

탐구수업 지도자료

- 학 년 고등학교 1학년
- 단 원 반응 속도
- 소 단 원 5장 반응 속도
- 제 목 도입
- 대표 저자 정대홍(서울대학교)
- 공동 저자 최취임(서울대학교)
 최원호(한국교육과정평가원)
 배수경(경동고등학교)

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



서울대학교 과학교육연구소

Seoul National University Science Education Research Center

제 2 부

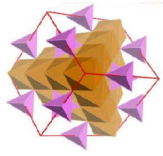
소단원별 탐구수업 지도자료



제 5 장 『반응 속도』

- 배경지식 넓히기
- 탐구활동을 위한 안내
- 읽을거리
- 활동 1. 다양한 빠르기
- 활동 2. 반응 속도의 표현
- 활동 3. 불 난 집에 부채질 한다면..
- 활동 4. 로마황제가 반한 치즈껍질 맛
- 활동 5. 빙하 속 아기공룡 둘리의 비밀
- 활동 6. 물로 불을 낼 수 있을까?





제 5 장

반응 속도



배경지식 넓히기



서울대학교
과학교육연구소

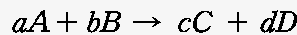
1. 반응 속도의 정의

반응이 진행되면 반응물의 농도는 감소하고 생성물의 농도는 증가한다. 따라서 화학반응 속도는 단위 시간 동안 생성물의 농도 증가나 반응물질의 농도 감소로 나타낼 수 있으며, 반응의 특징에 따라 농도 이외에도 질량이나 부피 등의 변화를 측정하여 반응 속도를 나타낼 수 있다.

$$\text{반응속도} = \frac{\text{농도의변화량}}{\text{시간의변화량}} = \frac{\text{반응물질의농도감소량}}{\text{시간의변화량}} = \frac{\text{생성물질의농도증가량}}{\text{시간의변화량}}$$

2. 반응 속도식

화학 반응의 속도는 반응물의 농도에 의존하며, 시간의 변화에 대한 반응물이나 생성물의 농도 변화로 나타낸다.



속도식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{속도} &= -\frac{1}{a} \frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{b} \frac{d[B]}{dt} = \frac{1}{c} \frac{d[C]}{dt} = \frac{1}{d} \frac{d[D]}{dt} \\ &= k[A]^m[B]^n, \quad k \text{는 속도상수} \end{aligned}$$

지수 m, n 은 실험적으로 정해지며, 이 반응을 $m+n$ 차 반응이라고 한다. 반응 속도는 반응물의 농도의 함수이므로 반응이 진행됨에 따라 농도가 줄어들기 때문에 반응물의 농도를 시간의 함수로 기술할 수 있다.

3. 반응 메커니즘

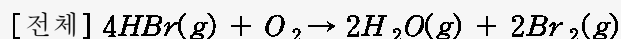
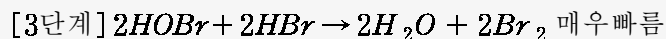
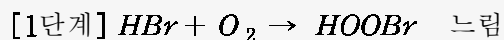
1) 반응 메커니즘

화학 반응이 일어날 때 반응물질이 직접 생성물질로 변하는 것도 있지만, 대부분의 반응들은 화학 반응식에 포함되지 않은 중간 생성물이 관여하는 여러 단계 반응들을 거친다. 브롬화수소



서울대학교
과학교육연구소

(HBr)와 산소(O₂)가 반응하여 수증기(H₂O)와 브롬(Br₂)을 생성하는 화학반응을 아래와 같은 단계반응으로 나누어 나타낸다.



위와 같은 화학반응을 반응물질이 생성물질로 변하여 가는 일련의 단계적인 반응 단계들로 나타낸 것을 반응 메커니즘이라고 한다. 반응 메커니즘에서 앞 단계의 생성물질이 다음 단계에서는 반응 물질의 역할을 하며, 이러한 물질을 중간생성물이라고 한다. 반응 메커니즘의 각 단계의 반응을 더하면 전체 화학 반응식이 되고, 반응 메커니즘에서의 중간 생성물은 전체 화학 반응식에 나타나지 않는다.

