogye Elementary School, Masan, Gyeongnam 630-856, Korea

**Department of Science Education, Chinju National University of Education, Jinju, Gyeongnam 660-758, Korea*

(Manuscript received 9 May, 2008; revised 8 August, 2008; accepted 8 August, 2008)

Abstract

This study examined how to produce new methods of copper (II) sulfate crystallization by using a small-scale chemistry tool such as small-scale reaction surface and petri dish. The making of copper(II) sulfate is included in the 5th grade elementary science textbooks. Various copper(II) compounds were reacted with a 2 M sulfuric acid solution. The result of this study is as follows: Seven small amounts of copper(II) compounds were reacted with a few drops of 2 M sulfuric acid solution at room temperature to make a copper(II) sulfate crystal of triclinic shape. Using the petri dish method, a copper(II) sulfate crystal could be identified within one hour of reacting copper(II) hydroxide, copper(II) carbonate, copper(II) nitrate, copper(II) perchlorate, cupric(II) formate from a few drops of 2 M sulfuric acid solution at room temperature. When using the lap top method for copper(II) perchlorate, cupric formate, a proper crystal could be identified within one hour as well. SSC methods were used for the first time to make a copper sulfate crystal via chemical reaction. We can make a copper(II) sulfate crystal using a simple method which is easier, safer and saves time in class. And since a small quantity of chemicals are being used in SSC chemical methods, waste is greatly reduced. This lessens the amount of environmental problems caused by the experiment. This can be helpful in preserving nature. In addition the cost of chemical and laboratory equipment is greatly reduced because it uses material that we find in our daily lives. There will be continued study of small-scale methods such as improvement of new programs, study and training of teachers, and securing SSC tools. I would like to suggest such as SSC methods are applicable in elementary School Science. I would like it to become a wide spread program.

Key Words : Small-scale chemistry(SSC), Copper(II) sulfate, Triclinic shape, Elementary school science

1. 서 론

1.1. 연구의 필요성 및 목적

초등학교 과학교육에서 황산구리 결정 만들기

실험적 의미는 물질을 용해시킨 후 다시 식혀 결정 을 얻어내는 활동을 통하여 물질이 용해되어도 그 성질은 변하지 않음을 알게 하여 물질마다 고유의 결정 형태를 지니고 있음을 지도하는 것이다. 이 단원의 학습내용은 5학년 1학기 선수학습인 용해와 용액을 바탕으로 일정량의 용매가 온도에 따라 용해도가 다름을 이해하고 고체와 액체 사이의 관계를 개념화 하는 것이다. 이는 후속 학습인 용액의 성질의 선행학습 역할을 하므로 중요하다.

이¹⁾가 용액의 진하기 단위 실험방법 개선 연구에 따르면 초등학교 제 3차 과학과 교육과정에 3개의 차시로 제시된 황산구리는 환경오염과 독성 때문에 사라졌다가 제 7차 교육과정 3학년 1학기 물질단원에 가열하면서 물리·화학적 변화를 관찰하도록 제시되어 5학년 아동들에게도 친근한 물질로 인식되어졌으며 결정의 색깔을 가시적으로 볼 수 있다는 장점을 가지고 있다고 하였다. 제 7차 교육과정에서는 5학년 1학기 6. 용액의 진하기 단위에서 황산구리 결정 만들기 내용이 추가 되었고 여러 가지들 이 용한 결정을 만들어 그 모양을 비교해 보도록 구성 하였다. 이는 탐구과정인 실험과 관찰의 개인 활동으로 구성되어 실험주제로 재등장하였다.

손²⁾의 초등학교 과학교과서 변천에 관한 연구에서 제 3차 교육과정에는 5차시로 구성한데 비해서 제 4차 교육과정에는 2차시이다. 그리고 제 5차와 제 6차 교육과정에서는 1차시로 제7차 교육과정에서는 2차시로 구성하였다. 제 3차 교육과정에서는 황산구리를 이용하였고 제 4차 교육과정부터 제 6차 교육과정까지는 결정이 잘 생기는 백반을 이용 하였다. 제 7차 교육과정부터는 소금, 황산구리 그리고 백반 등의 여러 가지 결정을 만들어 그 모양을 비교해 보도록 하였다.

이¹⁾는 초등과학 황산구리결정 만들기 실험에서 지도상의 어려움과 시간단축, 실험조건을 연구하여 교사와 학습자에게 실험개선안을 제시하였다. 교사에게는 설문을 통하여 인식정도를 조사하여 황산구리 결정 만들기에 적합한 황산구리의 용해도를 실험을 통하여 알게 되었다. 이 보고서에서는 사용하는 포화용액, 온도 그리고 냉각 실험방법 등의 이상적인 조건 제시와 시간 단축을 명확하게 해서 학습자가 실험시간에 흥미롭게 탐구활동을 하여 학습목

표를 달성할 수 있다고 제시하였다.

또 황산구리 결정 만들기와 관련하여 유³⁾는 구체적인 실험학습을 통한 다양한 물질의 성질과 수화물의 특성을 갖는 황산구리수화물을 초등학교 4, 6학년을 대상으로 연구하였다. 이는 학년에 따라 물질의 성질에 대한 관점과 응답유형 그리고 표현 방식 등이 다양하였다. 그리고 물리, 화학적 변화에 따른 견해와 구조에 대한 형태 등도 다양하게 제시되었다. 따라서 학습활동을 통하여 실험학습에 활용할 수 있는 자료를 확보함으로써 다양한 실험의 기능과 물질의 성질 탐색 능력이 폭넓게 길러줄 수 있는 방향을 제시하였다.

