| 연구논문 |

현장과학교육 4(1) pp46~51 (2010년 2월)

간단한 색도계 개발 및 화학반응의 평형상수 측정 적용에 관한 연구

이성훈, 강성주*, 송기형

한국교원대학교 화학교육과, 충청북도 363-791

A Research about the Development of the Simple Colorimeter and the Application to the Determination of Equilibrium Constant on the Chemical Reaction

Lee Seung Hoon, Seong-Joo Kang* and Kihyung Song

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

요 약

Blue-diode, UV cell, CdS photoresistor와 검류계 센서를 사용하여 간단한 색도계를 제작하였으며, 이 색도계를 사용하여 화학반응의 평형상수를 계산하였다. 제작된 색도계의 정밀성과 정확성이 높았으며 고등학교 교육과정과 대학교 기초과정에 제시된 다양한 반응의 평형상수를 계산하는데 이용될 수 있다.

주제어 : 색도계, 화학평형, 평형상수 결정

서 론

과학교육에 있어서 경험을 축적하고 현상을 이해하기 위해 직접 손으로 다루어 보는 실험 활동은 매우 중요하며, 특히 이론과 실험을 통합적으로 가르치는 것이 효과적이다 (Woolnough and Allsop, 1985; 김현경과 최병순, 2005). 이러한 실험은 추상적인 과학지식을 학습지도 하는데 효과적이며, 과학의 본질을 이해시키고 과학에 대한 태도를 함양시키는데 유용한 교수법이다(Tamir, 1977; 이화정과 강성주, 2005). 이에 중등 과학교육에 탐구적 실험 교육을 정착시키려는 노력은 실험 개발, 실험 연구 등을 통해 지속적으로 다양하게 이루어지고 있다. 그러나 일부 실험 활동의 경우 고가의 분석 장비를 필요로 하여 중·고등학교나 대학의 기초 과정에서 이론적 학습은 이루어지나 실험 활동이 불가능한 경우가 있다. 이러한 고가의 분석 장비를 대체할 수 있는 간단한 분석 장비를 개발하여 학교현장에서 사용할 수 있도록 하는 연구는 그 응용성이 크지만 잘 이루어지지 않고 있는 실정이다.

색도계(Colorimeter)는 동일한 광원에서 빛이 나와 표준용액과 시료를 통과해 온 빛의 세기를 비교하여 시료의 농도를 구하는 장비로 Duboscq 색도계가 보고되었다(Stock, 1994). Gordon and Harman(2002)은 실린더에 가한 시료의 양을 변화시키면서 간단한 색도계를 이용한 흡광도 측정에서 가한 부피와 흡광도 사이에 선형 관계가 유지됨을 보였다. 또한, LED을 사용한 색도계를 제작하여 Beer-Lambert 법칙에 적용한 연구가 보고되었다(Hamilton et al.,1996; Lisensky et al., 2001; Mozo, 2001; Seeley et al., 2005). 그러나 이러한 간단한 색도계를 사용한 화학반응의 평형에 관한 연구는 그 예가 아주 드물다.

본 연구는 2009년 한국교원대학교 기성회계 연구 지원으로 연구됨

*교신저자: sjkang@knue.ac.kr

• 2010년 1월 25일 접수, 2010년 2월 14일 1차 수정, 2010년 2월 16일 2차 수정, 2010년 2월 17일 통과.

화학평형은 화학내용 이해에서 중요한 부분으로 고등학교 교육과정에서 다루고 있다. 화학평형의 정도는 평형상수로 나타내는데, 이러한 평형상수를 결정하는 실험활동은 UV-Vis, IR, NMR 등의 기기를 이용한다. 그러나 이와 같은 기기는 고가이므로 고등학교 교육과정에서 사용하는 것은 거의 불가능하며, 대학의 기초 과정에서도 잘 사용하지 않는 실정이다.

이에 본 연구에서는 평형반응의 평형상수 결정에 사용될 수 있는 색도계를 간단하게 만들 수 있는 방법을 제시하고, 실제 화학반응에서 평형상수를 결정하는 과정을 제시하고자 한다. 또한, 예비교사들이 실제로 간단한 색도계를 만들어보는 과정을 경험하여 보고자 한다.

