

E1. 흡수 분광법과 화학 반응 속도론 (Absorption spectroscopy and chemical kinetics)

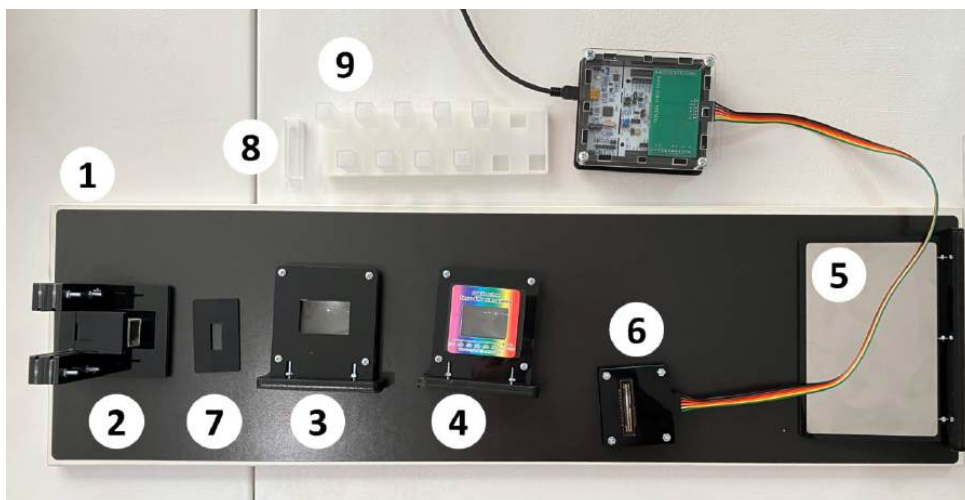
화학 반응 속도론 (chemical kinetics) 은 시간에 따른 화학 반응의 속도를 연구하는 물리화학의 한 분야이다. 화학 반응 속도론의 주된 목적은 전체 과정과 모든 중간 단계의 속도에 영향을 미치는 모든 인자를 연구하는 것이다. 이 과학에는 간접적인 측정 결과에 기반하여 물질과 용액의 화학적 조성을 결정할 수 있게 하는 많은 방법이 있다. 이 문제에서 사용되는 방법은 흡수 분광법 (absorption spectroscopy) 이라 불린다. 이는 서로 다른 파장의 빛이 물질이나 용액에 의해 어떻게 흡수되는지를 조사하는 것을 포함한다.

주의! 당신에게 NaOH 알갱이가 제공되었습니다! 이 물질은 매우 부식성이 강합니다! 작업 시 다음 안전 수칙을 지키시오:

1. NaOH 알갱이를 맨손으로 만지지 마시오!
2. NaOH 알갱이와 용액이 피부 및 얼굴에 닿지 않도록 하시오!
3. NaOH 는 마개로 닫힌 튜브가 있는 용기에 보관하십시오.
4. NaOH 가 피부나 얼굴에 닿으면 즉시 운영진에게 연락하십시오!

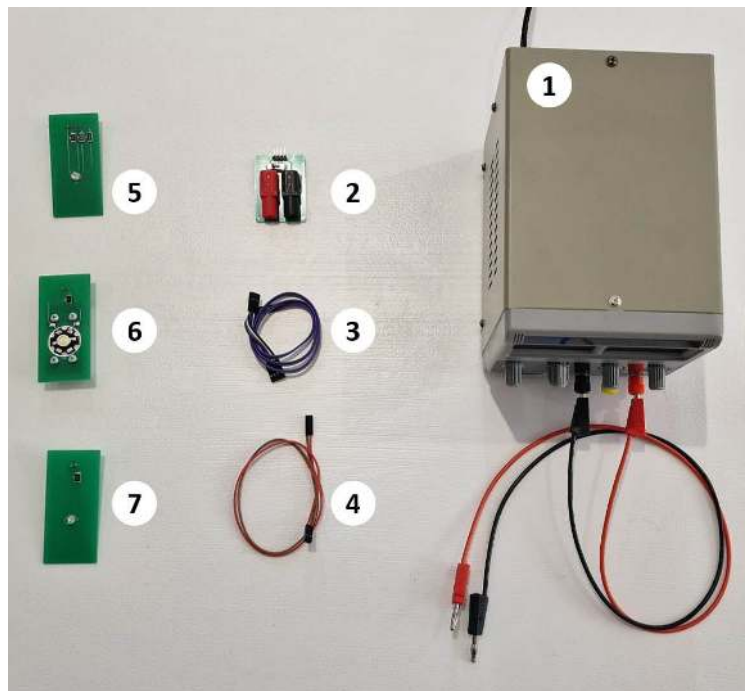
장비 (광학)

1. 광학 테이블 (optical table).
2. 광원 거치대 (holder for light source).
3. 렌즈 L1.
4. 자석에 부착된 회절격자 (diffraction grating) G 가 달린 렌즈 L2.
5. 스크린 (screen).
6. 컴퓨터에 연결된 광검출기 CCD 어레이 (이하 “센서 (sensor)”).
7. 조리개 (diaphragm).
8. 마개가 있는 광학 큐벳 (optical cuvette) — 10 개.
9. 광학 큐벳 거치대.



