

중학교 과학 교과서 불꽃반응 실험에서 선스펙트럼 관찰의 문제점 분석 및 개선 연구

김영애 · 이은경 · 강성주*
한국교원대학교 화학교육과
(2005. 10. 4 접수)

An Analysis and Improvement of the Line Spectrum Observation on Flame Reaction Experiment in Middle School Science Textbook

Young-Ae Kim, Eun-Kyeong Lee, and Seong-Joo Kang*

Department of Chemistry Education, Korea National University of Education, Chung-Buk 363-791, Korea
(Received October 4, 2005)

요 약. 이 연구의 목적은 중학교 3학년 과학 교과서에 제시된 불꽃반응 탐구 실험에서 선스펙트럼 관찰에 대한 교과서 제시 방법의 문제점을 분석하고, 불꽃반응 탐구 방법에 대한 개선안을 제시하는 것이다. 시료를 불꽃에 지속적으로 주입할 수 있는 시료주입기와 선스펙트럼 관찰이 가능한 분광기 키트를 개발하였다. 개발된 실험 키트와 탐구 방법을 이용하여 학생들에게 불꽃반응 탐구실험을 수행하게 한 결과 학생들이 원소의 불꽃색을 잘 구분하였으며 원소마다 각각 다른 스펙트럼을 관찰하였다.

주제어: 불꽃반응, 분광기, 선스펙트럼

ABSTRACT. The purpose of this research was to analyze and improve the line spectrum observation on the flame reaction described in middle school textbook. The continuous sample injector and the spectrometer kit observable line spectra were developed to improve the flame reaction experiment. Students could well distinguish the flame color of elements and observe the difference of line spectrum pattern for each element.

Keywords: Flame Reaction, Diffraction Grating Spectrometer, Line Spectrum

서 론

제 7차 교육과정에서는 과학 수업에서 탐구 중심의 수업활동을 강조하여 과학의 기본 개념을 탐구 활동과 탐구 과정을 통해 습득하도록 하고 있다.¹ 특히 중학교 교육과정에서는 탐구 중심의 수업을 통해 기존의 과학 지식을 체계적이며 올바르게 이해하고, 탐구적 태도를 습득하도록 내용이 구성되어 있다. 따라서 학생들이 올바른 과학 지식과 탐구적 태도를 습득할 수 있도록 하기 위해서는 올바른 탐구 활동을 제시하는 것이 무엇보다 중요하다. 현 과학 교과서 내 탐구 활동은 주변 소재를 활용하여 쉽게 해 볼 수 있는 활동

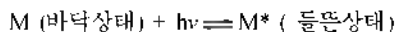
중심으로 구성되었고 다양한 형태로 제시되어 있다. 그러나, 탐구 활동들 중에는 학교 현장의 여건에서는 제대로 된 탐구 결과를 얻기 어려운 것들이 많이 있다.² 이는 학생들의 실험 수행 미숙이나 지도교사의 사전 준비 미비, 현재 학교 현장에 보급되어 있는 실험 기자재가 실험의 원리를 제대로 반영되지 못하여 조악하고 부실하기 때문이다.

현 중학교 교과서에서의 탐구실험 중 기자재의 개선이 가장 시급한 활동 중에 하나가 불꽃반응 실험이다. 학교 현장에 보급된 실험 기구와 기자재를 이용하여 교과서에 제시된 대로 불꽃반응 실험을 실시하였을 때 불꽃색과 선스펙트럼을 제대로 관찰하기 어

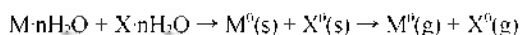
려운 게 현실이다. 현장 교사들에게도 이미 이 실험의 제대로 된 결과 도출의 어려움이 널리 인식되어 왔으며, 전국과학전람회 연구주제 등을 통해 현장 차원에서의 해결 노력이 끊임없이 제기되어 왔을 만큼 중요한 실험이기도 하다.