그리고 미량화학과 관련하여 알려진 대부분의 연구는 소개 된지 얼마 되지 않아 과학교육관련 논문이 대부분이고 내용과 관련한 개선안 및 개발은 전무하다. 윤 등^{4,5)}은 SSC 실험수업의 전통적인 수업 방법과 비교함으로써 과학에 관련된 태도와 과학적 태도 향상과 SSC적용 학습태도 개선 등을 연구하였다. 어 등^{6,7)}은 SSC를 적용한 실험에서 과학 탐구 능력과 과학 학업 성취도 그리고 과학관련 정의적 영역에서 매우 긍정적인 결과와 학생들로 하여금 과학학습에 있어서 흥미를 가져 올 수 있다고 소개하였다.

또한 오⁸⁾는 SSC 적용은 실험이 실험 준비시간 단축과 소요시간 감소로 인한 교사들의 시간적 부담을 해소시켜 줄 수 있다고 언급하였다.

장⁹⁾은 SSC를 활용한 고등학교 화학과 탐구 학습 자료 개발에서 경제적, 환경적 그리고 위험을 최소화하면서 화학실험에 대한 흥미, 만족도와 탐구력, 창의력을 높일 수 있었다고 하였다. 특히 조작이 간편하여 따라 자기주도적인 탐구 활동을 가능케 하였으며 이를 현장에 보급함으로써 학교현장에 화학 실험의 활성화와 수요자 중심의 학생친화적인 탐구 활동을 할 수 있는 계기를 마련하였다고 하였다.

김과 최¹⁰⁾는 과학교사들의 SSC 적용연수 후 SSC에 대한 교사들의 인식을 알아본 결과 간편한 기구를 이용하기 때문에 개인소지가 가능하며 실험과 이론을 병행하는 수업이 가능하고 무엇보다도 학생들의 흥미를 유발하는데 효과적이라고 하였다. 또한 학생들이 개별적으로 다양한 실험을 함으로써 창의력, 탐구력, 문제해결력, 직관력을 향상시킬 수

있다고 언급하였다. 그러나 참고자료와 실험 키트의 구입 그리고 교사의 경험부족과 인식 부족 등의 문제점을 지적했으며 학교현장에 적용하기 위해서는 자료개발 및 실험기구의 제작 보급과 함께 교사 연수가 확대 선결 되어야 함도 제시하였다.

심¹¹⁾은 SSC를 적용한 초등과학수업의 효과 라는 연구에서 SSC의 적용도와 정의적 영역의 변화를 잘 설명해주고 있다. 초등학교 5학년 학생들의 과학탐구 능력과 과학적 태도에 미치는 영향을 알아본 결과 학생들은 개별 실험에 흥미 있어 하여 SSC를 적용한 실험은 학생들의 과학 탐구 능력과 과학적 태도를 향상 시키는데 효과가 있었다. 또한 실험에 대한 인식과 실험기구 및 실험 장치에 대한 인식에서도 긍정적이었다고 보고하고 있다. 그리고 그는 화학교육지를 통해 SSC 소개, 설명과 함께 SSC를 적용한 이산화탄소 발생 및 성질 알아보기 개선안을 발표하였다¹²⁾.

Martin¹³⁾은 위험한 염소가스 제조와 성질 실험을 전통적인 유리기구사용에서 벗어나 페트리 접시를 이용한 소량화학방법으로 보다 쉽고, 간단하게 그리고 값싸고 안전하게 수행하였다.

제 7차 교육과정 초등학교 과학교과서에서는 황산구리를 페트리 접시를 사용하여 두 가지 방법으로 결정을 만든다. 1차시에 포화시켜 절반은 그대로 두고 절반은 따라 내어 자연 증발 또는 오랜 시간 동안 그대로 두어 황산구리 결정을 만들고 나머지 2차시는 결정을 관찰하는 차시로 구성된다^{14~16)}. 이 실험은 많은 양의 시약을 사용함으로써 비용과 안전 그리고 화학폐기물 처리에 많은 부담과 문제점을 가지고 있다. 특히 대단위 학교에서는 화학폐기물처리에 곤란을 겪기도 한다. 며칠간 그대로 두어야하므로 자연 증발로 인한 공기오염은 말할 것 없고 실험결과를 보기까지 오랜 시간이 소요됨으로 교사나 학생이 꺼려하는 실험 중의 하나이다. 김과 허¹⁷⁾가 초등학교과학실험실에서 발생하는 화학폐기물에 대한 실태에서 폐기물을 처리함에 있어서 응답자 교사의 58%가 물에 흘려버린다고 처럼 화학폐기물의 효율적인 관리를 위한 발생, 분류수집, 보관, 처분의 관리 단계 등을 모르는 데에서 오는 문제라고 볼 수 있다. 이 외에도 가열하면 화상, 화재와 같은 여러 문제점이 발생하므로 새로운 실험 방법의

모색이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 한¹⁸⁾이 연구한 화학반응을 통한 황산구리 결정 만들기를 새로운 방법으로 미량화학 또는 소량화학(Small-scale chemistry, SSC)의 실험 방법을 이용 하는 것도 매우 의미 있을 것 같다.