장비 (전기)

1. 최대 15 V 의 DC 전원 공급 장치.
2. 스위치가 있는 어댑터.
3. 출력 4 개짜리 커넥터.
4. 출력 2 개짜리 커넥터.
5. 삼색 LED “LED-RGB”.
6. 전파장 LED “LED-CON”.
7. 미지의 색 LED “LED-UNK”.

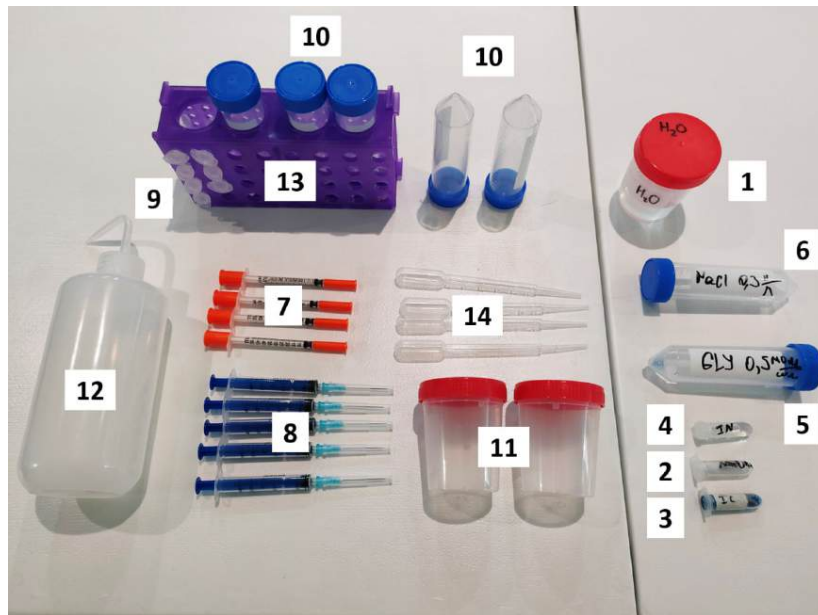


장비 (화학)

1. 증류수 H_2O .
2. 고체 NaOH 알갱이. 제공된 NaOH 의 총 질량은 마이크로튜브에 그램 단위로 표시되어 있다.
3. 농도 0.70 mg/ml 의 인디고 카민 (indigo carmine) IC 용액 (마이크로튜브).
4. 페놀프탈레인 (phenolphthalein) In 용액 (마이크로튜브).
5. 농도 0.50 mol/l 의 포도당 (glucose) Gl 용액 (원뿔형 튜브).
6. 농도 0.30 mol/l 의 염화 나트륨 (sodium chloride) NaCl 용액 (원뿔형 튜브).
7. 인슐린 주사기 0.50 ml — 4 개.
8. 주사기 3 ml — 5 개.
9. 눈금이 있는 마이크로튜브 2 ml — 7 개.
10. 원뿔형 튜브 50 ml — 5 개.
11. 나사 마개가 있는 용기 100 ml — 2 개.
12. 세척병 500 ml.

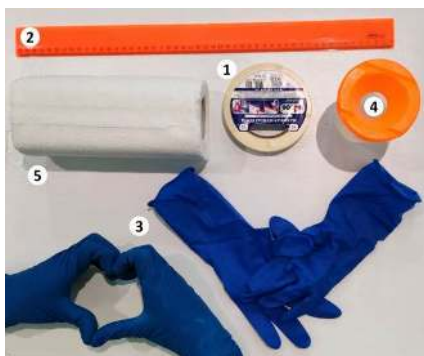
13. 시험관 거치대.

14. 파스퇴르 피펫 — 5 개.