불꽃반응 실험은 학생들이 다양한 불꽃색을 볼 수 있는 흥미 있는 실험이면서도 간단한 미지 시료 분석, 방출 스펙트럼, 발광의 원인, 불꽃 광도측정법 등 다양한 화학적 원리를 이끌어낼 수 있다.³ 현행 교과서에서는 간단한 원소분석법으로 소개되고 있는데, 금속이나 금속 원소를 포함하는 시료를 불꽃에 넣어 불꽃의 색깔을 관찰하는 활동으로 구성되어 있다. 이는 원자화된 금속 원소의 전자들이 불꽃으로부터 흡수한 에너지에 의해 들뜬 상태로 전이되었다가 다시 바닥상태로 되돌아가게 되는데, 이 때 금속마다 각각 다른 여러 파장의 에너지들이 방출되면서 고유의 색깔이 나타난다. 그렇지만, 수행 면에서 보면 매우 간단한 이 실험은 방출 스펙트럼의 관찰을 통해 원자나 분자의 전자 에너지 준위에 대한 정보를 얻을 수 있으며 이를 바탕으로 원자나 분자를 확인할 수 있다.^{4,12} 원자흡수분광광도계, 광학분광기, UV-vis 분광광도계 등 다양한 실험기구나 장치를 사용하여^{4,5} 훨씬 더 정밀하고 다양한 결과를 얻을 수 있으나, 이는 학교 현장에서 학생들에게 적용하기에는 쉽지 않은 여건일 뿐 아니라 중학교 교육내용으로도 적절한 수준이 아니다.

학교 현장의 불꽃반응 실험에서 흔히 사용되는 부탄가스를 이용한 가스 토치의 온도는 낮아 들뜬 에너지가 작은 알칼리 및 알칼리토금속으로 제한된다. 원자 상태에 에너지가 공급되면 전자가 더 높은 에너지 준위로 전이되어 원자가 들뜬 상태로 된다. 들뜬 상태의 원자는 다시 원래 상태로 되돌아가거나 다른 상태로 전이가 되는데 이때 흡수한 에너지를 방출하여 스펙트럼이 얻어지게 된다.



일반적으로 금속이온 수용액의 경우 고르고 작은 방울로 분산(nebulization)시킨 후, 불꽃에 의해 배워진 물분자들을 증발, 고체 결정화(crystallization)하고, 증기 상태의 원자화(atomization) 과정을 거쳐 비교적 뚜렷한 단원자 스펙트럼을 얻을 수 있다.¹³



원자화가 완전할수록 화학 반응에서 오는 방해가 거의 없는 결과를 얻을 수 있다. 불꽃온도는 발광세기에 크게 영향을 주는데, 이는 들뜬 상태로의 전이 입자 수에 큰 영향을 끼치기 때문이다. 따라서, 스펙트럼상의 관찰이 유리하려면 상대적인 발광세기가 커야 하며, 복사선의 파장이 가시광선 영역 내 파장에 해당되어야 한다. 즉, 나트륨 원자의 경우 다양한 전자전이 중 최외각 3s 궤도의 전자가 3p 궤도로 들떴다가 되돌아가면서 방출하는 복사선의 파장이 589.0 nm와 589.6 nm이므로 육안으로 관찰할 수 있는 색깔은 진한 노란색이다.^{4,6,11}

원소 분석법으로 사용되는 불꽃반응 실험은 먼저 불꽃의 색을 관찰한 후 원소 스펙트럼을 관찰하도록 상호보완적으로 구성되어 있다. 그렇지만, 현장에 보급되어 널리 사용되는 원통형 간이분광기로는 제대로 된 스펙트럼을 관찰하기 어려운 실정이다.

