

개정된 고등학교 화학 II 교과서 실험 중에서 염소의 제법과 성질 실험의 비교 분석 및 개선

李光必* · 徐滋京 · 李武相

경북대학교 화학교육과

(1999. 11. 20 접수)

Comparative Analysis and Improvement of the Preparation of Chlorine gas in the Revised High School Chemistry II Textbooks

Kwang-Pill Lee*, Hyun-Kyung Seo, and Mu-Sang Lee

Department of Chemistry Education, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

(Received November 20, 1999)

요 약. 본 연구는 제 6차 교육과정에 의거하여 개정된 고등학교 화학 II 교과서 실험 중에서 염소의 제법과 성질 실험에 대한 비교 분석 및 개선에 목적을 두고 있다. 국내 9종 교과서에서 다루고 있는 염소 기체의 발생 실험을 수행하여 문제점을 발견하고 최적의 실험 방법을 제시한다. 염소 기체의 발생 실험에서 가장 큰 문제점은 인체에 해로운 염소 기체를 학생들이 흡입할 수 있다는 것이므로 염소 기체를 흡입하지 않고 안전하게 실험하는 것에 중점을 두었다. 실험실에서 간단하고 쉽게 관찰할 수 있는 염소 기체의 성질 확인 방법도 5가지로 정리해서 제시한다.

ABSTRACT. The purpose of this study is to analyze comparatively and improve the preparation of chlorine gas in the high school chemistry II textbooks on the basis of the revised curriculum. From the results of the preparation experiment of chlorine gas which is commonly dealing with 9 kinds of textbook in the nation, we have found some problems and have suggested the solution of these problems. The problem is the students may inhale the chlorine gas that is to be injurious on the human body, so the research is focused on safe experimental method without inhalation of chlorine gas. The simple conviction method of character in laboratory is to propose at 5 kinds.

서 론

연구의 목적.

현재 중·고등학교의 교육과정에는 과학이 필수교과로 편성되어 있어서 모든 학생들이 과학과목을 반드시 이수해야만 한다. 그러나 현재 중·고등학교에서 사용되고 있는 과학 교과서에 제시된 실험의 주제와 내용 그리고 그 방법들을 조사·분석해 보면, 과학실험의 방법과 과정이 학습할 내용 및 주제·목표에 맞게 제시되고 있지는 않음을 알 수 있다. 그러므로, 학교에서 이를 실험하기에 보다 안전하고 편리한 실험 장치와

정확한 결과를 얻을 수 있는 방법을 제시하고자 한다. 이러한 실험 장치의 개선에 대한 연구는 많이 수행되어져오고 있다.¹⁻³

연구 자료

6차 교육과정의 고등학교 화학II 교과서의 'II. 원자 구조와 주기율' 단원 중 '염소의 제법과 성질' 실험을 선정하였다.^{4,12} 각 교과서는 이 내용을 중요하게 다루어 실험을 공통으로 제시하고 있으며, 한 교과서에서만 본문에 설명으로만 기술하고 실험을 제시하고 있지 않다.

염소는 1774년 스웨덴 화학자인 카를 빌헬름 셸레

(Carl Wilhelm Scheele)에 의해 발견된 이후, 공업적 응용 등으로 인류에게 없어서는 안될 중요한 역할을 하는 화합물이다.^{13,17}

연구 내용.

고등학교 화학 II 교과서에 수록된 실험 중에서 '염소의 제법과 성질' 실험을 선택하였다. 이 실험은 유독한 염소 기체를 다루고 있어서 학생들이 실험하기에는 위험하며, 학생들이 이 기체를 다량 흡입하였을 때는 건강에 위험을 끼칠 수도 있다. 이에 따라 여기에서는 우선 학교에서 학생들이 직접 실험을 수행할 수 있도록 안전하게 염소 기체를 발생시킬 수 있는 방법을 찾는 것에 중점을 두었다.

그 외에 염소 기체의 특징적인 성질을 확인하는 가장 적당한 방법을 제시하였다.

단, 이 실험은 정성적인 측면을 보고 있으므로 비교적 간단하게 수행할 수 있고, 염소 기체의 발생도 아주 활발하게 일어나며, 염소 기체가 반응성이 커서 그 이후에 수행되는 염소 기체의 성질 실험도 짧은 시간 내에 확인할 수 있으므로 고등학교의 수업 시간인 50 분 안에 충분히 실험 수업의 모든 과정을 마칠 수 있을 것으로 보아 각 교과서에 제시된 각각의 실험 방법상의 시간에 관한 자세한 기술은 배제하였다.

