

컴퓨터와 연결된 교육용 분광기 제작과 교육적 활용 연구

신 일 용(한국교육과정평가원 연구위원)

김 현 경(한국교육과정평가원 부연구위원)

최 병 순(한 국 교 원 대 학 교 교 수)

박 종 윤(이 화 여 자 대 학 교 교 수)

홍 훈 기(서 울 대 학 교 교 수)

《 요 약 》

이 연구에서는 고등학교 교재 화학Ⅱ와 과학고등학교 교재 화학실험 및 고급화학, 그리고 대학교 일반화학 교재 및 일반화학 실험서에 제시된 원자의 에너지 준위 양자화에 대한 실험적 사실을 교육시키기 위한 내용을 분석하고, 탐구수업을 위한 분광기 제작과 선스펙트럼 관찰 및 분석에 대한 개선안을 제시하고자 한다. 특히 컴퓨터 기반 분광기의 제작을 통해 학생들에게는 그동안 정체를 알 수 없는 블랙박스로 여겨졌던 분광기의 원리를 탐구실험을 통해 쉽게 이해할 수 있고, 설명할 수 있게 하는 교육적 효과를 얻고자 하였다. 이를 위해 학교 현장에서 간편하게 사용할 수 있도록 회전식 기체 방전관을 개발하고, 다양한 회절격자를 이용한 실험과 각 회절격자에 맞는 정확한 눈금자를 제작하였다. 분광기 안에 소형 카메라를 설치하고 이를 컴퓨터와 연결하여 분광기에 나타난 스펙트럼을 카메라로 찍어서 Image J 프로그램을 통해 정밀하게 정성 및 정량 분석을 가능하게 하였다.

주제어 : 회전식 기체 방전관, 컴퓨터 기반 분광기, 선스펙트럼

I . 서론

교육 현장에서 실험 활동은, 학생들이 과학 개념을 올바르게 형성하는데 대단히 중요한 역할을 하므로, 제 7차 교육과정에서도 과학의 기본 개념을 탐구 활동과 탐구 과정을 통해 습득하도록 하고 있다(교육인적자원부, 1998). 특히 화학 수업에서 이론과 실험은 분리될 수

없음에도 불구하고 안타깝게도 여러 가지 학교 사정이나 대학 입시 위주의 교육으로 인해, 그러한 실험 활동이 활발하게 이루어지고 있지는 않는 듯하다(박기철, 박상태, 육근철, 2006; 김현경, 최병순, 2005). 과학고의 경우는 일반고에 비해 화학실험 과목을 따로 배우고 있으나 제한된 실험 시간, 기존 실험과 이론을 답습하는 통제된 실험 환경 등이 학생들의 창의적인 사고력과 과학적 탐구력을 떨어뜨리고 있는 실정이라, 결과적으로 능동적으로 문제를 발견하고 해결하는 능력을 높이는 것이 문제점으로 대두되고 있다(김현경, 최병순, 2005). 또한 실험으로 가르쳐야 할 내용도 마땅히 개발된 자료가 없어서 기존 교재에 나온 내용을 답습하여 이론으로만 가르치는 경우도 많다. 이러한 상황에도 열정 있는 교육 현장의 교사들이 좀 더 정확하고 쉽게 접근할 수 있는 실험 내용을 개발하거나 실험 장비를 개선하는 일에 많은 노력을 기울이고 있는 것 또한 사실이다. 특히 중등교육 현장에서 위와 같은 연구로 중학교 불꽃반응 실험에서 선스펙트럼 관찰을 위한 분광기 개발이나(김영애, 이은경, 강성주, 2005), 광학실험 키트의 개선에 관한 연구(임종탁, 오철환, 2000), 광도계를 이용한 빛의 강도 측정(김은정 등, 2004) 등과 같은 연구가 몇몇 선행 연구자들에 의해 이미 수행된 바 있다. 또한 CD를 이용한 분광기나(Wakabayashi, Hamada & Sone, 1998), DVD를 이용한 분광기(Wakabayashi & Hamada, 2006) 등과 같은 분광기 관련 선행연구(Adolf & Luis, 1986; Ulrich & Herbert, 1985)들이 되어 있지만 이러한 분광기는 고등학교 화학Ⅱ나(김희준 등, 2003; 서정쌍 등, 2003; 송호봉 등, 2003; 여상인, 이진승, 김홍석, 2003; 여수동 등, 2003; 우규환 등, 2003; 윤용 등, 2003; 이덕환 등, 2003), 과학고등학교용 화학실험(교육인적자원부, 2002)과 고급화학(교육인적자원부, 2003), 그리고 일반화학(Oxtoby, Gillis & Nachtrieb, 2003; Zumdahl & Zumdahl, 2005; Chang, 2008) 및 일반화학 실험서(대한화학회, 2000; Slowinski, Wolsey & Masterton, 2002) 등에 있는 원자의 에너지 준위 양자화와 관련된 개념을 실험을 통해 지도하기에는 적합하지 않다. 그리고 교육용 분광기에 관한 선행연구가 중학교 과학 교과서에 나오는 불꽃반응 실험에서 관찰되는 선스펙트럼을 개선하기 위한 연구에 그치거나(김영애, 이은경, 강성주, 2005), 눈금자를 포함하지 않아서 정밀도가 떨어지거나(Wakabayashi, Hamada & Sone, 1998; Wakabayashi & Hamada, 2006), 컴퓨터를 이용한 정밀한 정성, 정량 분석이 미흡하다.

화학적으로 접근할 때, 1860년대 분광 분석법을 처음으로 개발했던 분젠과 키르히호프는 여러 가지 원소가 섞여있는 경우에도 각각의 선스펙트럼이 독립적으로 나타나기 때문에 원소들을 분리하지 않고도 섞여있는 원소의 종류를 알아낼 수 있었다. 또한 그 당시 물리학자, 화학자, 천체학자 등은 다방면의 학자들에게 관심을 끌었던 분광기를 통해 태양의 대기에 의한 흡수 스펙트럼인 프라운호퍼선을 분석해서 태양의 대기에 포함된 원소의 종류를 알아낼 수 있었으며 우리가 살고 있는 우주가 팽창하고 있다는 중요한 단서를 제공하기도 했다(대한화학회, 2000). 이러한 역사적인 분광기를 이용한 실험이 보어의 원자 이론과 현대 양자

론에 대한 중요한 실험적 증거가 되었다. 이처럼 과학에서 주요한 의의를 가진 분광기를 값싸고 손쉽게 제작하고, 학생들에게 기기가 더 이상 블랙박스여겨지지 않으며, 원리를 자세히 알 수 있도록 하는 교육적 효과가 있는 분광기를 제작할 필요가 있다(김현경, 정영규, 2004). 또한 기존의 원자 내 에너지 준위 양자화의 실험적 사실에 관한 내용을 그림이나 사진 등을 통해 지면으로만 제시되었던 내용을 실제 탐구실험을 통해 교육시킬 수 있는 방법이 필요하다.

따라서 이 연구에서는 간단하게 고안된 분광기를 제작하여 수소 스펙트럼을 관찰하고 이로부터 에너지 준위의 양자수까지 정밀하게 계산해 볼 수 있게 하고자 한다. 또한 제작된 분광기를 컴퓨터와 연결시켜 컴퓨터 프로그램 파일인 Image J 프로그램을 통해 선스펙트럼을 정성, 정량 분석할 수 있도록 한다. 더 나아가 고체 시료나 미지 시료를 태워서 선스펙트럼을 구한 후, 컴퓨터를 통한 정성, 정량 분석으로 미지시료를 분석할 수 있게 하고자 한다. 결론적으로 이 연구에서는 교육현장에서 분광기 실험을 개선하기 위한 노력의 일환으로 분광기 내에 소형 카메라를 장착하고 이를 컴퓨터에 연결하여 정밀한 측정이 가능하게 하고자 한다. 이는 실험 소요 시간을 단축시킬 수 있을 뿐만 아니라 분광기에 대한 개념을 올바르게 이해시킬 수 있으며 컴퓨터 프로그램을 통해서 분광기를 이용한 시료의 정성, 정량 분석 과정의 교육도 가능하게 해줄 것이다.