2) 반응 속도 결정 단계

어떤 반응이 여러 단계로 진행될 때, 그 중 어떤 단계의 반응이 다른 단계에 비해 아주 느리게 진행된다면 이 반응의 전체 반응 속도는 가장 느리게 진행되는 단계의 영향을 받게 될 것이다. 따라서 화학반응의 전체적인 반응 속도를 결정하는 단계반응은 반응메커니즘에서 가장 느린 단계반응이다. 활성화 에너지가 큰 단계반응일수록 반응 속도가 느리므로, 반응 메커니즘에서 활성화 에너지가 가장 큰 단계반응이 반응 속도결정단계이다. 반응 메커니즘에서의 각 단계 반응은 한 단계 반응이므로 각각의 단계 반응 속도식의 차수는 각 단계 반응의 반응물질의 계수와 같다.

$$v_1 = k_1 [HBr][O_2]$$

$$v_2 = k_2 [HOBr][HBr]$$

$$v_3 = k_3 [HOBr]^2 [HBr]^2$$

$$v_{\text{전체}} = v_1 = k_1 [HBr][O_2]$$



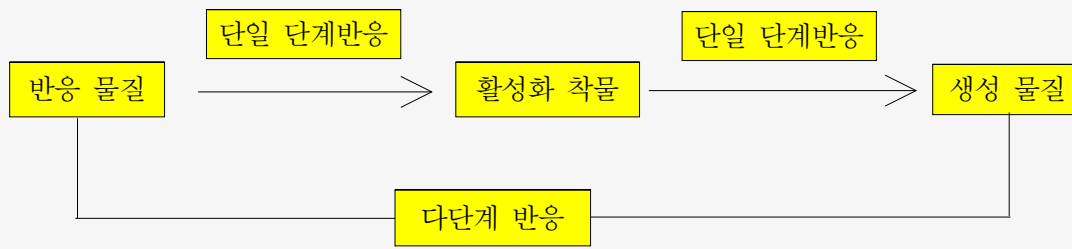
서울대학교
과학교육연구소



서울대학교
과학교육연구소



서울대학교
과학교육연구소



[그림 2. 1] 반응 메커니즘



4. 반응 속도에 영향을 주는 요인

1) 반응이 일어날 조건

유효충돌

반응이 일어나기 위해서는 반응 물질을 이루고 있는 구성입자들이 적당한 방향으로 서로 충돌해야 한다. 또한 반응이 일어날 만큼 충분한 에너지를 가지고 충돌해야 한다. 이렇게 반응을 일으킬 수 있는 충돌을 유효충돌이라고 한다.

활성화 에너지

반응이 일어나기 위해서는 입자들 사이의 결합이 끊어진 후 새로운 결합이 생성되어야 한다. 결합을 깨기 위해서는 반드시 에너지가 필요하며, 이 에너지를 화학 반응이 일어나기 위해서 필요한 최소한의 에너지를 활성화 에너지(E_a)라고 한다. 활성화 에너지는 반응 속도와 밀접한 관련이 있는데 활성화 에너지가 크면 반응이 느리게 일어나고, 활성화 에너지가 작으면 빠르게 일어난다.

2) 반응 물질의 구조와 성질

반응 속도는 반응 물질의 구조와 성질에 따라 달라진다. 즉 중화반응, 양금생성 반응과 같은 이온 간의 반응은 빠르게 일어난다. 그러나 이온들이 관여하고 있는 반응일지라도 공유결합을 끊어야 하는 단계가 있으면 반응은 느리게 진행된다. 또한 원자 간의 재배열이 쉽게 일어나는 반응은 빠르게 진행된다.

3) 농도와 반응 속도

반응 속도는 충돌수에 비례하며, 충돌 빈도수는 반응 물질의 농도에 비례한다. 따라서 반응 물질의 농도가 증가하면 충돌 빈도수가 증가하므로 반응 속도는 빨라진다.

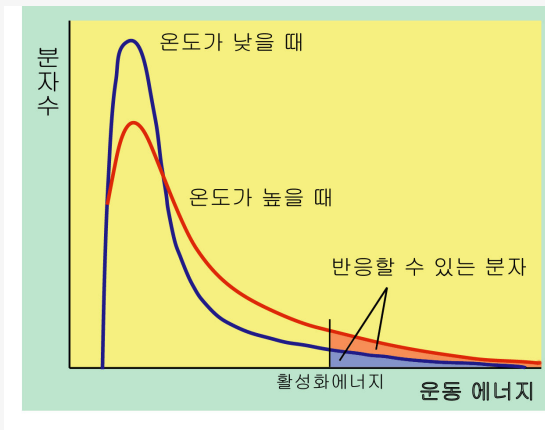
4) 표면적과 반응 속도



고체 상태의 물질이 화학 반응을 일으킬 때, 실제 반응에 관여하는 부분은 고체의 표면 부분이다. 따라서 표면적이 증가하면, 반응 물질 사이의 충돌 기회가 증가하여 반응 속도가 빨라진다.