연구 결과 및 고찰

각 교과서의 '염소의 제법과 성질' 실험 방법.

실험 I^a

① 실험 기구 :

·플라스크에 이산화망간을 넣고 안전 깔대기를 통해 진한 염산을 첨가한 후 가열한다.

·플라스크에 직접 유리관을 연결하여 집기병에 염소 기체를 하방치환을 한다.

② 성질 확인 :

·색깔이 있는 꽃잎을 넣은 후 다시 꺼내어 물에 적셔서 집기병에 넣는다.

·소량의 붉은 인을 넣는다.

·가열한 구리줄을 넣는다.

③ 장치 그림 : 그림 1a 참조

실험 II^b

① 실험 기구 :

·플라스크에 이산화망간을 넣고 코르크달린 안전 깔대기로 진한 염산을 첨가한 후 가열한다.

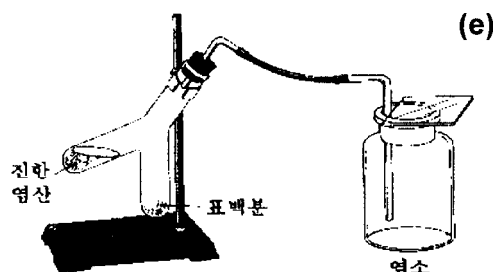
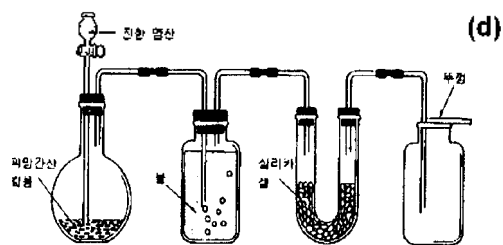
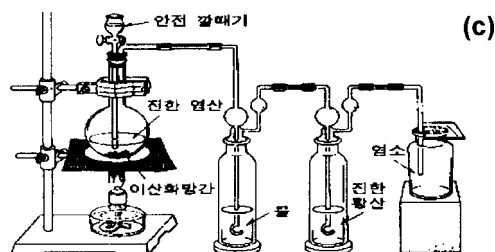
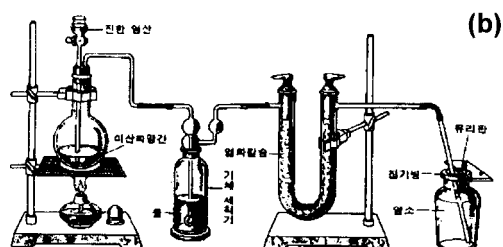
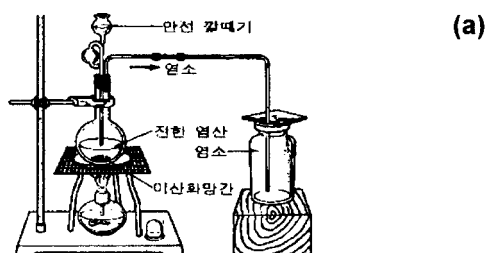


그림 1. 각 교과서에서 사용한 장치들

a: 실험 I, b: 실험 II, c: 실험 III, d: 실험 IV, e: 실험 V.

· 염소 기체를 물에 통과시킨 후 염화칼슘에 통과시켜 하방치환을 한다.

② 성질 확인 :

- KI 녹말 종이를 넣는다.
- 색깔이 있는 꽃잎을 넣는다.
- 가열한 구리줄을 넣어 반응시킨 후 물을 조금 넣는다.

- 물에 적신 리트머스 종이를 넣는다.

③ 장치 그림 : 그림 1b 참조

실험 III^a

① 실험 기구 :

- 플라스크에 이산화망간을 넣고 코크달린 안전 깔대기로 진한 염산을 첨가한 후 가열한다.
- 염소 기체를 물에 통과시킨 후 진한 황산에 통과시켜 하방치환을 한다.

② 성질 확인 :

- 물에 적신 꽃이나 색종이를 넣는다.
- 붉은 인을 넣는다.
- 가열한 구리줄을 넣는다.

