

# 주사기와 압력계를 이용한 액체의 증기압 측정방법 연구 : 25℃에서 80℃ 범위에 적용

우현승, 정대홍\*

서울대학교 화학교육과, 서울특별시 151-742

## A Method Measuring Vapor Pressure of Liquid Using Syringe and Pressure Gauge from 25 °C up to 80 °C

Hyun Seung Woo, Dae Hong Jeong\*

Department of Chemistry Education, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

### 요약

본 연구에서는 학교 현장에서 물과 에탄올의 증기압 측정을 위한 안전하고 간편한 장치를 개발하고 이를 이용한 증기압 측정 방법을 연구하였다. 주사기와 범용 압력계를 활용하여 측정 장치를 간편하게 구성하고, 증기압 측정 전 주사기 내부를 단일계로 만들어 주기 위해 주사기와 압력계를 연결하는 연결관 속 공기를 모두 제거하여 실험의 정확성을 높였다. 이 장치로 25 °C에서 80 °C 범위의 온도에서 물과 에탄올의 증기압을 측정하고 문헌값과 비교하여 장치의 정확성을 검증하였다. 본 실험 장치를 이용하면 학생들이 어려워하는 개념 중 하나인 증기압을 쉽고 안전하게 개별 실험할 수 있으므로 현장에서 개념학습에 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

**주제어** : 액체의 증기압, 정량실험

### 서론

고등학교 화학II에 처음 도입되는 액체의 증기압은 후기 형식적 조작기의 인지 수준에 해당하는 개념으로 대부분 구체적 조작기나 과도기 수준에 있는 고등학교 2학년 자연계열 학생들에게 어려운 개념으로 인식되고 있다(박숙연, 1997). 이것은 '끓는점 오름', '어는점 내림', '삼투압' 등 '용액의 총괄성'을 이해하기 위한 선행 개념이기 때문에 정확한 이해가 필요하지만 교사들은 교수학습에 어려움을 느끼고 있다. 그것은 대학수학능력시험에서 증기압을 포함한 용액의 총괄성 관련 단원 문항의 정답률이 가장 저조한 것으로도 반증된다(한국교육과정평가원, 2002). 이런 측면에서 볼 때 과학 교과와 장점이 실험활동을 통해 구체적 경험을 제공하여 개념 수준과 학생들의 인지 수준의

간극을 줄일 필요가 있다. 실험은 추상적인 과학지식을 학습지 도하는데 효과적이며 (김재현, 2005) 실험을 통해 학습한 경우 탐구능력 향상에 유의미한 영향을 주는 것으로 알려져 있다(김희성, 2010). 그러나 제 7차 교육과정에 의한 고교 교육과정 중 이 영역에 해당하는 교과 내용을 분석해 보면 대부분 자료해석이나 추리, 예상 등의 형태로만 제시되고 있을 뿐 실질적인 실험활동이 이루어지지 않는 것으로 나타났다(전영미, 2002; 윤희숙 등, 2012). 이에 본 연구에서는 학생들이 학교에서 쉽고 안전하게 액체의 증기압을 측정할 수 있는 도구를 개발하고 이를 이용하여 25 °C에서 80 °C까지의 온도 구간에서 액체의 증기압을 측정하는 방법을 제안한다.

### 장치의 개발

현 교육과정에 따른 교과서에 제시된 것으로 증기압 측정 방법 또는 용액과 용매의 수증기압 차이 등 증기압과 관련이 있

\* 교신저자: jeongdh@snu.ac.kr

• 2012년 10월 8일 접수, 2012년 10월 25일 수정, 2012년 10월 25일 통과

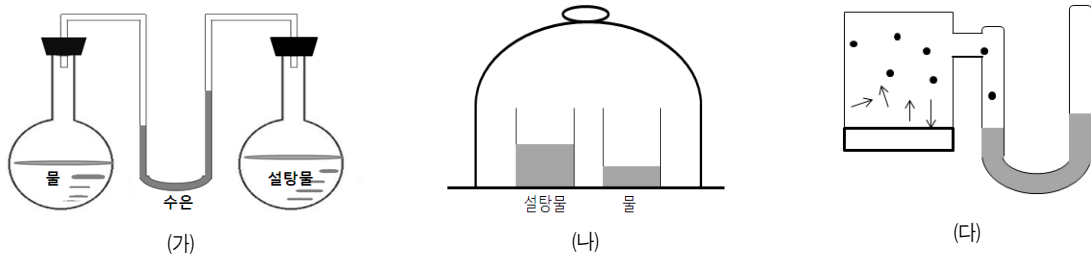


그림 1. 화학II 교과서에 제시된 증기압 관련 실험.

