

탐구수업 지도자료

- 수정본 -

- 학 년 중학교 1학년
- 단 원 에너지 때문에 상태가 변했어요
- 소 단 원 4장 탐구 활동 안내
- 대표 저자 강순희(이화여자대학교)
- 공동 저자 김지영(서울 중화중학교)
 박은미(서울 청량고등학교)

이 자료는 서울대학교 과학교육연구소가 교육인적자원부의 과학교육 연구기관으로 지정받아 수행하고 있는 「탐구·실험 중심의 과학교육 활성화를 위한 연구개발 사업」의 일환으로 개발되었습니다.



서울대학교 과학교육연구소

Seoul National University Science Education Research Center



제 4 장

탐구 활동 안내



서울대학교
과학교육연구소

배경 지식 넓히기

1) 상태 변화

물질의 상태는 고체, 액체, 기체의 세 가지가 있으며 이들 사이의 변화를 상태 변화라고 한다.

예) 기화, 액화, 승화, 응고, 용해

2) 용해열과 응고열

용해가 일어나거나 응고가 일어날 때 흡수되거나 방출되는 열에너지

- ① 용해열 : 고체 1g을 액체로 만드는 데 흡수되는 열량
- ② 응고열 : 액체 1g을 고체로 만드는 데 방출되는 열량

3) 기화열과 액화열

기준 끓는점에서 기화가 일어나거나 액화가 일어날 때 흡수되거나 방출되는 열에너지

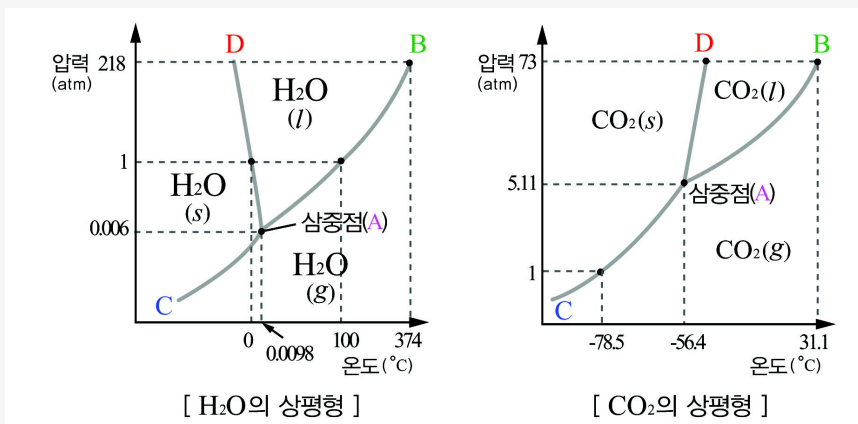
- ① 기화열 : 액체 1g을 기체로 만드는 데 흡수되는 열량
- ② 액화열 : 기체 1g을 액체로 만드는 데 방출되는 열량

4) 상평형 그림 : 온도와 압력에 따른 물질의 상태 변화를 나타낸 그래프

온도와 압력에 따라 기체, 액체, 고체가 서로 변하여 이루는 평형 관계가 바로 상평형이다.



서울대학교
과학교육연구소



서울대학교
과학교육연구소

위 그림은 물과 이산화탄소의 상평형을 나타낸다. 물은 압력이 높을수록 녹는점이 낮아지고 끓는점이 높아지지만, 이산화탄소는 압력이 높을수록 녹는점과 끓는점이 모두 높아진다. 일반적인 물질의 상평형은 이산화탄소의 상평형 그림과 같은 경향성을 갖는다.

그래프에서 A를 삼중점이라 하며 고체, 액체, 기체가 평형을 이루는 점이다.

- ① 증기 압력 곡선(AB선) : 액체와 기체가 공존하는 온도와 압력을 나타낸 곡선
- ② 용해 곡선(AD선) : 고체와 액체가 공존하는 온도와 압력을 나타낸 곡선
- ③ 승화 곡선(AC선) : 고체와 기체가 공존하는 온도와 압력을 나타낸 곡선

기체나 고체가 액체 상태를 거치지 않고 바로 고체나 기체로 변하는 현상인 승화는 삼중점 이하의 온도, 압력에서 일어날 수 있다.

