

4. 어는점 측정

가. 실습 목표

- 1) 끓는점과 어는점 측정 방법을 이해할 수 있다.
- 2) 끓는점과 어는점을 측정할 수 있다.
- 3) 어는점을 이용하여 분자량을 측정할 수 있다.

나. 실습 재료

나프탈렌(Naphthalene), 벤젠(Benzene), 얼음

다. 기기 및 기구

비커, 시험관 2개(작은 것 1, 큰 것 1), 클램프, 스텐드, 젓개(ring stricker) 2개, 고무마개, 1/10°C 눈금 수은 온도계, 전자 저울, 초시계

라. 관계 이론

1) 끓는점과 어는점의 정의

액체의 끓는점은 액체의 증기압이 그 때의 대기압과 같을 때의 온도로서 정의 되며, 대기압이 1기압일 때 측정된 끓는점을 표준 끓는점이라고, 어는점일 경우에는 표준 어는점이라 한다.

2) 증기 압력 내림

증기 압력 내림이란 비휘발성 용질이 들어있는 용액의 증기 압력이 용질의 몰분율에 비례하여 낮아지는 것을 말한다.

가) 증기 압력

물이 담긴 그릇에 뚜껑을 덮어두면, 처음에는 물의 양이 조금 줄어들지만 어느 정도 지나면 더 이상 줄어들지 않는다. 즉, 처음에는 증발에 의해 기체 상태가 되는 물 분자가 액체 상태로 되돌아가는 물 분자보다 많지만, 밀폐된 공간이므로 기체 상태의 물 분자가 많아지면 기체 압력이 높아져서 액체 상태로 되돌아가는 물 분자가 많아진다.

일정한 시간이 지나면 액체 상태에서 기체 상태로 되는 분자수와 기체 상태에서 액체 상태로 되는 분자수가 같게 된다. 이처럼 서로 반대되는 두 상태 변화가 같은 속도로 진행되는 상태를 동적 평형 상태라 한다. 동적

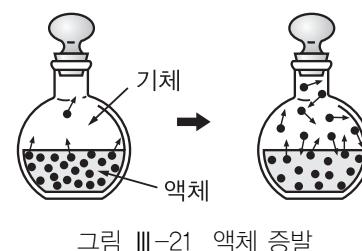


그림 III-21 액체 증발

평형 상태에서는 기체 분자의 수가 일정하게 유지되므로 이 기체의 압력도 일정하며, 이를 증기 압력(vapor pressure)이라 한다.

나) 용액의 증기 압력

순수한 용매에 비휘발성 물질이 녹아 있는 설탕물의 경우는 용질 입자(설탕 입자)가 증발이 일어나는 용액 표면의 일부를 차지하여 용매 분자의 증발을 방해할 뿐 아니라, 동시에 용매 분자와 용질 분자간에 인력이 작용하여 용매 분자가 증발하려는 경향을 줄이므로, 순수한 용매에 비해 용액의 용매 입자는 증발 속도가 줄어들며, 순수한 용매보다 낮은 증기 압력에서 동적 평형을 이룬다.

● 용매 분자 ● 비휘발성 용질 분자

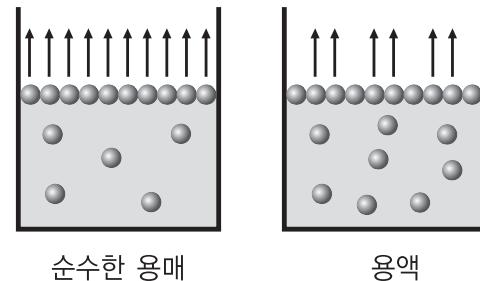


그림 III-22 액체의 증기압력

같은 온도에서 설탕이나 소금과 같은 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액의 증기 압력은 순수한 용매의 증기 압력보다 낮아지는데, 이러한 현상을 용액의 증기 압력 내림(vapor pressure lowering)이라 한다.

3) 끓는점 오름

<그림 III-23>과 같이 일반적으로 같은 온도에서 증기압 내림에 의해 비휘발성 물질이 녹아 있는 용액의 증기 압력은 순수한 용매의 증기 압력보다 낮고, 온도가 높아질수록 증기 압력이 높아진다. 이 때, 압력이

1기압에서 용매의 증기압을 끓는 점이라고 한다. T_b 는 순수 용매의 끓는 점이며 T_b' 는 용액의 끓는 점이다. ΔT_b 는 순수한 용매에 용질을 가했을 경우 나타나는 끓는 점의 차이이다.