표 1. 그림 1과 관련하여 각 출판사 별로 제시된 증기압 관련 실험.

출판사		실험	(가)	(나)	(다)
제 7차 교육과정	천재교육		○		
	형설출판사		○		
	중앙교육연구소		○	○	
	대한교과서		○	○	
	금성출판사			○	
	교학사			○	○
	침문각				○
2009 개정 교육과정	천재교육		○		
	비상교육		○	○	○
	교학사		○	○	
	상상아카데미		○	○	

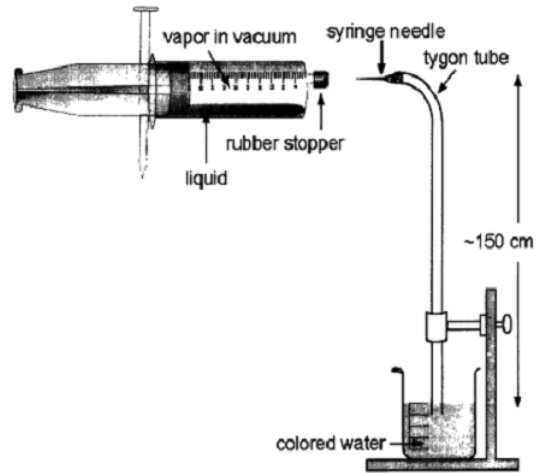


그림 2. 주사기와 긴 바늘튜브관으로 구성된 증기압 측정 장치 (박종욱, 2003).

는 모든 실험의 형태는 그림 1에 나타낸 세 가지 중 하나로 나타난다. 표 1에는 그림 1의 세 가지 실험이 각 출판사별로 제시된 현황을 나타내었다. 그림 1의 (가)는 대부분의 교과서에서 제시하고 있는 실험으로, 수은을 사용하여 액체의 증기압을 측정하므로 현장에서 학생들이 직접 실험을 수행하기에는 제한적이다. 그림 1의 (나)는 대학수학능력시험에 여러 차례 소개된 실험으로, 닫힌계에서 용액과 용매의 증기압의 차이로 일어나는 두 용액의 수위 변화를 관찰하는 것이다. 그런데 이 실험에서 용액의 높이 차이가 관찰 가능한 만큼 일어나기 위해서는 매우 긴 시간이 필요하므로 실제 수업 상황에서 수행하기 어렵다. 또한 그림 1의 (다)의 경우 증기압 측정 방법을 가장 구체적으로 보여주는 실험으로 판단되지만 진공펌프를 이용해서 용기를 진공상태로 만들어 주어야 하므로 현장에서는 장치에 대한 접근성이 떨어진다.

이러한 현실적 문제점을 개선하기 위해 본 연구에서는 중, 고교 학생들이 수행하기에 위험하지 않으면서 주위에서 쉽게 볼 수 있는 기구들을 이용하여 현장에 적용할 수 있는 간단한 방법으로 접근하고자 하였다.

물의 증기압을 측정하기 위해서는 두 가지 조건이 필요하다. 첫째, 측정하는 계가 단일계가 되어야 하고 둘째, 압력을 측정

하는 기구가 연결되어야 한다. 물의 단일계를 얻을 수 있으면서 압력 측정이 용이한 방법으로 주사기와 물기둥을 이용한 실험이 보고되었고(박종욱, 2003), 그 장치의 개요도를 그림 2에 나타내었다. 이 장치는 액체와 증기의 동적 평형의 개념을 적극 도입하였을 뿐 아니라 그림 1에서 소개된 실험들보다 실험 과정이 상대적으로 간단하지만, 그림 2에서 보는 바와 같이 충분한 높이를 확보해야 한다는 단점이 있었다. 이 방법에서 압력을 측정하는 부분을 간단한 압력계지를 사용하도록 교체한다면 (Iannone, 2006) 주사기를 이용한 물의 단일계 조성이 간편하고 물의 증기압 측정이 편리할 것으로 예상된다.