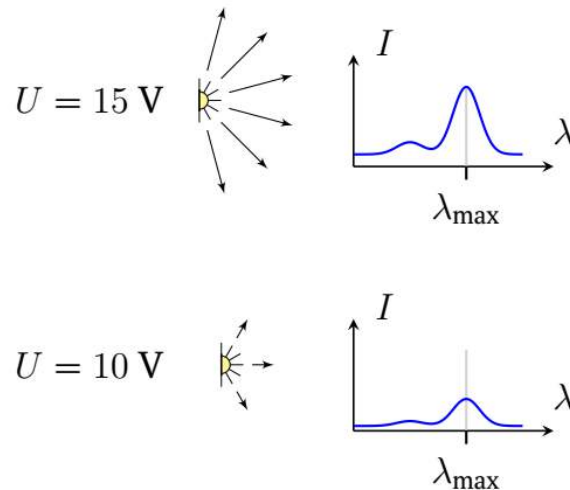


장비 (기타)

1. 마스킹 테이프.
2. 플라스틱 자 50 cm.
3. 장갑 한 켤레.
4. 사용한 시약 용기.
5. 닦개 (wipes).
6. 햇빛 가리개 (sunshield)(추가 그림에 표시됨).



참고. 각 광원에는 $U \in [0, 15]$ V 범위의 전압을 공급할 수 있다. 광원의 전압이 변하면 총 광세기는 변하지만 스펙트럼은 동일하게 유지된다고 가정하라 (그림 참조).



주의! 작업을 시작하기 전에 읽어야 할 세 가지 설명서가 제공되었다:

1. 전기 장비 설명서.
2. 화학 장비 설명서.
3. Spectroscopy.bat 프로그램 설명서.

참고. 물질 1 몰 (mole) 은 $N_A = 6.02 \cdot 10^{23}$ 개의 분자를 포함하는 물질의 양이다. 물질량 (molar mass) μ 는 물질 1 몰의 질량이다. 필요한 물질량은 아래에 나열되어 있다. 몰농도 (molar concentration) c 는 단위 부피당 물질의 몰수이다 (단위는 mol/l).

물질	μ , g/mol
NaOH	40.0
IC	466.4
Gl	180.0
NaCl	58.4

참고. 각 용액 (별도의 주사기와 피펫 포함) 마다 별도의 용기를 사용할 것을 강력히 권장한다. 용기에 표시가 필요하면 마스킹 테이프를 붙이고 그 위에 필요한 표시를 하라. 필요하면 사용한 튜브를 세척병으로 씻어라.

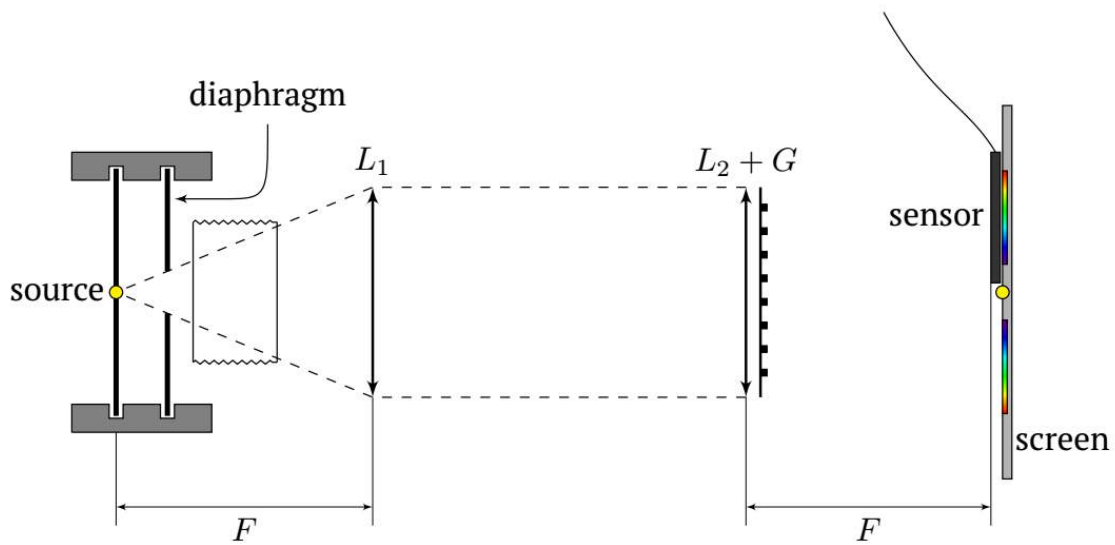
컴퓨터 바탕화면에는 하위 폴더 “Part A”, “Part B”, “Part C”, “Part D”, “Recalibrate” 가 있는 “Results” 폴더가 있다. 작업 중에 얻은 모든 파일을 해당 폴더에 저장하라. 또한 “Results” 폴더에는 표가 있는 “Report.docx” 파일이 있다. 명시적으로 요구된 모든 그래프를 이 표에 저장하라. 문항에 해당하는 행에 선택적으로 다른 그래프를 보고서에 추가할 수도 있다.

이 문제에서 오차 추정은 요구되지 않는다!