연구 방법

색도계 장치 개발에 사용된 재료와 평형상수 결정에 적용한 $Fe^{3+}+SCN^- \rightleftarrows [Fe(SCN)]^{2+}$ 반응의 실험 절차는 다음과 같다.

색도계 장치 개발

색도계 장치 개발에 사용된 blue-LED, CdS photoresistor, MBL 검류 센서의 특성과 학생들의 색도계 제작 과정은 다음과 같다.

1) 색도계 장치의 구성 재료

LED

LED는 크기, 모양 그리고 시야각에 따라 여러 종류가 있으며 본 연구에서 사용된 LED는 ITSWELL에서 시판되는 원형 타입의 고휘도 LED로 직경이 5 ㎜이고 시야각이 30° 인 것을 사용하였다. 사용한 고휘도 LED는 그 색깔에 따라 주파장과 광도가 다르며 자세한 사항은 표 1과 그림 1에 나타내었다. $Fe^{3+}+SCN^- \rightleftarrows [Fe(SCN)]^{2+}$ 반응의 생성물 흡수띠는 458nm에서 최대 흡수를 보이므로 blue LED(ITSWELL)를 사용하였다.

표 1. 고휘도 LED의 특성

광원색	주파장(㎚)	광도(at 20㎃)	시야각
Blue	450~480	1.0 cd	30°
Green	210~535	4.3 cd	30°
Yellow	583~600	1.7 cd	30°
Red	615~635	1.4 cd	30°

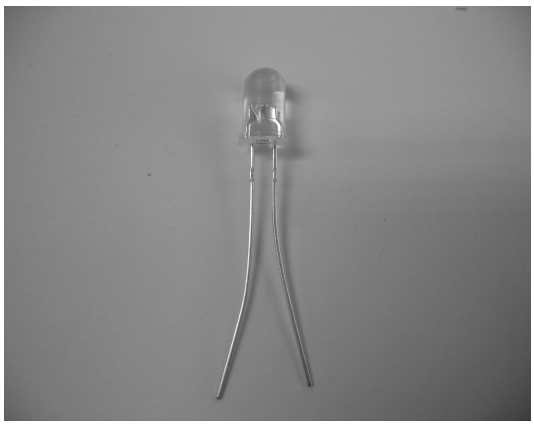

그림 1. Blue LED.

CdS photoresistor

검출기로는 빛에 감응하는 전기 장치이면 가능하다. 색도계 장치 개발 초기 단계에는 디지털 조도계(T-10)를 사용하였으나 광원에 비해 장치의 크기가 크고 외부의 빛을 차단하기가 곤란하여 가변저항인 CdS photoresistor를 사용하였다. 사용한 CdS photoresistor(G-Tec. Scientific Ltd.)의 저항값은 빛의 세기에 반비례하며, 그 모양은 그림 2에 나타내었다.

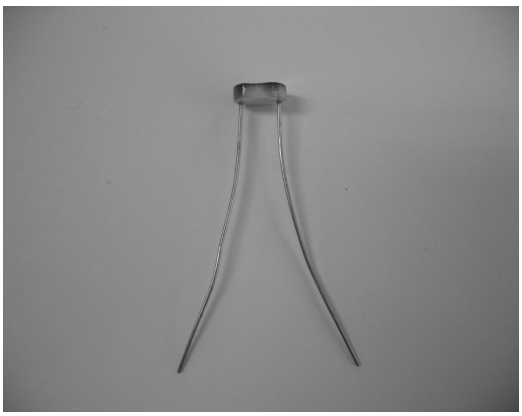

그림 2. CdS photoresistor.

MBL 검류센서

검출기로 가변저항을 사용하였기 때문에 저항 측정기를 연결하여 기록할 수 있지만 CdS photoresistor의 저항의 크기가 10 Lux에서 최소 30 ㏀이 나오기 때문에 바로 저항을 기록하기에는 어려움이 있다. 따라서 이 점을 보안하기 위해 검출기에 12V의 전압을 연결하고 ScienceCube의 MBL 검류센서를 이용하여 실시간으로 데이터를 기록하였다.

2) 색도계 제작활동

H 대학교 화학교육과 1학년 일반화학실험 수업 시간에 학생들이 간단한 색도계를 제작하는 활동은 그림 3에 제시된 전개도를 이용하여 아래와 같은 과정을 거쳐 수행되었다.

