

실험 시험

"화학으로 세계를 연결하기"

49 회 국제 화학올림피아드, 나콘파툼, 태국



유의 사항

- **쪽수:** 이 시험은 총 36 쪽의 실험 시험 문제(답안지 포함)로 구성되어 있다. 실험 시험 문제는 모두 3 개이며 – 문제 1A, 문제 1B, 문제 2 로 이루어져 있다.
- **시험지 읽기:** 실험을 시작하기 전에 15 분간 시험지를 읽을 것이다. 번역이 불분명한 경우에 영문판 시험지를 요청하여 볼 수 있다.
- **시험 시간:** 실험 시험 시간은 총 5 시간이다. 실험을 할 때 몇몇 단계들은 20-30 분 걸린다는 것을 명심하라.
- **시작/종료:** “Start” 하면 시작하고, “Stop” 하면 즉시 실험을 끝내야 한다.
 - 감독관은 시험 종료 30 분 전을 알려줄 것이다.
 - “Stop” 명령 이후 1 분이 지나도 실험을 멈추지 않으면 실험 시험에서 실격된다.
 - “Stop” 명령이 나오면 시험지를 봉투에 넣고 자리에서 기다려라. 감독관이 시험지와 제출할 품목들을 회수하고 실험대도 확인할 것이다.
- **안전:** IChO 규정이 정한 안전 수칙을 준수해야 한다. 실험실에 있을 때에는 반드시 보안경을 착용하라. 감독관이 승인하면 도수가 있는 보안경을 착용해도 된다. 화학 시약을 취급할 때에는 제공된 장갑을 착용하라.
 - IChO 규정이 정한 안전 수칙을 준수하지 않으면 감독관으로부터 단 **한 번의 경고**를 받을 것이다. 그 이상의 경고를 받게 되면 실험실에서 쫓겨나고 실험 시험 전체는 0 점을 받을 것이다.
 - 실험실에서 음식을 먹거나 마실 수 없다.
 - **안전 문제: 입으로 피펫을 빠는 것은 절대 금지한다.**
 - 안전 문제와 관련한 이슈는 언제라도 실험 조교나 감독관에게 알려라. 화장실을 가거나 간식을 먹기 위해 실험실을 나갈 때에는 감독관에게 꼭 알려라.

- **실험 공간:** 개인에게 허용된 공간만 사용하라. 공용 공간과 공용 장치는 사용 후에 깨끗이 하라.
- **시약 요청/교체:** 다른 지시 사항이 없는 한 시약과 실험기구들은 리필이나 교체가 허락되지 않는다. 첫 번째 요청의 경우만 감점 없이 리필이나 교체가 가능하다. 그 이상의 요청 각각은 40 점의 실험 점수에서 1 점씩 감점한다.
- **폐기:** 실험대 위에 시약과 기구들을 모두 놓아 두어라. 화학 폐기물은 각 실험 문제마다 지정된 폐수통에 버려야 한다.
- **답안지:** 모든 결과와 답은 답안지의 지정된 부분에 명확하게 써야 한다. 펜으로 쓴 답안만 채점한다.
- 쪽마다 학생 번호를 확인하라.
 - 제공된 펜만을 사용하라.
 - 답안지의 지정된 부분 바깥에 쓴 것은 채점하지 않는다. 연습장으로 시험지 뒷장을 사용해도 된다.
 - 계산할 때에는 제공된 계산기만을 사용하라.

□ **실험 시험 동안 물 마시기.** 마실 것과 간식이 실험실 밖에 제공된다.

□ **UV 분광기는 옆의 학생과 함께 쓴다.**

첫 2 시간 동안은 둘 중 아무나 써도 된다. 옆의 학생이 끝날 때까지 기다려라. 1 시간 이상 분광기를 사용할 수 없다 (그 이상 사용하면 멈추고 옆의 학생이 사용하도록 해야 한다). 이후 분광기가 다시 사용 가능하면 쓰면 된다. 기다리는 시간으로 낭비하지 않도록 실험을 잘 조정하라.

시간: 09:00-10:00 10:00-11:00 11:00-12:00 12:00-13:00 13:00-14:00

사용자: 누구나 누구나 L R 누구나

L = 분광기 왼쪽에 있는 학생, R = 분광기 오른쪽에 있는 학생

실험 문제들은 순서 없이 어떤 것이든 먼저 시작해도 된다.

