

# 마이클슨간섭계를 리용한 투명한 단순물용액의 pH결정가능성

안 광 철

지난 시기 용액의 pH를 결정하는데 수입산시약과 전극을 리용하는 측정수단들이 많이 리용되어왔다.

본문에서는 자체로 제작한 마이클슨간섭계를 리용하여 비접촉식 및 실시간적으로 투명한 단순물용액의 pH를 결정할수 있는 가능성을 고찰하였다.

## 1. 마이클슨간섭계에 의한 용액의 pH결정방도

용액의 pH는 지금까지 주로 pH시험지나 중화적정법, 전위차법 등을 리용하여 측정하였는데 이 방법들은 접촉식이며 수입산시약과 전극을 리용하는 부족점들을 가지고있다.

마이클슨—몰리의 실험(Michelson-Morley experiment)에서 핵심부는 마이클슨간섭계(Michelson interferometer)이다.[1—4]

마이클슨간섭계에서 기본핵심부는 빛진폭분할요소이다.(그림 1) 광원에서 거르개를 통과한 단색빛은 렌즈를 지나면서 평행빛뭉음을 이룬다. 이 평행빛뭉음이 진폭분할요소에 45°의 각으로 입사하여 같은 진폭의 빛뭉음 1과 2로 갈라진다. 두 빛은 고정거울과 이동거울에서 반사된 후 다시 중첩되어 간섭을 일으킨다. 두 거울면이 서로 수직이면 동심고리모양의 같은경사무늬가, 약간 경사지면 같은두께무늬가 나타난다.

간섭성을 가지는 두 빛들을 중첩시킬 때 합성빛세기는 간단히 다음과 같이 표시할수 있다.

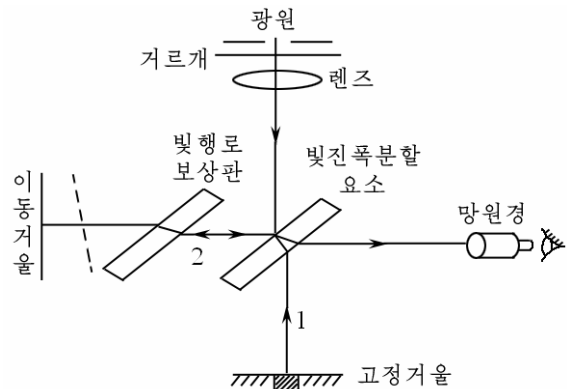


그림 1. 마이클슨간섭계의 원리도

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \delta(t) \quad (1)$$

여기서 세번째 항이 간섭항이다. 식 (1)에서 간섭항이 일정한 값을 가지려면 다음의 조건

$$\delta(t) = \alpha_1(t) - \alpha_2(t) = K \cdot (r_2 - r_1) = \text{일정} \quad (2)$$

이 만족되어야 한다. 식 (2)는 시간간섭성조건이다.

한편 갈라진 두 빛파들이 다시 만나려면 빗행로차  $\Delta r = r_2 - r_1$  이 시간간섭성길이보다 짧아야 한다.

이때 시간간섭성길이  $L_{\text{간섭}}$  은 다음과 같이 표시된다.

$$\Delta r = r_2 - r_1 < L_{\text{간섭}} = c \cdot \Delta t \quad (3)$$

두께가  $d$  이고 굴절률이  $n$  인 얇은 평행평면막에 파장이  $\lambda$  인 단색평면빛이 각  $i_1$  로 입사할 때 간섭무늬의 극대 및 극소조건은 다음과 같다.

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1} - \frac{\lambda}{2} = k\lambda \quad (4)$$

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1} - \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2} \quad (5)$$

여기서  $k$  는 옹근수로서 간섭무늬차폐수를 의미한다. 간섭무늬의 변화는 거울의 미소이동 및 매질의 굴절률변화와 직결되어있다. 분극률에 영향을 주는 영구쌍극자, 이온 및 전자의 기여몫은 그림 2와 같다.