초, 중·고 학생들을 대상으로 SSC를 적용한 연구는 것이 대부분 이론적인 과학탐구능력, 학업성취 및 과학관련 태도 및 과학적 태도에 관한 것이 대부분이고 SSC를 통한 실험개선안의 연구는 거의 없는 상태이다. 따라서 본 연구에서는 SSC 반응 도구를 가지고 SSC 실험방법을 적용한 황산구리 결정 만들기 실험의 개선안을 제시함으로써 비용절감 그리고 시간 절약 더 나아가 화학폐기물 처리와 환경오염을 감소시킬 수 있을 것으로 생각된다.

2.2. 용어의 정의

미량화학(Small-scale chemistry, SSC)은 임상화학과 미생물학 그리고 DNA 재조합 연구 분야와 생화학 및 유전공학에 사용하기 위해 개발한 플라스틱 소재의 장비를 과학실험에 사용하는 방법을 말한다. 모든 장비들은 값이 싸고 생활 속에서 쉽게 구입할 수 있다. 기존의 화학실험에서는 실험기구가 비싸고 파손이 쉬워 적극적인 실험에 한계가 있기 때문이다. 위험한 시약과 커다란 규모의 실험으로 인하여 상해의 위험이 항상 따르고 실험폐수의 양이 많아 환경오염의 원인이 되기 때문이다. 따라서 Small-scale chemistry라는 비용이 적게 들고 적은 양, 작은 규모의 실험방법의 개발로 위의 모든 어려움을 극복 할 수 있게 되었다. 학생들에게 다양한 실험 기회를 제공함으로써 학생들의 흥미를 유발시켜 화학적 개념과 원리를 쉽게 배울 수 있는 장점이 있다. SSC의 창시자는 현재미국콜로라도 주립대학교 화학과에 재직 중인 Stephen Thompson교수이다. SSC는 1972년에 시작되어 현재 40여 개국에서 시행되고 있고 우리나라에 소개된 지는 5년 정도이다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험방법

황산구리용액의 농도를 정함에 있어서 문헌 참고 및 예비 실험으로 0.1, 0.5, 1 M에서 10 M 까지를

묶힌 황산용액과 진한 황산에 구리(II)화합물을 실온에서 포화시켜 반응시킨 결과 묶은 황산용액의 농도에 따라 진하면 진할수록 반응성도 크고 빨리 결정이 생성되었다. 농도가 묶을수록 결정 생성속도가 느렸다. 종합적으로 관찰한 결과 2 M의 황산용액이 구리(II)화합물과 결정을 생성시키는데 가장 적합하였다. 그래서 일괄적으로 7개의 구리(II)화합물과 2 M의 황산용액과 반응을 시켜 보았다.

2.1.1. 2 M의 묶은 황산용액 만들기

2 M 묶은 황산용액은 18 M 진한 황산 112.4 mL를 1L에 묶혀 작은 SSC 폴리 에틸렌병에 넣어 준비한다^{19,20)}.

2.1.2. 구리(II)화합물과 2 M 묶은 황산용액과의 황산구리 결정 만들기

Small-scale 반응판 그리고 페트리 접시에 구리(II)화합물인 수산화구리($\text{Cu}(\text{OH})_2$), 질산화구리($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), 염화구리($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 탄산구리($\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2$), 아세트산구리($\text{C}_4\text{H}_6\text{CuO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), 과염소산구리($\text{Cu}(\text{HClO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), 포름산구리($\text{Cu}(\text{HCOO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 등의 소량과 2 M의 묶은 황산용액을 Small-scale 피펫을 이용하여 방울을 떨어뜨려 실온에서 Small-scale 젓개를 이용하여 포화 시킨다. 다 녹지 않을 경우에는 2 M 황산용액을 더 첨가하여 완전히 포화시킨다. 실험 시 눈 보호 장비를 반드시 착용하여야 하며 2 M 황산용액이 손과 옷에 닿지 않도록 주의해야 한다.

2.2. 시약 및 기구

실험실에 사용한 시약은 2 M 황산($\text{c-H}_2\text{SO}_4$, 98%), 수산화구리($\text{Ca}(\text{OH})_2$), 염화구리($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 탄산

구리($\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2$), 아세트산구리($\text{C}_4\text{H}_6\text{CuO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), 질산구리($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), 과염소산구리($\text{Cu}(\text{HClO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), 포름산구리($\text{Cu}(\text{HCOO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), 무수황산구리(CuSO_4), 황산구리오수화물($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 등이며 정제하지 않고 사용하였다.^{21~24)} 결정 사진은 눈으로 식별이 가능하며 생성된 결정이 뚜렷하여 일반 디지털사진기, 스캐너와 그리고 더 정확한 결정을 보기위해 Olympus 형광현미경(Olympus Model SZX2-ILLT DP25 Microscope Digital Camera)을 이용하여 사진화 하였다.

기구로는 Small-scale 반응판, 페트리 접시, Small-scale 피펫, 돋보기, Small-scale 젓개, 마이크로 휴지, 투명팔대, 부피 플라스크, 실린더, 가위, 화학저울 등이 있다.