상평형 그림이 고체, 액체, 기체 사이의 평형만을 나타내는 것은 아니고, 다이아몬드와 흑연처럼 동질 이상 관계인 물질들 사이의 평형 관계도 나타낼 수 있다.

5) 임계 온도와 임계 압력

어떤 온도 이상에서 순수한 물질의 액체 상태로는 존재할 수 없는 온도를 임계 온도(critical temperature)라 한다. 상평형 그래프에서 B는 임계 온도를 나타낸다. 그 온도에서 증기가 응축되도록 가해져야 하는 압력을 임계 압력(critical pressure)이라 한다. 임계 압력은 임계 온도에서 액체의 증기압이다.

다음 표는 여러 가지 물질들의 임계 온도를 수록한 것이다. 임계 온도가 25℃ 이하인 화학종을 영구 기체라고 한다. 이 기체는 상온에서 압력을 가함으로써 응축되지 않으므로 임계 온도 이하로 냉각시켜야만 한다.

영구 기체(℃)		기 체(℃)		액 체(℃)	
헬륨	-268	이산화탄소	31	에틸에테르	194
수소	-240	에탄	32	에틸알코올	243
질소	-147	프로판	97	벤젠	299
아르곤	-122	암모니아	132	브롬	311
산소	-199	염산	144	물	374
메탄	-82	이산화황	158		

임계 온도와 임계 압력 이상에서 존재하는 물질을 초임계 유체(supercritical fluid)라 한다. 이러한 유체는 실용성이 큰 특별한 용매 성질을 갖는다. 임계점(critical point)에서 물은 0.3g/mL의 밀도와 무한에 가까운 열용량을 갖는다. 더욱 더 중요한 것은 산소와 대부분의 유기 분자들이 초임계 물 속에 완전하게 녹는다는 것이다. 이것은 위험한 유기 폐기물을 산화에 의해서 처리하는 안전하고 경제적인 방법이다. 또 다른 분야로써 초임계 이산화탄소는 커피로부터 카페인, 담배로부터 니코틴을 추출하는데 사용된다.

6) 물질의 세 가지 상태와 분자 운동

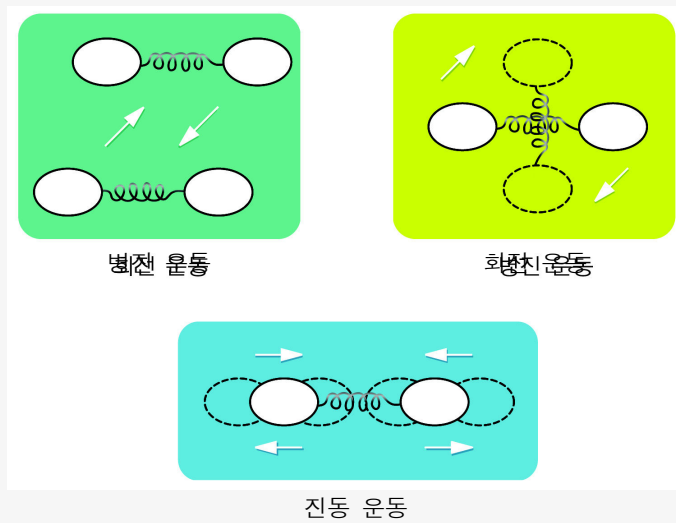
고체 - 고체 상태에서는 분자간의 인력이 크기 때문에 분자들이 자유롭게 운동을 할 수 없고 제자리에서 원자 사이의 결합이 늘었다 줄었다 하는 진동 운동을 한다. 따라서 고체는 분자들이 일정한 위치에 규칙적으로 배열되어 있게 되므로 일정한 모양과 부피를 유지하



게 된다.