국외 연구에 의하면, 실험 결과를 향상시키기 위한 개선 방안을 제시하는 사례들이 많이 있어 왔다.^{3,14,20} Humbolt 버너와 이동이 간편한 프로판 탱크 연료를 사용하거나,³ 불꽃의 지연 시간을 연장하기 위해 시료봉으로 나무 막대기를 사용하거나,¹⁵ 에탄올/메탄올 겔이나¹⁶ 알콜 버너¹⁸, 메탄올 분무기¹⁹를 사용하는 등 다양한 개선 연구가 시도되었다. 국내에서도 전국과학전람회에 교과서 실험 개선을 위한 연구주제로 수 차례 채택되는 등 오랜 기간동안 이를 개선하고자 하는 노력이 있어 왔다. 그러나, 개선된 실험 기구와 방법을 통한 결과 도출이 불완전하거나, 결과 개선에는 성공적이거나 현장에서 활용하기에는 적절하지 못한 단점을 가지고 있다. 따라서 이 연구에서는 제 7차 교육과정에 따른 중학교 3학년 과학 교과서에 제시된 불꽃반응 실험에서 선명한 불꽃색을 관찰할 수 있도록 탐구 방법을 개선하고, 현장에서의 활용이 간편하면서 선스펙트럼을 관찰할 수 있는 분광기 키트 개발을 목적으로 하고 있다.

연구 내용 및 방법

연구 내용

제 7차 교육과정에 따른 중학교 3학년 과학 교과서 중 물질의 구성 단원에서 다루고 있는 원소의 불꽃반응 탐구실험의 문제점을 분석하고 실험 장치를 개선하기 위한 연구 내용은 다음과 같다.

1. 중학교 과학 8종 교과서의 불꽃반응 실험 장치와 방법을 분류하고 문제점을 분석한다.

2. 금속 원소의 선명한 불꽃색을 관찰할 수 있는 시료주입기와 선스펙트럼을 관찰할 수 있는 분광기를 개발한다.

3. 개발된 실험 키트를 학교 현장에 적용하여 그 결과를 분석한다.

연구 방법

제 7차 교육과정에 따른 중학교 3학년 과학 교과서 8종에서 공통적으로 다루고 있는 불꽃반응 실험을 실험 장치와 방법을 비교, 분석하였다. 각 교과서에 따라 불꽃장치, 사용되는 연료, 시료상태, 시료주입 방법, 스펙트럼 관찰 장치 등에 따라 분류하여 비교해 보고, 실제 적용을 위해 현장에서 가장 많이 활용되는 형태를 선정하였다. 교과서에 제시된 불꽃반응 실험의 문제점을 분석하기 위해 안양시 소재 A중학교 3학년 36명 학생들을 대상으로 C교과서의 탐구 활동을 참고로 실험을 수행하게 했다. 고체 시료를 니크롬선에 묻힌 후 가스 토치에 가까이 가져가서 원소의 불꽃색과 선스펙트럼을 관찰하도록 하였으며, 시료로는 4가지 시료(염화나트륨, 염화칼륨, 염화칼슘, 염화 스트론튬)를 임의로 선택하여 사용하였다. 실험 실시 후 학생들이 작성한 보고서를 기초로 실험에 대한 문제점을 분석한 뒤 문제점을 해결하기 위해 불꽃반응 탐구실험 방법과 실험 키트를 개선하였다. 개선한 탐구 방법과 자체 제작한 키트를 가지고 선행실험에 참여했던 A중학교 36명 학생들에게 불꽃반응 탐구 실험을 다시 실시하게 한 뒤 그 결과를 분석하여 개선 이전의 결과와 비교하였다.

이 연구에 사용된 교과서의 종류와 약어는 다음과

같다.

- A 교학사(정완호외 9인)
- B 금성출판사(이성목외 11인)
- C 대일도서(최은형외 11인)
- D 더딤들(김찬종외 11인)
- E 동화사(박봉상외 11인)
- F 두산(소현수와 11인)
- G 블랙박스(김정률외 9인)
- H 지학사(이광만외 16인)

연구 결과 및 논의

교과서에 제시된 방법 및 문제점 분석 불꽃장치와 연료

Table 1에서 보는 바와 같이 8종의 교과서는 모두 불꽃장치로 토치를, 연료는 부탄가스 사용을 제시하고 있다. 한편, D교과서는 알콜 램프, F교과서는 증발 접시에서 시료의 직접 연소를 같이 제시하고 있다. 이 경우 메탄올을 연료로 사용하도록 제시하고 있는데, 메탄올을 사용할 경우 연소할 때 심지 부분에서 주황색에 가까운 불꽃색이 나타나므로 시료의 불꽃색에 영향을 주게 된다. 또한, 8종의 교과서 모두 분광기를 사용한 스펙트럼 관찰을 제시하고 있다.