실험문제

문제 1A

시약 및 장비 (문제 1A).

I. 시약 및 재료 (표의 굵은 글씨는 시약병의 라벨 표기와 동일함)

	안전규약 ^a
Instrument check solution (장비점검용액), 80 cm ³ , 플라스틱 용기 안	
2.00 × 10 ⁻⁴ mol dm ⁻³ Methyl orange 지시약 용액, 30 cm ³ , 넓은 입구 유리병 안	H301
1.00 × 10 ⁻³ mol dm ⁻³ Bromothymol blue 브로모티몰블루 지시약 용액, 30 cm ³ , 넓은 입구 유리병 안	H226
Methyl red 지시약 용액, 10 cm ³ , 넓은 입구 유리병 안	H225-H319-H371
1 mol dm ⁻³ HCl , 30 cm ³ , 플라스틱 용기 안	H290-H314-H335
1 mol dm ⁻³ NaOH , 30 cm ³ , 플라스틱 용기 안	H290-H314
buffer solution A (완충용액 A), 110 cm ³ , 플라스틱 용기 안	
Unknown solution X (미지시료 X), 50 cm ³ , 플라스틱 용기 안	
Unknown solution Y (미지시료 Y), 50 cm ³ , 플라스틱 용기 안	
Unknown solution Z (미지시료 Z), 50 cm ³ , 플라스틱 용기 안	

^a 안전에 관한 규약(Statements)은 34 쪽에 있다.

II. 장비 및 실험기구

공동 장비	수량
UV-Visible 분광기	2 학생당 1 대
개인 실험기구	수량
비커, 25 cm ³	2
부피플라스크, 25.00 cm ³	9
피펫, 2.00 cm ³	2
눈금실린더, 10.0 cm ³	3
파스퇴르 피펫	6
파스퇴르 피펫용 고무 밸브	6
피펫 필러 밸브 (3-way)	1
피펫 쟁반 (tray)	1
시험관 (13 x 100 mm)	6
시험관 거치대	1
플라스틱 큐벳, 광경로 = 1.00 cm	1
폐수병, 1 dm ³	1
지퍼백 안에 스티커 라벨 세트	1

문제 1A	a		b			c		총합
	a1	a2	b1	b2	b3	c1	c2	
13%								
배점	12	2	6	1	1	2	2	26
점수								

전체 점수의 13%에 해당하는 문제

문제 1A: 산-염기 지시약과 이를 이용한 pH 측정

산-염기 지시약은 약산(또는 약염기)으로, 용액 중에서 산 형태(HIn, 색 1)로 존재할 때와 염기 형태(In⁻, 색 2)로 존재할 때 나타나는 색이 다르다. 지시약은 묽은 수용액에서 아래 반응에 의해 평형을 이룬다.



지시약이 들어있는 용액의 pH가 변함에 따라, 위 평형이 반응물(HIn) 또는 생성물(In⁻) 쪽으로 이동하여, 각 화학종의 농도가 변하게 되며, 이에 따라 용액의 색이 변한다. 강산성 용액에서는 대부분의 지시약이 HIn 형태 (색 1)로, 강염기성 용액에서는 대부분의 지시약이 In⁻ 형태 (색 2)로 존재한다. 중간 pH에서는 용액의 색이 색 1 (파장 1에서의 흡수)과 색 2 (파장 2에서의 흡수)의 합으로 나타나는데, 이 색은 존재하는 HIn과 In⁻의 상대적인 양에 따라 달라진다.

두 파장에서의 흡광도를 관찰하면, 다음 식에 의해 HIn과 In⁻의 농도를 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} A^{\lambda^1}_{\text{total}} &= A^{\lambda^1}_{\text{HIn}} + A^{\lambda^1}_{\text{In}^-} \\ &= \epsilon^{\lambda^1}_{\text{HIn}} b[\text{HIn}] + \epsilon^{\lambda^1}_{\text{In}^-} b[\text{In}^-] \\ A^{\lambda^2}_{\text{total}} &= A^{\lambda^2}_{\text{HIn}} + A^{\lambda^2}_{\text{In}^-} \\ &= \epsilon^{\lambda^2}_{\text{HIn}} b[\text{HIn}] + \epsilon^{\lambda^2}_{\text{In}^-} b[\text{In}^-] \end{aligned}$$

이 때 b는 용액의 광경로이고, ε은 몰흡광계수이다.