## 장치 개요

고안한 증기압 측정 실험 장치의 개요도를 그림 3에 나타내었다. 압력계는 대기압을 기준으로 한 감압계(HISCO)와 60 mL 부피의 플라스틱 주사기를 사용하였고, 압력계와 주사기를 3-way 콕으로 연결하였다. 3-way 콕에 압력계를 직접 연결할

수 없으므로 금속 연결관을 주문제작하여 연결하였다. 연결관은 압력계 쪽으로는 암나사, 3-way 콕 쪽으로는 숫나사로 총 길이 3 cm, 외경은 1.6 cm 이다. 3-way 콕의 나머지 입구는 나중에 증류수를 주입하거나 연결부의 공기를 제거하는데 사용된다. 그리고 주사기의 부피가 50 mL가 되는 지점을 잡아 피스톤에 표시하고 전기인두 등을 이용하여 구멍을 뚫어 놓는다. 이 구멍은 송곳이나 못 등을 이용하여 주사기의 부피를 고정하는데 사용한다. 고정시키는 부피 50 mL는 절대적인 값이 아니므로 선택한 주사기의 용량에 따라 적당한 부피에서 고정해 주면 될 것이다.

### 증기압 측정 방법

액체의 증기압은 닫힌계에서 액체와 증기가 동적 평형을 이루고 있을 때 액체의 증기가 나타내는 압력으로, 그림 3에 나타난 주사기와 압력계로 이루어진 닫힌계의 내부에 물만 존재해야 한다. 즉, 물의 증기압을 측정하기 위해서는 용기를 단일계로 만들어 주어야 하고 이것은 용기 내부에서 물을 제외한 나머지 빈 공간이 반드시 진공상태가 되어야 한다는 것을 의미한다. 진공은 그림 4와 같이 만들 수 있다. 주사기 안을 일정량의 물로만 가득 채운 후 밀폐된 상태에서 피스톤을 잡아당기면 그때 생기는 빈 공간이 진공 상태가 된다. 이 빈 공간은 물이 증발하면서 생긴 수증기로 바로 채워지기 시작하고 충분한 시간이 흐른 후에는 물이 증발하는 속도와 수증기가 다시 응축되는 속도가 같아지는 동적 평형에 이르게 된다. 이 때 수증기가 나타내는 압력이 바로 물의 증기압이다. 동적 평형은 매우 빠르게 형성되어 주사기를 당겨주는 순간 곧 이루어진다. 이것은

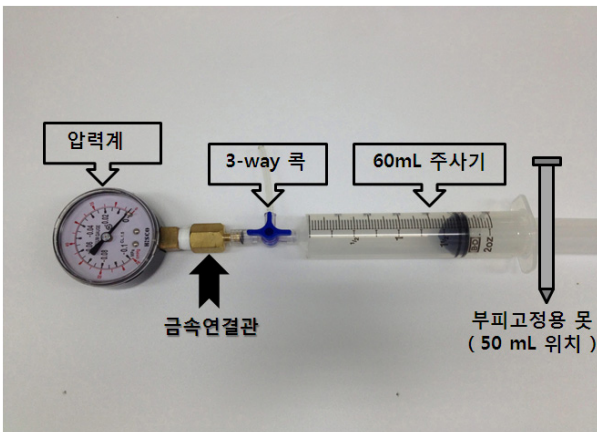


그림 3. 물의 증기압 측정 장치의 구성.

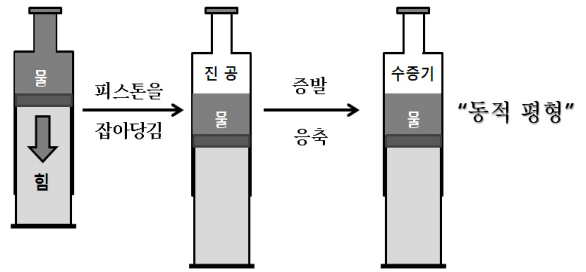


그림 4. 주사기 속 물 단일계의 동적 평형 과정.

실험에서 주사기에 액체를 일정량 넣고 피스톤을 당겨서 부피를 늘일 때 주사기에 넣어 준 액체의 종류에 따라 압력계의 눈금이 다르다는 사실로 확인할 수 있다.

앞에서 언급하였듯이 주사기 안을 진공상태로 만들기 위해서는 주사기를 당기기 전 내부에는 반드시 물만 들어 있어야 한다는 점이 중요하다. 그런데, 그림 3에서 보는 바와 같이 3-way 콕과 압력계를 연결하기 위해 금속 연결관을 사용하였기 때문에 겉으로 드러나지 않지만 이 연결부의 내부에 빈 공간이 있고 그 공간에 공기가 채워져 있다. 이것은 주사기 내부가 단일계가 되지 못한다는 것을 의미한다. 따라서 물의 증기압 측정을 위해 증류수를 주사기에 주입하기 전 먼저 이 공간에 있는 공기를 반드시 모두 제거해 주어야 한다.