③ 장치 그림 : 그림 1c 참조

실험 IV^a

① 실험 기구 :

- 플라스크에 과망간산칼륨을 넣고 코크달린 안전 깔대기로 진한 염산을 첨가한다.
- 염소 기체를 물에 통과시킨 후 실리카 겔에 통과시켜 하방치환을 한다.

② 성질 확인 :

- 물에 적신 꽃잎을 넣는다.
- 가열한 강철손을 넣는다.

③ 장치 그림 : 그림 1d 참조

실험 V^a

① 실험 기구 :

- Y자형 시험관에 약 5 g의 표백분과 묽은 염산 약 10 mL를 첨가한다.
- Y자형 시험관에 직접 유리관을 연결하여 집기병에 염소 기체를 하방치환을 한다.

② 성질 확인 :

- 물에 적신 붉은 꽃잎을 넣는다.
- 불을 붙인 촛불을 넣는다.

③ 장치 그림 : 그림 1e 참조

실험 VI^a

① 실험 기구 :

- 집기병에 표백분을 약 1 g 넣은 다음 진한 염산 10 mL를 첨가한다.

- 집기병에서 바로 염소 기체를 발생시킨다.

② 성질 확인 :

- 물에 적신 색깔 있는 꽃잎을 넣는다.
- 가열한 구리줄을 넣는다.

실험 VII^b

① 실험 기구 :

- 집기병에 표백분 한 숟갈과 2 M 염산을 10 mL 첨가한다.

② 성질 확인 :

- 건조한 색종이와 색깔 있는 꽃잎을 넣는다.(물에 적셔서도 넣는다.).
- 붉은 인을 넣는다.
- 가열한 구리줄을 넣는다.

실험 VIII^b

① 실험 기구 :

- 집기병에 표백분 2 g과 진한 염산 약 4 cm³를 넣는다.

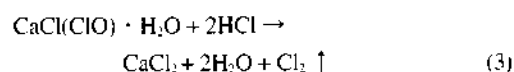
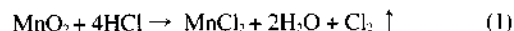
② 성질 확인 :

- 색깔 있는 꽃잎이나 붉은 잉크를 적신 종이를 넣는다.
- 연소 숟가락에 작은 쌀알 크기의 나트륨(Na)을 담아서 집기병에 넣는다.(염소 기체와 반응후 집기병에서 꺼내어 소량의 물에 용해 시켜서 AgNO₃ 용액을 가한다.)

- 물에 적신 거름종이에 구리 가루를 묻혀서 넣는다.

최적의 실험 방법 선정.**산화제의 선정**

각 교과서가 제시하는 산화제는 이산화망간(MnO₂), 과망간산칼륨(KMnO₄) 및 표백분(CaCl(ClO) · H₂O)이다. 각 교과서에서 제시하고 있지만, K₂Cr₂O₇을 이용할 수도 있다. 식 (1), (2), (3), (4)에 염산에 산화제를 넣어 염소 기체를 발생시키는 화학반응식을 나타내었다.



이중 MnO₂는 약산화제이므로 진한 염산을 첨가한

후에 플라스크를 가열해야 하고, KMnO_4 와 $\text{CaCl}(\text{ClO}) \cdot \text{H}_2\text{O}$ 는 강산화제이므로 가열이 필요없었다. 학생들이 실험하기에는 가열 과정을 제외하는 것이 더 간편하고 안전하였으며, 기체가 발생하는 정도를 제어하기도 편했다. MnO_2 에 진한 염산을 첨가하여 가열할 때에는 가열을 멈추면 금방 염소 기체의 발생이 중지되기는 하였다. 그러나 가열 중에는 염소 발생 정도를 조절할 방법이 없었으며, 염소가 너무 많이 발생되어서 염소 기체를 모으는 집기병을 옮길 때에 새어나오는 양이 많아 좋지 않았다. 플라스크와 고무마개 사이, 고무마개에 끼워진 유리관 사이로도 염소 기체가 새어나왔다.