Ⅱ. 연구 내용 및 방법

1. 연구 내용

분광기 안에 소형 카메라를 설치하고 이를 컴퓨터와 연결하면 분광기에 나타난 스펙트럼을 좀 더 정밀하게 분석할 수 있다. 고체 시료는 상자 안에 넣고 태워서 고체 시료에 의한 불빛 이외의 다른 빛이 분광기 안으로 들어가지 않도록 하였고, 빛을 모아주어 분광기 슬릿 속으로 그 빛이 들어가도록 한다. 컴퓨터로 스펙트럼을 분석함으로써 정성적, 정량적으로 스펙트럼을 분석할 수 있고 더 나아가 미지시료도 분석할 수 있다.

2. 연구 방법

가. 교과서 분석

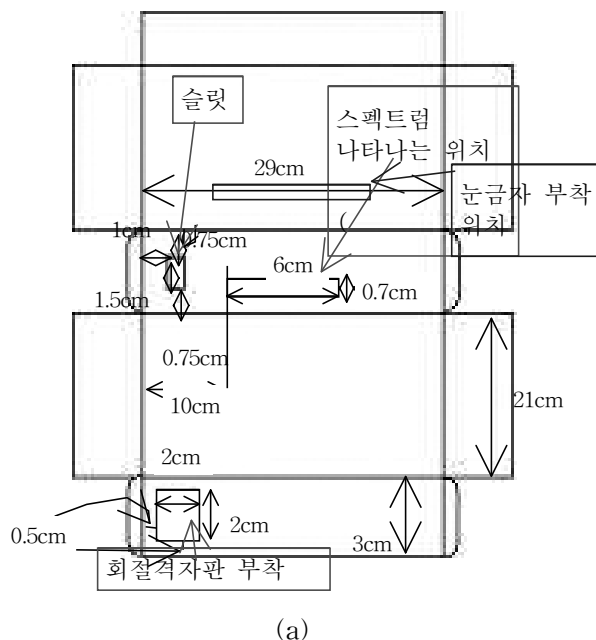
제 7차 교육과정에 따른 고등학교 2, 3학년 선택교과인 화학Ⅱ 교과서 여러 종(김희준 등, 2003; 서정쌍 등, 2003; 송호봉 등, 2003; 여상인, 이진승, 김홍석, 2003; 여수동 등, 2003; 우

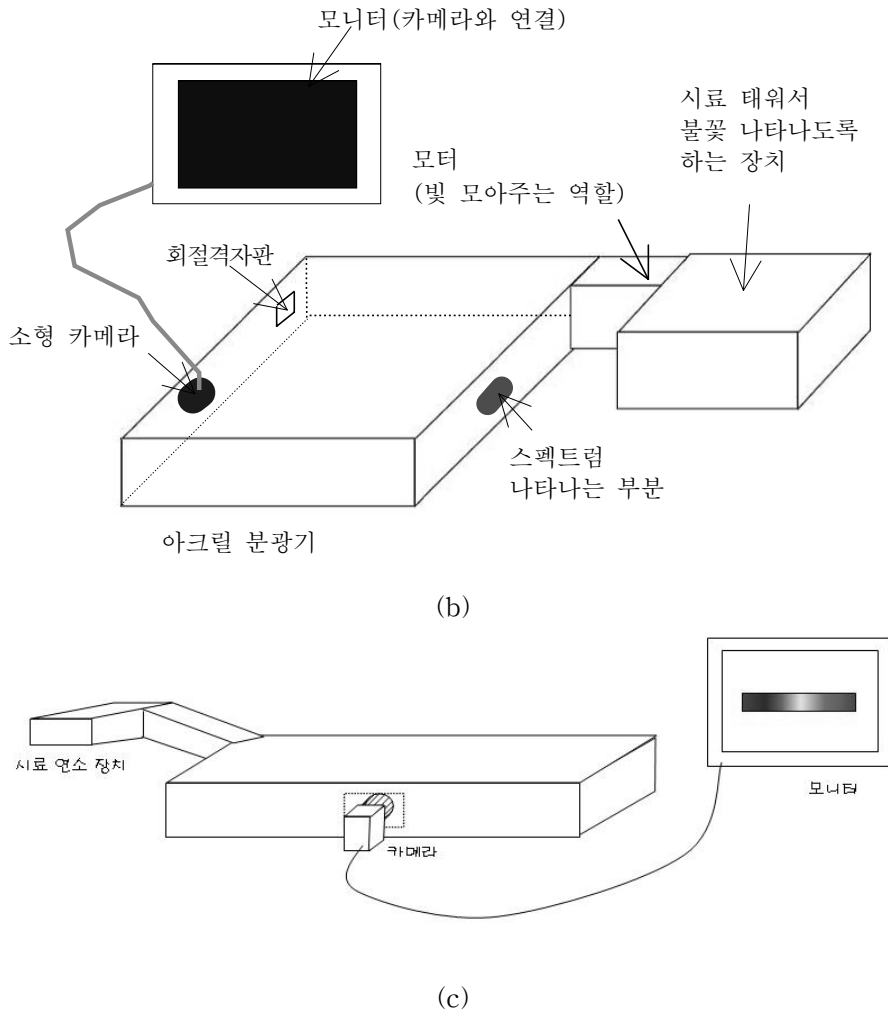
규환 등, 2003; 윤용 등, 2003; 이덕환 등, 2003)에서 공통적으로 다루고 있는 선스펙트럼 관찰에 관하여 실험 및 방법을 비교 분석하였다. 또한 과학고등학교의 전문교과인 화학실험(교육인적자원부, 2002)과 고급화학(교육인적자원부, 2003)에서 다루고 있는 선스펙트럼 관찰과 관련된 내용 및 실험과 일반화학의 몇 가지 종류(Oxtoby, Gillis & Nachtrieb, 2003; Zumdahl & Zumdahl, 2005; Chang, 2008)와 일반화학 실험서(대한화학회, 2000; Slowinski, Wolsey & Masterton, 2002)에서 다루고 있는 선스펙트럼 관찰과 관련된 내용 및 실험 등을 비교 분석하였다. 이 연구에 사용된 교과서의 종류는 다음과 같은 약어로 표시한다.

- A 화학II(천재교육 외 7종)
- B 화학실험(교육인적자원부)
- C 고급화학(교육인적자원부)
- D 일반화학(Oxtoby)
- E 일반화학(Zumdahl)
- F 일반화학(Chang)
- G 표준일반화학 실험서(대한화학회)
- H Chemical Principles in the Laboratory(Thomson Learning)

나. 분광기 제작 및 보정

- ① 값이 싸면서도 딱딱한 아크릴 판으로 [그림 1]의 (a)와 같은 도면을 이용하여 아크릴 분광기 상자를 제작한다. 회절격자 판을 아크릴 상자에 붙일 수 있도록 가로, 세로 각각 2cm 크기의 홈을 만든다. 스펙트럼이 잘 나타나도록 슬릿과 회절격자 판의 위치와 각도, 방향 등을 조절한 후 [그림 1]의 (b)와 같이 소형 카메라 위치를 찾는다.
- ② 회절격자 판을 붙일 수 있는 홈에 다양한 회절격자 판, 공 CD와 공 DVD의 코팅을 벗겨서 사각형으로 잘라 만든 판을 끼울 수 있도록 제작한다.