연결부에 숨어있는 공기를 제거하기 위해서 다음과 같은 과정을 수행하였다. 먼저 압력계에 빈 주사기를 달고 3-way 콕 밸브의 방향을 그림 5(a)와 같이 둔다. 피스톤을 50 mL까지 힘껏 당겨준 후 3-way 콕 밸브의 방향을 그림 5(b)와 같이 돌리고 주사기의 피스톤을 끝까지 밀어 주사기 속의 공기를 바깥쪽으로 빼낸다. 한 번만으로는 숨은 공기가 다 빠지지 않으므로 압력계의 눈금을 관찰하면서 거의 76 cmHg 가까이 돌아갈 때까지 이 과정을 가능한 여러 차례 반복한다. 그러나 이와 같은 방법으로는 진공펌프를 이용할 때에는 다르게 연결부의 숨은

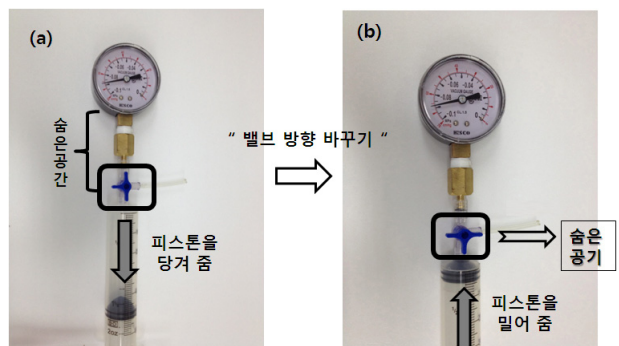


그림 5. 숨은 공간의 공기 제거하기. A와 B의 과정에서 밸브의 방향을 주의한다.

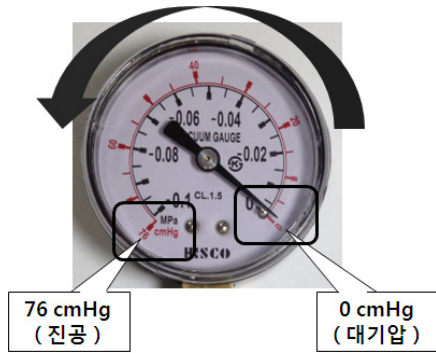


그림 6. 압력계 눈금. 압력계의 눈금은 대기압으로부터 줄어든 압력(감압)의 크기를 나타낸다.

공기를 완벽하게 제거하는 것이 어려우므로 수 백 Pa 정도 압력(1 cmHg  $\approx$  1300 Pa)에 해당하는 미량의 기체가 남아 있을 수 있다. 이것은 측정 오차 범위 내에서 무시할 수 있는 값이라고 판단되지만, 이 과정을 여러 차례 반복할수록 데이터의 정확도는 높아질 것이다.

연결부의 공기가 다 빠졌다고 판단되면 그림 5와 같이 외부로 연결된 콕에 타이곤 튜브(tygon tube) 등을 연결한 후 3-way 콕의 밸브의 방향을 5(b)와 같이 두고 주사기를 당겨 증류수를 10 mL 부피까지 주입한다. 그리고 3-way 콕의 밸브의 방향을 다시 5(a)와 같이 바꾼 후 주사기의 피스톤을 약 50 mL 정도 당기고 미리 뚫어 놓은 구멍에 송곳을 이용해 부피를 고정하여 증기압 변화를 관찰할 수 있다.

참고로 그림 6과 같이 시중에서 쉽게 구할 수 있는 감압 압력계의 눈금 범위는 0 ~ 76 cmHg로 표시되어 있다. 대기압일 때 감압계의 눈금이 0 cmHg으로 표시되어 있으므로 표시된 숫자는 이로부터 감소된 압력을 나타낸다고 할 수 있다. 즉, 감압을 할수록 바늘은 반시계 방향으로 돌아서 진공에 가까우면 압력계의 눈금은 76 cmHg 근처를 가리킨다.