이처럼 용액의 끓는 점이 순수한 용매에 비해 높아지는 현상을 끓는 점 오름(boiling point elevation)이라고 한다.

비휘발성이고 비전해질인 용질이 녹아 있는 둑은 용액의 끓는 점 오름은 용질의 종류에는 관계가 없으며, 일정량의 용매에 녹아 있는 용질의 분자수에 비례한다. 즉, 둑은 용액의 끓는 점 오름(ΔT_b)은 일정량의 용매에 녹아 있는 용질의 몰 수, 즉 몰랄 농도(m)에 비례한다.

$$\Delta T_b = T_b' - T_b = K_b m$$

K_b 는 1m 용액에서의 끓는 점 오름이며, 몰랄 오름 상수라고 부른다. K_b 는 용질의 종류와 관계가 없으며, 용매의 종류에 따라 다르다.

<표 III-5> 용매의 끓는점과 몰랄 오름 상수

용매	끓는점(°C)	K_b	용매	어는점(°C)	K_b
물	100.0	0.513	벤젠	80.8	2.63
메탄올	64.7	0.83	초산	118.1	3.14
에탄올	75.4	1.20	클로로포름	61.2	3.85
아세톤	56.2	1.72	사염화탄소	78.8	5.02

4) 어는점 내림

액체의 온도가 어는점에 도달하면 고체가 액체로 되는 속도와 액체가 고체로 되는 속도가 같아진다. 그러나 용매 속에 용질이 녹아 있는 용액의 경우에는 오른쪽 그림과 같이 용질에 의해 방해를 받기 때문에 용매가 고체 표면에 도달하는 것이 순수한 용매에

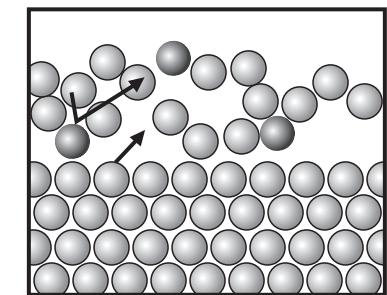


그림 III-24 어는점 내림

비해 어려워지고, 결과적으로 액체가 고체로 되는 속도가 줄어든다.

용매의 증기압 곡선에서 고체 용매의 증기압과 액체 용매의 증기압이 만나는 지점의 온도가 용매의 어는점이다. 아래와 같이 용액 중의 용매의 증기압 곡선은 순수한 용매의 증기압 곡선보다 아래쪽으로 이동하여 순수 고체 용매의 증기압 곡선과 만나는 지점이 왼쪽으로 이동한다. 결과적으로 용액의 끓는점도 순수한 용매의 어는점에 비해 낮아지게 된다.

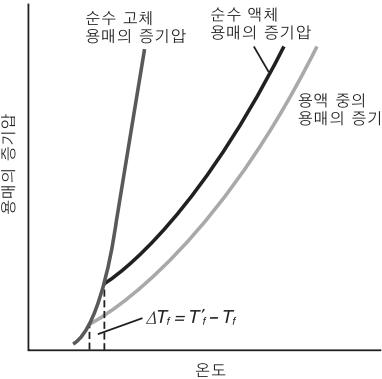


그림 III-25 어는점 내림 곡선

이러한 현상을 어는점 내림(freezing point depression)이라 하는데, 어는점 내림(ΔT_f)도 끓는점 오름과 마찬가지로 몰랄 농도(m)에 비례하고 용질의 종류에는 관계가 없다.

$$\Delta T_f = T'_{f_i} - T_f = K_f m$$

K_f 는 1m 용액에서의 어는점 내림이며, 몰랄 내림 상수라고 부른다. K_f 도 몰랄 오름 상수(K_b)와 마찬가지로 용질의 종류에는 무관하며 용매의 종류에 따라 달라진다.