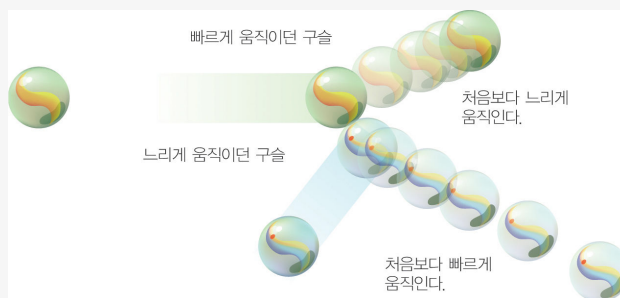
액체 - 액체 상태에서는 분자들은 고체 상태의 분자에 비해 인력이 약하므로 일정한 공간에서 병진 운동, 회전 운동, 진동 운동을 한다. 액체는 부피는 일정하지만 모양은 담긴 그릇에 따라 변하게 된다.

기체 - 기체 상태에서는 분자들의 인력이 매우 약하므로 분자들이 제각기 멀리 떨어져 있어 액체나 고체에 비해 다른 분자의 영향을 가장 적게 받는다. 따라서 기체 분자는 병진 운동, 회전 운동, 진동 운동을 자유롭게 하며 이로 인해 담긴 그릇에 따라 부피가 변하게 된다.



7) 열에너지의 이동과 분자 운동

온도가 높은 물질과 온도가 낮은 물질을 섞으면 분자들이 운동하다가 서로 충돌하여 열 에너지를 전달한다. 그림과 같이 빠르게 움직이던 구슬이 느리게 움직이던 구슬과 충돌하면 빠른 구슬은 처음보다 느려지고 느린 구슬은 처음보다 빨라진다. 이와 같이 운동 에너지가 큰 분자와 작은 분자가 충돌하면 속도가 빠른 분자의 운동은 처음보다 느려지고 느리게 움직이던 분자들은 처음보다 빨리 움직인다.



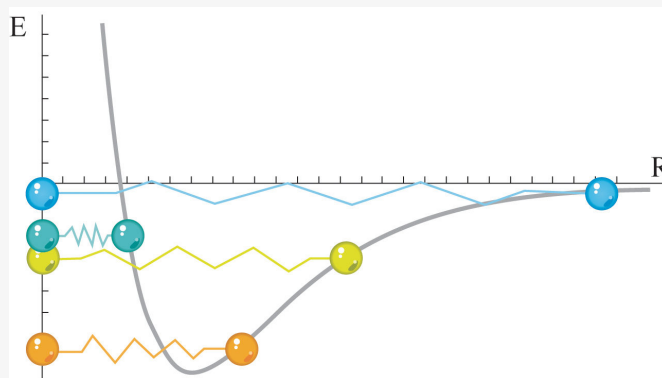
8) 퍼텐셜 에너지 곡선

분자간의 힘이 존재하는 것은 어떤 집단 속의 분자가 운동 에너지 뿐만 아니라 퍼텐셜 에너지도 갖고 있음을 의미한다. 퍼텐셜 에너지(potential energy)란 한 입자가 다른 입자



에 의해 끌어 당겨져(또는 밀어 내어져서)갖게 되는 에너지이다.

다음 그림은 이온, 원자, 분자간에 중심과 중심 사이의 거리에 따라 퍼텐셜 에너지가 어떻게 변하는지를 보여주고 있다. 무한히 먼 거리에서의 퍼텐셜 에너지는 모두 '0'으로 정의되며 거리가 가까워지면 인력의 작용에 의해 퍼텐셜 에너지는 음의 값으로 점점 커진다. 각 곡선의 가장 낮은 점은 인력과 반발력이 균형을 이루어 퍼텐셜 에너지가 가장 낮은 상태를 나타내고 있으며, 이 점에서의 퍼텐셜 에너지가 더 낮을수록 쌍의 구성원들 사이의 인력은 더 강하다. 거리가 더 가까워지면 반발력이 더 큰 작용을 하게 되어 접근함에 따라 퍼텐셜 에너지는 급격히 높아지고 분자들을 더 가깝게 접근시키려면 매우 큰 노력을 기울여야만 한다.