2.3. Small-scale 반응판(lab top)을 이용한 결정 만들기

Small-scale 반응판은 일명 랩탑(lap top)라 하며 받침대에 플라스틱인 성분 중 폴리스틸렌커버로 싸여있고 쓰임에 따라 흑, 백색 바탕과 방사체(Fig. 3) 그림이 도안된 반응판을 말한다. 미량화학에서 말하는 실험실이라고 한다. 이 랩탑 안에서 대부분 미량화학실험이 이루어지기 때문이다. 폴리스틸렌 표면에 필요한 방울을 떨어뜨리면 표면장력에 의해 반구형이 되므로 마치 볼록렌즈와 같은 효과를 나타내어 관찰에 용이하고 또 이 액체방울이 각각의 반응용기가 되는 것이다. 랩탑을 준비하고 투명팔대 시약스푼으로 구리(II) 화합물을 소량과 Small-scale 피펫을 이용하여 2 M 황산용액 방울을 Small-scale

Fig. 1. Electric microscope set for copper sulfate crystal.

Fig. 2. Lab. EPSON Perfection 2450 photo(G860A, Adobe photo7.0).

Fig. 3. Small-scale reaction surface. (lab top)

반응판에 조심스럽게 떨어뜨린다. 화학저울에서 칭량한 후 Small-scale 반응판에 놓는다. Small-scale 젓개를 이용하여 포화시켜 놓는다. 다 녹지 않으면 추가 방울을 가하여 포화시킨다. 다 녹지 않으면 추가 방울을 가하여 포화시킨 후 기다리면서 관찰한다.

2.4. 페트리 접시(petri dish)를 이용한 결정 만들기

페트리 접시에 투명빨대 시약 스푼으로 구리(II) 화합물을 화학저울에서 칭량한 후 페트리 접시에 놓는다. Small-scale 피펫을 이용하여 2 M 황산용액을 페트리 접시에 조심스럽게 한 방울씩 떨어뜨린다. Small-scale 젓개로 완전히 녹인다. 다 녹지 않으면 추가 방울을 가하여 녹인 후 결정형성을 관찰한다.

2.5. 황산구리의 확인

황산구리는 3가지 방법으로 확인하였다. 반응 후 눈으로 정성적인 삼사정계 결정구조를 관찰, 확인하고 결정을 가루로 만들어 열을 가하여 색깔변화를 관찰하였다. 다시 수분을 공급하여 생성된 결정을 모아 재결정시켜 본다.

3. 결과 및 고찰

3.1. Small-scale 반응판(랩탑, lap top)을 이용한 황산구리 결정 만들기

기존의 유리로 된 초자 기구를 사용하는 것 보다 오히려 Small-Scale 반응판에서 더 많은 실험을 할 수 있으며 이 반응판은 실험의 용도에 따라 하얀색과 검정 바탕 그리고 쓰임에 따른 틀을 도안하여 폴리스틸렌 커버를 씌어 사용한다. SSC 실험 기구 중 small-scale 반응판을 보통 반응판 또는 SSC 실험실

Fig. 4. Petri dish and Small-scale pipette.

Fig. 5. General chemical reactions.

이라 한다. SSC의 모든 반응이 이 반응판 위에서 일어나며 손쉽게 정성, 정량 실험도 가능하기 때문이다.

반응용기는 플라스틱판 위에 형성된 반구 모양으로 물 분자의 인력과 표면장력으로 인한 좋은 용기의 역할을 한다. 또한 볼록한 방울은 돋보기 역할을 하므로 관찰도 용이하며 적은 시약 사용으로 안전하고 환경 친화적으로 실험할 수 있다.²⁵⁾

수산화구리(Cu(OH)₂)를 제외하고 황산구리와 질산(HNO₃), 탄산(H₂CO₃), 염산(HCl), 아세트산(CH₃COOH) 등의 산이 생성되는 일반적인 반응식은 Fig. 5와 같고 실험결과는 Table 1과 같다.

3.1.1. 구리(II)화합물과 2 M 황산반응에서의 황산구리 결정 만들기

수산화구리(Ca(OH)₂)의 경우 살균제, 박테리아균에 활성을 가지며 물에 녹지 않지만 2 M 황산용액에서는 이온화하여 황산구리 결정을 만든다. 약간의 발열반응과 반응이 시작된 지 1시간 후면 결정이 생기기 시작하여 2시간 후에는 완전한 결정형태를 확인할 수 있다. 또한 중화 및 침전반응을 통하여 아세트산구리와 황산구리를 만들 수 있다.

염화구리(CuCl₂·2H₂O)는 황산구리를 만드는 반응 중 가장 까다로운 반응 중의 하나이다. 너무 진하게 포화 시키면 색깔이 녹색으로 변하면서 침상 결

Fig. 6. The produced of the copper sulfate from $\text{Cu}(\text{OH})_2$.

Fig. 7. The produced of the copper sulfate from $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Fig. 8. The produced of the copper sulfate from $\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2$.

Fig. 9. The produced of the copper sulfate from $\text{C}_4\text{H}_6\text{CuO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

정이 생기며 시간이 지나면서 푸른색의 황산구리 결정이 생긴다. 그러나 농도가 묽을 경우에는 푸른색을 띄며 푸른색의 황산구리 결정이 천천히 생긴다. 염화구리의 경우에는 포화용액보다는 불포화상태가 더 황산구리결정 생성에 유리하다. 따라서 색깔이 포화와 불포화의 기준이 된다. 2 M 황산용액 10 방울을 가해 포화시키면 3시간 후에 결정을 확인할 수 있다.