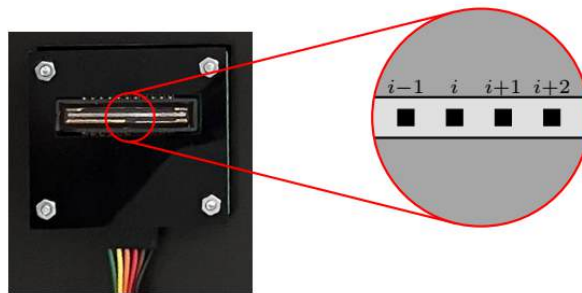
파트 A. 보정 (Calibration)

이 파트는 (아래에 제시된) 개략도에 따라 광학 장치를 조립하고 센서를 보정할 것을 요구한다.

센서의 감광부는 픽셀 (pixel) 이라 불리는 약 3650 개의 동일한 포토다이오드로 이루어진다 (그림 참조). 컴퓨터 프로그램이 센서로부터 데이터를 처리하며, 그 결과는 각 픽셀의 조명 세기를 픽셀 번호에 따라 나타낸 의존성이다. 세기는 센서에서 임의 단위 (arbitrary units) 로 측정된다.



광학 장치의 개략도.



센서의 감광부 (픽셀).

임의의 실제 광원의 빛은 서로 다른 파장의 성분이 연속적으로 모인 것으로 이루어지며, 이를 방출 스펙트럼 (emission spectrum) 이라 한다. 제안된 광학 구성을 이용하면 스펙트럼의 성분들을 공간적으로 “분리” 할 수 있다. 이렇게 하여 센서의 각 픽셀이 거의 단색 (monochromatic) 의 복사를 받도록 할 수 있다. 보정은 픽셀 번호와 그에 대응하는 파장을 짝짓는 것으로 이루어진다.

보정 후에는 광원, 큐벳, 조리개의 삽입과 제거 외에 장치에 어떠한 조작도 하지 말라. 장치의 다른 요소를 움직이면 보정이 무효가 되어 다시 보정해야 한다! 광원이 거치대에 있는 상태에서 전선을 연결하는 것도 보정을 무효로 만든다. 광원이 첫 번째 렌즈 L_1 의 초점에 오도록 장치를 조립하라. 센서가 부착된 스크린을 두 번째 렌즈 L_2 의 초점 부근에 두라. 깨끗한 물이 든 큐벳을 거치대에 두라.

경고! 이 실험에서 스펙트럼을 연구하는 모든 빛은 큐벳의 평평한 (홈이 없는) 면을 통과해야 한다. 광원으로 LED-CON 을 사용하라. 두 번째 렌즈와 센서의 위치를 약간 조정하여 센서의 감광부에 선명한 회절 무늬 (“여러 색의 띠”) 를 만들어라.

A1 | 얻은 스펙트럼을 “LED-CON.csv” 파일에 저장하시오.

A2 | LED-CON 을 끄고 배경 스펙트럼을 얻으시오. 결과를 “dark-A.csv” 파일에 저장하시오.

A3 | 광원을 LED-RGB 로 바꾸고 세 LED 모두의 스펙트럼을 얻으시오. 결과를 “R-0.csv”, “G-0.csv”, “B-0.csv” 파일에 저장하시오 (R — 빨강, G — 초록, B — 파랑).

각 LED-RGB LED 는 어떤 파장 $\lambda_{\max}$ 에서 최대 세기로 방출한다. 모든 LED-RGB LED 에 대한 $\lambda_{\max}$ 값이 아래 표에 제시되어 있다.

LED 색	$\lambda_{\max}$, nm
빨강	620
초록	520
파랑	460

조립된 광학 장치에서, 번호 N 인 센서 픽셀에 대응하는 빛의 파장 λ 는 N 에 선형으로 의존한다:

$$\lambda = k_0 N + \lambda_0.$$

A4 | A3 의 결과를 이용하여 $\lambda_{\max}$ 에 대응하는 픽셀 번호 $N_{\max}$ 의 값을 구하시오. 매개변수 k_0 와 λ_0 을 계산하시오.

A5 | 광원을 LED-UNK 로 바꾸고 그 스펙트럼을 얻어 “unk.csv” 파일에 저장하시오. 이 LED 의 $\lambda_{\max}$ 를 구하시오.

다른 모든 파트에서는 광원으로 LED-CON 만 사용하시오.

이후 과제를 푸는 동안 장치의 어떤 요소든 위치를 바꾸면 다시 보정해야 한다. n 번째로 보정을 수행할 때는 스펙트럼 “R-n.csv”, “G-n.csv”, “B-n.csv” 를 “Recalibrate” 폴더에 반드시 저장하고 k_n 과 λ_n 의 값을 구하라. 또한 “Calibration.docx” 파일의 표에 어떤 문항이 보정 번호 n 으로 수행되었는지 표시하라! 기본적으로 모든 문항은 최초 보정으로 수행된 것으로 간주한다.