시료와 시료봉

교과서에 제시된 시료의 상태는 고체(C, E, G)나 수용액(A, B, H)이며, 2종의 교과서(D, F)에서는 고체와 수용액이나 알콜 용액 모두를 제시하고 있다. 3종 교과서(A, B, H)에서는 수용액 상태의 시료를 니크롬선이나 클립을 이용하여 불꽃 속에 주입하고 있다. 이 경우 니크롬선이나 클립에 묻는 시료의 양이 적어 색

Table 1. The analysis of flame reaction experiment in the middle school science textbook

	flame	fuel	injection	sample state
A	torch	C ₄ H ₁₀	nichrome wire	solution
B	torch	C ₄ H ₁₀	nichrome wire	solution
C	torch	C ₄ H ₁₀	nichrome wire	solid
D	torch	C ₄ H ₁₀	nichrome wire	solid
	lamp	CH ₃ OH	wick	solution +CH ₃ OH
E	torch	C ₄ H ₁₀	nichrome or Pt wire	solid
F	torch	C ₄ H ₁₀	nichrome wire	solid
	dish	CH ₃ OH	burning	solid in CH ₃ OH
G	torch	C ₄ H ₁₀	nichrome or Pt wire	solid
H	torch	C ₄ H ₁₀	clip	solution

을 관찰하기에 시간이 부족한 경우가 자주 발생한다. 고체 시료를 가스 토치에 직접 넣을 경우 가열된 시료가 뒤게 되어 실험하는 학생들이 위험에 노출될 수 있다. 또한 시료가 불꽃에 닿는 표면적이 좁은 데다 연소되는 시료의 양이 점점 줄어들며 원소의 불꽃색과 선스펙트럼을 선명하게 관찰하기 어렵다.

실제 학생들에게 C교과서에 제시된 고체 시료를 니크롬선 시료봉에 묻혀 불꽃에서 연소시키는 방법으로 불꽃색을 관찰하도록 하였다. 니크롬선 시료봉이 가스 토치에서 주황색 빛을 내므로 염화나트륨이나 염화칼슘의 경우 불꽃색이 시료에 의한 것인지 시료봉에 의한 것인지 구별이 어려웠다. 염화칼륨과 염화스트론튬의 경우에도, 시료봉 자체의 불꽃색이 섞여 보라색과 붉은색의 불꽃색을 선명하게 관찰하기 어려웠다.

분광기

연료나 시료주입 장치에 대한 개선 연구에 비해 분광기를 개선하고자 하는 연구^{22,23}는 그리 많지 않다. 학교 현장에 보급된 분광기는 대부분 원통형으로 되어 있는데 원통형 분광기는 학생들이 스펙트럼이 나타나는 위치를 찾는 데 어려움이 있다. 또한, 슬릿의 넓이와 격자의 문제로 선스펙트럼 관찰이 어렵다. 실제 36명 학생들의 실험 수행 결과에 의하면, 선스펙트럼을 관찰하기 위하여 4가지 시료의 불꽃을 분광기로 관찰하였으나 실험을 실시한 학생 전원이 선스펙트럼을 관찰하지 못했다.

실험 장비 개선

원소의 불꽃반응 실험은 불꽃색과 스펙트럼을 이용하여 원소를 확인하는 실험이다. 따라서 원소 자체의 불꽃색과 스펙트럼이 선명하게 나타나야 한다. 개선된 실험 방법은 다음과 같다.

시료 주입기 키트 제작

알코올램프를 사용할 경우 램프의 심지로 인하여 주황색 불꽃색이 나타나므로 불꽃색이 덜 나는 가스 토치를 사용하여 실험하였다. 시료 부여를 위해 시료 봉을 사용할 경우 불꽃색과 스펙트럼에 영향을 주게 되며, 불꽃온도가 높아 쉽게 녹아 버리거나 약해져서 쉽게 부러지는 일이 발생한다. 이에 토치에서 분출되는 기체의 압력을 이용하여 시료를 흡입하도록 키트를 제작하였다. 이 키트를 사용하면 계속 동일한 양의 시료를 불꽃 속에 주입시킬 수 있고 순수한 용액의 불꽃색만을 관찰할 수 있는 장점이 있다. 그러나 한