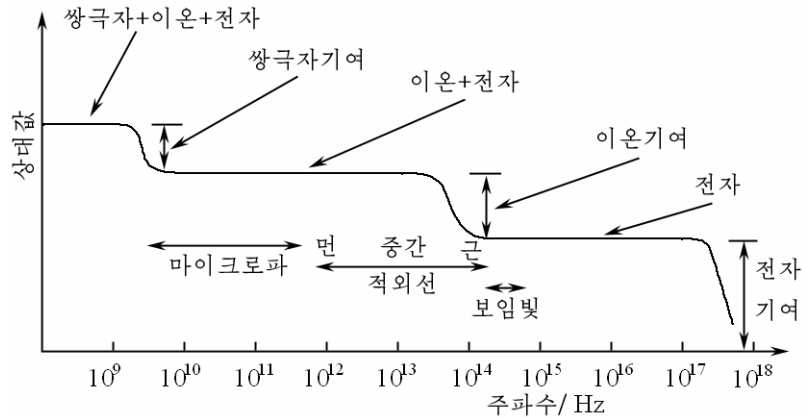


그림 2. 분극률에 영향을 주는 영구쌍극자, 이온 및 전자의 기여몫

그림 2에서 보는것처럼 보임빛과 자외선대역에서 굴절률결정에 영향을 주는 기본인자는 전자들이다.[6]

고전전자기이론에 의하면 보임빛대역에서 마당의 세기가 작은 조건에서 매질의 굴절률은  $n^2 = \epsilon_r$  를 만족시킨다. 이때  $\epsilon_r$  는 그 매질의 상대유전률이다. 보다 일반화된 관계식은 로렌츠-로렌스방정식이다. 즉

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = \frac{N\alpha_e}{3\epsilon_0} \quad (6)$$

여기서  $N$  은 해당 매질에서 분극가능한 요소단위들의 개수이고  $\alpha_e$  는 매개 요소단위의 전자분극률이다.

액체와 고체의 경우 굴절률은 물질의 밀도에 따라서 커진다. 단위체적당 산란중심들의 수를 밀도로 표시하면 식 (6)은 다음과 같이 표시할수 있다.

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = \rho r_s \quad (7)$$

여기서  $n$  은 굴절률,  $\rho$  는 같은 온도조건에서 켈 밀도,  $r_s$  는 비굴절상수이다. 글래드스톤델(Gladstone Dale)공식에 의하면 밀도를  $\rho$  로 표시할 때  $\text{SiO}_2$  의 경우  $n=1+0.208\rho$ ,  $\text{TiO}_2$  의 경우  $n=1+0.393\rho$  이다.

결국 액체나 고체의 굴절률은 일정한 조건에서 해당 매질의 분극률 또는 밀도에 비례한다.

선행연구 [9]에서는 각이한 pH값의 용액들을 접촉시킬 때 일어나는 동적과정을 구체적으로 연구하였다. 그리고 선행연구 [10]에 의하면 무기염들의 해리상수들은 특별히 작다.

선행연구 [7]에 의하면 해리상수  $K$ 는 다음과 같다.

$$K_a = \Gamma_r \frac{\gamma_{\pm}^2 m_B / m^0}{\gamma_{m, HA} (1 - \alpha)} \alpha^2 \quad (8)$$

여기서  $m_B$ 는 산의 전체 몰랄농도(중량몰농도),  $\alpha$ 는 해리도,  $\Gamma_r$ 는 단일이온압력인자이다. 데바이-훅켈(Debye-Hückel)리론에 의하면 단일이온활성계수  $\gamma_{\pm}$ 는 용매의 종류와 온도에 따르는 함수들과 제일 밀집된 이온들의 평균유효간격으로 주어지는 파라메터, 용액의 이온세기 및 이온의 전하수에 관계된다. 따라서 해리된 용액이 일정한 온도와 압력조건에서 평형상태에 있다고 하면 산해리상수는 해리도에만 의존하게 된다. 용액의 농도가 아주 작은 경우 해리상수는  $K \propto \alpha^2$ 을 따른다.