파트 B. 비어-람베르트 법칙 (Beer-Lambert law)

물질에 의한 빛의 흡수를 기술하기 위해 비어-람베르트 법칙 (Beer-Lambert law) 을 사용한다: 빛의 각 단색 성분의 세기는 물질 내 경로 l 에 따라 지수적으로 감소한다:

$$\frac{I_\lambda}{I_{0,\lambda}} = e^{-\beta(\lambda)l},$$

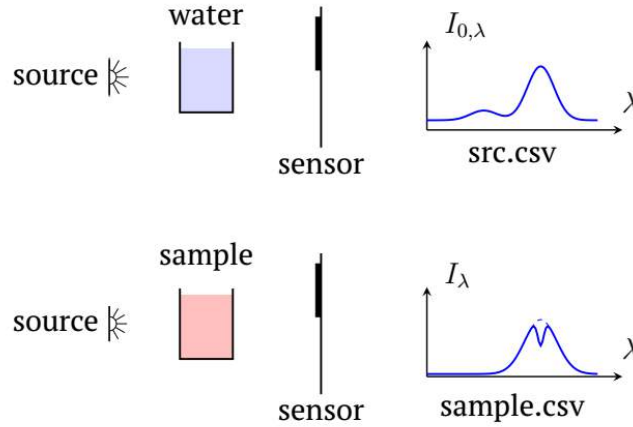
여기서 $I_{0,\lambda}$ 는 물질에 입사하는 파장 λ 의 빛의 세기, I_λ 는 물질을 통해 거리 l 을 지난 빛의 세기, β 는 파장에 의존하는 어떤 계수이다.

이 파트에서 우리는 인디고 카민 IC 에 의한 서로 다른 파장의 빛의 흡수를 연구할 것이다. 농도 0.70 mg/ml 의 IC 용액이 제공되었다. 같고 알려진 부피의 IC 용액 방울을 얻어야 한다. 부피 0.5 ml 의 주사기를 수직으로 들고 피스톤을 부드럽게 밀면 바늘 끝에 방울이 맺힌다. 이 방울은 어떤 임계 부피 $V_{d,IC}$ 에 도달하면 바늘에서 떨어진다. 방울을 얻기 위해 0.5 ml 주사기를 사용하라.



B1 | 주사기 바늘을 통해 짜낼 때 형성되는 IC 용액 방울의 평균 부피 $V_{d,IC}$ 를 결정하시오.

값 I_λ 와 $I_{0,\lambda}$ 는 공기-큐벳, 큐벳-물 경계에서의 빛 반사 등의 요인으로 인해 직접 측정할 수 없다. 그러나 그 비 $I_\lambda/I_{0,\lambda}$ 는 용액이 든 큐벳을 통과한 빛의 세기와 순수한 물이 든 큐벳을 통과한 빛의 세기의 비와 같다고 매우 높은 정확도로 가정할 수 있다.



물과 용액을 통과한 빛의 세기 측정 모식도.

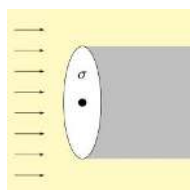
- B2** | 큐벳에 물 3.0 ml 를 넣으시오. LED-CON 의 최적 전압과 감도 (Sensitivity) 를 조정하시오. 물이 든 큐벳을 통과한 LED-CON 빛의 스펙트럼을 측정하여 “src-B.csv” 파일에 저장하시오. 또한 배경 스펙트럼을 측정하여 “dark-B.csv” 파일에 저장하시오. 이 파트의 이후 측정에서는 전압과 감도를 바꾸지 마시오!
참고. 큐벳 벽에 기포가 있으면 제거하시오.

측정은 광원 복사의 세기가 최댓값의 5% 보다 큰 파장 범위에서만 허용 가능한 정확도로 수행할 수 있다.

- B3** | 실험 데이터에 기반하여, 당신의 장치에서 $\beta(\lambda)$ 의존성을 허용 가능한 정확도로 얻을 수 있는 파장 범위를 제시하시오.

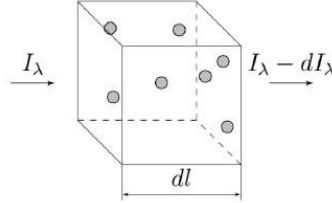
- B4** | 큐벳에 IC 를 한 번에 두 방울씩 추가하면서, 10 가지 서로 다른 IC 농도에 대해 용액을 통과한 빛의 세기 스펙트럼을 얻으시오. 결과를 여러 “IC-m.csv” 파일로 저장하되, m 은 큐벳에 추가된 IC 방울의 수이다.
참고. 여기서부터, 시험 물질을 물에 추가한 후에는 균질해질 때까지 용액을 저어야 한다. 큐벳 벽에 기포가 있으면 제거하시오.