〈표 III-6〉 용매의 어는점과 몰랄 내림 상수

용매	어는점(°C)	K_f	용매	어는점(°C)	K_f
물	0.0	1.86	아세트산	16.7	3.90
황산	10.5	6.81	시클로헥산	6.5	20.00
아닐린	-6.0	5.87	나프탈렌	80.2	6.90
벤조산	122.0	7.85	페놀	42.0	7.27
안트라퀴논	285.0	14.80	벤젠	5.5	5.12
안트라센	217.0	11.60	니트로벤젠	5.7	6.90

주어진 양의 용매에 일정량의 용질을 녹인 다음 그 용액의 ΔT_f 를 측정하면 용질의 분자량을 구할 수 있다. 지금 W_1 g을 녹였다고 하자. 그러면 이 용액의 몰랄 농도는 다음과 같이 된다.

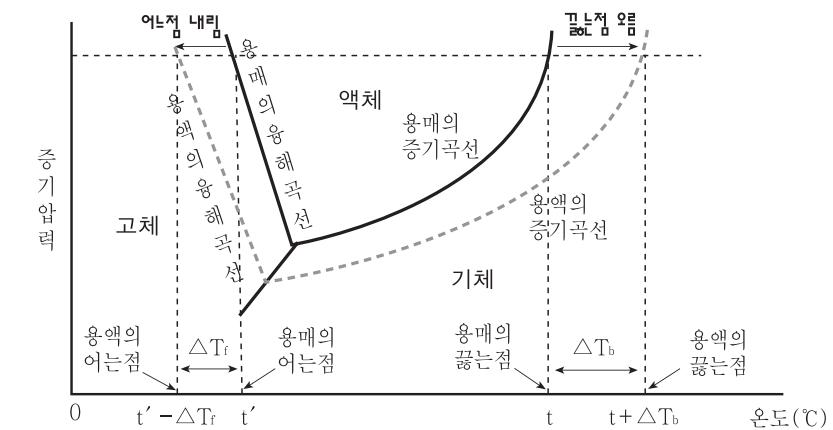


그림 III-26 액체의 끓는점 오름과 어는점 내림 곡선

$$m = \frac{W_2}{MW_1} \times 1,000$$

여기서 M 는 측정하고자 하는 용질의 분자량이다. 이 식을 $\Delta T_f = K_f m$ 에 대입하면

$$\Delta T_f = K_f \frac{W_2}{MW_1} \times 1,000$$

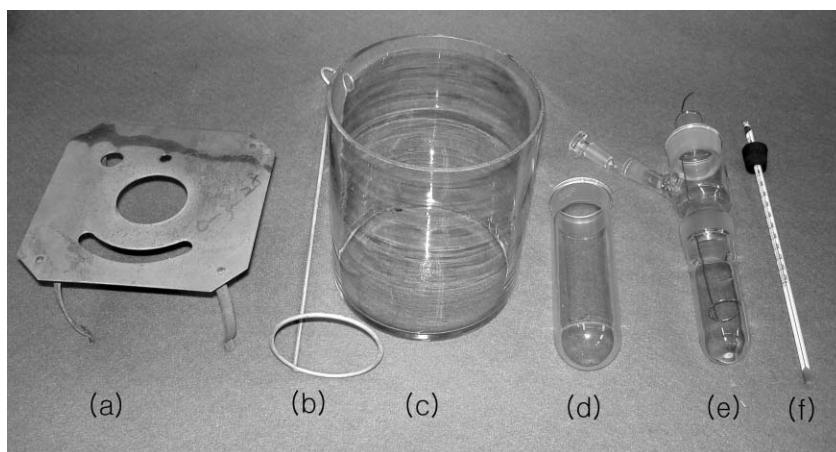
$$\therefore M = K_f \frac{W_2}{\Delta T_f W_1} \times 1,000$$

마. 안전 및 유의사항

- 1) 어는점의 온도는 소수점 아래 첫째까지 정확히 읽어야 한다.
- 2) 전자 저울을 사용할 때는 시약을 흘리지 않도록 주의한다.
- 3) 유리 기구를 다룰 때는 파손되지 않도록 주의한다.

바. 실습 순서

1) 벤젠의 어는점 측정

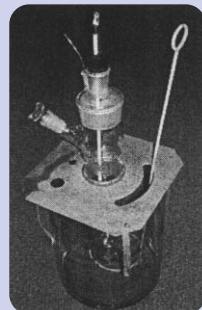


깨끗이 씻어 말린 시험관 (e)의 질량을 정확히 0.01g까지 단다.