[그림 1] (a) 아크릴 분광기 제작을 위한 전개도면 (b) 시료 수집 장치와 컴퓨터 기반 분광기 제작을 위한 설계도면 (c) 컴퓨터 기반 분광기 완성도면

- ③ 공 CD 판과 공 DVD 판을 만들기 위해 투명한 공 CD나 공 DVD를 [그림 2]의 (a)와 같이 중심선을 기준으로 평행하게 잘라서 12mm 정도의 공 CD나 공 DVD 면을 떼어 낸다. 이 경우 데이터 CD나 DVD는 잘 벗겨지지 않아 분광기를 만드는 재료로 적합하지 않으므로 반드시 공 CD나 공 DVD를 사용해야 한다. [그림 2]의 (a)와 같이 중심선에 평행하게 자르지 않으면 스펙트럼이 휘어져 보이기 때문에 주의해야 한다. [그림 2]의 (b)는 왼쪽부터 회절격자 판, 잘라낸 공 CD 판, 공 DVD 판 사진이다.



〔그림 2〕 (a) CD나 DVD의 자르는 위치, (b) 왼쪽부터 회절격자 판, 공 CD 판, 공 DVD 판

- ④ 시료 태우는 장치를 아크릴 분광기의 슬릿에 [그림 1]의 (b)와 같이 연결한다. 기체 방전관의 관찰은 슬릿에 직접 불빛이 들어가도록 한다.
- ⑤ 분광기에 소형 카메라를 [그림 1]의 (c)와 같이 설치하고 이를 컴퓨터와 연결하여 분광기에 나타난 스펙트럼을 카메라로 찍어서 컴퓨터로 스펙트럼을 분석할 수 있도록 한다.
- ⑥ 분광기 보정을 위해서 형광등 빛의 가장 밝은 부분에 직접 향하도록 한다. 이 때 형광등 빛의 스펙트럼이 분광기 안쪽에 나타나는데, 스펙트럼이 나타나는 부분에 눈금자를 끼울 수 있도록 [그림 1]의 (a)와 같이 제작한다.
- ⑦ 모눈종이에 파장의 축을 400nm에서 700nm로 하고 스펙트럼의 길이와 비율을 맞춰서 눈금을 표시한다. 이때 눈금 간격이 등 간격이 아니므로 각 회절격자에 맞는 눈금자를 제작한다.

다. 제작한 분광기로 스펙트럼 관찰

1) 회전식 기체 방전관의 고안

여러 종류의 기체 방전관을 편리하게 사용할 수 있도록 회전기를 원형으로 구성하여 수소, 수은, 네온, 헬륨, 질소의 방전관을 스위치만 눌러서 차례로 간편하게 관찰할 수 있도록 제작한다.

2) 기체 방전관의 원자 선 스펙트럼 관찰

수소, 수은, 네온, 헬륨, 질소로 구성된 회전식 기체방전관을 이용하여, 각각의 방전관에서 나온 빛을 슬릿을 통해 모은 후 회절격자 판과 소형 카메라를 장착하여 제작한 아크릴 분광기를 이용하여 찍은 스펙트럼을 컴퓨터를 통해 분석한다.

3) 고체 시료의 스펙트럼 관찰

- ① 백금선과 LiCl, NaCl, KCl, CuCl₂, SrCl₂, Cu(NO₃)₂ 등 여러 종류의 시료를 준비한다.
- ② 백금선을 불꽃 속에 넣어 붉게 달구어 이미 달라붙어 있는 백금선의 불순물을 모두 연소시킨 뒤, 시료 속에 넣어 백금선 고리에 시료를 묻힌다.
- ③ 시료를 태우는 장치 속의 불꽃 바깥 부분에 시료가 묻은 백금 선을 대고 불꽃색을 분광기가 연결된 컴퓨터로 관찰한다.

- ④ 백금선을 증류수에 담가 세척한 후 불꽃에 가열한 뒤 다른 금속염에 대한 스펙트럼을 컴퓨터를 통해 관찰한다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

1. 교과서에 제시된 에너지 준위 양자화의 실험적 사실에 관한 내용 및 문제점 분석

〈표 1〉에서 보는 바와 같이 고등학교 화학Ⅱ의 8종 교과서, 과학고 교재인 화학실험과 고급화학 교과서, 대학 일반화학 교재와 일반화학 실험서에서는 기체 방전관을 그림으로 나타내거나, 외제 고급 방전관의 사진을 사용하였다. 또한 분광기 대신에 프리즘을 이용하였으며, 프리즘도 대부분 그림으로 나타내고 선스펙트럼 또한 대부분 그림으로 나타내었다. 단, 대한화학회에서 출판된 일반화학 실험서만 분광기를 이용하였으나, 간이 분광기를 사용한 것이 아니라 회절격자 판을 사각형으로 잘라서 단지 선스펙트럼이 나타나는 것만 관찰하도록 되어 있다. 따라서 고등학교 화학교과서나, 과학고 및 과학영재를 위한 교과서, 그리고 일반화학 실험 교재에서 분광기를 사용하여 직접 선스펙트럼 관찰 실험을 통해 원자 내 에너지 준위 양자화를 이해할 수 있도록 되어 있는 교재는 없었다. 단지 표준 일반화학 실험서에 간단히 언급되어 있었으나 초보적인 수준에서 정성적으로 선만 관찰할 수 있게 되어 원자 내 에너지 준위 양자화의 실험적 사실에 대해서는 모두 이론적으로만 설명이 되어 있었다.

〈표 1〉 고등학교 및 대학교 교재와 실험서에 나오는 분광기를 이용한 선스펙트럼 관찰 실험 내용 분석

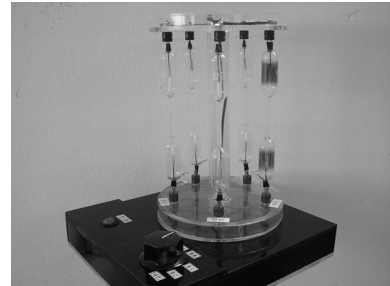
영역	기호	교과서 및 교재	기체방전관	분광기	선스펙트럼
고등학교 화학	A	화학Ⅱ	수소 기체 방전관 그림만 실험	프리즘 그림만 실험	그림으로 나타냄
과학고용 전문교과	B	화학 실험	없음		
	C	고급 화학	그림으로 나타냄	프리즘 그림만 실험	그림으로 나타냄
일반화학	D	일반화학 (Oxtoby)	고급(네온, 아르곤, 수은만) 방전관 사진만 실험	프리즘 그림만 실험	그림으로 나타냄
	E	일반화학 (Zumdahl)	그림으로 나타냄	프리즘 그림만 실험	그림으로 나타냄
	F	일반화학 (Chang)	그림과 수소 기체방전관 사진만 실험	프리즘 그림만 실험	그림으로 나타냄
일반화학 실험서	G	표준일반화학 (대한화학회)	고급(수소, 헬륨만) 방전관 사진만 실험	분광기 모델명이 제시되었으나 구하기 어려움	회절격자 판으로 선만 관찰하게 되어 있음
	H	외국실험서	없음(과장 값의 데이터만 주고 에너지 계산만 하게 함)		

2. 실험 장비 개선

가. 간편한 회전식 기체 방전관의 제작

크기를 작게 제작하고 수소, 수은, 네온, 헬륨, 질소의 방전관을 원형으로 배치하여 회전이 가능하도록 하여 하나의 전원 장치로 모두 점등이 가능하게 하였다. 외국에서 수입한 기체 방전관의 경우 전원 공급 장치 한 대당 각각 한 개씩의 기체 방전관을 사용할 경우에 비해서 10분의 일로 가격을 저렴하게 할 수 있다. 만약 수업 중에 외국에서 수입한 기체방전관으로 여러 개의 기체 방전관을 관찰하기 위해서 전원 공급 장치 한대에 기체 방전관을 바꾸어 끼면서 사용할 경우는 고전압으로 인해 위험할 수 있다.