## 실험 결과 및 논의

### 압력계의 정확도 확인 및 보정

액체의 증기압을 측정하기 전 먼저 해야 하는 일은 사용하는 압력계가 기체의 압력을 정확하게 나타내는가를 확인하는 것이다. 본 연구에서는 주사기의 부피를 10 mL에서 50 mL까지 10 mL 간격으로 부피를 늘어가며 ( $V_m$ ) 그 때 압력계의 값( $P_0$ )이 보일의 법칙을 잘 따르는지 여부로 확인하였다.

먼저, 3-way 콕 밸브의 방향을 그림 5(a)와 같이 둔다. 그

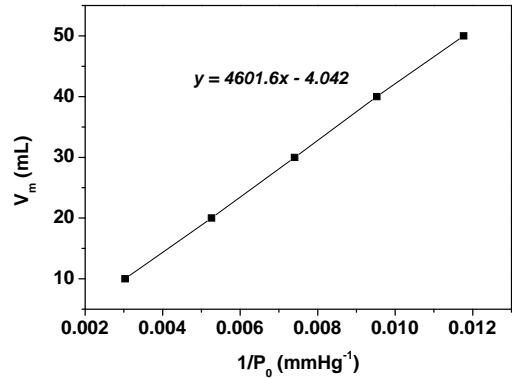


그림 7. 측정된 압력의 역수값과 주사기의 부피와의 관계.

후 빈 주사기를 당겨 부피가 10 mL가 되게 하고 압력계의 눈금을 읽고 기록한다. 같은 방법으로 주사기를 당겨 부피가 20, 30, 40, 50 mL 일 때 각각의 경우 압력계의 눈금을 읽어 기록하고 그래프로 도시한다.

측정한  $P_0$ ,  $V_m$  과 변환한  $1/P_0$  데이터는 표 2와 같고,  $V_m$  과  $1/P_0$  관계는 그림 7에 도시하였다.

$V_m$ 는 주사기의 부피이고  $P_0$ 는 이 때 압력의 측정값이다. 사용한 장치에서는 연결관 속 부피( $V_0$ ) 값을 고려해야 하므로 전체 부피는  $V = V_m + V_0$  가 된다. 따라서 보일을 나타내는 관계식  $PV = k$  는 수식 (1)과 같이 표현된다. 이 식을  $V_m$ 에 대해서 정리하면 수식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$P_0(V_m + V_0) = k \quad (1)$$

$$V_m = \frac{k}{P_0} - V_0 \quad (2)$$

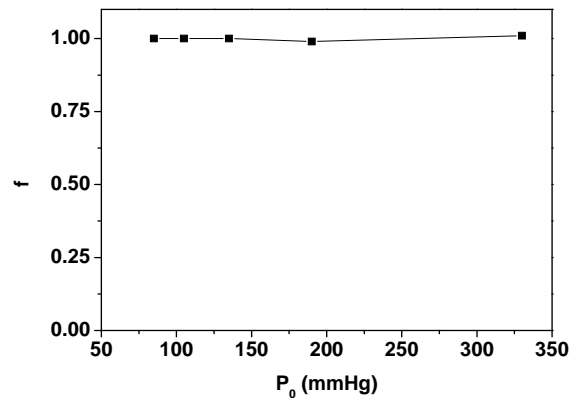


그림 8. 각 측정값에 대한 오차율,  $f = \frac{P_0}{P_t}$ .

이 때, 측정된 값들에 대해서 최소자승법을 이용하면  $V_0 = 4.0$  mL 임을 구할 수 있고, 따라서 제거해야 하는 숨은 공기의 부피는 약 4.0 mL 이다. 이를 이용하면 이론적인 압력 기댓값 ( $P_t$ )을 수식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_t = \frac{k}{V_0 + V_m} \quad (3)$$

이 관계식을 이용하여 압력의 이론적 기댓값과 측정값을 비교하면, 그림 8에 나타낸 바와 같이 오차가 크지 않다는 것을 확인할 수 있었다.

이로써 본 장치가 해당 압력을 비교적 정확하게 나타내고 있어서 충분히 신뢰할 만하다는 것을 확인하였다.