이 시험관 벤젠 약 40mL를 넣은 다음 다시 0.01g까지 정확히 단다.

온도계 (f)를 시험관 (e)에 끼운 다음 이것을 다른 시험관 (d)에 끼운다. 시험관 속의 온도계는 시험관 밑바닥으로부터 1cm정도 떨어지게 장치 한다.

이와 같이 결합시킨 것을 얼음과 물의 혼합물이 든 비커 (c)에 고정시킨다.



젓개 (b)와 시험관 속의 젓개를 상하로 움직여 온도계가 0°C를 가르킬 때까지 냉각한다.

0°C까지 냉각되었는가?

아니오

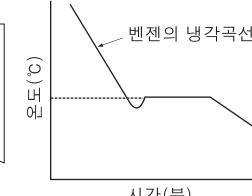
시험관 (e)를 꺼낸 다음 벤젠이 녹아서 실온이 될 때까지 방치한다.

벤젠이 녹아 있는가?

아니오

이것을 다시 시험관 (d)에 끼우고 젓개를 상하로 움직이면 온도가 내려 가게 된다.

10°C가 되면 초시계로 30초 간격으로 8분 동안 내려 가는 온도를 읽어서 기록한다.



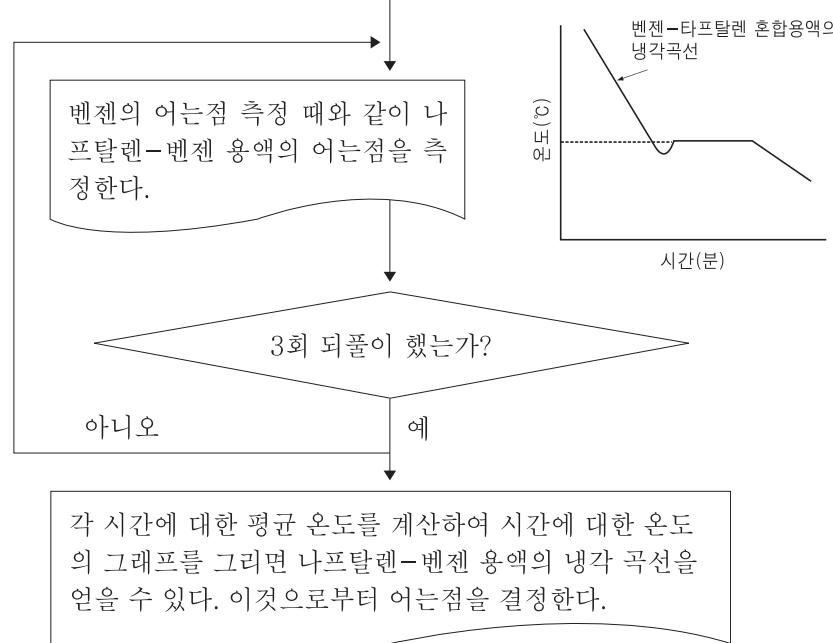
3회 뇌풀이 했는가?

아니오

시간(분)에 대한 평균온도를 계산하고 이것을 시간(분)에 대한 온도의 그래프를 그린다.
사용한 시험관의 벤젠은 다음 실험에 사용하게 되므로 버려서는 안된다.

2) 나프탈렌-벤젠 용액의 어는점 측정

앞 실험에서 사용한 벤젠이 들어 있는 시험관을 상온이 되게 하여 나프탈렌 덩어리 약 0.4g 정도를 0.01g까지 정확히 칭량하여 벤젠이 든 시험관에 넣어서 잘 녹인다.



사. 실습 보고서

실습 일	200 년 월 일	요일	날씨:	기온: °C
실습 단원	어는점 측정			
실습 제목				
실습자	과 학년 반 번 이름:		조	

1) 실습 재료 및 기구

재료	
기구	

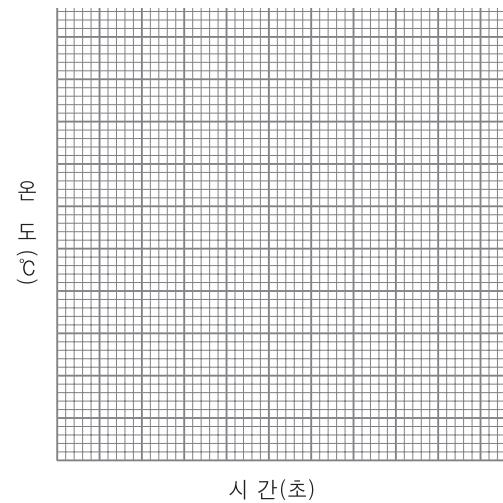
2) 벤젠과 나프탈렌의 무게를 측정

측정 항목	값
시험관의 무게(g)	
벤젠과 시험관의 무게(g)	
벤젠의 무게(g)	
나프탈렌의 무게(g)	