염기성 탄산구리($\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2$)의 경우에는 산과 반응하여 이산화탄소를 만들며 반응 중 CO_2 거품을 확인할 수 있고 또 발열반응을 한다. 1시간 후면 결정이 생기고 2시간 정도면 완전한 황산구리 결정을 확인할 수 있었다. 또한 중화 및 침전반응을 통하여 아세트산나트륨, 산화구리 그리고 황산구리를 만들 수 있다.

아세트산구리($\text{C}_4\text{H}_6\text{CuO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 역시 살균, 살충제

로서 사용되고 있고 발열반응을 하며 산과 반응하여 초산과 이산화탄소 거품이 생긴다. 반응 중 초산 냄새가 나면서 1시간 후 결정이 생성되고 2시간 정도면 결정을 완전하게 확인할 수 있었다. 중화 또는 침전반응을 통하여 수산화구리를 만들 수 있다.

질산구리($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)는 산화제로 사용되며 2 M 황산용액과의 반응의 경우 1시간 후에 정후가 생기고 2시간이 경과하면 결정이 생성된다.

육수화물인 과염소산구리($\text{Cu}(\text{HClO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)는 진한 청색과 흡습성 성질을 가지며 물에 잘 녹는다. 구리 전기분해 및 연소 또는 로켓연료의 촉매로 사용된다. 결정형성이 바깥부분에서 안쪽으로 산발적으로 일어난다. 용해 후 40분이면 삼사정계의 황산구리 결정을 확인할 수 있었다.

포름산구리($\text{Cu}(\text{HCOO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)는 2개의 포름산 또는 개미산(HCOO)이라 하며 개미산과 탄산구리

Fig. 10. The produced of the Copper Sulfate from $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

Fig. 11. The produced of the Copper Sulfate from $(\text{Cu}(\text{HClO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Fig. 12. The produced of the Copper Sulfate from $(\text{Cu}(\text{HCOO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

로부터 만든다. 사수화물로서 밝은 청색을 띄고 물에 잘 녹으며 섬유소 처리에서 항 박테리아 성질을 갖는다. 2 M 황산용액을 가하면 이산화탄소 발생과 아세트산이 생성되면서 40분 만에 황산구리 결정을

얻을 수가 있었다.

3.2. 페트리 접시(petri dish)를 이용한 황산구리 결정 만들기

알려진 위험한 염소가스 제법과 화학적 성질을 알아보는 논문¹³⁾에서처럼 보통 사전 실험 등은 주로 페트리접시를 사용하여 소량화 실험을 한다. 플라스틱으로 된 페트리 접시는 기존의 전통적인 복잡하고 위험한 유리기구보다 훨씬 안전하고 소량으로 쉽게 실험을 할 수 있는 장점이 있다. 따라서 양을 소량 사용함으로써 비용절감, 빠르고 안전결과를 확인 할 수 있고 오염을 절대적으로 줄일 수 있어 친환경적인 장점이 있기 때문이다.

Small-scale 반응판과 방법이 같고 생성 결과와 생성되는 시간이 비슷하게 소요하였다. 실험 결과는 Table 1과 같다.

Fig. 13. The produced of the copper sulfate from $\text{Cu}(\text{OH})_2$.

Fig. 14. The produced of the copper sulfate from $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

3.2.1. 구리(II)화합물과 2 M 황산반응에서의 황산구리 결정 만들기

수산화구리($\text{Cu}(\text{OH})_2$)와의 반응은 20분 후에 징후가 생겼고 1시간이 지나서 황산구리결정을 정확하게 확인할 수 있었다.

염화구리($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)는 Small-scale 반응판과 같은 결과로 진하면 침상 그리고 묽으면 시간은 더 많이 걸리며 푸른색 결정형태를 얻었다. 2M 황산용액 15 방울을 가해 포화시키면 3시간 이내에 결정이 형성된다. 특히 염화구리는 유해하므로 분진의 흡입이나 점막, 피부 등에 부착되지 않도록 주의해야한다.

염기성 탄산구리($\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2$)는 CO_2 가스가 발생하며 발열반응이 일어난다. 30분정도 지나면 징후를 보이고 1시간 이내에 결정이 완성된다.

아세트산구리($\text{C}_4\text{H}_6\text{CuO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)는 반응 중 초산이 생기며 식초냄새가 난다. 30분 후면 징후를 보이고

2시간 후면 완전한 황산구리 결정형태를 볼 수 있다.

질산구리($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)는 30분 후에 징후가 보이고 45분이면 결정형태를 완전하게 확인 할 수 있다.

육수화물인 과염소산구리($\text{Cu}(\text{HClO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)는 용해 후 40분이면 삼사정계의 황산구리 결정을 확인할 수 있었다.

포름산구리($\text{Cu}(\text{HCOO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)에 2 M 황산용액을 가하면 이산화탄소 발생과 아세트산이 생성되면서 40분 만에 황산구리 결정을 얻을 수가 있었다.

기존의 과학교과서^{14~16)}에서는 열을 가하여 황산구리를 비커에 포화시킨 후 절반을 페트리 접시에 붓고 실험실에서 결정이 생길 때까지 자연증발 시키면서 결정 생성 때까지 방치한다. 알려진 황산구리 결정 만들기는 이¹⁾의 논문으로 시험관을 이용해서 황산구리 용해도를 알아내고 포화시킬 때 황산

Fig. 15. The produced of the copper sulfate from $\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2$.