새로 제작된 회전식 기체 방전관은 스위치만 눌러서 각각의 수소, 수은, 네온, 헬륨, 질소의 방전관을 차례로 간편하게 관찰할 수 있도록 [그림 3]과 같이 제작하였다.



[그림 3] 간편한 기체 방전관 회전기

나. 아크릴 판으로 제작한 분광기

값이 싸면서도 딱딱한 아크릴 판을 이용하여 분광기를 제작하였고, 사용되는 아크릴 판은 검정색이고 광택이 나므로 빛의 반사가 많이 일어나지 않도록 무광택 처리를 하였다. 가로, 세로, 높이를 조절해 가면서 가장 최적화된 크기를 찾아내어, 휴대하기도 편리하도록 A4 사이즈 파일 크기인 29×21×3cm로 결정하여 제작하였으며, 카메라로 스펙트럼을 찍고 컴퓨터로 데이터를 분석할 수 있도록 슬릿의 위치와 회절격자 판 및 카메라의 위치를 최적화하였다. 이와 같이 아크릴 판으로 제작한 분광기를 [그림 4]에 나타내었으며 [그림 4]의 (a)는 눈을 대고 관찰하는 회절격자 판이 있는 면으로 분광기의 앞면, [그림 4]의 (b)는 눈금자가 부착된 뒷면이다.

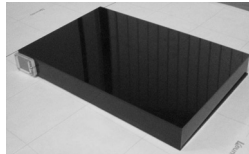
이 분광기의 장점은 다음과 같다.

첫째, 회절격자 판의 성능에 따라서 분광기의 분해능이 달라질 수 있음을 쉽게 교육시킬 수 있고, 또한 분광기를 오래 사용하면 회절격자 판에 손상이 생겨서 스펙트럼을 관찰하기가 어려울 수 있기 때문에 회절격자 판을 간편하게 교체할 수 있도록 고안하였다. 또한 회절격자 판 대신에 공 CD나 공 DVD에 데이터를 기록한 것의 껍질을 벗긴 부분을 넣어서 스펙트럼을 얻고 공 CD 판, 회절격자 판, 공 DVD 판 등을 비교할 수 있는 교육이 가능하다.

두 번째로 눈금자가 이동하기 편리하도록 아크릴판으로 받침을 만들고 그 안에 얇은 아크릴판 눈금자를 제작하여 분광기 보정을 위해서 튜닝이 가능하도록 하여 편리하면서 정밀하

게 실험할 수 있도록 고안하였다. 또한 공 CD 판, 회절격자 판, 공 DVD 판에 따라 각각 눈금자의 눈금 스케일이 다른 것을 교육시킬 수 있고, 그에 맞는 눈금자를 교체할 수 있어서 정밀한 관찰이 가능하다.

세 번째로 슬릿의 간격을 조절할 수 있도록 하였다. 슬릿의 간격은 좁을수록 좋지만 광원의 세기 등 관찰하는 환경에 따라 조절할 수 있도록 하였다.



(a) 분광기 앞면



(b) 분광기 뒷면

(그림 4) 아크릴판으로 제작한 분광기

다. 컴퓨터로 분석 가능한 분광기 제작

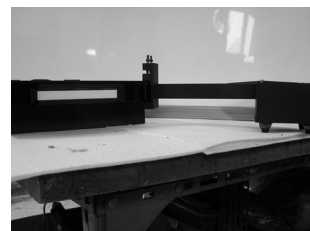
분광기 외부에 소형 카메라를 [그림 5]의 (a)와 같이 설치하고 이를 컴퓨터와 연결함으로써 분광기에 나타난 스펙트럼을 컴퓨터로 분석할 수 있도록 제작하였다. [그림 5]의 (b)와 같이 시료를 태우는 장치를 만들어 아크릴 분광기의 슬릿 부분에 [그림 5]의 (c)와 같이 연결하여 고체 시료의 스펙트럼을 구할 수 있게 하였다. [그림 5]의 (d)와 같이 뚜껑을 열 수 있게 하여 분광기 내부도 쉽게 볼 수 있도록 제작하여 기기가 더 이상 블랙박스로 여겨지지 않도록 하였다. 이 박스 안에는 다양한 회절격자 판이나 공 CD 판, 공 DVD 판이나 기체 방전관 등을 넣어 보관할 수 있는 편리함도 있다. [그림 5]의 (e)는 기체 방전관을 이용한 수소 원자의 스펙트럼을 분석하는 사진이며, [그림 5]의 (f)는 시료 태우는 장치 속에 고체 시료를 넣고 태우는 사진이다. 고체 시료의 불꽃 반응에 의해 나온 불빛 이외의 다른 빛이 분광기 안으로 들어가지 않도록 하였고, 빛을 모아주어 분광기 슬릿 속으로 그 빛이 들어가도록 하였다. 컴퓨터로 스펙트럼을 분석함으로써 정성적, 정량적으로 스펙트럼을 분석할 수 있고 더 나아가 미지시료도 분석할 수 있게 제작하였다.



(a) 소형 카메라 장착



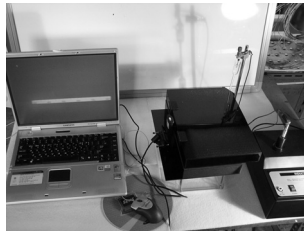
(b) 시료 태우는 장치



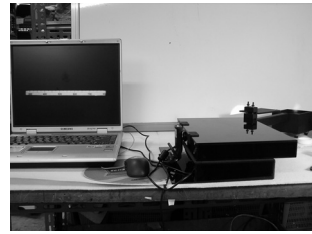
(c) 슬릿과 연결 부위



(d) 분광기 내부 관찰



(e) 수소원자의 스펙트럼분석



(f) 불꽃반응실험을 통한 시료분석

[그림 5] 제작한 컴퓨터-기반 분광기 실험

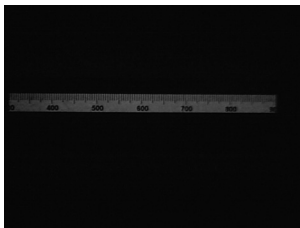
3. 개선된 장비를 이용한 실험결과

가. 다양한 회절격자를 이용한 실험

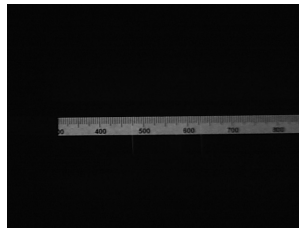
회절광의 간섭을 이용하여 빛의 스펙트럼을 얻는 분광기에서 회절격자의 역할을 할 수 있는 것을 학생들에게 회절격자 판뿐만 아니라 공 CD 판이나 공 DVD 판으로 교체할 수 있도록 제작된 분광기를 이용하여 다양한 회절격자의 성능도 비교할 수 있는 교육적 자료를 제공할 수 있다.

세 가지 판에 대해 수소, 헬륨, 네온, 아르곤, 질소 방전관으로부터 나오는 스펙트럼을 구해 본 결과 공 DVD 판이 분해능이 가장 우수하였고 그 다음이 회절격자 판, 그리고 공 CD 판의 성능이 가장 떨어짐을 보여주었다. 이는 공 CD 판에 1 mm당 600개의 홈이 있고, 회절격자 판에는 1 mm당 1,000개 홈, 공 DVD 판에는 1 mm당 1,200개의 홈이 있기 때문인데, 단위 길이 당 회절격자 홈의 개수가 회절격자의 분해능과 직접적인 연관이 있음을 쉽게 탐구적으로 알아낼 수 있어 회절격자의 작동원리를 눈으로 확인할 수 있는 교육적 효과가 있다. 공 CD 판이나 공 DVD 판의 경우 주위에서 쉽게 구할 수 있고 학생들의 흥미를 유발할 수 있는 장점이 있으나 스펙트럼이 휘어져 나올 수 있기 때문에 교과서 자료로 신거나 교사용으로 사용하기에는 부적합하므로 이 경우에는 회절격자 판을 사용하는 것이 좋다.