### 물의 증기압 측정

증기압을 측정하는 모습과 그 모식도를 그림 9에 나타내었다. 특정 온도의 증기압을 측정하기 위해서는 주사기 속 물의 온도를 일정하게 유지하는 것이 필요하며, 이를 위해서 항온조를 사용하였다. 숨은 공기 제거 작업을 통해서 내부가 단열개로 설정된 주사기를 50 mL 부피로 고정하고 항온조에 담근다. 항온조를 원하는 온도로 설정하고 일정 시간이 지나면 주사기 속 물은 항온조 속 물과 열적 평형을 이루게 되므로 항온조의 온도와 주사기 속 물의 온도가 같게 된다. 항온조 속 물의 온도가 측정하고자 하는 온도에 도달하면 압력계의 바늘이 더 이상 움직이지 않을 때까지 충분히 기다렸다가 압력계의 해당 눈금을 읽어 주었다. 그 값이 바로 해당 온도의 증기압이며 이런 방법으로 25 °C 부터 80 °C 까지 5 °C 간격으로 증기압을 측정하였다. 80 °C 이후로 측정하지 않은 이유는 외부 공기와 온도차가 크고 또한 본 연구에서 사용한 항온조의 부피가 35 cm<sup>3</sup>으로 항온조 속 물의 양이 많아 온도를 올리기가 쉽지 않았기 때문이다. 물이 데워지고 열적평형이 이뤄지는 과정을 포함하여 증

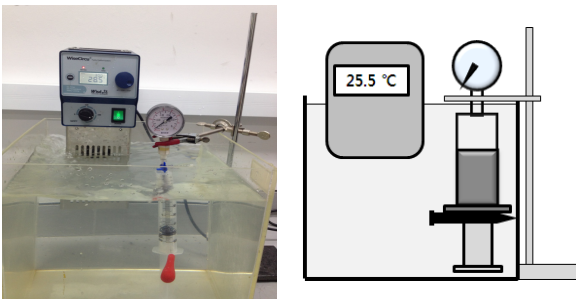


그림 9. 온도에 따른 물의 증기압 측정 모습과 모식도.

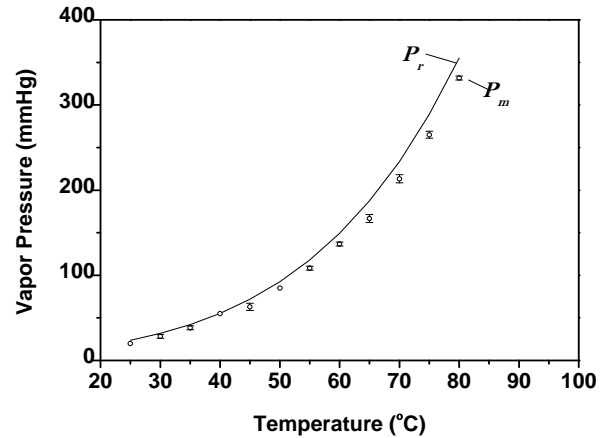


그림 10. 고안된 장치로 얻은 온도에 따른 물의 증기압 곡선 ( $P_m$ : 측정값,  $P_r$ : 문헌값 (Haynes, 2010-2011)).

기압을 측정하는 전 과정동안 소요되는 시간은 5 °C마다 평균 10 ~ 15분 정도였다.

주의할 점은 주사기가 물에 완전히 잠기도록 설치해야 한다는 것이다. 주사기의 일부분이 공기 중에 노출되면 기체의 압력이 해당 온도보다 낮아져서 증기압은 실제보다 낮게 측정되기 때문이다.

측정 결과는 그림 10과 같다.

측정된 물의 증기압은 문헌값과 비교했을 때 전체적으로 약 5 % 내외의 오차가 관찰되었지만 큰 오차 없이 온도가 증가함에 따라 일정하게 증가하는 경향이 문헌값과 일치함을 확인할 수 있었다. 오차가 최대인 지점은 25 °C일 때 약 15 %로 나머지 온도보다 큰데, 그 이유는 사용한 압력계의 측정 범위가 0 cmHg에서 76 cmHg 사이이므로 25 °C의 증기압이 측정 한계 부근이기 때문에 압력계가 정확한 압력을 나타내기 어려웠을

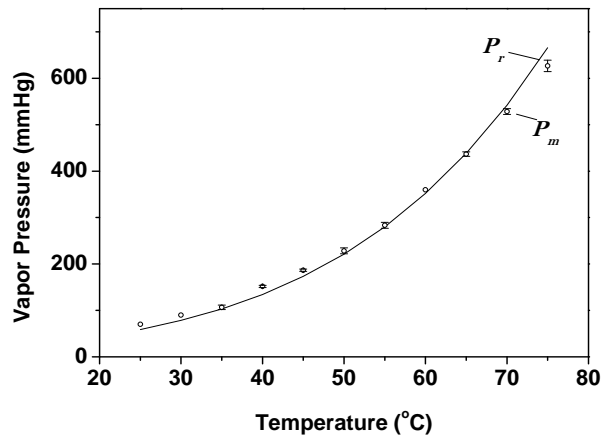


그림 11. 고안된 장치로 얻은 온도에 따른 에탄올의 증기압 그래프.