이제 빛의 흡수를 이론적으로 기술하자. 파장 λ 의 평행한 단색 복사 빔이 큐벳 안의 시험 물질 용액을 비춘다고 하자. 큐벳의 매끄러운 안쪽 벽 사이의 거리는 $L = 1.05 \text{ cm}$ 이다. 용액의 농도 (단위 부피당 물질의 분자 수) 는 n 이다 (단위 $1/\text{m}^3$). 빛은 시험 물질의 개별 분자와의 상호작용으로 인해 흡수된다. 분자의 흡수 단면적 (absorption cross section) σ 를 정하자. 이는 넓이의 차원을 갖는다. 분자의 중심을 중심으로 하는 넓이 σ 의 원을 생각하자. 이 원의 평면은 빛 빔의 진행 방향에 수직이다. σ 원에 부딪히는 모든 빛은 분자에 의해 완전히 흡수된다고 가정한다 (그림 참조).



흡수 단면적은 서로 다른 파장에 대해 다르다. 즉 빛의 파장의 함수 $\sigma(\lambda)$ 이다.

세기 I_λ 의 빛이 두께 dl 의 얇은 물질층에 입사한다고 하자. 빛이 층을 통과한 후 세기는 dI_λ 만큼 감소한다.



B5 | dI_λ 를 물질 분자의 농도 n , I_λ , $\sigma(\lambda)$, dl 로 나타내시오.

B6 | 빛이 두께 l 인 물질층을 통과하면서 세기가 $I_{0,\lambda}$ 에서 I_λ 로 감소할 때 $\sigma(\lambda)$ 를 나타내시오. 답을 n , $I_{0,\lambda}$, I_λ , l 로 나타내시오.
참고. $\sigma(\lambda)$ 에 대한 표현을 얻지 못했다면, 이후 모든 곳에서 $\sigma(\lambda)$ 대신 $\beta(\lambda)$ 의존성을 조사해도 된다. $\beta(\lambda)$ 는 이 파트의 처음에 정의되어 있다.

B7 | 문항 B6 에서 찾은 범위에서 적어도 10 가지 서로 다른 파장에 대해 의존성 그래프 $\sigma(\lambda)$ 를 그리시오. 그래프 데이터를 “Part B” 폴더에 “IC-result.csv” 표로 저장하시오. 이 의존성 그래프를 “Report.docx” 문서의 “IC-result” 줄에 저장하시오.

B8 | IC 에 의해 가장 많이 흡수되는 빛의 파장 $\lambda_{\max,IC}$ 를 구하시오.

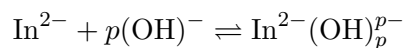
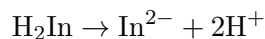
파트 C. 페놀프탈레인 (Phenolphthalein)

페놀프탈레인은 알칼리성 환경에서 색이 변하는 유기 염료이므로 산성도 pH 지시약으로 사용된다. 알칼리성 환경에서 페놀프탈레인 분자는 다음 상태로 존재할 수 있다:

- H_2In ;
- In^{2-} ;
- $In^{2-}(OH)_p^{p-}$.

마지막 상태에서 p 는 자연수 ($p \in \{1, 2, 3, \dots\}$) 이다. 이 상태들 중 단 하나 (In^{2-}) 만이 전형적인 분홍색을 띠고, 나머지는 무색이다.

지정된 분자 상태들 사이의 전이에 대응하는 두 반응이 있다:



두 번째 반응의 “이중 화살표” 는 반응이 정방향과 역방향 모두로 진행될 수 있음을 의미한다. 첫 번째 반응은 꽤 빠르고 (페놀프탈레인은 알칼리 매질에서 즉시 착색됨), 두 번째 반응은 비교적 느리다. 이 파트에서는 두 번째 반응의 속도론을 조사하여 p 를 계산할 것을 요구한다.

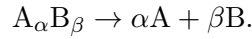
용액의 이온 세기 (ionic strength) 는 다음 식으로 결정되는 값 J 이다:

$$J = \frac{1}{2} \sum_i n_i Z_i^2.$$

여기서 합은 용액 내 모든 종류의 이온에 대해 이루어지며, n_i 는 특정 종류 i 의 이온 농도, Z_i 는 해당 이온의 전하수 (이온 전하와 기본 전하 $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ 의 비) 이다.

화학 반응 속도 (rate of a chemical reaction) 는 단위 시간당 일어나는 기본 반응의 수이다 (단위 1/s). 각 반응의 속도는 매 시각의 시약 농도와 용액의 이온 세기를 포함한 많은 인자에 의존한다.