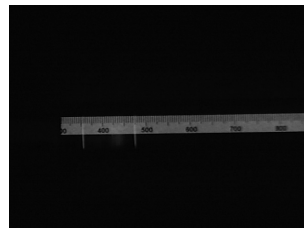
[그림 6]은 다양한 회절격자 분광기를 이용하여 구한 수소와 헬륨 방전관의 스펙트럼을 비교한 사진이다.



(a)



(b)



(c)

[그림 6] (a) 공 CD 판, (b) 회절격자 판, (c) 공 DVD 판을 이용한 수소 스펙트럼

나. 정밀한 눈금자 만들기

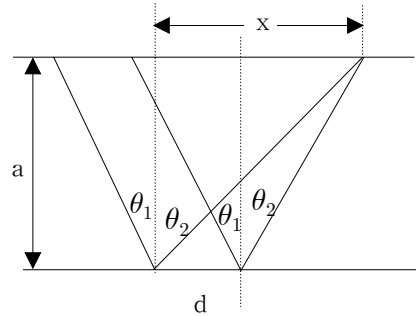
컴퓨터로 스펙트럼을 정밀하게 분석한 결과 눈금자가 등 간격이 아님을 알게 되었고, 따라서 눈금자의 정밀한 간격을 구하기 위하여 회절격자 각도와 회절격자 위치를 측정하여 다음과 같은 원리를 이용하여 각 파장 간격에서의 정확한 길이를 구하였다(대한화학회, 2002).

회절격자의 작동원리에 의한 공식 유도는 다음과 같다.

$$d(\sin\theta_1 + \sin\theta_2) = m\lambda$$

$$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{\lambda}{d} - \sin\theta_1\right), \quad x = a \tan\theta_2$$

이 연구에 이용한 분광기의 경우, $d=1.0\mu\text{m}$, $a=19.8\text{cm}$, $\theta_1 = 35^\circ$ 로 계산하였으며 왼쪽과 오른쪽의 θ_2 는 크기가 다른데, d 가 너무 작아 근사해서 같게 보는 것으로 계산한다. 각 회절격자의 스펙트럼 위치는 <표 2>와 같다.

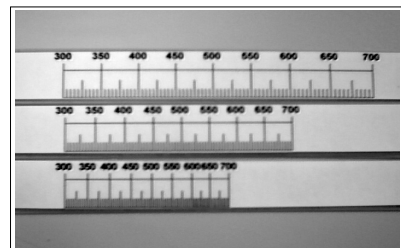


<표 2> 회절격자 판, 공 CD 판, 공 DVD 판에 따른 각도와 위치 및 눈금자 데이터

파장(nm)	300	350	400	450	500	550	600	650	700
회절격자 각도(°)	-15.88	-12.92	-10.00	-7.10	-4.22	-1.35	1.51	4.38	7.26
회절격자 위치(cm)	-5.63	-4.54	-3.49	-2.47	-1.46	-0.47	0.52	1.52	2.52
회절격자용 눈금자(cm)		1.09	1.05	1.02	1.00	0.99	0.99	0.99	1.01
DVD 각도(°)	-21.77	-19.70	-17.66	-15.64	-13.64	-11.65	-9.68	-7.72	-5.77
DVD 위치(cm)	-7.91	-7.09	-6.30	-5.54	-4.80	-4.08	-3.38	-2.69	-2.00
DVD용 눈금자(cm)		0.82	0.79	0.76	0.74	0.72	0.70	0.69	0.68
CD 각도(°)	-9.68	-5.77	-1.89	1.98	5.86	9.77	13.72	17.75	21.86
CD 위치(cm)	-3.38	-2.00	-0.65	0.68	2.03	3.41	4.84	6.34	7.94
CD용 눈금자(cm)		1.38	1.35	1.34	1.35	1.38	1.43	1.50	1.61

같은 파장의 간격이 스펙트럼의 값으로 구할 때 간격이 일정하지 않음을 알 수 있으며 스펙트럼의 각도나 폭이 공 CD 판을 이용할 때가 공 DVD 판을 사용할 때보다 약 2배 정도 큰 것을 알 수 있다. 따라서 여기서 구한 값으로 각 회절격자에 맞는 눈금자를 (그림 7)과 같이 제작하였다.

분광기를 보정하기 위해서 회절격자 판이나 공 CD 판이나 공 DVD 판 중에서 선택하고 그에 맞는 눈금자

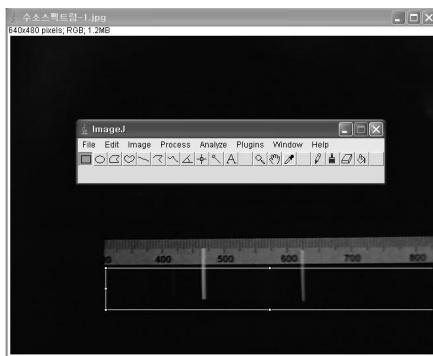


(그림 7) 위에서부터 공 CD 판용 눈금자, 회절격자 판용 눈금자, 공 DVD 판용 눈금자

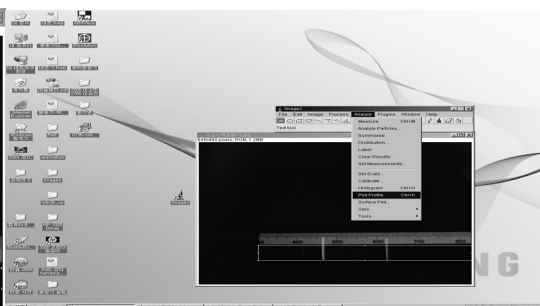
를 선택하여 분광기에 끼워 넣고, 형광등에서 나오는 수은의 선 스펙트럼 위치인 436nm, 546nm, 630nm에서 나타나는 세 선의 위치를 맞추어 눈금자의 위치를 조정하고 고정시켜 분광기를 보정한다.

다. 수소 스펙트럼의 정밀한 파장 값과 강도 분석

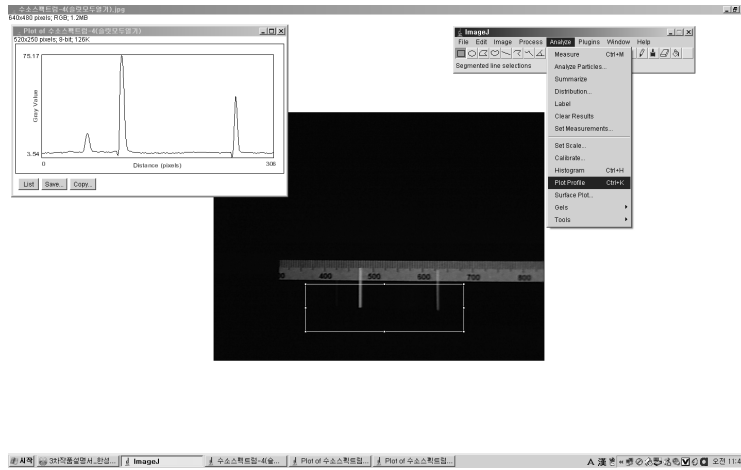
제작한 분광기를 사용하여 수소 기체 방전관으로부터 나오는 수소 스펙트럼을 제작한 분광기로 얻은 후 분광기에 장착되어 있는 카메라로 촬영하여 컴퓨터에 저장된 사진자료를 분석할 경우, 수소 스펙트럼의 정확한 파장 값과 강도를 정성·정량 분석할 수 있다. 이 때 수소 스펙트럼 사진 자료를 'Image J' 프로그램을 통해 분석하면 그래픽의 특정 색이 가시광선의 특정 파장 영역임을 알 수 있고, 이 색의 밝기 또는 세기를 정량적으로 알 수 있다. 즉 가시광선의 파장을 컴퓨터 모니터에 나타난 수소 스펙트럼에서 디지털화된 사진의 이미지를 통해서 정확히 정량적으로 분석하기 위해 Image J라는 소프트웨어를 사용하였으며, 이 소프트웨어는 프리웨어로서 사용에 아무런 제한이 없다. 우선 Image J를 실행시킨 다음, [그림 8](a)에서와 같이 메뉴에서 [File]-[Open] 메뉴를 이용하여 순차적으로 열어, PC에 저장된 촬영 사진을 불러온다. 이때 파일의 확장자는 어느 것이라도 상관없다. 그 후 분석하고자 하는 무늬의 범위를 지정하며 이때 시작 픽셀 위치와, 끝 픽셀 위치를 잘 기록하여 변인 통제한다. 분석영역이 지정된 상태에서, [그림 8](b)에서 보듯이 메뉴의 [Analyze]-[Plot Profile]을 순차적으로 클릭하면, [그림 8](c)와 같이 지정된 영역의 강도 분포도가 나타난다. [그림 8](c)에서, 왼쪽 아래에 있는 [List] 버튼을 클릭하면 x축-y축 데이터 값들이 리스트 되어 새로운 창(Plot Value)이 나타난다. Plot Value 창에서, 원하는 영역만큼 마우스로 드래그하여 복사하거나 전체 복사(키보드의 Control과 A키를 동시에 누름)한 다음, [그림 8](d), (e)와 같이 엑셀 프로그램으로 옮겨서, 강도 분포도를 새롭게 조정하였다.



