

20    년    월    일    요일  
 시간 :    장소 :    ☀️ 🌧️ 🌊 🌳 🌫️ 🏠  
                   학교    학년    반  
 번    이름 :

# 란돌트 반응 (시계반응)

일정한 박자에 따라 색이 변하는 란돌트 반응 실험을 통하여 농도의 의미를 알아보고 농도에 따른 반응 속도를 확인하여 봅시다.

## 실험키트구성 ....

아이오딘산칼륨, 메타중아황산나트륨, 녹말, 플라스틱 비커, 주사기, 나무스틱, 투명컵, 라벨 스티커

## 준비물 ....

증류수(없으면 정수기물)

## 생각해보기 ....

1. 녹말(빵이나 밥)에 아이오딘 용액을 떨어뜨리면 어떻게 되나요?

2. 크기가 같은 A, B 두 교실에서 10명의 학생(A반)과 50명의 학생(B반)이 마구 뛰어다니고 있을 때, 각각의 교실 안에서 학생들이 서로 부딪힐 확률을 비교하여 봅시다.

## 실험방법 ....

- 라벨스티커에 A1, A2, A3, A4, A5를 써서 플라스틱 비커 5개에 각각 붙입니다. (A용액 전용) 같은 방법으로 B1~B5까지의 숫자를 쓴 후 플라스틱 비커 5개에 각각 붙입니다. (B용액 전용)
- 스틱과 주사기, 투명컵에도 A, B를 써서 붙여 서로 섞이지 않도록 합니다.

▶ 조마다 스틱 2개(A, B), 주사기 2개(A, B), 투명컵 2개(A, B)가 필요합니다.

3. 다음과 같이 A, B 두 용액을 만듭니다.

**A용액** 0.05M 아이오딘산 칼륨 용액 만들기

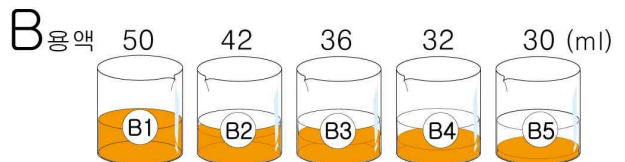
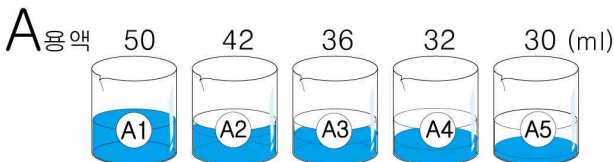
투명컵에 증류수 250ml를 붓고 아이오딘산칼륨(KIO<sub>3</sub>) 1포를 넣어 잘 녹입니다.

**B용액** 0.025M 메타중아황산나트륨 용액 + 1% 녹말용액 만들기

투명컵에 증류수 250ml를 붓고 메타중아황산나트륨(Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 1포와 녹말 1포를 넣고 잘 저어줍니다.

4. 만들어 놓은 용액을 아래 그림과 같이 비커에 넣습니다.

▶ 1ml단위 용량은 주사기를 사용하여 정확히 넣습니다.



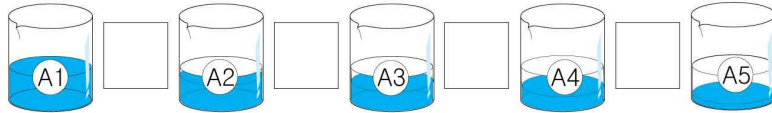
- 용액이 들어있는 각각의 비커에 증류수를 더 부어 모든 비커의 용액이 50ml가 되도록 맞춥니다.
- 준비된 A 비커 5개를 친구들과 나누어 들고 구령에 맞추어 '동시'에 B 비커에 부어 넣습니다.
- 다함께 노래를 부르면서 비커의 색 변화를 관찰 합니다.