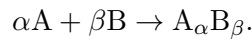
반응하는 성분의 농도에 대한 화학 반응 속도의 의존성을 논하자. 복합 시약 $A_\alpha B_\beta$ 가 단순 시약 A 와 B 로 분해되는 분해 반응을 생각하자:



이론에 따르면 이 반응의 속도 r_{decom} 은 용액 내 $A_\alpha B_\beta$ 농도에 비례한다:

$$r_{\text{decom}} \propto n_{A_\alpha B_\beta}$$

역반응 (합성) 도 가능하다:



이론에 따르면 합성 반응의 속도 r_{com} 은 해당 물질들의 농도 n_A, n_B 의 거듭제곱 표현에 비례한다:

$$r_{\text{com}} \propto n_A^\alpha n_B^\beta.$$

이 파트에서는 용액의 이온 세기를 일정하게 유지하면서 $(\text{OH})^-$ 이온 농도에 대한 반응 속도의 의존성을 조사할 것을 요구한다. 마지막 요구를 만족시키기 위해 식용 소금 NaCl 용액도 사용할 것이다. NaOH 와 NaCl 은 물에서 완전히 해리된다고 가정한다. 즉 다음 반응에 따라 이온으로 분해된다:



참고. 실험 조건에서 In 의 모든 상태의 농도는 다른 이온 및 물질의 농도보다 훨씬 작다고 가정할 수 있다. 따라서 반응 동안 $(\text{OH})^-$ 이온의 농도가 크게 변하지 않는다고 가정할 수 있다. 또한 In 의 모든 이온 상태가 용액의 이온 세기에 기여하는 바를 무시할 수 있다.

C1 | 농도 $c_0 = 0.30 \text{ mol/l}$ 인 NaOH 용액의 이온 세기 J_0 을 계산하시오.

C2 | 세 성분의 혼합물을 생각하자:

1. NaOH 용액, 농도 $2c_1$, 부피 V_{NaOH} ;
2. NaCl 용액, 농도 c_1 , 부피 V_{NaCl} ;
3. 증류수, 부피 V_w .

용액의 이온 세기가 J_0 이 되도록 하는 $V_{\text{NaOH}}, V_{\text{NaCl}}, V_w, c_0, c_1$ 사이의 관계를 구하시오.

이후 $(\text{OH})^-$ 이온의 농도는 서로 다르지만 이온 세기는 같은 J_0 인 용액을 준비해야 한다. 이를 위해 NaOH 와 NaCl 용액을 같은 농도 $c_0 = 0.30 \text{ mol/l}$ 로 사용하는 것이 편리하다.

C3 | 세 성분의 혼합물을 생각하자:

1. NaOH 용액, 농도 c_0 , 부피 V_{NaOH} ;
2. NaCl 용액, 농도 c_0 , 부피 V_{NaCl} ;
3. 증류수, 부피 V_w .

용액의 이온 세기가 J_0 이 되도록 하는 $V_{\text{NaOH}}, V_{\text{NaCl}}, V_w$ 사이의 관계를 구하시오.

NaOH 를 다루기 전에 문제 처음의 경고를 다시 읽으시오. 주어진 알갱이를 이용해 농도 $c_0 = 0.30 \text{ mol/l}$ 인 NaOH 용액을 준비하시오.

C4	서로 다른 광학 큐벳에 $(\text{OH})^-$ 이온 농도가 서로 다른 5 개의 용액을 준비하시오. 모든 용액의 이온 세기는 같아야 하며 J_0 과 같아야 한다. 섞이지 않도록 모든 큐벳에 표시하시오. 큐벳 중 하나를 거치대에 두시오. 최적의 LED-CON 전압과 감도를 조정하시오. 큐벳을 통과한 LED-CON 빛의 스펙트럼을 측정하여 “src-C.csv” 파일에 저장하시오. 이 파트의 이후 측정에서는 LED-CON 전압과 감도를 바꾸지 마시오! 배경 스펙트럼을 얻어 “dark-C.csv” 파일에 저장하시오.
----	---

다음으로, In 을 추가한 후 시간에 따라 용액이 든 큐벳을 통과한 빛의 스펙트럼 변화를 연구할 것이다. 각 용액에 대한 실험 순서는 다음과 같다:

1. 배경을 측정하여 “dark-OH-c.csv” 에 저장하라 (c 는 용액 내 OH^- 이온 농도, mol/l 단위).
2. 인슐린 주사기 (부피 0.5 ml) 로 광학 큐벳에 In 을 두 방울 추가하라.
3. 큐벳의 내용물이 균질해지도록 저어라.
4. 큐벳을 거치대에 두라.
5. 스펙트럼 측정 (“Time series”) 을 시작하라.
6. 5–10 분 동안 측정을 수행하라.
7. 결과를 “In-OH-c.csv” 에 저장하라 (c 는 용액 내 OH^- 이온 농도, mol/l 단위).