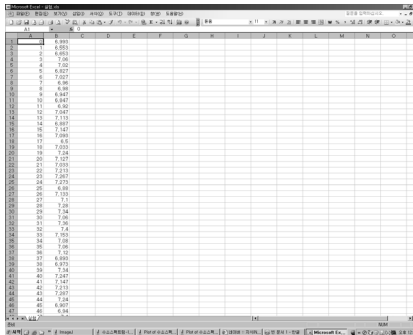
(a)



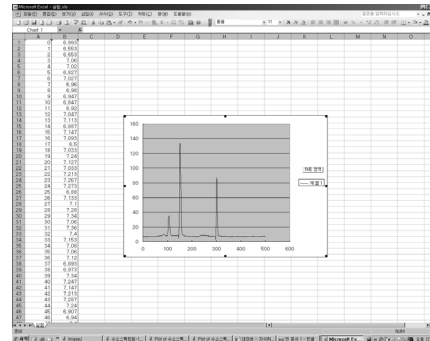
(b)



(c)



(d)



(e)

[그림 8] (a) Image J 파일 불러와서 스펙트럼 선택, (b) 메뉴의 analyze를 선택한 후 plot profile클릭, (c) plot profile 구하기, (d) 파일의 확장자를 xls로 하여 엑셀 데이터로 만들기, (e) 그래프를 그려서 결과 산출

이와 같은 방법으로 정밀하게 구한 스펙트럼의 파장 값은 일련의 양자역학적 계산을 통해 에너지로 나타낼 수 있다. 이 에너지 값으로부터 각 파장 값에 따라 구한 주양자수(n)는 〈표 3〉과 같다.

〈표 3〉 관찰한 파장 값과 주양자수와의 관계

파장 값	410nm	435nm	485nm	655nm
주양자수	6.02	4.98	4.02	3.00

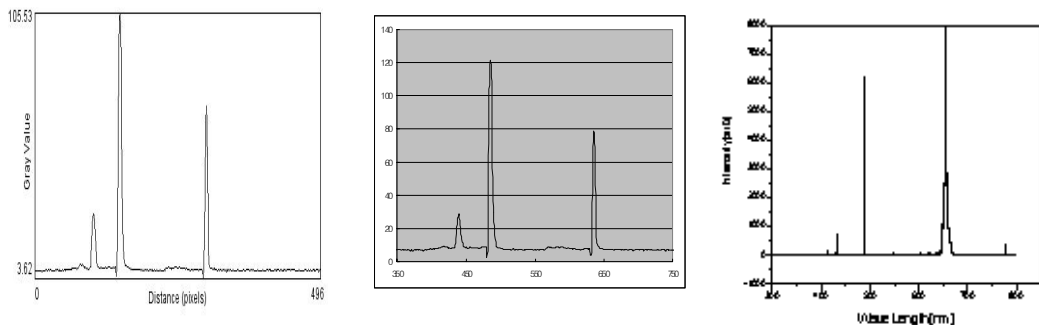
이 때 우리가 사용한 스펙트럼은 우리가 볼 수 있는 빛의 영역인 파장이 400nm~700nm 대인 가시광선 영역으로 발머계열이다. 제작한 분광기로 관찰한 실험적인 파장 값에서 구한 n

값이 오차 범위 0.3% 이내의 값으로 매우 정밀한 실험 결과임을 알 수 있다.

이는 원자 내 에너지 준위 양자화의 실험적 사실을 기존 교과서에서는 그림이나 파장 값을 주고 계산에 의해서만 교육을 시키던 방법에서 양자화의 증거를 제시한 역사적인 사실의 실험을 교육현장에서 학생들이 직접 실험을 통해 학습하도록 지도할 수 있는 방법을 제시한다는 점에서 시사점이 있다.

또한 제작한 분광기의 성능이 어느 정도인지 알아보기 위해서 기존 고가(약 200~300만원 정도)의 Czerny-Turner 방식 격자분광계(Spectra Pro -300i)로 측정하여 비교하였다.

[그림 9](a)는 Image J 프로그램을 통하여 구한 수소 스펙트럼이고 [그림 9](b)는 엑셀로 전환한 수소 스펙트럼이다. [그림 9](c)의 경우는 기존 Czerny-Turner 방식 격자분광기로 측정한 스펙트럼이다. 이와 같이 스펙트럼의 위치가 고가의 기존 분광기와 잘 일치하므로 제작된 분광기의 스펙트럼이 파장을 측정할 수 있는 분광기로 사용하기에 적합함을 알 수 있으며 가격 면에서 약 천분의 일 수준이고 다루기도 매우 간편하므로 학교 현장에서 교육용으로 사용하기에 적합하다.



[그림 9] 수소 스펙트럼의 선 스펙트럼 피크((a) Image J 프로그램 이용한 스펙트럼, (b) 엑셀 프로그램으로 변환한 스펙트럼, (c) Czerny-Turner 방식 격자분광기를 이용하여 찍은 스펙트럼)

라. 다양한 원자 선 스펙트럼의 관찰과 분석

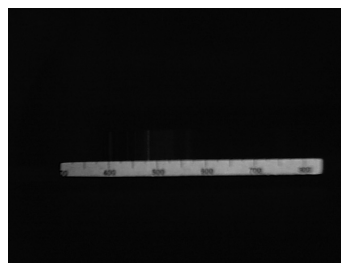
그동안 원자의 선 스펙트럼 관찰 그림은 책이나 인터넷에 있는 스펙트럼의 그림이며 실제로 스펙트럼을 관찰한 사진으로 찍은 데이터는 찾아볼 수가 없었다. 이러한 기존 자료들은 실제로 관찰한 것과 똑같은 위치나 색깔이 아니고, 눈금자도 등 간격으로 실제로 구한 값과 차이가 있다. 즉 이론으로부터 구한 값을 그려서 나타낸 데이터들로 정확한 눈금자가 있는 실제 스펙트럼을 찍은 사진은 여기서 제작한 분광기로 처음 시도된 자료이며 컴퓨터를 통해 분석할 수 있는 고성능 교육용 분광기임을 강조하고자 한다.

[그림 10]은 여러 가지 원자의 스펙트럼을 카메라로 찍어 연결된 컴퓨터 화면에서 스펙

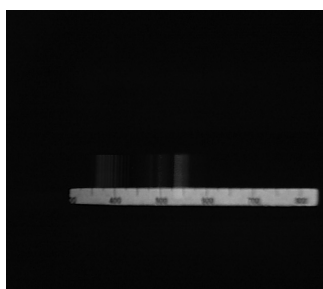
트럼을 보여주는 사진 자료이다.