반면에 KMnO_4 와 $\text{CaCl}(\text{ClO}) \cdot \text{H}_2\text{O}$ 같은 강산화제를 이용했을 때에는 플라스크에 첨가하는 염산의 양을 조절함으로써 염소 기체 발생 정도를 제어할 수 있었다. KMnO_4 를 이용할 시에는 진한 염산 약 4 mL를 첨가하면 하나의 집기병(크기 13 cm, 부피 300 mL의 작은 집기병)을 채우기에 적당할 만큼의 염소 기체가 발생하였다.

KMnO_4 에 진한 염산(35% w/w, 밀도 1.18 g/mL, 분자량 36.465) 4 mL 첨가하였을 때 생성되는 염소 기체의 양은 식 (5)로 계산된다. (단, 0°C, 1기압에서 기체의 부피는 22.4 L/mol)

$$4 \text{ mL} \times \frac{1.18 \text{ g}}{1 \text{ mL}} \times 0.35 \times \frac{1 \text{ mol}}{36.465 \text{ g}} \times \frac{5 \text{ mol}}{16 \text{ mol}} \times \frac{22.4 \text{ L}}{1 \text{ mol}} \times \frac{100 \text{ mL}}{1 \text{ L}} = 317 \text{ mL Cl}_2 \quad (5)$$

염산을 첨가하면 KMnO_4 와 격렬하게 반응하기 때문에, 플라스크 안에서 소리가 타닥타닥 들렸다. 반응이 어느 정도 끝나서 이 소리가 잦아들면 집기병을 바꾸고 다시 염산을 약 4 mL 정도 첨가해서 다음 집기병에 염소 기체를 모았다. 이렇게하여 새어나오는 염소 기체의 양을 최소화할 수 있었다.

결론적으로 산화제는 KMnO_4 와 $\text{CaCl}(\text{ClO}) \cdot \text{H}_2\text{O}$ 와 같은 강산화제를 이용하는 것이 더 좋았다. KMnO_4 를 이용할 시에는 진한 염산 약 4 mL를 첨가하면 하나의 집기병을 채우기에 적당할 만큼의 염소 기체가 발생하였다. 이 때 필요한 KMnO_4 의 양은 식 (6)에서 진한 염산 4 mL당 0.895 g(약 1 g)으로 계산된다.

$$4 \text{ mL} \times \frac{1.18 \text{ g}}{1 \text{ mL}} \times 0.35 \times \frac{1 \text{ mol}}{36.465 \text{ g}} \times \frac{2 \text{ mol}}{16 \text{ mol}} \times \frac{158.04 \text{ g}}{1 \text{ mol}} = 0.895 \text{ g KMnO}_4 \quad (6)$$

실험 기구의 선정.

산화제로 KMnO_4 나 $\text{CaCl}(\text{ClO}) \cdot \text{H}_2\text{O}$ 를 이용하면 가열 장치가 필요없었다. 스탠드도 설치할 필요없이 넓적바닥 플라스크를 이용하여 플라스크를 바닥에 세워두고 실험하면 간단하고 더 안전하였다. 가지 달린 플라스크를 이용하는 것이 편리하며, 플라스크의 가지에 고무관을 연결하여 염소 기체가 빠져나가는 통로를 만들고 고무마개에는 구멍을 하나만 뚫어 안전 깔대기를 끼웠다. 가지 달린 플라스크를 이용하는 것이 고무마개에 구멍을 두 개 내어 사용하는 것보다는 편하였다. 첨가하는 염산의 양을 조절해야 하므로 고무마개에 끼우는 안전 깔대기는 콕크가 달려있고 눈금도 있는 것을 이용하였다. 눈금은 20 mL 정도로 하는 것이 적당했다. 이렇게 만든 안전 깔대기의 모양은 뷰렛과 비슷하게 생겼다(그림 2 참조). 그러나 뷰렛보다는 콕크 위의 유리관을 더 굵게 만들어 길이를 짧게 하는 것이 스탠드없이 세워놓고 하기에 균형감이 있을 것이다.

집기병 안에 직접 산화제와 염산을 넣어 염소 기체를 발생시키는 경우도 있다. 그러나 이렇게 하면 기체 발생 후에도 집기병 안에 여분의 시약이 남아 있으므로 염소 기체의 성질을 확인하기가 좋지 않다.