1) 골판지에 자와 연필을 이용하여 전개도면을 그린다.
2) 그린 전개도면을 가위나 칼을 이용하여 자르고, 내부 면을 검은색으로 칠한다.
3) 가운데 정사각형 구멍은 cell이 들어가는 자리이므로 최대한 정밀히 자른다.
4) 자른 전개도는 조립한 후 주위에 빛이 새어 들어가지 않도록 절연테이프를 붙인다.
5) A에 blue-LED를 B에 CdS photoresistor를 장착한 후, 전기를 걸어주어 빛이 일직선으로 나가게 맞추어 준다.
6) 색도계 Kit를 움직이지 않게 고정시킨 후 실험을 수행한다.

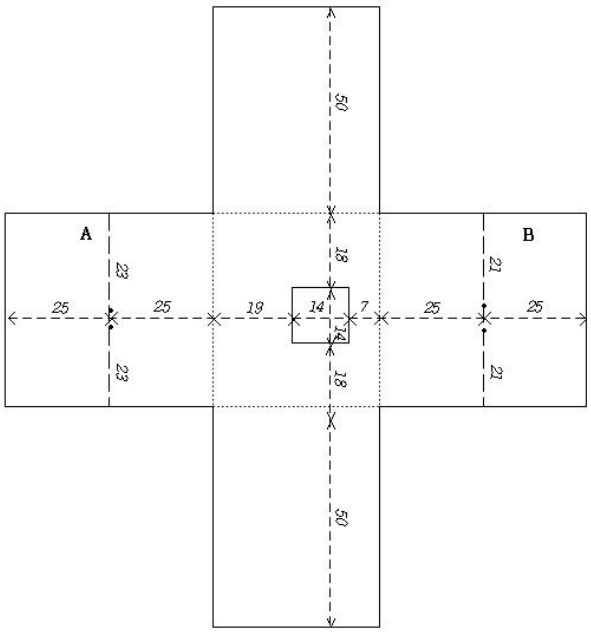

그림 3. 색도계 kit 전개도(단위, mm).

Iron(Ⅲ) Thiocyanate 반응의 평형상수 결정

$Fe(NO_3)_3$와 KSCN을 혼합하여 $[Fe(SCN)]^{2+}$가 생성되는 반응에서 평형상수는 다음과 같은 과정으로 결정하였다.

1) $Fe(NO_3)_3{\cdot}9H_2O$를 1.0M HNO_3에 녹여 0.2M $Fe(NO_3)_3{\cdot}9H_2O$ 100 mL를 제조한다.
2) 과정 1에서 만든 시약을 100배 희석한다.
3) KSCN을 증류수에 녹여 0.02M KSCN 100 mL를 제조한다.
4) 과정 3에서 만든 시약을 10배 희석한다.
5) 0.2M $Fe(NO_3)_3{\cdot}9H_2O$ 9 mL와 0.002M KSCN 1 mL를 섞어 표준용액을 제조한다.
6) 비어있는 4개의 test tube 에 0.002M $Fe(NO_3)_3{\cdot}9H_2O$ 5 mL를 취한다.
7) 과정 6에서의 test tube에 0.002M KSCN을 각각 2, 3, 4, 5 mL씩 취하고 나머지는 증류수로 채워 10 mL를 만든다.
8) 각 용액을 색도계의 UV-cell에 넣고 흡광도를 측정하고 평형상수를 결정한다.
9) 같은 방법으로 UV-Vis 분광기(Hewlett Packard 8452A)를 사용하여 평형상수를 결정한다.

연구 결과

색도계 장치 개발

실험실에서 사용되는 분광기는 광원, 시료 셀, 검출기로 구성되어 있다. 광원에서 방출되는 빛(광전자 다발)은 시료를 통과한 후 검출기에 도달하는데, 이 때 시료 용액에 포함된 화합물은 광전자를 흡수할 수 있다. 즉 시료 용액의 광전자 흡수 정도에 따라 광원에서 방출된 빛의 세기와 검출기에 도달한 빛의 세기가 달라질 수 있다. 색도계는 이러한 빛의 세기 차이를 자료화하여 제공한다. 본 연구에서는 광원으로 blue-LED, 검출기로 CdS photoresistor와 MBL의 검류 센서를 이용한 간단한 색도계 장치를 개발하였다. 광원의 빛의 세기는 전류에 비례하며, 흡광도를 나타내는 Beer 법칙에 적용하면 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\text{빛의 세기(L)} \propto \text{전류(I)}$$

$$\text{흡광도} = -\log(L_s/L_b) = -\log(I_s/I_b) = \log(I_b/I_s)$$

(b: blank, s: sample)