정해진 pH에서, HIn과 In⁻의 상대적인 양은 아래 식처럼 지시약의 산해리상수 (K_a)와 관련이 있다.

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{In}^-]}{[\text{HIn}]}$$

따라서, 어떤 pH에서 HIn과 In⁻의 상대적인 양을 안다면, 지시약의 산해리상수 (K_a)를 계산할 수 있다.

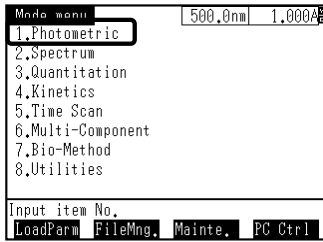
실험 셋업

분광기 사용법

1. 아래 과정에 따라, 특정 파장에서 흡광도를 측정하기 위해 분광기를 준비한다.
2. 큐벳에 증류수를 넣고, 바깥쪽을 잘 닦은 후, 큐벳을 시료 격실 (sample compartment) 안에 넣는다.
3. 증류수를 이용해 0 점을 맞춘다.
4. 큐벳을 꺼내어, 큐벳 안의 증류수 대신 분석할 시료 용액을 채운다. 큐벳을 시료 격실 안에 넣기 전에는, 언제나 큐벳을 툭툭 두드려 기포를 제거하고 큐벳의 바깥쪽은 잘 닦는다.
5. 시료 용액의 흡광도 값을 읽는다.

주의: 파장을 바꿀 때는 "증류수"로 0 점을 다시 맞춘다.

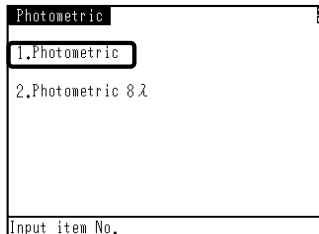




Step 1: Press 1

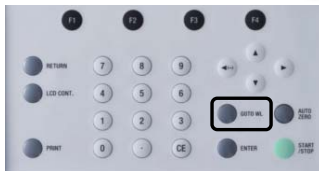
키패드의 1 을 눌러 Photometric 모드를 선택한다.

주의: 스크린에 왼쪽과 같은 메뉴가 뜨지 않으면, 키패드의 [return]을 누른다.



Step 2: Press 1

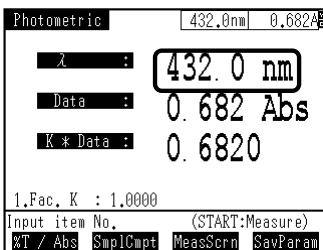
키패드의 1 을 눌러 단일파장용 Photometric 모드를 선택한다



Step 3: 파장 입력

키패드의 [GO TO WL]을 누른 후 파장을 입력한다.

주의: 예를 들어, 원하는 파장이 432 일 경우, 키패드의 4, 3, 2 를 차례로 누른다.



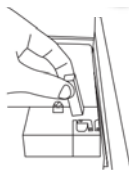
키패드의 [ENTER] 를 누른다.

[GO TO WL] → 4 3 2 → [ENTER]

주의: 만약 스크린에 Abs 가 표시되지 않았으면, 키패드의 [F1]을 눌러 %T 를 Abs 로 바꾼다.



증류수로 세척한다
 큐벳의 3/4 정도를 채우고
 휴지로 바깥쪽을 닦는다



Step 4: 흡광도 값 얻기

증류수가 든 큐벳을 시료 격실에 넣고, 키패드의 [AUTO ZERO] 를 누른다.

큐벳을 꺼내어 시료용액을 채우고, 다시 시료 격실에 넣은 후, 흡광도를 측정한다.

다른 파장에서의 흡광도를 측정하기 위해서 Step 3-4 를 반복한다.

일반적 사항

0.1 mol dm⁻³ HCl 용액 내에서, 지시약은 산 형태(HIn)로만 존재.

0.1 mol dm⁻³ NaOH 용액 내에서, 지시약은 염기 형태 (In⁻)로만 존재.

아래 장비점검용액의 흡광도 점선표는 채점 대상이 아님.

주의:

장비 사용 전에 고장 유무를 점검하기 위해, 장비점검용액(instrument check solution)으로, 두 파장(430 과 620 nm)에서의 흡광도 값 측정을 권함.