각 교과서의 실험 기구 중에서 가장 특이한 차이점

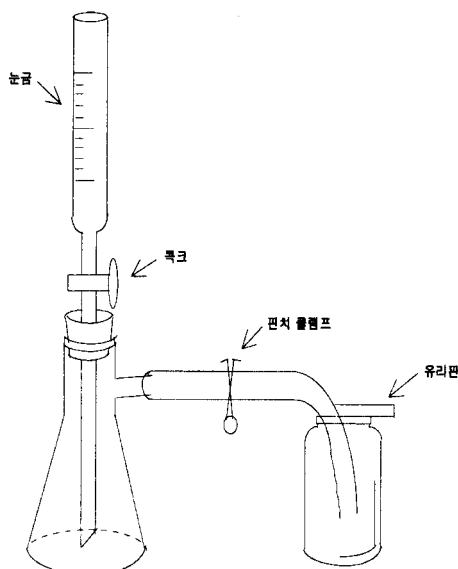


그림 2. 가지 달린 넓적바닥 플라스크와 눈금이 있는 콕크 달린 안전 깔대기를 이용한 개선된 장치.

으로 염소 기체를 집기병에 모으기 전에 물과 탈수제에 통과시키는 방법과 그러한 과정없이 그대로 집기병에 모으는 방법이다. 이때 염소 기체를 물에 통과시키는 이유는 염소 기체와 섞여 있는 수용성 물질(HCl)을 제거하기 위함이고, 탈수제(염화칼슘, 진한 황산, 실리카 겔)에 통과시키는 이유는 물을 통과한 후에 염소 기체가 가지고 있는 수분을 제거하기 위함이다. HCl을 제거하면 염소 기체의 산성을 정확히 실험할 수 있고, H₂O를 제거하면 염소 기체가 H₂O를 만나서 일으키는 반응에 의한 산성과 표백 작용을 정확히 실험할 수 있다.

이 과정을 거치는 이유는 염소 기체가 가지고 있는 불순물을 제거하기 위함이지만 실제로 염소 기체가 가지는 불순물은 미량일 뿐 아니라, 염소 기체는 반응성이 커서 이 과정을 거치든 안 거치든 실험 결과에 큰 차이는 없다. 반면에 이 과정을 거치게 되면 장치가 복잡해져 학생 스스로 실험을 하기는 더 어려워지며, 염소 기체를 집기병에 모으는 시에 시간도 더 길어진다. 또한 염소 기체가 지나가는 길이 길어지는 만큼 기체 발생 정도를 조절하기가 어려워지는 단점이 있다.

따라서 염소 기체에서 불순물을 제거하는 과정은 생략하기로 한다.

실험 기구 장치에 대한 설명을 요약하면 다음과 같다.

가지 달린 넓적바닥 플라스크 안에 KMnO₄를 넣고, 플라스크의 가지에는 고무관을 연결하여 염소 기체가 빠져나가는 통로를 만든다. 고무마개에는 구멍을 하나만 뚫어 눈금이 있는 콕크달린 안전 깔대기를 끼우고, 고무관에는 핀치 클램프를 장치한다.

염소의 성질을 확인하기 위한 방법의 선정.

각 교과서에서 제시하는 염소 기체의 성질 확인 방법을 정리하면 다음과 같다.

- KI 녹말 종이를 넣는다.
- 물에 적신 색깔 있는 꽃잎을 넣는다(8종류의 교과서에 제시된다.).
- 붉은 잉크를 문힌 종이를 넣는다.
- 색종이를 넣는다.
- 연소 숟가락에 쌀알 크기의 Na를 담아서 집기병에 넣는다. 실험 후 이를 소량의 물에 용해시켜서 AgNO₃ 용액을 첨가한다.
- 가열한 구리줄을 넣는다(5종류의 교과서에 제시된

다.).

- 물에 적신 거름종이에 구리 가루를 묻혀서 넣는다.
- 가열한 강철숨을 넣는다.
- 소량의 붉은 인을 넣는다(3종류의 교과서에 제시된

다.).

- 물에 적신 리트머스 종이를 넣는다.
- 불을 붙인 촛불을 넣는다.

위의 여러 성질 확인 방법들의 문제점을 알아보고 적당한 성질 확인 방법을 제시하였다.

① 염소 기체의 확인

KI 녹말 종이 청남색으로 변하는 것으로 염소 기체를 확인하였다.