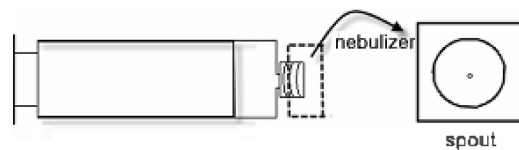
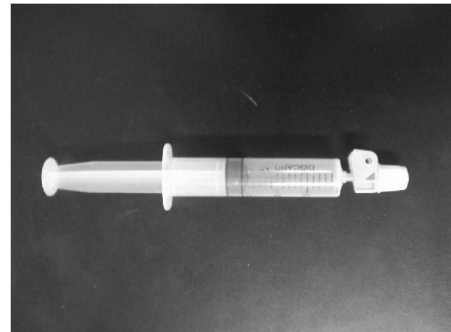


Fig. 1. Picture and scheme of the syringe-type nebulizer.

시료를 관찰하고 다른 시료를 관찰할 경우 먼저 관찰한 시료가 토치 입구에 남아 있어 다음 시료의 불꽃색과 스펙트럼 관찰에 영향을 주었으며 시료 흡입구가 자주 막히는 문제가 발생하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 분무기를 개선한 주사기형 분무기를 제작하였다. 기존의 분무기를 사용한 경우 선스펙트럼 관찰에 어려움이 있었다. 선스펙트럼을 관찰하기 위해서는 일정 시간 동안 지속적으로 시료가 투여되어야 하는데 기존의 분무기를 사용할 경우 지속적인 시료 투여를 할 수 없었다. 따라서, 이 연구에서는 시료를 분무기처럼 작은 방울의 형태로 부여하며 또한 지속적으로 일정 시간 동안 투여할 수 있는 주사기형 분무기를 제작하였다. 주사기형 분무기는 주사기 앞부분에 분무기를 연결하여 수용액 시료가 작은 방울의 형태로 지속적으로 분무되도록 제작하였다. Fig. 1은 주사기형 분무기의 모식도이다.

분광기 제작

분광기는 선스펙트럼을 관찰하기 위한 도구인데 학교에 보급된 원통형 분광기는 스펙트럼이 나타나는 위치를 찾는 데 어려움이 있다. Fig. 2는 이 연구에서 제작한 분광기 모식도이다.

분광기의 내부는 검정색의 두꺼운 종이를 사용하였으며, 민도날을 이용하여 0.8 mm 간격의 슬릿을 제작하였다. 사용한 회절격자는 500선/mm을 가지는 플라 스틱 격자이며 슬릿과 회절격자 사이의 간격은 18 cm

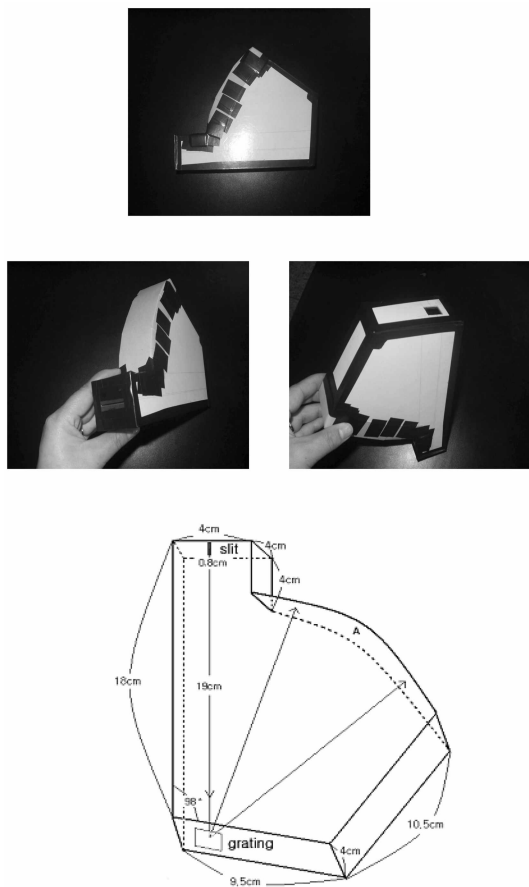


Fig. 2. Picture and scheme of the diffraction grating spectrometer.