9) 기체와 액체, 고체 분자에서 분자간의 인력

고체와 액체, 기체의 존재는 분자들 사이의 힘에 기인한다. 매우 높은 온도에서는 분자들의 운동 에너지가 매우 커서 가능한 모든 인력을 이겨내므로 이러한 힘들은 문제가 되지 않으며 충분히 높은 온도에서 모든 물질들은 기체 상태가 된다. 온도가 낮아지면 평균 운동 에너지도 감소하게 되고, 따라서 온도 변화와 무관한 분자간의 인력이 중요하게 된다. 이러한 인력에 의해 분자들은 느슨한 덩어리로 천천히 커지다가 갑자기 액체 방울로 응축된다. 그리고 충분히 낮은 온도에서는 액체가 고체로 응고하게 된다. 액화되는 온도와 응고되는 온도는 각 물질 간에 특징적인 분자의 인력의 크기에 따라 달라진다.



10) 고체와 액체, 기체의 구조

동일한 물질은 고체와 액체의 형태에서 몰부피가 거의 비슷하다는 사실로써 그 상태에서 이웃한 분자간의 거리는 거의 비슷하다고 결론지을 수 있다. 밀도 측정에 따르면 한 분자의 먼 쪽 가장자리와 이웃한 분자의 가까운 쪽 가장자리에서 원자들의 핵 사이의 거리의 분자간의 접촉은 고체와 액체의 경우 보통 $3 \times 10^{-10} \text{m}$ 에서 $5 \times 10^{-10} \text{m}$ 정도이다. 이 정도의 거리에서는 먼 거리까지 미치는 인력과 가까운 거리까지만 미치는 반발력이 정확히 서로 균형을 이루어 퍼텐셜 에너지는 최소가 된다. 이러한 분자간의 거리는 화학 결합 길이($0.5 \times 10^{-10} \text{m} \sim 2.5 \times 10^{-10} \text{m}$)보다는 훨씬 먼 거리이지만, 실내 조건에서 기체 상태의 분



자간의 거리인 약 $30 \times 10^{-10} \text{m}$ 보다는 훨씬 짧은 거리인 것이다.

고체와 액체의 열팽창과 기체의 열팽창과의 차이는 고체와 액체는 분자간의 인력이 있으나 기체는 인력이 없다는 사실과 잘 일치한다. 고체와 액체의 부피가 증가하려면 각 분자와 그 이웃분자들 사이의 인력이 부분적으로 제거되어야 하는데 고체와 액체는 강한 분자간의 인력이 존재하므로 인력이 거의 없거나 약한 기체만큼 주어진 온도 증가에 대해 팽창하지 않는다. 기체 분자들 간에 빈 공간이 많다는 것은 기체가 쉽게 압축된다는 사실을 설명하여 준다. 기체에서는 멀리 떨어져 있는 분자들을 접근 시키는데 많은 에너지가 들지 않는다. 그러나 액체와 고체를 압축하려면 접촉하고 있는 분자간의 강한 반발력을 극복하여야 하므로 고체와 액체의 경우에는 압축하는 것이 거의 불가능하다.

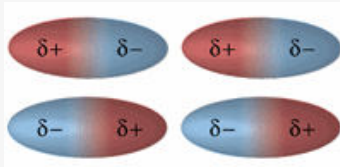


11) 고체와 액체에서의 운동

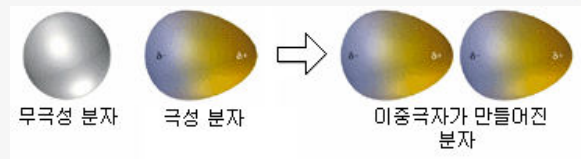
액체에서는 분자가 시료 내에서 이동할 수 있는 자유도를 가지고 있어서 확산하여 움직이는 사이에 계속해서 그 주위에 분자들이 변하게 되고, 고체에서는 분자가 자신의 원래 위치 주위를 진동하나 원래 위치를 거의 벗어나지 않는다. 고체의 단단함은 주어진 분자 주위에 이웃한 분자들의 위치가 지속적으로 변하지 않는 배열을 이루고 있음을 뜻하는 것이며, 이것이 액체와 고체의 커다란 차이이다. 액체에서 개개의 분자들이 매 순간마다 주위의 분자들과 상호 작용하며 어떠한 부분적 환경을 조성하는 것은 고체와 유사하지만 쉽게 그 위치가 변한다. 액체 분자는 고체와 기체의 중간적인 위치를 차지하게 된다.