② 표백 작용 확인

염소가 물과 반응하면 하이포아염소산(HClO)이 생기는데, 이것은 산화성이 강한 물질로서 살균, 소독, 표백 작용을 한다. 물에 적신 색깔 있는 꽃잎, 붉은 잉크를 문힌 종이, 색종이 등을 제시하고 있다. 이중 색종이는 제품의 탈색을 방지하기 위해 표면이 코팅된 제품이 시판되는 경우가 많아서 실험이 잘 되지 않았다. 그밖에 붉은 잉크를 문힌 종이를 이용하는 것보다는 색깔 있는 꽃잎을 이용하는 것이 학생이 실험에 더 큰 관심을 나타낼 수 있을 것이다.

③ 염화물 만들기

염소는 여러 가지 금속 및 비금속과 반응을 하여 염화물을 만든다. 금속은 나트륨, 구리, 강철숨을, 비금속은 붉은 인을 제시하고 있다. 수소 기체를 이용하여 염화물을 만들 수도 있다.



금속 중에서 나트륨은 반응성이 크지만, 구리줄과 강철숨은 반응성이 낮으므로 가열하였다. 가열시 속불꽃으로 가열해야 한다. 절불꽃으로 가열하면 산화가 일어나 산화구리와 산화철로 화학변화를 하기 때문이다. 비금속인 붉은 인을 이용해도 효과적이었다. 단, 붉은 인의 경우 반응이 아주 격렬하므로 집기병에 붉은 인을 떨어뜨릴 때 종이를 이용하면 종이에 불이 붙는

경우도 있어서 약수저를 이용하였다.

④ 산성 확인

염소가 물과 반응하면 하이포아염소산(HClO)과 함께 염산(HCl)이 생기므로 산성을 나타낸다. 그러나 제시되는 물에 적신 리트머스 종이는 붉은 색으로 변해서 산성을 나타내는 것이 아니라 오히려 흰색으로 표백이 되므로 산성을 확인하기에는 부적당하였다. 이보다는 BTB 용액을 이용하는 것이 더 효과적이었다. BTB 용액의 원 용액의 색은 주황색이어서 쉽게 산성(노란색)으로의 색깔 변화를 확인할 수 있었다. BTB 용액에는 원래 물을 들어 있으므로 리트머스 종이를 물에 적셔 사용하는 것보다 더 편리하였다.

⑤ 불을 붙인 촛불

염소 기체의 특징적인 반응은 아니므로 제외한다.

⑥ 마지막으로 염소수를 만드는 경우를 제한한다. 염소는 물 1부피에 약 2.2부피가 녹아 염소수를 만든다. 따라서 염산 4 mL를 첨가하였을 때 염소 기체는 약 300 mL가 발생하므로, 집기병에 물 150 mL를 담은 후 염소 기체를 발생시키는 것이 적당하였다. 이렇게 만든 염소수는 '할로젠의 반응성' 실험에서 이용하여도 된다. 모든 교과서에서는 '할로젠의 반응성' 실험이 있으며, 보통 '염소의 제법과 성질' 실험의 조금 앞쪽에 제시하고 있다.

개선된 학생용 염소의 제법 실험.

실험장치는 가지 달린 넓적바닥 플라스크 250 mL 안에 KMnO_4 5 g를 넣는다. 플라스크의 가지에 고무판을 끼워 집기병에 넣고 유리판으로 덮는다. 고무마개에 구멍을 하나 뚫어 눈금이 있는 콕크달린 안전 깔대기(20 mL 정도)를 끼우고, 그 안에는 진한 염산을 넣는다. 염소 기체는 물과 탈수제를 거치지 않도록 한다. 펀치 클램프는 실험 후 기구를 보관할 필요가 있을 때에만 사용하도록 하며, 실험 중 학생이 잘못 사용하면 발생한 가스의 압력에 의해 위험할 수도 있다. 처음 집기병에는 진한 염산을 8 mL, 그 후는 4 mL씩 첨가해서 각각의 집기병에 염소 기체를 모은다. 흰 종이를 대고 기체의 색깔을 확인하도록 한다. 염소 기체의 성질을 확인하기 위하여 첫째, KI 녹말 종이로 염소 기체의 유무를 확인한다. 둘째, 색깔 있는 꽃잎을 이용하여 표백 작용을 확인한다. 셋째, 나트륨, 구리, 붉은 인 등으로 염화물의 생성을 확인한다. 넷째, BTB 용액으로 산성을 확인한다. 다섯째, 집기병에 물 150 mL를 담고 염소수를 만든다.