(a) 수소의 실제 스펙트럼 사진



(b) 네온의 실제 스펙트럼 사진



(c) 헬륨의 실제 스펙트럼 사진



(d) 아르곤의 실제 스펙트럼 사진

[그림 10] 컴퓨터 모니터에 나타난 스펙트럼

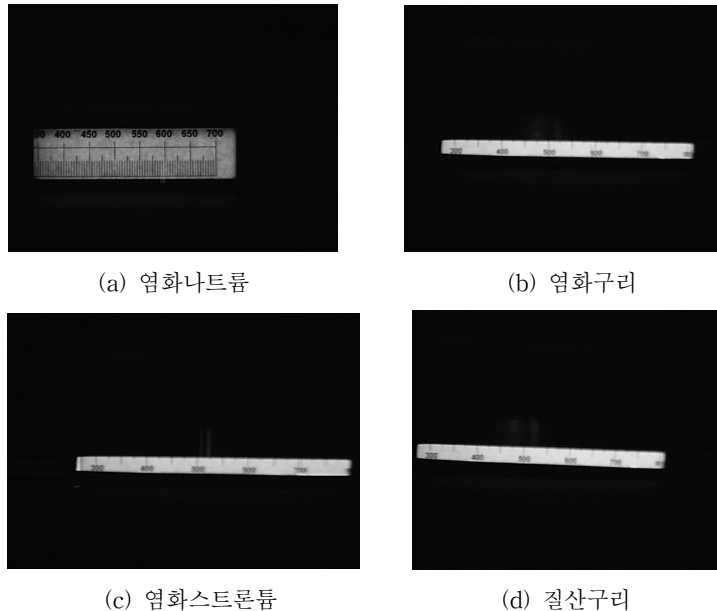
컴퓨터 모니터에 나타난 스펙트럼을 Image J 프로그램을 통하여 앞에서 수소 스펙트럼을 분석한 방법과 동일한 방법으로 데이터를 구하였다. 수소 외에 네온이나, 헬륨, 아르곤 등의 다른 기체 방전관에서 관찰한 스펙트럼도 제작된 분광기로 구한 데이터와 기존의 Czerny-Turner 방식 격자분광기로 측정된 스펙트럼의 파장이 비교적 잘 일치하였다. 스펙트럼의 위치가 고가의 기존 분광기와 잘 일치하므로 제작된 분광기의 스펙트럼이 파장을 측정할 수 있는 분광기로 사용하기에 적합함을 알 수 있다. 특히 Czerny-Turner 방식 격자분광기는 사용 방법이 복잡하여 전문가용으로 사용하는 것이 적합하고 교육용으로 사용하기는 어려운 점이 많다.

각 기체 방전관을 이용하여 실험한 여러 종류의 스펙트럼 사진을 분석하여 위와 같은 방법으로 스펙트럼의 강도 분포도를 구한 후 엑셀 프로그램으로 변환한 정확한 데이터를 데이터베이스화하면 이를 이용하여 미지시료를 컴퓨터를 이용하여 정밀하게 분석할 수 있으리라 본다.

마. 고체 시료의 스펙트럼 관찰

LiCl, NaCl, KCl, CuCl₂, SrCl₂, Cu(NO₃)₂ 등의 시료의 불꽃반응을 분광기로 관찰하고 스펙트럼을 관찰하였다. [그림 11]은 스펙트럼을 카메라로 찍어 연결된 컴퓨터 화면에서 스펙트

럼을 보여주는 사진 자료이다. 특히 [그림 11](a)의 경우 나트륨 D-선의 갈라짐이 관찰되었으며 이는 기존에 연구된(김영애, 이은경, 강성주, 2005) 분광기 키트를 개발하여 나트륨을 관찰한 경우 하나의 선스펙트럼으로 보고한 분광기에 비해 더 정밀하게 발전된 것임을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 제작한 분광기를 이용하여 나트륨 D-선의 관찰을 통하여 과학 영재학생들이나 대학생을 위해 분광학의 기초를 지도하는데 교육용 자료로 이용될 수 있다.



[그림 11] 고체 시료들의 실제 스펙트럼 사진

IV. 결론 및 제언

화학 수업에서 이론과 실험은 불가분의 관계임에도 불구하고 실제로 교육현장에서는 이론과 실험을 분리해서 가르치고 있는 실정이다. 제 7차 교육과정에서는 과학 수업에서 탐구 중심의 수업활동을 강조하고 있다. 그러나 제 7차 교육과정에 따른 고등학교 화학Ⅱ 교과서나 과학고등학교용 화학실험이나 고급화학 교과서, 그리고 대학에서의 일반화학이나 일반화학 실험서 등을 분석한 결과, 원자 내 에너지 준위 양자화의 실험적 사실을 관찰하는데 실제 실험을 할 수 있도록 자료가 제시되어 있지 않고 단지 그림이나 사진 자료에 의존하여 이론만 설명하고 있다. 이론과 실험을 통합해서 가르칠 수 없는 상황에는 여러 가지 이유가 있겠지만 탐구중심의 수업이 가능하도록 교재와 자료가 제공되어 있지 않은 것도 그 이유

중 하나가 될 수 있다. 그리고 중학교 교과서에 제시된 불꽃반응 실험을 위해 교육용으로 보급되어 있는 기존 분광기는 작지만 성능이 그다지 좋지 않아 스펙트럼의 간단한 시각적 정보만 파악할 수 있다. 또 프리즘 분광기와 같이 성능이 우수한 분광기는 고가이고 조작이 어려우며 블랙박스처럼 느껴져 학생들이 이용하기가 어려운 실정이다.

그동안 분광기를 개선하고자 하는 연구는 몇몇 있어 왔지만 본 연구에서 개발한 분광기는 선행 연구에서 개발된 교육용 분광기에 비해 더 정밀하고 컴퓨터를 활용하여 데이터를 분석할 수 있는 장점이 있다. 컴퓨터와 연결된 교육용 분광기 실험 장치를 개발하기 위하여 값싸고 견고한 아크릴로 분광기를 제작하고 여기에 시료를 태울 수 있는 장치를 설치하여 소형 카메라로 스펙트럼을 찍은 후 이를 컴퓨터에 연결하여 정성 및 정량 분석이 가능하게 하였다. 이와 같이 개선된 분광기는 매우 저렴하면서도 정밀한 관찰 및 측정이 가능하므로 학교에서 빛과 물질의 상호작용에 대한 교육을 위해 사용하기에 알맞다. 특히 기존 교과서를 분석한 결과 원자 내 에너지 준위 양자화의 실험적 사실을 가르치는데 단순히 프리즘과 기체 방전관의 그림이나 몇 가지 사진자료로 제시되어 있었다. 그러므로 본 연구에서 개발된 분광기를 통해 양자화의 실험적 사실을 직접 탐구실험을 하도록 자료를 제공할 수 있다는 점에 시사점이 있다. 그동안 기존 교재에서 그림으로 제시된 수소원자의 선스펙트럼도 눈금자와 함께 실제 사진자료로 제공이 가능하며 컴퓨터에 나타난 선스펙트럼을 Image J 프로그램을 통해 정성 및 정량 분석이 가능한 교육 자료를 제공할 수 있다. 다양한 고체 시료를 분석 가능할 수 있게 하였으며, 특히 나트륨의 경우 갈라진 나트륨 D-선의 관찰이 가능할 정도로 정밀한 분광기를 개발하였다. 이러한 나트륨 D-선을 통해 과학고등학교 학생이나 대학생들에게 심화된 D-D splitting에 관한 수업도 가능하게 하였다. 다양한 시료의 스펙트럼을 관찰하고 사진을 통해 컴퓨터를 이용하여 정성 및 정량 분석이 가능한 기능을 가지고 있어서 교육용뿐만 아니라 영재학생들과 교사의 전문연구 활동에도 활용할 수 있다. 또한 개발된 컴퓨터-기반 분광기를 이용한 분광기 탐구 실험 방법을 수업에 적용한다면, 블랙박스로 여겨지는 기기의 제작과정과 분광기의 원리를 이해할 수 있고, 시료가 분석되는 과정을 자세하게 알 수 있도록 하므로 교육적 효과가 클 것으로 생각된다.