## 실험시 주의사항 ....

1. 용액의 양이 중요한 실험입니다. 최대한 정확한 양을 계량하도록 하세요.(주사기 등을 이용)
2. A 비커의 용액을 B 비커에 부을 때, 최대한 '동시'에 하도록 합니다.

## 확인학습 ....

1. 5개의 A 비커에 들어있는 A 용액의 농도를 비교하여 부등호로 나타내 봅시다.



2. 5개의 A 비커의 용액을 B 비커에 동시에 붓고 나면 각 비커의 색은 어떻게 변하나요?

3. 반응 속도에 영향을 주는 요인을 정리해봅시다. 알맞은 말에 O 표 하세요.

이 실험에서 1번 비커가 5번 비커보다 반응 속도가 빠른 이유는  
반응속도를 높이는 네가지 요인- 농도, 온도, 표면적, 촉매 중  
( 농도를 높였기, 온도를 높였기, 표면적을 넓혔기, 정촉매를 썼기 ) 때문입니다.

## 원리학습 ....

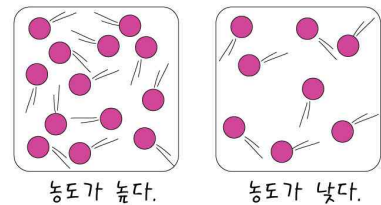
화학 반응이 일어나는 속도는 농도와 밀접한 관계가 있습니다.

'농도가 높다'는 것은 같은 공간 속에 반응할 수 있는 물질이 많다는 것인데, 반응할 물질이 많아 반응을 빨리 일으키는 것을 '반응속도가 빠르다'고 말합니다.

즉, 농도가 높을수록 반응 속도는 빨라집니다.

반대로 농도가 낮으면 반응은 느리게 일어나겠지요.

이것은 **생각해보기 2** 와 같이 교실에서 학생수에 따라 학생들이 서로 부딪힐 확률이 달라지는 것과 같습니다.



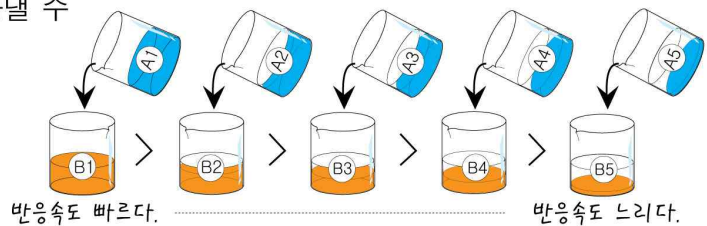
### 실험에서

1번부터 5번까지의 컵에는 각 용액이 점점 작게 들어가며, 여기에 같은 부피가 되도록 물을 넣으므로 각 컵의 농도는 점점 낮아져 다음과 같이 나타낼 수 있습니다.

$$\textcircled{1} > \textcircled{2} > \textcircled{3} > \textcircled{4} > \textcircled{5}$$

그러므로 그림과 같이 농도가 높은 용액인 1번 비커의 반응이 제일 먼저, 그다음 2번, ...

마지막으로 농도가 제일 낮은 5번 비커의 순서로 반응이 나타나게 됩니다.



실험 결과는 어땠나요?

박자에 맞추어 색이 한번에 변하는 모습이 정말 신기하지요?

이번 실험은 '란돌트(Landolt ; 화학자)반응'으로 잘 알려진 '시계반응'을 이용한 것입니다.

**Check 용어정리** 시계반응이란, 두 용액의 혼합물이 잠시 색이 없는 상태로 있다가 갑자기 색이 변하는 반응으로, 아이오딘산 칼륨 용액( $\text{KIO}_3$ )과 메타중아황산나트륨용액( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ )에 의해 생성된 아이오딘 이온( $\text{I}_3^-$ )이 용액 속 녹말과 만나 색이 변하게 되는데, 색이 변하는 반응 전에 용액 속의 황산이온( $\text{HSO}_3^-$ )과 먼저 반응하여 황산이온이 없어질 때 까지 색 변화가 멈추어 있다가 황산이온이 완전히 없어지면 그때 색이 한꺼번에 변하는 반응입니다.