LED에 직류 전원 공급 장치를 사용하여 9V의 전압을 공급하여 주었으며 100Ω의 저항을 연결하였다. 광원에서 나온 빛은 시료를 지나 검출기로 향하며, 검출기에 12V의 전압을 연결하고 MBL 검류센서를 연결하여 자료화한다. 이렇게 수집한 자료는 Beer의 법칙에 의해 흡광도로 전환된다.

개발된 색도계 설계 도면의 대략적인 모식도는 그림 4에 나타내었으며 완성된 색도계는 그림 5와 같다.

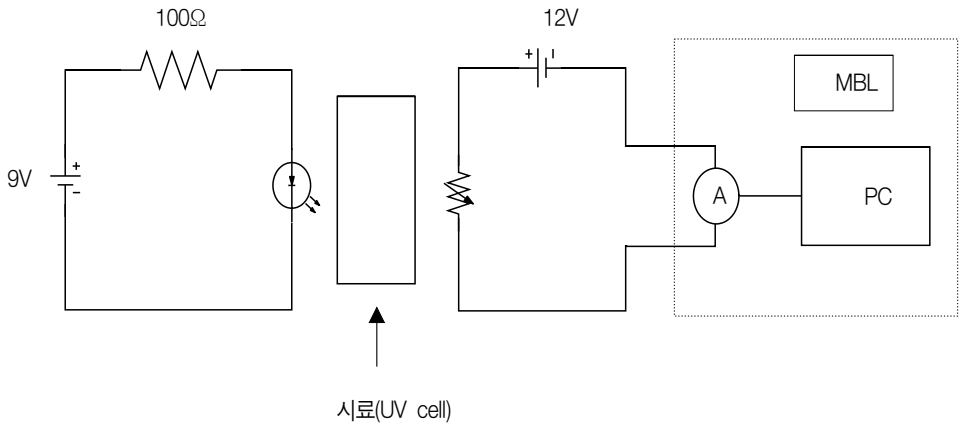

그림 4. 색도계 장치 모식도.

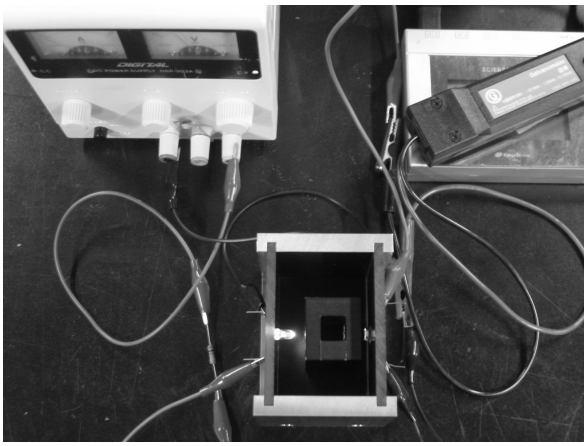

그림 5. 완성된 색도계 장치.

화학반응의 평형 상수 결정

고등학교 교육과정에서 화학평형을 다루고 있으며, 반응이 평형에 도달하였을 때 반응물과 생성물의 농도비로 평형상수를 계산한다. 그러나 고등학교 학교 현장에서는 분광계를 사용할 수 있는 실정이 아니므로 실험을 통하여 평형상수를 결정하는 교육은 이루어지지 않고 있다. 여기서는 앞에서 개발된 색도계를 이용하여 반응의 평형상수를 결정하고자 한다. 무색인 Fe^{3+}와 SCN^-가 반응하면 붉은 색을 띠는 $[Fe(SCN)]^{2+}$ 착이온이 생성되므로 생성된 착이온의 농도(x)를 구하여 착이온 생성반응의 평형 상수를 결정할 수 있다 .

$$K = \frac{[Fe(SCN)^{2+}]}{[Fe^{3+}][SCN^-]} = \frac{x}{(a-x)(b-x)}$$

여기서 a와 b는 각각 Fe^{3+} 및 SCN^-의 처음 농도이고 생성된 착이온의 농도는 착이온의 표준용액과 색을 비교하여 구할 수 있다. 표준용액은 선행 연구에 보고된 방법을 토대로 실험을 재구성하였다(Stolzberg, 1999; Lahti et al., 1999; Cobb, 1998).