Fig. 16. The produced of the copper sulfate from $\text{C}_4\text{H}_6\text{CuO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Fig. 17. The produced of the copper sulfate from $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

Fig. 18. The produced of the copper sulfate from $\text{Cu}(\text{HClO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Fig. 19. The produced of the copper sulfate from $(\text{Cu}(\text{HCOO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O})$.

구리의 정확한 양을 알아냈었다. 포화용액 제조와 온도, 냉각방법과 결정형성과 성장을 위해 머리카락을 사용하여 종자를 달아 결정성장시키는 실험조건을 제시하여 결정형성의 시간을 단축하는 실험을 하였다.

본 실험은 도구 사용도 기존의 전통적인 실험기구를 사용하지 않고 최근에 도입된 미량화학이 갖고 있는 장점을 살려 누구나 쉽게 할 수 있고, 안전하고 화학약품을 소량 사용함으로써 발생할 수 있는 안전사고도 미연에 방지하고 환경오염 등도 줄

일 수 있는 장점을 갖고 있다. 또한 안전과 관련 가열하지 않아 화상 및 화재의 위험도 없다. 그리고 무엇보다도 본 실험의 장점은 구리(II) 화합물과 묽힌 황산과의 화학반응을 이용하여 생성시간은 각기 조금씩 다르지만 삼사정계의 황산구리결정을 만들 수 있었다. 이러한 결과는 누구나 쉽게 실험실이 아닌 교실에서 수업과 실험을 병행해서 수행 할 수 있다.

3.3. 황산구리 확인

3.3.1. 결정관찰과 가역반응

황산구리는 1934년 Arnold Beaver와 Henry Lipson에 의해 발견 되었다. 그 결정형태로는 삼사정계(Triclinic, $a \neq b \neq c$, $\alpha \neq \beta \neq \gamma$)이다. 구조와 일반적 성질은 공간군 단일격자(P) p1에 속하며 격자상수 $a=6.12$, $b=10.69$, $c=5.96 \text{ \AA}$, $\alpha=97^\circ 35'$, $\beta=107^\circ 10'$, $\gamma=77^\circ 33'$, $(p)Z=2$ 이다²⁶⁾.

황산구리(II) 5수화물의 구조는 Cu^{2+} 이온마다 5개의 물분자가 존재하지만, 이중 4개만 양이온에 배위하고 SO_4^{2-} 에 의한 배위로 6배위가 완성된다.

다섯 번째 물분자는 배위하고 있는 물 두 분자와 황산이온 사이에 O-H-O의 수소결합을 하고 있다^{27,28)}.

황산구리($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)의 온도에 따라 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 에서 $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 로 그리고 $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 로

Table 1. Small-scale reaction surface and petri dish are used to make copper sulfate from copper(II) compounds with 2 M H_2SO_4

Copper(II) compounds	Using lab. top method			Using petri dish method		
	Crystal making time(min)	Used Cu(II) (g)	Used 2 M H_2SO_4 (drops)	Crystal making time(min)	Used Cu(II) (g)	Used 2 M H_2SO_4 (drops)
Copper Hydroxide ($\text{Cu}(\text{OH})_2$)	120	0.054	15	20	0.1	35
Copper Chloride dihydrate ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	180	0.051	10	150	0.1	15
Copper Carbonate ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$)	105	0.053	12	35	0.1	25
Copper Acetate monohydrate ($\text{C}_4\text{H}_6\text{CuO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	140	0.055	13	120	0.1	25
Copper Nitrate trihydrate ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)	120	0.050	7	45	0.1	17
Copper Perchlorate hexahydrate ($\text{Cu}(\text{HClO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	45	0.050	10	40	0.1	15
Cupric Formate tetrahydrate ($\text{Cu}(\text{HCOO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	55	0.050	10	40	0.1	10

Fig. 20. The Structure of $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Fig. 21. Copper Sulfate of Triclinic crystal.

Fig. 22. Copper sulfate of before heating(blue).

Fig. 23. Dehydration of copper sulfate on heating(white).

CuSO_4 열적분해반응이 일어나 무수황산구리가 된다.²⁶⁻³¹⁾ 다시 수분을 가하면 청색의 황산구리오수화물로 돌아간다.

재결정한 결정을 모아 다시 녹여 사용할 수 있으며 사용한 용액은 휴지로 닦아 내어 모아 말린 후 소각하면 전통적인 방법보다 훨씬 오염을 줄일 수 있다. 다른 방법으로는 재결정한 황산구리결정을 다시 녹인 후 염으로 침전시켜 중화시키는 방법으로서 Na_2S 나 강염기인 NaOH 를 가하면 Na_2SO_4 와 흑색 CuS 의 염과 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 등의 염을 만들어 여과하여 별도 용기에 폐기 한다³²⁾. 그리고 거른 후 남아있는 묽은 황산용액은 CaO 또는 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 넣어 CaSO_4 침전을 만든 후 여액을 버린다. 이로써 황산구리 결정 만들기에서 발생할 수 있는 화학폐기물을 효과적으로 처리 할 수 있다³²⁾. 이와 같이 소량을 사용함으로써 생성되는 화학폐기물의 양도 적고 처리하기도 쉬우며 실험 시 노출을 최소화하기 때문에 발생할 수 있는 사고와 위험으로부터 예방이 가

능하다. 그리고 소량의 사용으로 처리 뿐 아니라 환경에 미치는 영향도 최소화하며 환경보존에 기여할 것으로 기대한다.