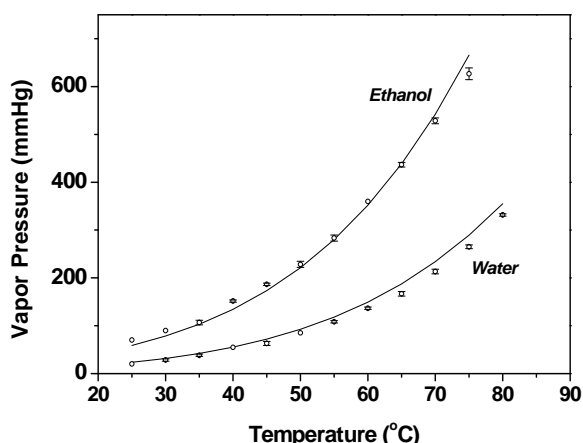


그림 12. 온도에 따른 물과 에탄올의 증기압 그래프.

것으로 분석된다. 또한 진공펌프를 사용하지 않고 실험에서 실행한 수작업으로는 연결부의 숨어 있는 공기가 완전히 제거되지 못하는 점도 오차의 원인에 포함될 것이다.

본 연구에서는 또한 이 기구가 시료를 바꾸었을 때 결과가 어떻게 나오는지 알아보기 위하여 에탄올(순도 99.9%, 대정화금 4023-4100)의 증기압을 동일한 방법으로 측정하였다. 그림 11에 나타난 결과에서 볼 수 있듯이 온도에 따른 에탄올의 증기압 또한 물의 증기압과 마찬가지로 전반적으로 정확도가 높았다. 따라서 이 기구로 물과 에탄올 뿐 만 아니라 다른 액체의 증기압도 정확도 높은 결과를 얻을 수 있을 것이며, 고안한 측정 기구가 액체의 증기압에 매우 유용하다는 결과를 얻을 수 있었다.

증기압은 분자 간 인력과 몰증발열, 끓는점 등 여러 가지 개념과 연계되어 있으므로 교과서에서는 종종 액체의 종류에 따라 증기압의 차이를 그래프로 확인하여 물질의 종류와 이러한 개념들과의 관계를 설명한다. 교과서에 그래프 자료로 제시된 형태를 비교하는 것보다는 학생들이 직접 측정을 하여 얻은 결과를 비교한다면 구체적인 개념 학습에 도움이 될 것이다. 본 연구에서 제안한 측정 방법을 사용하면 학생들이 그림 12와 같은 결과를 스스로 얻고 물질에 따른 증기압의 차이를 경험적으로 이해할 수 있을 것으로 기대된다.

## 결론 및 제언

압력계와 3-way 콕, 주사기를 이용하여 간편한 증기압 측정 장치를 개발하고 주사기 내부를 단일계로 만들어 준 후 온도에 따른 물과 에탄올의 증기압을 측정해 보았다. 지금까지 교과서

에서 소개된 증기압 관련 실험은 수은 등 위험성이 있는 재료를 이용하거나 결과를 얻기 까지 소요시간이 길어서 대부분의 교과서에서 자료해석 수준의 탐구활동으로 그치고 있다. 이러한 현실을 감안할 때 본 장치의 장점을 크게 두 가지로 꼽을 수 있다. 첫째, 위험성이 없고 손쉽게 구할 수 있는 주사기와 압력계만을 이용하여 쉬운 방법으로 물의 증기압을 측정할 수 있다는 점, 둘째, 결과 해석에 복잡한 사고 과정이 필요치 않고 온도에 따라 액체의 증기압이 다르다는 과학적 사실을 압력계의 눈금값으로 직접 확인할 수 있다는 점이다. 측정값 또한 이론값과 오차가 약 5% 이내로 나타나 정확도가 높고, 액체의 증기압이라는 어려운 개념을 쉽게 확인하는데 현장에서 효과적으로 사용할 수 있을 것이다. 온도에 따른 전 구간의 증기압 측정에는 다소 긴 시간이 필요하여 한 차시 수업에서 전체 온도 범위에 걸친 경향성을 확인하기는 어려운 면이 있지만 재료가 위험하지 않고 방법이 단순하여 학생 개인의 직접 탐구 실험이 가능하다는 점에서 과학 교육적 장점이 크다고 할 수 있다. 또한 본 연구는 교과서에 이론적인 값을 바탕으로 제시하고 있는 증기압 곡선을 직접 실험으로 정확도 높은 데이터를 얻어 보았다는 점에서 그 의미가 크다고 할 수 있다.