분광기번호 (Spectrophotometer No.) _____ 인 분광기를 사용함.

장비점검용액의 흡광도 값

	A (at 430 nm)	A (at 620 nm)
측정값	_____	_____
정상 범위	0.220 – 0.260	0.450 – 0.510

측정값이 정상범위면 실험을 진행하고, 정상범위 밖이면 조교에게 도움을 요청할 것.

Part a

강산과 강염기 안에서 산-염기 지시약(메틸오렌지)의 흡광도 측정

1. 피펫으로 2.00 × 10⁻⁴ mol dm⁻³ 메틸오렌지 지시약 (**methyl orange indicator**) 용액 1.50 cm³ 을 25.00-cm³ 부피플라스크에 넣는다. 1 mol dm⁻³ HCl 2.5 cm³ 을 추가하고, 플라스크 눈금까지 증류수를 채운다. 470 nm 와 520 nm 에서의 흡광도를 기록한다.
2. 피펫으로 2.00 × 10⁻⁴ mol dm⁻³ 메틸오렌지 지시약 (**methyl orange indicator**) 용액 2.00 cm³ 을 25.00-cm³ 부피플라스크에 넣는다. 1 mol dm⁻³ NaOH 2.5 cm³ 을 추가하고, 플라스크 눈금까지 증류수를 채운다. 470 nm 와 520 nm 에서의 흡광도를 기록한다.
3. 470 nm 와 520 nm 에서, 산 형태와 염기 형태 메틸오렌지의 몰흡광계수를 계산한다.

a1) 산 용액과 염기 용액에서 메틸오렌지의 흡광도 값을 기록하라.

(점선 표는 전체를 채우지 않아도 됨.)

산 형태 메틸오렌지	A (at 470 nm)	A (at 520 nm)
실험 1		
실험 2		
실험 3		
채택한 실험값 (Accepted value) (소수점 이하 3 자리)	_____	_____

염기 형태 메틸오렌지	A (at 470 nm)	A (at 520 nm)
실험 1		
실험 2		
실험 3		
채택한 실험값 (Accepted value) (소수점 이하 3 자리)	_____	_____

a2) 산 형태와 염기 형태 메틸오렌지의 몰흡광계수를 각각 구하라. (단위, $\text{dm}^3 \text{mol}^{-1} \text{cm}^{-1}$)

계산 공간

계산된 메틸오렌지의 몰흡광계수를 각각 적어라: (단위, $\text{dm}^3 \text{mol}^{-1} \text{cm}^{-1}$)

메틸오렌지	산 형태 (HIn)		염기 형태 (In ⁻)	
	$\epsilon^{470}_{\text{HIn}}$	$\epsilon^{520}_{\text{HIn}}$	$\epsilon^{470}_{\text{In}^-}$	$\epsilon^{520}_{\text{In}^-}$
	_____	_____	_____	_____

Part b

완충 용액 안에 든 산-염기 지시약(브로모티몰블루)의 흡광도 측정

브로모티몰블루는 산 형태 (HIn) 에서는 노란색(yellow)이고, 염기 형태(In⁻) 에서는 파란색(blue)인 산-염기 지시약이다. 이 지시약은 산 형태는 430 nm 에서, 염기 형태는 620 nm 에서 최대 흡수를 갖는다. 산 형태의 몰흡광계수는 430 nm 에서 $16,600 \text{ dm}^3 \text{mol}^{-1} \text{cm}^{-1}$, 620 nm 에서 $0 \text{ dm}^3 \text{mol}^{-1} \text{cm}^{-1}$ 이고, 염기 형태의 몰흡광계수는 430 nm 에서 $3,460 \text{ dm}^3 \text{mol}^{-1} \text{cm}^{-1}$, 620 nm 에서 $38,000 \text{ dm}^3 \text{mol}^{-1} \text{cm}^{-1}$ 이다.

1. 피펫으로 $1.00 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$ 브로모티몰블루 지시약 (**bromothymol darda indicator**) 용액 1.00 cm^3 을 25.00-cm^3 부피플라스크에 넣고, 플라스크 눈금까지 용액 A 를 채운다. (Note: 용액 A 는 pH=7.00 인 완충용액)
2. 430 nm 와 620 nm 에서의 흡광도를 기록한다
3. 부피플라스크 용액에 있는 산 형태와 염기 형태의 브로모티몰블루 지시약 (**bromothymol blue indicator**) 농도를 계산한다.
4. 브로모티몰블루(**bromothymol blue**)의 산해리상수를 계산한다.

b1) 완충 용액 안에 든 브로모티몰블루의 흡광도 값을 기록하라.