따라서 기존의 비커에서 보다 플라스틱, 비닐 위 방울 물의 강한 표면장력을 이용함으로써 미량으로 화학반응을 일으키는 데 사용할 수 있는 이상적인 용기가 될 수 있었다. 물방울의 표면은 볼록한 곡면이므로 돋보기의 역할도 하기 때문에 방울속의 관찰을 쉽게 할 수 있었다. SSC 반응판, 페트리 접시를 이용하여 새로운 황산구리 결정 만들기의 새로운 실험방법인 SSC를 도입함으로써 농도에 따른 재결정시간을 단축시킬 수 있고 실험실이 아닌 교실에서 수업과 병행하면서 실험을 할 수 있는 장점도 있다. 실험방법이 쉽고 간단하며 시간도 절약할 수 있다. 실험 후 뒷 처리문제 등도 쉬워 학생과 교사들의 부담을 들어 줄 수 있다는 여러 가지 장점이 발견되었다.

이러한 장점을 초등교육현장에 도입하여 교실에

Fig. 24. Addition of water(blue).

Fig. 25. Recrystallization.

서 수업과 실험을 병행하면서 교육함으로써 보다 이해하기 쉽고 재미있는 수요자 중심의 학생 친화적인 탐구활동을 할 수 있는 계기를 마련함과 동시에 과학교과의 흥미를 가지게 할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 초등과학 5학년 단원 6 용액의 진하기 단원의 결정 만들기 내용에 환경 과학적으로 유리한 Small-scale chemistry(SSC, 미량화학) 실험방법에서 사용하고 있는 Small-scale 반응판과 페트리 접시를 사용하여 화학반응을 통한 황산구리 결정 만들기를 시도하였다. 그 결과는 다음과 같다.

Small-scale 반응판(랩탑)과 페트리 접시를 이용하여 7개의 구리(II)화합물과 2 M의 묽은 황산 용액을 실온에서 반응시킨 결과 삼사정계의 황산구리결정을 얻었다. 페트리 접시를 이용한 반응에서는 수산화구리($\text{Ca}(\text{OH})_2$), 탄산구리($\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2$), 질산화구리($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), 과염소산구리($\text{Cu}(\text{HClO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), 포름산구리($\text{Cu}(\text{HCOO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)와의 반응에서는 1시간 이내에 결정형성을 관찰 할 수 있었다. Small-scale 반응판(랩탑)을 이용한 결정 만들기에서는 1시간에서 3시간정도 소요되었고 과염소산구리와 포름산구리는 1시간 이내로 결정형성을 확인 하였다. 미량화학 도구를 적용한 실험 방법은 간단하고, 쉬워 누구나 할 수 있고 특히 초등학교 현장에 적용이 유리하다 사료된다. 그리고 적은 양의 화학약품사용으로 위험에 대한 노출을 최소화 하고 발생 할 수 있는 사고를 미연에 방지하여 안전하게 황

산구리 결정을 만들 수 있었다. 또한 적은 양의 화학약품사용으로 실험 후 화학폐기물 처리하기가 쉽고 환경오염을 줄일 수 있었다. 사용한 SSC 재료들은 생활 속에서 흔히 볼 수 있는 재료들이어서 친근하고 사용한 재료와 도구는 재사용함으로써 친환경적이고 자연을 보존 할 수 있다.

그리고 입시위주의 중·고등학교 현장과 달리 초등학교과정에서는 과학교과와 과학 서클활동, 방과 후 활동 등을 통하여 많은 실험을 행하는데 있어서 SSC 실험 방법이 초등교육현장 적용에 보다 유리하다. 과학초등현장에 적용 가능성은 충분히 있으나 현재로서는 소개되는 과정이어서 우선 SSC에 대한 개념을 정리한 참고자료도 부족하고 교사들의 SSC에 대한 이해 등도 부족한 실정이다. 따라서 SSC 실험방법의 보급과 많은 연수를 통한 교사들의 SSC의 이해와 인식 등이 무엇보다 필요하고 초등과학에 적용 가능한 내용의 많은 교재 개발 및 실험기구의 제작 보급이 또한 시급하다 하겠다. 그리고 새로운 SSC 실험기구의 구입을 위한 비용마련도 극복해야 할 일이다. 따라서 참고자료의 구입과 개발, 점진적인 노력과 관심을 갖는다면 초등현장에 SSC 보급은 당겨지리라 생각된다.