이 실험 장치를 통한 액체의 증기압 측정이 지식의 수준과 학생들의 인지발달 단계 수준의 간극을 줄이고 직접 실험을 통해 학생들에게 과학에 대한 흥미 유발과 탐구 기회를 제공하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

## ABSTRACT

In this study, the safe and convenient device for vapor pressure measurement of water and ethanol in school was developed and measurement method using this device was studied.

The device was simply composed of general-purpose pressure gauge and a syringe. Removing the internal air of the connector joining the syringe and the pressure gauge increased the measurement accuracy since this process made of inside the syringe single system.

After the vapor pressure of water and ethanol were measured with this device from 25 °C up to 80 °C, the accuracy of the device was verified comparing with values in references. It is expected to be helpful for conception learning in school because the easy, safe and individually accessible experiment of vapor pressure is possible using this device.

**Key Words** : vapor pressure of liquid, quantitative experiment

참고문헌

- 김재현, 정찬순, 장낙한 (2005) 고등학교 과학의 실험 개선에 관한 연구. 공주대 과학교육연구소 논문집.
- 김희성 (2010) 고등학교 화학 I 및 화학II 교과서 삽화와 탐구 활동 분석 및 가시적인 실험으로의 개선 방안. 인하대학교 석사학위논문.
- 김희준, 윤경병, 이준용, 황성용, 이복영, 전화영 (2003) 고등학교 화학II. (주)천재교육.
- 김희준, 김호성, 이보경, 이수미, 이영식, 이정희, 이진승, 이희나, 조향숙 (2012) 고등학교 화학II. 상상아카데미.
- 노태희, 최성신, 강석진, 이순영, 배병일, 고숙영, 주영, 최숙영 (2011) 고등학교 화학II. (주)천재교육.
- 류혜일, 김창석, 이광필, 이종백, 박상백, 강승구, 김용연, 이희권 (2011) 고등학교 화학II. 비상교육.
- 박숙연 (1997) 고등학교 화학II 교과서 내용의 인지요구도 수준 및 활용방안. 이화여자대학교 석사학위 논문.
- 박종석, 윤용, 정지오, 조은미, 류시경 (2011) 고등학교 화학II. 교학사.
- 박종욱 (2003) A simple and novel apparatus to demonstrate the difference of the vapor pressure. 청주교육대학교 과학교육연구소 과학과수학교육논문집 24: 59-65.
- 서정쌍, 허성일, 김출배, 박종욱, 하윤경, 임영종, 배병일 (2002) 고등학교 화학II. 금성교과서.
- 송호봉, 이재호, 이진현, 강금덕, 양기열, 구인선, 정관영 (2004) 고등학교 화학II. 형설출판사.
- 여수동, 여환진, 장영근, 이규옥, 조춘현, 박현영, 양도권, 이충길 (2003) 고등학교 화학II. 청문각.
- 우규한, 최석남, 오두환, 한은택, 김봉래, 강봉주 (2003) 고등학교 화학II. (주)중앙교육진흥연구소.
- 윤용, 정지오, 박종석, 김용호 (2004) 고등학교 화학II. 교학사.
- 윤희숙, 김지명 (2012) 감압 용기를 활용한 증기압력 측정 장치의 고안 및 중등 화학에의 적용. 현장과학교육 6(1): 56-59.
- 이덕환, 김대수, 심국석, 전석천, 이정희, 심중섭, 서인호, 노기종 (2002) 고등학교 화학II. 대한교과서.
- 전영미 (2002) 제 7차 교육 과정에 의한 고등학교 화학II 교과서의 실험 비교 연구. 경기대학교 석사학위 논문.
- 홍미영, 이범홍, 이양락 (2002) 대학수학능력시험 화학II 문항에 대한 학생들의 응답 분석. 한국교육과정평가원.
- Haynes WM (2010-2011) CRC Handbook of Chemistry and Physics, 91st Ed. Ch 6-5.
- Iannone M (2006) Vapor pressure measurements in a closed system. Journal of Chemical Education, 83(1): 97-98.