12) Van der Waals 힘

분자와 분자 사이의 힘과 분자 내의 힘은 다른 것이다. 물질의 상태 변화와 관련된 인력은 분자와 분자 사이의 힘이다. 분자와 분자 사이의 힘을 통틀어 반데르발스 힘이라고 한다. 이 반데르발스 힘에는 왼쪽 그림과 같이 극성 분자와 극성 분자 사이에 작용하는 쌍극자-쌍극자 힘이 있다. 그리고 아래 그림과 같은 극성 분자와 무극성 분자 사이에 작용하는 쌍극자-유도 쌍극자 힘이 있다. 또한 무극성 분자와 무극성 분자 사이에도 순간적인 힘이 작용하는데 이것은 분산력이다. 이러한 분자간의 인력이 클수록 상태 변화 시 더 많은 열에너지를 필요로 하는데, 그만큼 더 강한 분자간 인력을 끊어야 하기 때문이다.



이 반데르발스 힘에는 왼쪽 그림과 같이 극성 분자와 극성 분자 사이에 작용하는 쌍극자-쌍극자 힘이 있다. 그리고 아래 그림과 같은 극성 분자와 무극성 분자 사이에 작용하는 쌍극자-유도 쌍극자 힘이 있다. 또한 무극성 분자와 무극성 분자 사이에도 순간적인 힘이 작용하는데 이것은 분산력이다. 이러한 분자간의 인력이 클수록 상태 변화 시 더 많은 열에너지를 필요로 하는데, 그만큼 더 강한 분자간 인력을 끊어야 하기 때문이다.



탐구 활동을 위한 안내

1. 탐구 활동 목록

	제 목	분 류 [성격/ 수준/ 장소]	기 타
실험 활동 1	아이스박스에는 얼음이 필요해요.	실험/일반/실험실	교과서 탐구
실험 활동 2	한 겨울에도 맛있는 과일을 먹어요.	실험/일반/실험실	교과서 탐구
실험 활동 3	물 밖으로 나오면 오들오들	실험/일반/실험실	교과서 탐구
실험 활동 4	아이스크림을 녹지 않게!	실험/일반/실험실	새 탐구
실험 활동 5	주전자 뚜껑이 들썩들썩	실험/일반/실험실	교과서 탐구
실험 활동 6	온도가 다른 이유는 무엇일까?	실험/일반/실험실	새 탐구
실험 활동 7	손난로를 만들어 겨울을 따뜻하게!(심화 과정)	실험/심화/실험실	교과서 탐구
해보기 활동 8	종이로 해보는 마술	해보기/일반/실험실·교실	새 탐구
해보기 활동 9	샬레 속에서 춤추는 콩	해보기/일반/실험실·교실	교과서 탐구
원리 탐구 활동 10	겉과 속이 다른 냉장고	원리 탐구/일반/교실	확장 탐구
원리 탐구 활동 11	찌그러진 탁구공을 팽팽하게!	원리 탐구/일반/교실	확장 탐구
원리 탐구 활동 12	앗, 팝콘이 터졌네!	원리 탐구/일반/교실	확장 탐구

2. 선정 이유

실험 활동 1, 2, 3은 상태 변화가 일어날 때의 온도 변화를 측정함으로써 상태 변화와 열에너지의 관계를 명확히 이해하기 위한 활동이다.

[실험 활동 1] 얼음을 가열하여 용해가 일어날 때 온도가 일정하다는 사실로부터 상태 변화(용해)가 일어날 때는 열이 필요하다는 것을 인식하게 한다. 이로부터 아이스박스 속에 얼음과 음식을 같이 보관하면 음식물이 시원하게 보관되는 이유를 얼음이 용해될 때 흡수하는 열로 설명할 수 있도록 한다.