이다.^{25,36} 회절격자의 분해능은 회절차수와 회절격자의 흡수에 비례하는데, 500선/mm의 플라스틱 격자는 두 파장의 차이가 약 1.18 nm 이상이면 구분할 수 있다. 나트륨의 경우 두 파장(589.0, 589.6 nm)의 차이가 0.6 nm이므로 두 파장의 구분이 어렵다. 회절격자가 부착된 면은 98°가 되도록 비스듬하게 부착하여 빛이 격자에 부과된 후 분리된 선스펙트럼이 A면에 나타날 수 있도록 하였다. 분광기 모식도에서 빛이 들어오는 슬릿과 다른 A면에 선스펙트럼이 나타나므로 학생들이 스펙트럼을 찾는 데 용이해졌다. 또한, 디지털 카메라로 선스펙트럼을 찍을 수 있도록 회절격자 부분을 크게 제작하였다.

개선된 kit 를 이용한 실험 결과

학생들에게 이 연구에서 제작한 주사기형 분무기를

Table 2. The number of students observed before and after using the improved kit

Sample	Before	After
Sodium chloride	27	35
Potassium chloride	7	30
Calcium chloride	30	32
Strontium chloride	23	30

이용하여 시료를 가스 토지에 부여하게 한 후 제작된 분광기로 선스펙트럼을 관찰하게 했다.

불꽃색 관찰

학생들의 보고서에 의하면, 염화나트륨은 노란색 불꽃, 염화칼슘은 보라색의 선명한 불꽃을 정확하게 관찰한 학생들의 수가 Table 2와 같이 증가하였다. 또한, 염화칼슘은 약간 붉은 주황색 불꽃을 나타내어 염화나트륨과 불꽃색만으로도 구별이 가능하였고, 염화스트론튬도 붉은 불꽃이 선명하게 나타났다. 즉, 시료용 지체의 불꽃색이 사라져 원소의 선명한 불꽃색을 관찰할 수 있었다. 그렇지만, 염화나트륨, 염화칼슘과 같이 불꽃색이 유사한 원소들의 경우 스펙트럼을 이용하여 물질의 확인을 분명하게 할 수 있다.^{3,16,18-19}

선스펙트럼 관찰

실제 학생들에게 불꽃색이 유사한 염화나트륨, 염화칼슘 원소들을 개발된 분광기 키트로 관찰한 스펙트럼을 통해 구분해 보도록 하였다. 불꽃색이 유사한 염화나트륨과 염화칼슘의 선스펙트럼을 교과서에 제시된 분광기와 개선된 분광기를 사용하여 관찰하게 한 후 학생들이 두 물질을 구분할 수 있는지 확인하였다. 교과서에 제시된 분광기를 사용하여 불꽃을 관찰한 후 선스펙트럼을 그리도록 하였으나 36명 학생 모두 '보이는 것이 없다'로 답하였다. 개선된 분광기와 주사기형 분무기를 사용하여 불꽃을 관찰한 후 선스펙트럼을 그린 학생의 보고서는 Fig. 3과 같다.

보고서에 기록된 선스펙트럼 관찰 결과에 의하면, 염화나트륨의 경우 36명의 학생 중에서 부응답 1명을 제외한 35명이 선스펙트럼을 관찰하였다고 응답하였다. 또한, 불꽃반응으로 염화나트륨과 구별이 어려웠던 염화칼슘에 대한 학생들의 응답을 요약한 내용은 Table 3과 같다. 노랑색, 초록색, 빨간색의 선스펙트럼을 관찰한 학생들이 20명 이상이었으며, 다소 희미하게 나타난 보라색, 주황색, 파랑색을 관찰한 학생들도 있었다.