3) 벤젠과 벤젠-나프탈렌 혼합 용액의 어는점을 측정

시간(초)	온도 (°C)			벤젠-나프탈렌 혼합 용액				
	1회	2회	3회	평균	1회	2회	3회	평균
0								
30								
60								
90								
120								
150								
180								
210								
240								
270								
300								
330								
360								
390								
420								
450								
480								

4) 벤젠과 벤젠-나프탈렌 혼합 용액의 어는점 내림 그래프



5) 나프탈렌의 분자량

측정 항목	값
사용한 벤젠의 무게(g)	
벤젠의 어는점(T'_{f})	
나프탈렌 무게(g)	
벤젠-나프탈렌 혼합 용액의 어는점(T_{f})	
혼합 용액의 어는점 내림(ΔT_{f})	
벤젠의 어는점 내림 상수	5.12
벤젠-나프탈렌 혼합 용액의 몰랄 농도(m)	
벤젠에 녹아있는 나프탈렌의 몰 수(mol)	
측정한 나프탈렌의 평균 분자량	
실제 나프탈렌의 평균 분자량	128

아. 수행 평가

실험 과제명	세부사항	항목 번호	항목별 채점 방법	배점	학생	교사
어는점 측정	실험수행 전반	1	<ul style="list-style-type: none"> 실험복, 보고서철, 교과서, 계산기, 필기구, 자, 등 실험에 필요한 준비물을 제대로 갖추었는가? 용량플라스크, 피펫, 메스실린더 등을 사용할 때 눈금을 눈높이에서 표선을 일치시키는가? 기구 파손이 없고 실험 태도가 성실한가? 실험기구를 용도에 적합하게 사용하는가? 제조한 시약의 개수와 조제량은 정확한가? <p>매우 우수 : 10점, 우수 : 8점, 양호 : 6점, 보통 : 4점, 불량 : 2점, 매우 불량 : 0점</p>	10		
		2	천칭의 조작이 올바르면 5점, 나머지는 0점	5		
		3	어는점 측정 장치의 결합이 완전하면 5점, 나머지는 0점	5		
	벤젠의 어는점 측정	4	어는점 측정 장치의 온도계가 밑바닥으로부터 1cm 정도 떨어지게 장치하면 5점, 나머지는 0점	5		
		5	시험관 속의 젖개를 상하로 움직여 온도계가 0 °C를 가르킬 때까지 냉각하면 5점, 나머지는 0점	5		
		6	벤젠이 녹아서 실온이 될 때 까지 방치하면 5점, 나머지는 0점	5		
		7	10 °C가 되면 초시계로 30초 간격으로 8분간 내려가는 온도를 읽어서 기록하면 5점, 나머지는 0점	5		
	나프탈렌-벤젠의 어는점 측정	8	3회 되풀이 하면 5점, 나머지는 0점	5		
		9	나프탈렌 덩어리는 0.01g까지 정확히 칭량하면 5점, 나머지는 0점	5		
		10	나프탈렌-벤젠 용액의 어는점을 정확히 측정하면 5점, 나머지는 0점	5		
		11	시간에 대한 온도의 그래프를 정확히 그리면 5점, 나머지는 0점	5		
	실험 결과치	12	측정한 나프탈렌의 평균 분자량과 실제 분자량의 차이가 ±10% 이하인 경우 10점 ±10% 초과 ~ 20% 이하인 경우 5점 ±20% 초과인 경우 0점	10		

실습 일	200 년 월 일	평가 결과	총 평
실습자			
지도교사	(인)		

자. 평가 문제

1) 다음 설명 중 틀린 것은?