표준용액의 $[Fe(SCN)]^{2+}$ 농도를 미리 알고 있어야 하는데 이 과정은 SCN^-를 소량 포함하고 있는 용액에 과량의 Fe^{3+}를 가하여 평형을 $[Fe(SCN)]^{2+}$ 쪽으로 거의 이동시킴으로써 만들 수 있다. 즉, 이렇게 만든 표준용액 중의 $[Fe(SCN)]^{2+}$의 농도는 처음에 가한 SCN^-의 농도와 거의 같다.

표준용액은 시험관에 0.2 M $Fe(NO_3)_3{\cdot}9H_2O$(in HNO_3 1.0 M) 용액 9.0 mL와 0.002 M KSCN 1.0 mL를 혼합하여 만든다. 4개의 시료용액은 각각의 시험관에 표준용액 제조에서 사용한 0.2 M $Fe(NO_3)_3{\cdot}9H_2O$(in HNO_3 1.0 M) 용액을 100배 희석한 0.002 M $Fe(NO_3)_3{\cdot}9H_2O$ 용액 5 mL를 취한 후 시료 1에는 0.002 M KSCN 2.0 mL, 시료 2에는 0.002 M KSCN 3.0 mL, 시료 3에는 0.002 M KSCN 4.0 mL, 시료 4에는 0.002 M KSCN 5.0 mL를 취하고 10.0 mL가 될 때까지 증류수를 가해 제조한다.

제조한 표준용액과 4개 시료의 흡광도를 측정하여 평형상태에서의 $[Fe(SCN)]^{2+}$농도를 구하고 평형상수를 계산한다.

개발된 색도계 장치를 이용하여 $[Fe(SCN)]^{2+}$ 평형반응 실험을 수행하고 평형상수를 구하였으며, UV-Vis 분광기를 이용한 평형상수 값과 비교하여 보았다.

색도계와 UV-Vis 분광기 장치를 이용하여 구한 평형상수는 표 2와 표 3에 제시되었다.

색도계 장치를 이용하여 구한 평형상수는 221이고 UV-Vis 분광기를 이용하여 구한 평형상수는 220으로 UV-Vis 분광기에

표 2. 색도계를 이용하여 구한 평형 상수.

구분	전류 (㎃)	Abs	$[Fe^{3+}]_{eq}$	$[SCN^-]_{eq}$	$[Fe(SCN)]^{2+}_{eq}$	K
증류수	5.815	-	-	-	-	-
standard	2.207	0.421	-	-	2.00×10^{-4}	-
시료 1	4.149	0.147	9.30×10^{-4}	3.30×10^{-4}	6.97×10^{-5}	227
시료 2	3.549	0.214	8.98×10^{-4}	4.98×10^{-4}	1.02×10^{-4}	228
시료 3	3.154	0.266	8.74×10^{-4}	6.74×10^{-4}	1.26×10^{-4}	215
시료 4	2.752	0.325	8.46×10^{-4}	8.46×10^{-4}	1.54×10^{-4}	216
평 균						221(6.95)[a]

[a]괄호는 표준편차 값이다.

표 3. UV-Vis 분광기를 이용하여 구한 평형 상수.

구분	Abs (458㎚)	$[Fe^{3+}]_{eq}$	$[SCN^-]_{eq}$	$[Fe(SCN)]^{2+}_{eq}$	K
standard	0.839	-	-	2.00×10^{-4}	-
시료 1	0.290	9.31×10^{-4}	3.31×10^{-4}	6.91×10^{-5}	224
시료 2	0.424	8.99×10^{-4}	4.99×10^{-4}	1.01×10^{-4}	225
시료 3	0.532	8.73×10^{-4}	6.73×10^{-4}	1.27×10^{-4}	216
시료 4	0.646	8.46×10^{-4}	8.46×10^{-4}	1.54×10^{-4}	215
평 균					220(5.23)

대한 색도계 장치의 오차율을 구하면 0.45 %이다. 즉, 색도계 장치로 정확한 데이터를 얻을 수 있다.