(점선 표는 전체를 채우지 않아도 됨.)

완충용액 안의 브로모티몰블루	A (at 430 nm)	A (at 620 nm)
실험 1		
실험 2		
실험 3		
채택한 실험값 (Accepted value) (소수점 이하 3 자리)	_____	_____

b2) 용액 안에 든 산 형태와 염기 형태 브로모티몰블루의 농도를 각각 계산하라.

계산 공간

산 형태와 염기 형태의 브로모티몰블루의 농도를 적어라:

[HIn], mol dm ⁻³	[In ⁻], mol dm ⁻³
_____	_____
(유효숫자 3 자리)	(유효숫자 3 자리)

b3) 이 실험에서 브로모티몰블루의 산해리상수를 계산하라.

계산 공간

이 실험에서 구한 브로모티몰블루의 산해리상수를 적어라:

산해리상수 = _____ (유효숫자 3 자리)

Part c

산-염기 지시약을 이용한 용액 pH의 결정 (methyl red)

메틸레드는 산-염기 지시약 중 하나로, 산 형태 (HIn)는 붉은 핑크(reddish-pink)색이고 염기 형태 (In⁻)는 노란색이다. 산 형태 메틸레드의 몰흡광계수(molar absorptivities)는 470 nm 에서 9,810 dm³ mol⁻¹ cm⁻¹ 이고 520 nm 에서 21,500 dm³ mol⁻¹ cm⁻¹ 이다. 염기 형태 메틸레드의 몰흡광계수는 470 nm 에서 12,500 dm³ mol⁻¹ cm⁻¹ 이고 520 nm 에서 1,330 dm³ mol⁻¹ cm⁻¹ 이다. 메틸레드의 pK_a 값은 4.95 이다.

주의: 이 실험에서는 부피를 정확히 측정할 필요가 없다. 부피는 측정값의 정확성에 영향을 주지 않는다.

1. pH 를 모르는 미지시료 X 를 시험관에 1/4 가량 넣는다. 이 용액에 **메틸레드(methyl red)** 3 방울을 첨가하고 잘 섞는다. 용액의 색을 기록한다.
2. pH 를 모르는 미지시료 Y 를 시험관에 1/4 가량 넣는다. 이 용액에 **메틸레드(methyl red)** 3 방울을 첨가하고 잘 섞는다. 용액의 색을 기록한다.
3. pH 를 모르는 미지시료 Z 를 시험관에 1/4 가량 넣는다. 이 용액에 **메틸레드(methyl red)** 3 방울을 첨가하고 잘 섞는다. 용액의 색을 기록한다.

시료용액들에서 지시약의 색변화를 기록하라. (점수는 없으나 답은 기록하라)

지시약	관찰된 색		
	시료 X	시료 Y	시료 Z
메틸레드			

c1) 3 종류의 시료 용액 중에서 메틸레드 지시약을 이용하여 분광학적으로 pH 를 측정할 수 있는 시료 용액을 하나 골라라.

<input type="checkbox"/> 시료 X	<input type="checkbox"/> 시료 Y	<input type="checkbox"/> 시료 Z
-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------

4. 눈금실린더를 이용하여 선택한 시료 용액 10 cm³ 를 비커에 넣는다. **메틸레드** 지시약 3 방울을 용액에 넣고 잘 섞는다. 470 nm 와 520 nm 에서의 흡광도를 각각 기록한다.
5. 이 용액에 산 형태와 염기 형태로 존재하는 **메틸레드**의 농도비를 계산한다.
6. 이 용액의 pH 를 계산한다.

지시약을 넣은 용액의 흡광도를 기록하라.

선택한 미지용액	A (at 470 nm)	A (at 520 nm)

c2) 미지용액 안에 있는 염기 형태와 산 형태의 메틸레드 농도비를 계산하고, 미지용액의 pH를 계산하라.

계산 공간

미지용액 안에 있는 메틸레드의 염기 형태와 산 형태의 메틸레드 농도비와 미지용액의 pH를 아래 표에 적어라.