한편 용액의 pH에 대한 정의식

$$\text{pH} = -\lg K_a \quad (9)$$

로부터 그것이 해리상수에 관계된다는것을 알수 있다.[8] 선행연구 [6]에 의하면 굴절률에 영향을 주는 중요한자들은 전자분극률과 현존하는 분극가능한 원자들의 수이다. 그러므로 단순물용액의 경우 몰농도가 상대적으로 작다는 조건에서 근사적으로 다음과 같은 관계식으로 표시할수 있다.

$$\text{pH} \propto \lg K_a \propto \lg \alpha \quad (10)$$

한편 단위체적당 산란중심들의 수가 용액의 밀도로 표시된다는것을 고려하면[6] 단순물이 해리될 때 생겨나는 이온들이 산란중심들을 형성하는데 일정한 영향을 준다고 볼수 있다. 그리고 세계 희석된 전해질용액에서 개별적이온들은 이상적인 희석용액에서의 비전해질용질립자들처럼 움직인다고 가정할수 있다.[7]

실험에 리용되는 레이자빔이 보임빛대역에 놓이므로 단순물용액의 분극률(따라서 굴절률)에 기본영향을 주는것은 물론 전자들이지만 해리된 이온들이 산란중심의 역할을 수행하면서 역시 그것의 분극률에 일정한 영향을 미친다고 볼수 있다. 그러면 간섭무늬의 이동을 리용하여 그 용액의 pH를 결정할수 있다고 예측할수 있다.

## 2. 실험결과와 분석

마이클슨간섭계는 확산계수나 굴절률, 미소거리의 측정과 분광분석이나 미소진동 등을 연구하는데 리용되었다.[5] 용액의 pH결정에 마이클슨간섭계를 리용하기 힘든 리유는 흔히 전해질용액이 복잡한 화합물들로 구성되어있으므로 각이한 해리이온들이 굴절률에 주는 영향을 모두 고려하는것이 매우 어려운것과 관계된다고 볼수 있다.

마이클슨간섭계의 한쪽 팔에 석영큐베트를 설치하고 증류수를 채우면 간섭무늬들이 이동하는것을 명백히 관찰할수 있다.(그림 3)

pH=1, 3, 9, 11인 용액에서의 간섭무늬는 그림 4와 같다. 이 간섭무늬들을 촬영하여 컴퓨터상에서 처리하면 간섭무늬들의 이동변화를 구할수 있다.

간섭무늬들의 상대이동값은 증류수와 pH가 1, 3, 9, 11인 용액들의 경우에 각각 64, 56, 49, 50, 53이다. 무늬상대이동값을 결정하는데서의 오차는  $\pm 2$ 정도로 평가되었다.

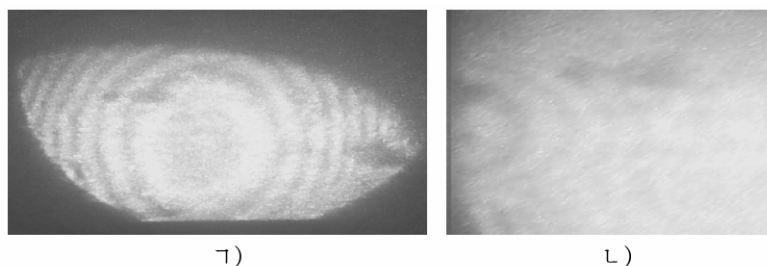


그림 3. 공기(가)) 및 증류수(나))에서의 무늬이동

실험결과를 pH에 따르는 간섭무늬들의 이동을 명백히 보여준다. 그리고 pH의 증가에 따라 무늬이동값이 처음에는 작아지다가 점차 다시 커지는것으로 보인다.