[실험 활동 2] 액체 파라디클로로벤젠을 냉각하여 응고가 일어날 때 온도가 일정하다는 사실로부터 상태 변화(응고)가 일어날 때는 열이 방출된다는 것을 인식하게 한다. 이로부터 한겨울에 과일이 냉해를 입지 않도록 하기 위하여 과일 창고에 물이 가득 든 통을 가져다 두는 이유를 물이 응고할 때 방출하는 열로 설명할 수 있도록 한다.



[실험 활동 3] 물을 가열하여 기화가 일어날 때 온도가 일정하다는 사실로부터 상태 변화(기화)가 일어날 때는 열이 필요하다는 것을 인식하게 한다. 이로부터 해수욕장에서 수영을 하다가 물이 몸에 묻은 채로 물 밖으로 나오면 춥게 느껴지는 이유를 물의 기화에 따른 열의 흡수로 설명할 수 있도록 한다.

실험 활동 4, 5는 상태가 변할 때 출입하는 에너지와 분자 운동의 관계를 명확히 이해하기 위한 활동이다.

[실험 활동 4] 물질의 상태가 변할 때(승화)는 열의 출입이 있음을 알고, 이 때 열에너지의 출입과 분자 운동의 관계를 인식하게 한다. 이로부터 아이스크림을 보관할 때 드라이아이스를 사용하는 이유를 드라이아이스의 승화에 따른 열의 흡수로 설명할 수 있도록 한다.

[실험 활동 5] 물질의 상태가 변할 때(기화)는 열의 출입이 있음을 알고, 이 때 열에너지의 출입과 분자 운동의 관계를 인식하게 한다. 이로부터 물이 끓는 동안 주전자의 뚜껑이 들쭉거리는 이유를 물이 기화열을 흡수함으로써 분자 운동이 활발해지기 때문이라고 설명할 수 있도록 한다.

[실험 활동 6] 상태 변화가 일어날 때 에너지가 출입하는 현상을 시범 실험으로 보여주고 학생들로 하여금 왜 그러한 현상이 나타나는지에 대한 잠정적인 해답인 가설을 설정한 후 검증하도록 한다.

[실험 활동 7] 상태 변화가 일어날 때 출입하는 열에너지를 이용한 물건을 만들어 봄으로써 상태 변화시 열에너지의 출입 현상을 실생활에 적용해 보도록 한다.

[해보기 활동 8] 메탄올 수용액을 묻힌 종이에 불을 붙여도 타지 않는 현상을 관찰한 뒤, 이 현상을 물이 기화될 때의 열에너지의 흡수와 관련지어 설명할 수 있도록 한다.

[해보기 활동 9] 물질이 흡수하는 열에너지가 많을수록 분자 운동이 활발하다는 사실을 인식하게 한다. 이 때 쿵을 분자, 흔들어주는 세기를 열에너지의 크기에 비유함으로써 미시적인 분자의 운동을 거시적인 쿵의 움직임을 통해 설명할 수 있도록 한다.

[원리 탐구 활동 10] 기화할 때는 기화열이 흡수되어 주변의 온도가 내려가고, 액화할 때는 액화열이 방출되어 주변의 온도가 올라감을 연관시킴으로써 실생활에서 상태 변화와 열에너지가 냉난방에 이용되는 원리를 이해하도록 한다. 이로부터 냉장실, 냉동실의 온도가 낮아지고 에어컨이 실내의 온도를 낮추는 이유를 냉매가 기화되면서 에너지를 흡수하기 때문이라고 설명할 수 있도록 한다.

원리 탐구 활동 11, 12는 열에너지를 가하면 공기 분자의 운동이 활발해져서 부피가 증가한다는 것을 이해하도록 한다.

[원리 탐구 활동 11] 뜨거운 물 속에 찌그러진 탁구공을 넣었을 때 부풀어 오르는 이유를 흡수한 열에너지가 분자 운동을 활발하게 하기 때문이라고 설명할 수 있도록 한다.

[원리 탐구 활동 12] 열에너지를 가했을 때 팽관이 터지는 것은 옥수수알 속의 물 분자간 인력이 줄어들고, 분자 운동이 활발해져서 부피가 증가하기 때문이라고 설명할 수 있도록 한다.



서울대학교
과학교육연구소



서울대학교
과학교육연구소



서울대학교
과학교육연구소