시료	$[In^-] / [HIn]$	pH
	_____ (소수점 이하 2 자리)	_____ (소수점 이하 2 자리)

실험 문제

문제 1B

시약 및 기구 (문제 1B)

I. 시약 및 시료 (표의 굵은 글씨는 시약병의 라벨 표기와 동일함)

	안전 규약^a
Solution A (KIO₃ 10.7042 g in 5.00 dm³), 60 cm³, 플라스틱 용기 안	H272-H315-H319-H335
Solution B (포화 Ca(IO₃)₂ 용액), 50 cm³, 플라스틱 용기 안	H272-H315-H319-H335
Solution C (미지의 묽은 KIO₃ 용액에 포화된 Ca(IO₃)₂), 50 cm³, 플라스틱 용기 안	H272-H315-H319-H335
Na₂S₂O₃ 용액 200 cm³, 플라스틱 용기 안	
KI 10% (w/v), 100 cm³, 플라스틱 용기 안	H300+H330-H312-H315-H319-H335
HCl 1 mol dm⁻³, 100 cm³, 플라스틱 용기 안	H290-H314-H335
Starch solution 0.1% (w/v), 30 cm³ 유리적하병 (dropping glass bottle)	
Distilled water, 500 cm³, 세척병	
Distilled water, 1000 cm³ 플라스틱 갤런(gallon) 통 안	

^a 안전에 관한 규약(Statements)은 34 쪽에 있다.

II. 초자 및 기구

개인 초자 및 기구	수량
비커, 100 cm ³	2
비커, 250 cm ³	1
삼각플라스크, 125 cm ³	9
피펫, 5.00 cm ³	2
피펫, 10.00 cm ³	1
눈금실린더, 10.0 cm ³	1
눈금실린더, 25.0 cm ³	2
파스퇴르피펫	1
파스퇴르피펫용 고무 밸브	1
유리깔대기, 직경 7.5 cm	2
플라스틱깔대기, 직경 5.5 cm	1
지퍼백 안에 든 거름종이	3
뷰렛, 50.0 cm ³	1
뷰렛 스탠드와 클램프	1
클램프(bosshead)가 달린 O-ring	2

문제 1B 13%	a			b			c			총합
	a1	a2	a3	b1	b2	b3	c1	c2	c3	
배점	1	5	1	6	1	2	6	1	3	26
점수										

전체점수 중 13%에 해당하는 문제

문제 1B: 아이오딘산 칼슘(Calcium iodate)

아이오딘산 칼슘은 칼슘 이온과 아이오딘산 이온으로 구성된 무기염이다. $\text{Ca}(\text{IO}_3)_2$ 는 물에 소량 녹는다. 용해되지 않은 염과 포화용액은 아래와 같은 평형을 이룬다.



적정실험을 통해 포화 $\text{Ca}(\text{IO}_3)_2$ 용액의 아이오딘산 이온의 농도를 결정하고, $\text{Ca}(\text{IO}_3)_2$ 의 K_{sp} 값을 구할 것이다.

아이오딘산 이온의 농도는 아이오딘화 포타슘(KI) 존재하의 시료를 표준 싸이오황산 소듐($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 용액으로 적정하여 측정한다. 이때 녹말을 지시약으로 사용한다.

Part a에서는 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 를 표준화한다. Part b에서는 $\text{Ca}(\text{IO}_3)_2$ 의 K_{sp} 를 측정한다.

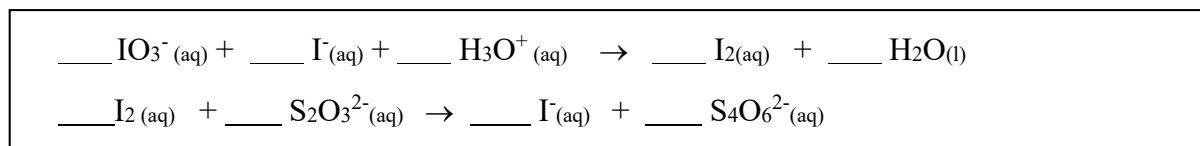
Part c에서는, 고체 $\text{Ca}(\text{IO}_3)_2$ 를 농도를 모르는 묽은 KIO_3 용액에 녹인 후, 3일간 방치하여 용해되지 않은 염과 포화 용액 사이에 평형이 이루어지게 하였다. 동일한 적정방법을 이용하여 아이오딘산 이온의 농도를 측정한 후, 묽은 KIO_3 용액의 미지농도를 구한다.