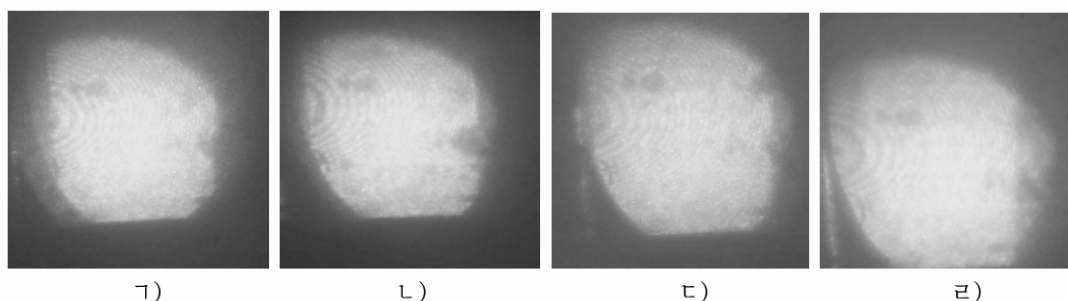


그림 4. pH=1, 3, 9, 11 인 용액에서의 간섭무늬

선행연구결과들로부터 예측할수 있지만 전해질용액에서 pH와 굴절률사이의 호상관계를 구체적으로 해명하는것은 어려운 일이다.

그러나 물농도가 매우 작은 투명한 단순물용액에서 해리가 일어나는 경우에 간섭무늬의 변화를 비접촉식으로 정확히 채서 그 용액의 pH를 실시간적으로 결정할수 있는 가능성은 충분하다고 보아진다.

## 맺 는 말

1) 마이클슨간섭계를 리용하여 비접촉식으로 투명한 단순물용액의 pH를 실시간적으로 결정할수 있는 한가지 방도를 제기하였다.

2) 제작한 마이클슨간섭계를 가지고 기초실험을 진행하여 용액의 pH를 결정할수 있는 가능성을 밝혔다.

앞으로 간섭무늬를 해상도가 아주 높은 CCD를 리용한 자동측정체계으로 넘겨 분석한다면 투명한 단순물용액의 pH를 보다 더 정확히 결정할수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] 안광철; 광학, 김일성종합대학출판사, 88~100, 112~118, 주체101(2012).
- [2] 김하영 등; 물리학, 김일성종합대학출판사, 248~249, 주체106(2017).
- [3] Ludolf von Alvensleben; Phywe Experimental Literature (Physics), Phywe Systeme GMBH, Göttingen, Germany, 2.2.05~2.2.07, 2008.
- [4] E. Hecht; International Edition Optics, Addison-Wesley, 385~430, 2002.
- [5] Y. Kraftmakher; Experiments and Demonstrations in Physics, Bar-Ilan Physics Laboratory World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 371~379, 2007.
- [6] R. J. D. Tilley; Colour and the Optical Properties of Materials, John Willy & Sons. Ltd, 58~63, 2011.
- [7] H. DeVoe; Thermodynamics and Chemistry, Prentice-Hall, 282~298, 362~411, 2010.
- [8] J. Nadeau; Introduction to Experimental Biophysics, CRC Press, Taylor & Francis Group, 26~40, 2012.
- [9] D. Barcelo; Comprehensive Analytical Chemistry, Elsevier, 149~155, 2011.
- [10] J. F. Wishart et al.; Recent Trends in Radiation Chemistry, World Scientific, 266~270, 2010.

주체107(2018)년 12월 5일 원고접수

## **The Possibility of pH Determination of Transparent Simple Solution by Using the Michelson Interferometer**

*An Kwang Chol*

We investigated the possibility of pH determination of transparent simple solution by means of the Michelson interferometer which we had made on our own.

From the experimental results it seems to determine the pH of a transparent simple solution in real-time by using our Michelson interferometer.

Key words: Michelson interferometer, pH of a solution