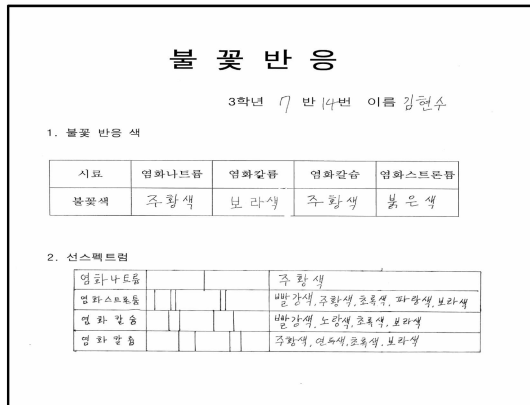


Fig. 3. The student report showing the color of light and the line spectrum.

Table 3. The number of students observed each line spectrum for the CaCl₂ solution

Line spectrum	Student	Line spectrum	Student
yellow	36	violet	16
green	30	orange	13
red	24	blue	4

따라서, 36명의 학생들 모두 염화나트륨과 염화칼슘을 선스펙트럼으로 쉽게 구분할 수 있다고 응답하였다.

Fig. 4는 제작된 키트를 이용하여 관찰된 선스펙트럼을 디지털카메라로 찍은 사진이다. 나트륨 (a)는 하나의 선스펙트럼이 관찰되었고, 칼슘 (c)는 초록색, 노란색, 빨간색의 선스펙트럼이 관찰되어 두 물질을 쉽게 구분할 수 있었다.

또한, 염화스트론튬 (d)도 여러 파장의 선스펙트럼을 관찰할 수 있어 개선된 분광기로 원소의 선스펙트럼이 선명하게 관찰됨을 확인할 수 있었다.

결론

제 7차 교육과정에 따른 중학교 3학년 과학 교과서 8종에 수록되어 있는 불꽃 반응 실험을 분석하였다. 모든 교과서에서 불꽃장치로 가스 도치, 연료는 부탄 가스, 시료 투여는 시료봉의 사용을 제시하고 있었다. 이 경우, 시료봉 자체의 불꽃색이 존재하며 시료의 지속적인 투여가 어렵다. 먼저 이러한 문제를 개선하기 위하여 분무기형 주사기를 도입하였다. 분무기형 주사기로 시료를 주입하면 시료봉의 자체 불꽃색이 없으므로 시료의 불꽃색 관찰이 용이하고, 또한 지속적

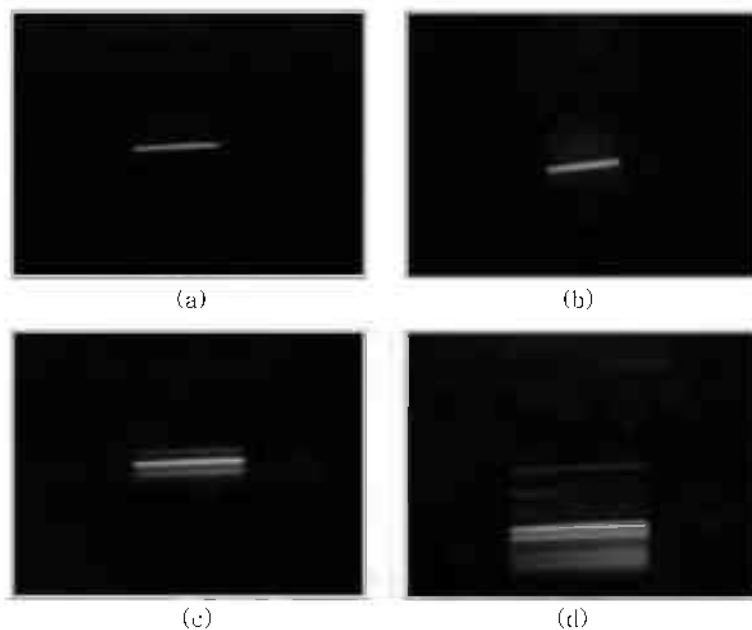


Fig. 4. The observed line spectra by an improved spectrometer (a) Sodium (b) Potassium (c) Calcium (d) Strontium.