학생들의 색도계 만들기 활동

일반화학 실험 시간에 대학교 1학년 학생들을 대상으로 색도계 만들기 활동을 실시하였다. 하드보드지, blue-LED, CdS photoresistor, MBL 장치와 설계 도면을 제시하고, 학생들이 직접 간단한 색도계를 만들어 보았으며, 반응의 평형상수를 측정하였다.

결 론

광원으로 blue-LED, 검출기로 CdS photoresistor와 검류 센서를 이용한 간단한 색도계 장치를 개발하였다. 개발된 색도계를 사용하여 $Fe^{3+}+SCN^- \rightleftarrows [Fe(SCN)]^{2+}$ 반응의 평형상수를 결정하였으며, 분석 결과를 고가 분광기의 자료와 비교하여 사용 타당성을 증명하였다. 이와 같은 간단한 분광기는 다른 화학 반응의 평형상수 결정에도 사용될 수 있다. 예로써, 과망간산칼륨($KMnO_4$)과 옥살산나트륨($Na_2C_2O_4$)의 평형반응에서 평형상수를 결정할 수 있다. 이와 같은 색도계를 사용하면 고가의 장비가 갖추어져 있지 않아도 고등학교 교육과정에서 제시되는 화학반응의 평형상수를 결정하는 실험을 수행할 수 있다. 또한, 학생들이 직접 분광기를 제작하여 봄으로써 평형반응에 대한 이해뿐만 아니라, 다이오드, 광전지 등의 원리를 이해할 수 있는 간학문적인 활동을 제공할 수 있다.

Abstract

The simple colorimeter was built using blue-diode, UV cell, CdS photoresistor, galvanometer and was used for the determination of the equilibrium constant on chemical reactions. The precision and accuracy of the simple colorimeter were high enough for the determination of the equilibrium constant on the chemical reactions shown in the high school and undergraduate curricula.

Key Words : Colorimeter, chemical equilibrium, determination of equilibrium constant

참고문헌

김현경, 최병순 (2005) Small scale chemistry에 대한 교사들의 인식. 대한화학회지. 49(2): 208-214.

이화정, 강성주 (2005) 교사양성 대학에서의 일반화학실험 개선과 적용. 한국과학교육학회지. 25(3): 346-352.

Cobb CL (1998) Iron(III) Thiocyanate Revisited: A Physical Chemistry Equilibrium Lab Incorporating Ionic Strength Effects. J. Chem. Educ. 75(1): 90-92.

Gordon J and Harman S (2002) A Graduated Cylinder Colorimeter: An Investigation of Path Length and the Beer-Lambert Law. J. Chem. Educ. 79(5): 611-612.

Hamilton JR, White JS and Nakhleh MB (1996) Development of a Low-Cost Four-Color LED Photometer. J. Chem. Educ. 73(11): 1052-1054.

Lahti M, Vilpo J and Hovinen J (1999) Spectrophotometric Determination of Thiocyanate in Humman Saliva. J. Chem. Educ. 76(9): 1281-1282.

Lisensky GC, Condren SM, Widstrand CG, Britzer J and Ellis AB (2001) LEDs Are Diodes. J. Chem. Educ. 78(12): 1664A-1664B.

Mozo JD (2001) Application of Light Emitting Diodes to Chemical Analysis: Determination of Copper in Water. J. Chem. Educ. 78(3): 355-357.

Seeley JV, Bull AW, Fehir RJ and Cornwall S (2005) A Simple Method for Measuring Ground-Level Ozone in the Atmosphere. J. Chem. Educ. 82(2): 282-285.

Stock JT (1994) The Duboscq Colorimeter and Its Inventor. J. Chem. Educ. 71(11): 967-970.

Stolzberg RJ (1999) Discovering a Change in Equilibrium Constant with Change in Ionic Strength. J. Chem. Educ. 76(5): 640-641.

Tamir P (1977) How are the laboratories used?. Journal of Research in Science Teaching 14(3): 311-316.

Woolnough BE and Allsop T (1985) Practical Work in Science. Cambridge: Cambridge University. pp 47-59.