교육현장에서 분광기를 이용한 물질의 정성, 정량분석 과정을 학생들에게 가르치기 위해서 그 물질의 특징적인 방출스펙트럼 혹은 흡수스펙트럼의 정밀한 측정이 요구되고, 또한 비어-람바르트 법칙을 이용하여 미지 시료의 정확한 농도를 측정하기 위해서 흡수스펙트럼을 기초로 하는 분광기의 사용이 더 적합하다는 사실을 학생들에게 전달할 수 있다. 이 분광분석법은 특정한 홀로캐서드 램프를 통해서 그 금속의 빛을 흡수하는 미지시료의 흡광도가 변함을 이용하여 농도를 정확하게 측정할 수 있는 AAS(Atomic Absorption Spectroscopy)로 발전시킬 수 있음을 쉽게 교육시킬 수 있다. 한편, 시료 태우는 문제를 업그레이드시키기 위해 고주파 유도 결합 플라즈마를 사용한다는 아이디어는 ICP(Inductively Coupled Plasma)의

원리를 교육시킬 수 있는 기초가 되며, 용액의 농도를 정확하게 측정하기 위해서 시료에 측정 방전관의 빛을 흡수하게 하고 여기에 기준 방전관의 빛을 보정하여 회절격자 판에서 회절되어 나온 빛의 파장값을 측정하고, 비어-람바르트 법칙을 이용하여 용액의 농도를 정확하게 측정할 수 있는 분광광도계(Spectrophotometer)의 원리를 쉽게 교육시킬 수 있다.

본 연구에서 개발한 컴퓨터 기반 분광기를 일반 고등학교 또는 과학고등학교의 실험 수업에 적용함으로써 학습에 대한 흥미를 유발하고 사고력을 증진시키며 창의성을 향상시킬 수 있으리라 기대한다. 따라서 이 분광기를 적용한 수업 후에 과학적 태도나 사고력 혹은 과학적 창의성에서 어떠한 효과가 있었는지를 검증할 후속 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- 교육인적자원부(2003). **고등학교 고급화학**. (주)천재교육.
- 교육인적자원부(2002). **고등학교 화학실험**. (주)천재교육.
- 교육인적자원부(1998). **과학과 교육과정**. 대한교과서.
- 김영애, 이은경, 강성주(2005). 중학교 과학 교과서 불꽃반응 실험에서 선스펙트럼 관찰의 문제점 분석 및 개선 연구. **대한화학회지**, 49(6), 584.
- 김은정, 이강웅, 원경도, 송재웅, 이성태, 김영아, 김현수(2004). 교육현장에서 H-형 구멍의 프라운호퍼(Fraunhofer) 회절에 대한 실습방안. **새물리**, 48(1), 60-66.
- 김현경, 정영규 역(2004). **캠트렉**. 자유아카데미.
- 김현경, 최병순(2005). Small Scale Chemistry에 대한 과학 교사들의 인식. **대한화학회지**, 49(2), 208-214.
- 김희준, 윤경병, 이준용, 황성용, 이복영, 전화영(2003). **고등학교 화학Ⅱ**. (주)천재교육.
- 대한화학회(2002). **표준물리화학실험**. 천문각.
- 대한화학회(2000). **표준일반화학실험**. 천문각.
- 박기철, 박상태, 육근철(2006). 교육현장에서 디지털카메라를 이용한 광학실험의 개선. **새물리**, 52(5), 497-503.
- 서정쌍, 허성일, 김출배, 박종욱, 하운경, 임영종, 배병일(2003). **고등학교 화학Ⅱ**. (주)금성출판사.
- 송호봉, 이재호, 이진현, 강금덕, 양기열, 구인선, 정관영(2003). **고등학교 화학Ⅱ**. (주)형설출판사.
- 여상인, 이진승, 김홍석(2003). **고등학교 화학Ⅱ**. (주)지학사.
- 여수동, 여환진, 장영근, 이규옥, 조춘현, 박현영, 양도권, 이충길(2002). **고등학교 화학Ⅱ**. (주)청문각.
- 우규환, 최석남, 오두환, 한은택, 김봉래, 강봉주(2003). **고등학교 화학Ⅱ**. (주)중앙교육진흥연구소.
- 윤용, 정지오, 박종석, 김영호(2003). **고등학교 화학Ⅱ**. (주)교학사.
- 이덕환, 김대수, 심국석, 진석천, 이정희, 심중섭, 서인호, 노기종(2003). **고등학교 화학Ⅱ**. (주)대한교과서.
- 임종탁, 오철한(2000). 정밀하게 제작된 실험을 통한 중등학교 파동광학 실험 키트의 개선. **새물리**, 40(6), 513-524.
- Adolf, C.; Luis, F. (1986). A simple diffraction grating spectroscope: Its construction and uses. *J.*

Chem. Educ., 63, 348.

Chang, R. (2008). *General Chemistry, The essential concepts*. 5th Ed., Mc Graw Hill.

Oxtoby, D. W., Gillis, H. P., Nachtrieb, N. H. (2003). *Principles of Modern Chemistry*(5th Ed.). Thomson.

Slowinski, E.J.; Wolsey, W.C.; Masterton, W.L. (2002). *Chemical Principles in the Laboratory*. Thomson Learning.

Ulrich, D.; Herbert, K. (1985). A simple device for obtaining visible spectra. *J. Chem. Educ.*, 62, 155.

Wakabayashi, F.; Hamada, K.; Sone, K. (1998). CD-ROM spectroscope: A simple and inexpensive tool for classroom demonstrations on chemical spectroscopy. *J. Chem. Educ.*, 75, 1569.

Wakabayashi, F.; Hamada, K. (2006). A DVD spectroscope: A simple, High-Resolution classroom spectroscope. *J. Chem. Educ.*, 83, 56.

Zumdahl, S. S.; Zumdahl, S. A. (2005). *Chemistry*(6th Ed.). Houghton Mifflin Publishing Co.

• 논문 접수 : 2008년 9월 1일 / 수정본 접수 : 2009년 2월 17일 / 게재 승인 : 2009년 2월 20일

ABSTRACT

Development of the Classroom Spectroscope Connecting to the Computer and the Practical Uses in Schools

Il-Yong Shin

(Research Fellow, Korea Institute for Curriculum and Evaluation)

Hyun-Kyung Kim

(Associate Research Fellow, Korea Institute for Curriculum and Evaluation)

Byung-Soon Choi

(Professor, Korea National University of Education)

Jong-Yoon Park

(Professor, Ewha Womans University)

Hun-Gi Hong

(Professor, Seoul National University)

In this study, the content regarding the experimental facts of the quantized energy level of the atom were analyzed in the textbooks of chemistry II, advanced chemistry, general chemistry and chemistry lab manuals for high school, science high school, and college. The improved classroom spectroscope for inquiry and improved methods for the observation and analysis of line spectrum were suggested for teaching the content. The principles of spectroscope, considered as 'black boxes', can be understood, through the inquiry experiment. For these educational effects, the turnstile electrical discharge is developed and the accurate graduated rulers which fit the various diffraction films are manufactured. The qualitative and quantitative analyses of the spectrum in computer-based spectroscope are possible by use of the cameras, and 'Image J' programs.

Key words : turnstile electrical discharge, computer-based spectroscope, line spectrum