C5	위 지침에 따라 큐벳에 준비한 다섯 용액 모두에 대해 측정을 수행하시오.
----	--

C6	실험 데이터에 기반하여 페놀프탈레인에 의해 가장 강하게 흡수되는 빛의 파장 $\lambda_{\max, \text{In}}$ 을 결정하시오.
----	--

페놀프탈레인 In^{2-} 농도의 절댓값 (단위 $1/\text{m}^3$) 은 얻은 데이터로부터 결정할 수 없다. 그러나 농도의 상대적 변화의 시간 의존성만으로 이후 계산에 충분하다. 즉 필요한 농도를 임의의 단위로 나타낼 수 있다.

C7	In^{2-} 의 농도 n 대 시간 그래프를 그리시오. 그래프를 “Report.docx” 파일의 “C-OH-c-t” 줄에 저장하시오 (c 는 용액 내 $(\text{OH})^-$ 이온 농도, mol/l 단위).
----	---

C8	모든 광학 큐벳에 대해 반응 속도 r (모든 농도에 대해 동일한 임의 단위로 나타낼 수 있음) 대 In 농도 n 그래프를 그리시오. 그래프를 “Report.docx” 파일의 “C-OH-c-r” 줄에 저장하시오. 참고. 다음 문항 C9 는 C8 을 풀지 않고도 풀 수 있다.
----	---

C9	얻은 실험 데이터를 이용하여 p 의 값을 결정하시오 (p 는 이 파트의 처음에 정의됨).
----	--

파트 D. 화학 신호등 (Chemical traffic light)

파트 B 에서 관찰했듯이 인디고 카민 IC 는 순수한 물에서 파란색이다. 그러나 OH^- 이온이 있는 포도당 G1 용액에 IC 를 약간 추가하면, 용액은 처음에 초록색이었다가 나중에 색이 바뀐다. 이 거동은 혼합물에 존재하는 화학 반응의 결과이다.

파트 C 에서 준비한 NaOH 용액을 사용하시오. 광학 큐벳에 NaOH 농도가 0.15 mol/l, G1 농도가 0.25 mol/l 인 용액을 준비하시오.

D1	색이 나타나는 순서와 시각을 아래 표에 채우시오.															
	<table><tr><td>색</td><td>초록/청록</td><td>노랑</td><td>빨강/주황</td><td>보라</td></tr><tr><td>번호</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>t, s</td><td>0.0</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	색	초록/청록	노랑	빨강/주황	보라	번호	1				t, s	0.0			
색	초록/청록	노랑	빨강/주황	보라												
번호	1															
t, s	0.0															

- | | |
|-----------|---|
| D2 | <p>광학 큐벳에 NaOH 와 GI 의 새 용액을 준비하여 거치대에 두시오. LED-CON 의 최적 전압과 감도를 찾으시오. 큐벳을 통과한 LED-CON 빛의 스펙트럼을 얻어 “src-D.csv” 파일에 저장하시오. 이 파트의 다음 문항들 동안 전압과 감도를 바꾸지 마시오! 배경 스펙트럼을 얻어 “dark-D.csv” 파일에 저장하시오.</p> <p>인디고 카민 IC 0.15 ml 를 추가한 후, 시간에 따라 용액을 통과한 빛의 스펙트럼 의존성을 얻어 “IC-1.csv” 파일에 저장하시오. 반응을 “재시작” 하고 얻은 데이터를 “IC-2.csv” 에 저장하시오.</p> |
| D3 | <p>네 가지 색 각각이 가장 밝게 나타나는 순간에 대해 네 개의 $\beta(\lambda)$ 스펙트럼을 계산하시오. 결과를 “IC-n-result.csv” 에 저장하시오 (n 은 색의 순서 번호). 각 $\beta(\lambda)$ 를 그려 “Report.docx” 의 “IC-n-beta” 줄에 저장하시오 (n 은 색의 순서 번호).</p> |
| D4 | <p>시간에 따른 스펙트럼 변화를 연구하여, 가시광 파장에서 화학 반응 동안 존재하는 분자의 서로 다른 상태의 수를 구하시오. 가시광에서 IC 분자의 투명한 (무색) 상태는 없다.</p> |
| D5 | <p>IC 분자의 각 상태의 농도를 시간에 따라 하나의 그래프에 그리시오. 결과를 “Report.docx” 파일의 “IC-t” 줄에 저장하시오.</p> |