## 느낀점 ....

## ■ 교사용 실험 자료실 ■

실험 제목	란돌트 반응		실험 원리	농도에 따른 반응속도	
실험 시간	30~40분	실험 분야	화학	실험 방법	4인 1조, 조별 실험
세트구성물	아이오딘산 칼륨, 메타중아황산나트륨, 녹말, 플라스틱비커, 주사기, 나무스틱, 투명컵, 라벨 스티커				
교사준비물	보호장갑(비닐장갑), 증류수(정수기 물 대체가능)		학생준비물	유성펜	
실험 결과	시간차를 두고 변하는 란돌트 반응을 확인합니다.				
실험 팁	<p>TIP 1. A용액과 B용액이 반응하면 산성을 띠게 됩니다. 피부에 자극을 줄 수 있으므로 보호장갑을 착용합니다.</p> <p>TIP 2. 이 실험은 반응속도에 영향을 주는 농도의 차이를 확인합니다.</p> <p>TIP 3. 용량을 정확하게 계량해야 순차적인 반응을 볼 수 있습니다. 주사기를 이용하여 1ml단위의 양도 정확히 계량해주세요.</p> <p>TIP 4. 동시에 부을 수 있도록 미리 주의 지도 바랍니다.</p> <p>TIP 5. 실험 후, 플라스틱 용기에 남은 용액은 티오황산나트륨 용액을 넣어 색을 없앤 다음 폐액통에 버립니다.</p>				

### 생각해보기 ....

- 녹말(빵이나 밥)에 아이오딘용액을 떨어뜨리면 어떻게 되나요?  
녹말과 아이오딘 이온이 만나 청남색으로 변합니다. (아이오딘-녹말 반응)
- 크기가 같은 A, B 두 교실에서 10명의 학생 A반과 50명의 학생 B반이 마구 뛰어다니고 있을 때 각각의 교실 안에서 학생들이 서로 부딪힐 확률을 비교하여 봅시다.  
학생수가 많은 B반이 A반 보다 학생들이 부딪힐 확률이 높습니다.

### 확인학습 ....

- 5개의 빨간 비커에 들어있는 A용액의 농도를 비교하여 부등호로 나타내 봅시다.  
 $1 > 2 > 3 > 4 > 5$
- 5개의 빨간 비커의 용액을 파란비커에 동시에 붓고 나면 각 비커의 색은 어떻게 변하나요?  
1번부터 진한 남색 또는 갈색으로 변하기 시작하여 순서대로 시간간격을 두고 변합니다.
- 반응 속도에 영향을 주는 요인을 정리해 봅시다. 알맞은 말에 O표 하세요.  
이 실험에서 1번 비커가 5번 비커보다 반응 속도가 빠른 이유는 반응 속도를 높이는 네 가지 요인 중 농도를 높였기 때문입니다.

### 반응속도 [反應速度, reaction rate]

단위시간당 반응물질의 농도 변화 또는 단위시간당 생성물질의 농도 변화를 반응속도라고 한다.

자동차의 속력은 일정 시간 동안에 간 거리를 말한다.

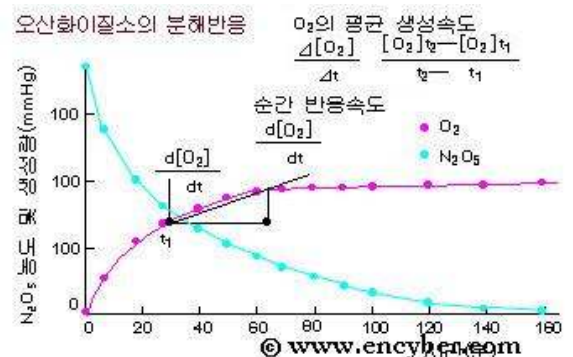
즉,

$$\text{자동차의 속력} = \frac{\text{위치}_2 - \text{위치}_1}{\text{시간}_2 - \text{시간}_1} = \frac{\text{위치변화}}{\text{시간}}$$

위치<sub>2</sub> : 시간<sub>2</sub>에서의 자동차 위치,

위치<sub>1</sub> : 시간<sub>1</sub>에서의 자동차 위치

예를 들면, 30분 동안에 자동차가 45km를 갔다면 그 자동차의 속력은 90km/h가 되며, 그 값이 클수록 자동차는 빠른 속력으로 움직인 것을 의미한다.