감사의 글

SSC실험방법을 소개하고 실험 하는데 많은 도움을 준 미국콜로라도주립대학교 Stephen. Thompson 교수에게 감사드립니다. 본 논문은 2006년 진주교육대학교 학술지원 연구비에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

- 1) 이강일, 2004, 초등학교 '용액의 진하기'단원의 실험방법 개선에 관한 연구, 석사학위논문, 초등과학교육전공, 서울교육대학교, 서울.
- 2) 손양옥, 2004, 초등학교 과학 교과서 변천에 관한 연구, 석사학위논문, 초등과학교육전공, 춘천교육대학교, 춘천.
- 3) 유광철, 2003, 초등학교 4학년과 6학년 학생들의 황산구리 관찰 및 실험, 석사학위논문, 초등과학교육전공, 광주교육대학교, 광주.
- 4) 윤진녀, 이지화, 문성배, 2007, SSC science를 활용한 과학 실험수업이 중3 학생들의 과학에 관련된 태도와 과학적 태도에 미치는 영향, 한국과학교육학회지, 27(1), 1-8.
- 5) 윤진녀, 2007, SSC를 활용한 실험 수업이 중·고등학생의 성취도와 태도에 미치는 영향, 석사학위논문, 화학과, 부산대학교, 부산.
- 6) 어연희, 2007, SSC를 적용한 과학 실험의 개선 효과, 석사학위 논문, 공통과학교육전공, 연세대학교, 서울.
- 7) 유미현, 윤희숙, 홍훈기, 2006, SSC를 적용한 고등학교 과학수업의 효과, 대한화학회지, 50(3), 256-262.
- 8) 오창영, 2006, Small Scale Chemistry(SSC)를 적용한 고등학생 화학수업의 효과, 석사학위논문, 화학교육전공, 충남대학교, 대전.
- 9) 장영훈, 2005, SSC를 활용한 고등학교 화학과 탐구학습 자료 개발, 과학 교사의 과학교육 연구활동 보고서.
- 10) 김현경, 최병순, 2005, SSC에 대한 과학교사들의 인식, 대한화학회지, 49(2), 208-214.
- 11) 심병주, 2005, 물질 지도에서 SSC를 적용한 초등과학수업의 효과, 석사학위논문, 초등과학교육전공, 서울교육대학교, 서울.
- 12) 심병주, 2006, SSC를 적용한 이산화탄소의 발생 및 성질 알아보기, 화학교육, 18-19.
- 13) Martin M. F. C., 2002, Microscale Chemistry in a Plastic Petri Dish: Preparation and Chemical Properties of Chlorine Gas, J. Chem. Edu., 79(8), 992.
- 14) 교육부, 2001, 초등학교 교과용 지도서 과학 5-1, 대한 교과서 주식회사, 139-154.
- 15) 교육부, 2001, 실험관찰 과학 5-1, 대한 교과서 주식회사, 37-42.
- 16) 교육부, 2002, 과학 5-1, 대한교과서 주식회사, 53-60.
- 17) 김성규, 허승현, 2004, 초등학교 과학실험실에서 발생하는 화학폐기물에 대한 실태, 한국환경과학회지, 13(3), 301-311.
- 18) 한상준, 2005, 황산구리 결정 만들기 실험의 개선에 관한 연구, 석사학위논문, 초등과학교육전공, 진주교육대학교, 진주.
- 19) 주충열, 1978, 분석화학, 형설출판사, 433pp.
- 20) 이인길, 1989, 중고등학교 화학실험 내용에서 화학물질의 안전 및 공해 관리문제 분석과 개선안, 석사학위논문, 과학교육과, 서울대학교, 서울.
- 21) 전학제, 김기수, 성백능, 조병하, 1990, 최신이화학대사전(증보판), 범경출판사, 227, 512, 580, 672, 789, 1086, 1205, 1440pp.
- 22) Susan B., 1996, THE MERCK INDEX. 12th, MERCK & CO., Inc., 426, 444-447, 1535pp.
- 23) SIRI MSDS Index., <http://hazard.com/msds/index.php>.
- 24) Aldrich, 2003-2004, Aldrich catalog handbook, 501-507pp.
- 25) i) 박종윤 외20인 공역, 2005, Small-Scale Chemistry 중등화학실험서, 자유아카데미, iii-v.
ii) Waterman E. L., Thompson S., 1995, Small-Scale Chemistry laboratory manual, USA: Addison-Wesley Publishing Company, T3-T7.
- 26) 김수진, 1982, 광물학원론, 우성문화사, 91, 177, 192, 216, 530-531.
- 27) James E. H., 이광, 박명용, 김덕목공역, 1990, 무기화학, 자유아카데미, 272-273.
- 28) Harris A. D., Kalbus L. H., 1979, Decomposition of Copper(II) Sulfate Pentahydrate, J. Chem. Edu. 56(6), 417-418.
- 29) Christian N. et al., 2003, A Graduate Course in Modern Analytical Methods: Investigating the structure, magnetic properties, and Thermal behavior of $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, J. Chem. Edu., 80(3), 320-325.
- 30) Brozek C. M., 1996, Simple and Attractive demonstration of the Reversibility of Chemical Reactions, J. Chem. Edu, 73(9), 837.
- 31) i) Krishnan K. S., Mookherji A., 1936, The Magnetic Anisotropy of Copper Suphate Pentahydrate, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, in relation to its Crystal Structure. Part I, Phys. Rev., 50, 860.
ii) Krishnan K. S., Mookherji A., 1938, The Magnetic Anisotropy of Copper Suphate Pentahydrate, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, in relation ot its Crystal Structure. Part II, Phys. Rev., 54, 534.
iii) Krishnan K. S., Mookherji A., 1938, The Magnetic Anisotropy of Copper Suphate Pentahydrate, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, in relation to its Crystal Structure. Part III, Phys. Rev., 54, 841.
- 32) 이상철, 1994, 中學校 科學 實驗 內容 中 環境汚染을 招來하는 物質의 實態와 處理方案 研究, 석사학위논문, 화학교육전공, 단국대학교, 서울.