5) 온도와 반응 속도

분자가 충돌하여 반응하려면 충돌에너지가 활성화 에너지를 넘어야 한다. 즉 충돌한 분자가 모두 반응하는 것이 아니라 일부분만이 반응을 일으킬 정도의 에너지를 가지고 있다. 활성화 에너지보다 큰 운동에너지를 갖는 충돌 분율은 볼츠만의 분포 법칙에 의해서 주어진다. 따라서 온도가 낮을 때는 일부 분자만이 활성화 에너지 이상을 가지게 되므로 분자의 분율은 그림에서처럼 분포곡선 아래에 있는 면적과 같게 된다. 온도가 증가하면 활성화 에너지보다 큰 에너지를 가진 충돌 분율이 커진다. 따라서 반응 속도 상수는 $k = Ae^{-E_a/RT}$



이므로 반응 속도는 $e^{-E_a/RT}$ 에 비례하므로 온도가 증가하면 반응 속도가 증가하게 된다.



6) 촉매와 반응 속도

촉매란 화학 반응에 참여하여 속도를 증가시키지만 그 자체는 아무런 화학변화를 일으키지 않는 물질을 말한다. 정촉매는 전체 균형 화학반응식에는 나타나지 않지만 촉매가 있으면 속도 법칙에 큰 영향을 미쳐 반응이 쉽게 일어날 수 있는 반응 경로를 제공하고, 활성화 에너지를 감소시켜 속도를 빠르게 한다.

정촉매가 존재하면 활성화 에너지(E_a)가 낮아져서 충돌 분율식 $e^{-E_a/RT}$ 에 따라 활성화 에너지보다 큰 에너지를 갖는 충돌 분율이 많아지므로 반응 속도가 빨라진다.



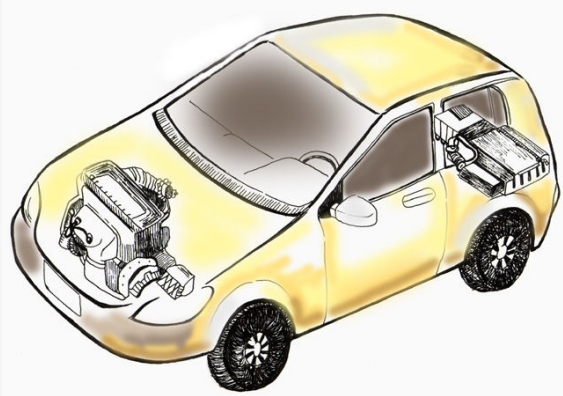
읽을거리

1886년 독일의 고들리프 다임러와 칼 벤츠에 의해서 내연 기관을 이용한 자동차가 발명된 이후 연료의 효율과 출력이 좋은 자동차를 만들기 위하여 많은 노력을 기울여 왔다. 10여 년 전까지만 해도 액체 상태인 가솔린의 연소 반응이 잘 일어나도록 하기 위해 기화기를 이용하는 카브레타 방식의 자동차가 사용되었다 그러나 전자식 제어 기술이 발달하면서 속도 및 온도에 따라 적정량의 연료를 공기와 혼합할 수 있는 전자 연료 분사 장치가 개발되어 기존의 카브레타 방식의 자동차는 자취를 감추었다.

자동차의 출력을 높이기 위해서는 엔진의 실린더에서 많은 연료를 빠른 시간에 공급해야 한



다. 이를 위해 공급하는 밸브를 두 개 만들어 짧은 시간에 많은 양의 연료를 공급하는 방법을 개발하였다. 우리가 현재 보는 DOHC 형식의 자동차가 이 같은 방법을 이용한 것이다. 이 방법에서 한 단계 더 나아가 터보차저라는 장치를 이용하여 연료를 공급하는 방법이 있다. 일반적으로는 연료를 공급할 때 실린더가 빨아들이는 힘만을 이용한다. 그러나 터보차저를 이용하면 미리 연료와 공기의 혼합 기체를 압축하여 실린더가 열렸을 때 강제로 많은 양의 혼합 기체를 밀어 넣을 수 있어서 자동차의 출력을 높일 수 있다.