- ① 대기압이 1기압일 때 측정된 끓는점을 표준 끓는점
- ② 대기압이 1기압일 때 측정된 어는점을 표준 어는점
- ③ 용액의 끓는점이 순수한 용매에 비해 높아지는 현상을 끓는점 오름
- ④ 액체의 끓는점은 액체의 증기압이 그 때의 대기압보다 높을 때의 온도로서 정의
- ⑤ 증기 압력 내림이란 비휘발성 용질이 들어 있는 용액의 증기 압력이 용질의 몰분율에 비례하여 낮아지는 것

2) 나프탈렌 100g에 요소 15g이 녹아 있는 용액의 어는점이 63.3°C 라고 할 때 요소의 분자량은? (이 때 나프탈렌의 어는점 내림 상수는 6.95이고 순수한 나프탈렌의 어느점은 80.6°C 이다.)

- ① 3.013
- ② 6.026
- ③ 30.013
- ④ 60.026
- ⑤ 600.26

3) 물 450g에 벤조산 8.25g을 녹인 용액이 있다. 이 용액의 어는점은 몇 도($^{\circ}\text{C}$)인가? (물의 어는점 내림 상수는 1.86이고, 벤조산의 분자량은 122이다.)

- ① -15.25°C
- ② -1.525°C
- ③ 0°C
- ④ 1.526°C
- ⑤ 15.26°C

4) 250g의 물에 비전해질이고 비휘발성 물질 15g을 녹였을 때의 어는점이 -1.05°C 였다. 이 물질의 분자량을 구하라?

- ① 1.063
- ② 10.63
- ③ 106.3
- ④ 212.6
- ⑤ 423.2

5) 20g의 벤젠에 2g의 나프탈렌이 녹아 있는 용액의 어는점은 1.48°C 이며 순수한 벤젠의 어는점은 5.48°C 이다. 나프탈렌의 분자량이 128일 때, 벤젠의 어는점 내림 상수를 구하여라.

- ① 0.54
- ② 1.86
- ③ 3.9
- ④ 4.3
- ⑤ 5.12

▣ 자료실

<http://www.chemed4u.net/>

차. 쉬어 가기

추운 겨울에도 간장 독이 깨지지 않는 이유

추운 겨울에 물만 들어있는 독은 물이 얼어서 독이 깨지지만 간장 독은 간장이 얼지 않아 깨지지 않는다. 추운 겨울에도 간장 독이 깨지지 않는 이유는 무엇일까?



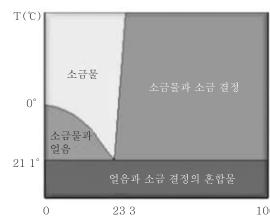
간장은 12월경에 콩으로 메주를 쑤어 자연 발효시킨 후, 다음 해 2~4월경에 소금물에 메주를 담가 1~2개월 숙성시킨다. 그런 후에 메주를 뜨고 간장을 다리면서 맛과 수분을 조절한다.

간장의 소금 농도는 보통 18~20%이며, 간장이 갈색을 띠는 것은 아미노산의 분해 산물인 멜라닌과 멜라노이din에 의한 것이다.

간장의 냄새는 알코올, 케톤, 알데하이드, 휘발성산 · 에스테르, 페놀 등이 혼합된 것이며, 간장의 고유한 맛은 β -메틸 메르캅토프로필 알코올(β -methyl mercaptopropyl alcohol)에 의한다. 이와 같이 간장은 물에 소금과 여러 물질이 섞인 혼합 용액이다.

추운 겨울에 물만 들어있는 독은 얼어서 깨지지만 간장 독이 깨지지 않는 이유는 간장은 순수한 물이 아닌 물에 소금과 여러 물질이 섞인 혼합 용액이기 때문이다.

순수한 물만 들어있는 독은 0°C 에서 물이 얼기 때문에 부피가 팽창하여 독이 깨지지만 간장은 0°C 보다 낮은 온도에서 안다.



간장 안에 들어있는 염분이 모두 NaCl 이라고 가정하면 소금의 농도가 18%인 간장의 어는점은 영하 14°C 이고, 소금의 농도가 20%인 간장의 어는점은 영하 16°C 이다. 따라서 간장 독은 들어있는 소금의 농도에 따라서 어는점이 낮아지므로 추운 겨울에도 얼지 않는다.