으로 시료를 투입할 수 있어 선스펙트럼을 관찰할 수 있다. 그리고, 학교에 보급된 분광기로는 선스펙트럼의 관찰이 불가능하여, 분광기를 개선하였다. 분광기는 선스펙트럼이 관찰될 수 있도록 회절격자를 이용하여 제작하였다. 기존의 원통형 분광기는 스펙트럼이 나타나는 위치를 명확하게 나타내지 못해 스펙트럼을 찾는 데 어려움이 있었는데, 새로 제작된 키트는 스펙트럼이 나타나는 위치를 부채꼴 모양으로 만들어 쉽게 스펙트럼을 찾을 수 있도록 하였다.

제작된 불꽃반응 실험 키트를 이용하여 학생들에게 불꽃반응 실험을 수행하게 한 결과, 학생들은 기존 기재로 실험할 때보다 더 선명한 불꽃색을 관찰하였고, 기존의 분광기로는 선스펙트럼을 전혀 관찰하지 못했던 학생들이 원소의 선스펙트럼을 관찰할 뿐 아니라 더 나아가 스펙트럼의 띠를 근거로 각각의 시료를 구분할 수 있었다.

이 연구는 중학교 3학년 과학 불꽃반응 탐구 실험 및 탐구 활동에서 개선된 실험으로 화합물의 확인이 가능하고 재현성이 있으므로 실제 수업에 활용이 기대된다.

이 연구는 한국교원대학교 기성회계에 의해 지원되었습니다.

인용문헌

1. 교육부 *중학교 교육과정 해설(III)*; 대한교과서:서울, 1997.
2. 김영신, 김세경, 이혜경 *한국초등과학교육학회지* 2004, 23(2), 158.
3. Dalby, D. K. *J. Chem. Educ.* 1996, 73, 80.
4. Goode, S. R.; Metz, L. A. *J. Chem. Educ.* 2003, 80, 1455.
5. Minas da Piedade, M. E.; Berberan-Santos, M. N. *J. Chem. Educ.* 1998, 75, 1013.
6. Stafford, F. E.; Wortman, J. H. *J. Chem. Educ.* 1962, 39, 630.
7. Miller, K. J. *J. Chem. Educ.* 1974, 51, 805.
8. Rappon, M.; Greer, J. M. *J. Chem. Educ.* 1987, 64, 453.
9. McSwiney, H. D.; Peters, D. W.; Griffith, W. B., Jr.; Mathews, C. W. 1989, 66, 857.
10. Shields, G. C.; Kash, M. M. *J. Chem. Educ.* 1992, 69, 329.
11. Appling, J. F.; Yonke, F. J.; Edgington, R. A.; Jacobs, S. *J. Chem. Educ.* 1993, 70, 250.
12. Smith, G. D.; Sanford, C. L.; Jones, B. T. *J. Chem. Educ.* 1995, 72, 438.
13. 함동곤, 안정수, 김석현, 이범규, 태범석, 고창용, 조석형, 정현준 기기분석 *《이론과 실험》*, 도서출판 창문각: 서울, 2000; p.78.
14. Fragale, C.; Bruno, P. *J. Chem. Educ.* 1976, 53, 734.
15. Levine, E. H.; *The Science Teacher* 1992, 59(3), 64.
16. McKelvy, G. M. *J. Chem. Educ.* 1998, 75, 55.
17. Bare, W. D.; Bradley, T.; Pulliam, E. *J. Chem. Educ.* 1998, 75, 459.
18. Dragojlovic, V. *J. Chem. Educ.* 1999, 76, 929.
19. Johnson, K. A.; Schreiner, R. *J. Chem. Educ.* 2001, 78, 640.
20. Shakhshiri, B. Z. *Chemical Demonstrations*, vol.2, U. of Wisconsin: Madison, pp M9-M12.
21. Hughes, E., Jr. *J. Chem. Educ.* 1984, 61, 908.
22. Cortel, A.; Fernandez, L. *J. Chem. Educ.* 1986, 63, 348.
23. Wakabayashi, F.; Hamada, K.; Sone, K. *J. Chem. Educ.* 1998, 75, 1569.
24. Diaz, L.; Smith, C. A. *J. Chem. Educ.* 2005, 82, 906.
25. Glynn, T. J. *Phys. Educ.* 1993, 28, 187-190.
26. 김희준 *화학교육* 1998, 25(1), 33-35.