이 기술은 환경 기준이 엄격하여 엔진 용량을 늘리지 못하는 유럽에서 많이 사용되고 있다. 최근에는 내연 기관에 의한 동력과 전기에 의한 동력을 함께 이용하는 하이브리드 자동차가 차세대 자동차로 개발되고 있다. 이 자동차는 전기 에너지 이용 방식을 접목해 내연 기관에 의한 동력만을 이용하는 경우 발생하는 비효율적인 측면을 최소화하여 에너지 효율을 높이는 장점을 가지고 있다.



탐구 활동을 위한 안내

1. 탐구 활동 목록

	제 목	분 류 [성격/ 수준/ 장소]	기 타	
반응 속도	활동 1	다양한 빠르기	실험/일반/실험실	새탐구
	활동 2	반응 속도의 표현	실험/일반/실험실	교과서 탐구
	활동 3	불 난 집에 부채질 한다면	실험/일반/실험실	확장 탐구
	활동 4	로마황제가 반한 치즈 껍질 맛	실험/일반/실험실	새탐구
	활동 5	빙하 속 아기공룡 둘리의 비밀은?	실험/일반/실험실	확장탐구
	활동 6	물로 불을 낼 수 있을까?	실험/일반/실험실	확장탐구



2. 선정 이유

활동 1. 화학반응은 반응의 종류와 반응이 일어나는 환경에 따라 다양한 빠르기로 일어난다. 지금까지의 교육과정에서는 화학반응은 물리적 변화와 구분되는 반응이라는 것만 배웠을



뿐 반응의 빠르기에 관하여는 언급하지 않았다. 이 활동에서는 불꽃놀이의 화학반응과 철이 녹스는 화학반응을 도입하여 화학반응에는 다양한 빠르기가 존재하며 서로 비교가 가능하다는 것을 이해하도록 하였다. 이렇게 주변에서 흔하게 경험하던 현상을 이용하여 활동을 구성하였다.

활동 2. 반응 속도는 경험적으로 느리거나 빠르거나를 상대적으로 말할 수 있지만 반응 속도를 제대로 비교하기 위해서는 반응 속도를 정량적으로 표현할 수 있어야 한다. 그래서 반응 속도를 정량적으로 표현하는 방법을 익히기 위해 달리기 하는 두 사람의 속도를 비교하게 하였다. 평상시 흔하게 경험하던 달리기를 거리나 시간을 이용하여 그 속도를 비교하는 경험을 도입에 이용하여 활동을 구성하였다.



서울대학교
과학교육연구소

활동 3. 화학반응은 입자 사이의 충돌에 의해 일어나기 때문에 반응 속도는 농도에 영향 받는다. 농도가 반응 속도에 영향 주는 내용은 부채질로 불이 더 잘 붙게 하는 경험을 통하여 평상시에 직관적으로 이해하고 있기 때문에 이 경험을 도입에 이용하여 활동을 구성하였다.

활동 4. 고체상태의 물질이 화학 반응을 일으킬 때, 실제로 반응에 관여하는 부분은 고체의 표면 부분이다. 작은 조각으로 쪼갬수록 표면적이 증가하므로, 반응 물질 사이의 충돌 기회가 증가되어 반응 속도가 증가한다. 학생들이 이 개념을 이해하기 어려워하므로 친근한 소재인 치즈를 도입한 후 실험을 통하여 개념을 이해하도록 구성된 탐구 활동이다.

활동 5. 온도가 상승하면 활성화 에너지보다 큰 에너지를 가진 입자수가 증가하여 반응 속도가 증가한다. 이 개념을 이해하도록 도와주기 위해 아이들에게 친근한 소재인 아기공룡 둘리를 도입한 후 실험을 통하여 개념을 이해하도록 구성된 탐구 활동이다.



서울대학교
과학교육연구소

활동 6. 촉매는 활성화 에너지를 감소시켜 반응을 일으킬 수 있는 입자수를 증가시키므로 반응 속도가 증가한다. 이 개념을 이해하도록 도와주기 위해 아이들에게 친근한 소재인 해리 포터를 도입한 후 실험을 통하여 개념을 이해하도록 구성된 탐구 활동이다.



서울대학교
과학교육연구소