이와 비슷하게 반응속도는 일정 시간 동안의 반응 물질 또는 생성 물질의 농도 변화를 말한다.

$$\text{반응속도} = - \frac{\text{반응물질의 농도} - \text{반응물질의 초기 농도}}{\text{시간} - \text{시각}} = \frac{\text{반응물질의 농도 변화}}{\text{시간}} \quad \text{또는,} \quad \text{반응 속도} = \frac{\text{생성물질의 농도} - \text{생성물질의 초기 농도}}{\text{시간} - \text{시각}} = \frac{\text{생성물질의 농도 변화}}{\text{시간}}$$

따라서, 일정한 시간 동안에 반응물질의 농도 변화가 크면 클수록, 또는 생성물질의 농도 변화가 크면 클수록 반응속도는 큰 것이다. 위의 내용을 **화학 반응**을 예로 들어 식으로 나타내면 다음과 같다.

반응  $R \rightarrow P$  의 경우,

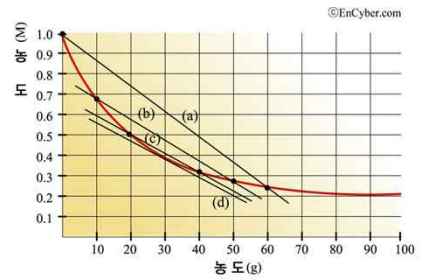
$$\text{반응속도} = \frac{\Delta \text{생성물질}}{\Delta \text{시간}} = - \frac{\Delta \text{반응물질}}{\Delta \text{시간}} \quad \text{이 된다.}$$

위의 식에서 반응속도를 반응물질의 농도 변화로 나타내는 경우 기호 (-)를 붙인 것은 반응속도는 음의 값을 가질 수 없으므로 그 값을 양수로 만들어 주기 위한 것이다. 일반적인 반응의 경우 반응속도는 다음과 같이 나타낸다.

반응  $aA + bB + \dots \rightarrow eE + fF + \dots$ 에서,

$$\text{반응속도} = - \frac{1}{a} \frac{\Delta A}{\Delta t} = - \frac{1}{b} \frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{1}{e} \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{f} \frac{\Delta F}{\Delta t} \quad \text{가 된다.}$$

평균반응속도와 순간반응속도: 비교적 긴 시간 동안 반응 물질의 농도 변화를 그 변화가 일어난 시간으로 나누어 얻은 것을 평균반응속도라고 하고 매우 짧은 시간 동안 반응 물질의 농도 변화를 그 변화가 일어난 시간으로 나누어 얻은 것을 순간반응속도라고 한다. [그림]으로 평균 반응 속도와 순간 반응 속도의 차이를 알아 보면 다음과 같다.



[그림] 평균반응속도와 순간반응속도

위 [그림]에서 (a), (b), (c)는 시점 30초를 기준의 반응 시간을 점점 짧게 해갈 때의 평균반응속도이고 (d)는 반응 시간이 매우 짧을 때의 반응속도 곧 순간반응속도이다.

각 반응속도의 값은 (a)=0.013(몰/L · s), (b)=0.010(몰/L · s), (c)=0.0090(몰/L · s)이며 (d)=0.0089(몰/L · s)로 시간이 짧아질수록 그 값은 순간 반응 속도에 가까워진다.