결 론

현재 고등학교에서 사용하고 있는 6차 교육과정의 화학 II 교과서에 수록되어 있는 '염소의 제법과 성질' 실험은 기존의 교과서에서 제시하는 장치로 실험하기에는 안전성과 간편성에서 어려움이 있었다. 본 연구에서는 각 교과서의 실험들을 검토하여 학생들이 안전하고 쉽게 실험하기 위한 새로운 실험 방법과 장치를 개발하고 기체의 성질을 확인하는 적당한 방법을 정리하였다.

산화제는 가열 장치가 필요 없는 Ca(ClO)_2 와 KMnO_4 및 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 를 이용한다. 그중 KMnO_4 를 이용할 시에는 진한 염산을 각 약 4 mL 정도 첨가해서 집기병에 염소 기체를 모은다.

실험 장치는 가지 달린 넓적바닥 플라스크 안에 KMnO_4 를 넣고, 플라스크의 가지에는 고무판을 끼워 집기병에 넣고 집기병을 유리판으로 덮는다. 고무마개에는 구멍을 하나 뚫어 눈금이 있는 콕크달린 안전 깔대기를 끼우고, 그 안에는 진한 염산을 넣는다. 염소 기체는 물과 탈수제를 거치지 않고 바로 집기병에 모은다.

염소 기체의 성질 확인 실험을 정리하면 다음과 같다. 첫째, KI 녹말 종이로 염소 기체의 유무를 확인한다. 둘째, 색깔 있는 꽃잎을 이용하여 표백 작용을 확인한다. 셋째, 나트륨, 구리, 붉은 인 등으로 염화물의 생성을 확인한다. 넷째, BTB 용액으로 산성을 확인한다. 다섯째, 집기병에 물 150 mL를 담고 염소수를 만든다.

본 연구의 실험 장치를 이용하면 염소 기체가 새어나오는 양이 줄어들기는 하였으나 완전히 막을 수 없었으며, 특히 학생들은 뷰렛의 사용에 익숙하지 않아 뷰렛과 같이 생긴 본 연구에서 개발된 실험 장치의 사용에 어려움이 있을 것으로 생각된다. 그러나, 현장에서는 기존의 실험 방법보다는 훨씬 더 유용하게 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

인 용 문 헌

1. 이무상; 여수동; 여환진; 배준웅; 이광필; 이우봉; 천영숙; 남상일, *화학교육* 1997, 24(6), 326.
2. 최광일, *화학교육*, 1997, 24(4), 213.
3. 송호봉; 차기성 *화학교육*, 1996, 23(3), 178.
4. 김시중 외 4인 *고등학교 화학 II*; 금성교과서: 1997.
5. 이원식 외 2인 *고등학교 화학 II*; 교학사: 1997.

6. 소현수 외 4인 *고등학교 화학 II*; 두산동아: 1997.
7. 우규환 외 3인 *고등학교 화학 II*; 천재교육: 1997.
8. 박택규 외 2인 *고등학교 화학 II*; 박영사: 1997.
9. 정구조 외 2인 *고등학교 화학 II*; 동아서적: 1997.
10. 최병순 외 4인 *고등학교 화학 II*; 한샘출판: 1997.
11. 박원기 외 1인 *고등학교 화학 II*; 지학사: 1997.
12. 오제직 외 3인 *고등학교 화학 II*; 교학사: 1997.
13. Oxtoby, D.W.; Nachtrieb, N.H.; Freeman, W.A. *Chemistry Science of Change*; 2nd Ed.; Saunders College Publishing: 1994; p.714-715.
14. Mortimer, C.E. *Chemistry a Conceptual Approach*; 3rd Ed.; Litton Educational Publishing Inc.: 1975; p.347-349.
15. Chang, R. *Chemistry*; 5th Ed.; McGraw-Hill Inc.: 1994; p.866-867.
16. Zumdahl, S.S. *Chemistry*; 3rd Ed.; D. C. Heath and Company: 1993; p.918.
17. Kotz, J.C., Purcell, K.F. *Chemistry and Chemical Reactivity*, Saunders College Publishing, 1987; p.905-911.