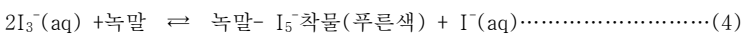
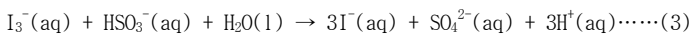
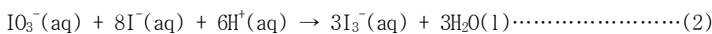
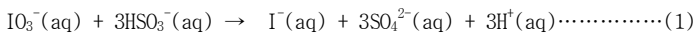
반응 속도는 온도, 농도, 촉매 등 반응 조건에 따라 달라진다.

### 시계반응의 개념

시계 반응은 마치 중화점을 찾는 반응처럼 반응 도중에 갑자기 색이 변해 그것이 마치 자명종처럼 보인다고 해서 붙여진 이름이다. 화학 반응에는 단순한 과정을 거쳐서 일어나는 것도 있지만 여러 가지 반응들이 몇 단계에 걸쳐 일어나는 것도 있는데, 이 원리를 이용한 것이다.

지시약을 같이 넣어두었다가 첫 번째 반응에서 생성되었던 물질과 두 번째 반응에서 반응하는 물질이 모두 소모되면 첫 번째 과정에서 생성되었던 물질이 남게 되어 그것이 지시약의 색을 갑자기 변화시킨다. 그러나 그 전에는 아무런 변화도 느끼지 못한다. 이처럼 갑자기 변하는 반응이 시계와 같다고 해서 시계반응(clock reaction)이라고 하며, 이것으로 반응이 종결되었음을 알 수 있다.

1) 시계 반응 :  $\text{HSO}_3^-$  이온이 있는 어떤 용액에  $\text{IO}_3^-$ 의 용액, 그리고 녹말 용액이 섞이면 이 혼합물은 잠시 동안은 무색으로 있다가 갑자기 짙은 푸른색으로 변한다. 이러한 관찰은 1880년경에 Landolt에 의해 처음으로 보고 되어 이 시계 반응을 Landolt 반응이라고도 한다. 혼합물이 색이 없는 상태로 있는 동안의 시간을 시계 주기라고 부르는데 시계 주기는  $\text{HSO}_3^-$ 이온과  $\text{IO}_3^-$ 이온의 초기 농도에 따라 변하며, 혼합물의 온도와 용액의 pH에 따라 변한다. 시계 주기는 혼합물에 들어 있는 이온의 농도에 반비례하며, 온도가 높을수록, pH가 낮을수록 짧아진다. 이 반응은  $\text{I}_3^-$ 나  $\text{I}_5^-$ 가 아밀로오스의 나선구조 사이에 끼어 색이 나타나는 것으로 전체 과정은 다음 일련의 식으로 나타낼 수 있다.



반응 (1)에서  $\text{HSO}_3^-$ 이온은  $\text{IO}_3^-$ 이온을  $\text{I}^-$ 이온으로 환원시킨다. 반응 (2)에서  $\text{I}^-$ 이온은  $\text{IO}_3^-$ 이온에 의해  $\text{I}_3^-$ 이온으로 산화된다.  $\text{I}_3^-$ 이온은 반응 (4)에서 용액을 푸른색으로 변하게 하는데 (3)의 반응이 먼저 일어나 푸른색을 나타나지 못하게 한다. 반응 (3)에서  $\text{I}_3^-$ 이온은  $\text{HSO}_3^-$ 이온에 의해  $\text{I}^-$ 이온으로 환원되는데  $\text{HSO}_3^-$ 이온이 모두 소모될 때까지 이 반응이 일어나 (4)의 반응을 지연시킨다. 이 시간이 시계 주기이다. 만약  $\text{HSO}_3^-$ 이온의 초기 농도가  $\text{IO}_3^-$ 이온의 초기 농도의 3배보다 크면 반응 (2)에서 생성된 모든  $\text{I}_3^-$ 이온을 소모시켜 색 변화가 일어나지 않는다.