Part a

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 의 표준화

- $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 용액으로 뷰렛을 채운다.
- 피펫을 이용하여 표준 KIO_3 용액 (라벨에 solution A (KIO_3 10.7042 g in 5.00 dm^3)로 표기) 10.00 cm^3 를 삼각플라스크에 넣는다. 10%(w/v) KI 용액 10 cm^3 와 1 mol dm^{-3} HCl 10 cm^3 를 삼각플라스크에 넣는다. I_2 가 형성되면서 어두운 갈색(dark brown)으로 변할 것이다.
- 용액이 옅은 노란색(pale yellow)이 관찰될 때까지, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 용액으로 적정한다. 녹말용액(0.1%(w/v) starch solution) 2 cm^3 를 첨가한다. 용액은 남색(dark blue)이 될 것이다. 무색인 종말점까지 적정한다. 소모된 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 용액의 부피를 기록한다.

a1) 아래 균형화학반응식의 계수를 적어라.



a2) 소모된 Na₂S₂O₃ 용액의 부피를 기록하라.
 (표의 실험 횟수 전체를 채우지 않아도 됨.)

	실험 횟수		
	1	2	3
Na ₂ S ₂ O ₃ 용액 뷰렛 초기 부피, cm ³			
Na ₂ S ₂ O ₃ 용액 뷰렛 나중 부피, cm ³			
소모된 Na ₂ S ₂ O ₃ 용액의 부피, cm ³			

채택한 실험값, cm ³ ; V1 = (Accepted volume)
--

a3) Na₂S₂O₃ 용액의 농도를 계산하라.

Na ₂ S ₂ O ₃ 농도, mol dm ⁻³ : _____ (소수점 이하 4 자리까지)
--

(Na₂S₂O₃ 용액의 농도를 계산하지 못했다면, 이후 문제들은 농도를 0.0700 mol dm⁻³ 로 가정하고 풀어라.)

Part b

Ca(IO₃)₂의 K_{sp} 값 결정

1. Solution B 는 포화 Ca(IO₃)₂ 을 거른 후 얻은 여과액(filtrate)이다.
2. 피펫을 이용하여 여과액(solution B) 5.00 cm³ 를 삼각플라스크에 넣는다. 10%(w/v) KI 용액 10 cm³ 와 1 mol dm⁻³ HCl 10 cm³ 를 삼각플라스크에 첨가한다.
3. 용액이 옅은 노란색(pale yellow)이 될 때까지, Na₂S₂O₃ 용액으로 적정한다. 녹말용액(0.1%(w/v) starch solution) 2 cm³ 를 첨가한다. 용액은 남색(dark blue)이 될 것이다. 무색인 종말점까지 적정한다. 소모된 Na₂S₂O₃ 용액의 부피를 기록한다.

b1) 소모된 Na₂S₂O₃ 용액의 부피를 기록하라.

(표의 실험 횟수 전체를 채우지 않아도 됨.)

	실험 횟수		
	1	2	3
Na ₂ S ₂ O ₃ 용액 뷰렛 초기 부피, cm ³			
Na ₂ S ₂ O ₃ 용액 뷰렛 나중 부피, cm ³			
소모된 Na ₂ S ₂ O ₃ 용액의 부피, cm ³			

채택한 실험값, cm³; V₂ =

(Accepted volume)

b2) Solution B 의 IO₃⁻ 용액의 농도를 계산하라.

IO₃⁻ 농도, mol dm⁻³: _____(소수점 이하 4 자리까지)

b3) $\text{Ca}(\text{IO}_3)_2$ 의 K_{sp} 값을 계산하라.

$\text{Ca}(\text{IO}_3)_2$ 의 $K_{sp} =$ _____ (유효숫자 3 자리)

(K_{sp} 를 계산하지 못했다면, 이후 문제에서는 7×10^{-7} 으로 가정하고 풀어라.)

Part c

붉은 KIO_3 용액의 농도 결정

1. Solution C 는 농도를 모르는 붉은 KIO_3 용액에 포화된 $\text{Ca}(\text{IO}_3)_2$ 를 거른 후 얻은 여과액(filtrate)이다.
2. 피펫을 이용하여 여과액 (Solution C) 5.00 cm^3 를 삼각플라스크에 넣는다. $10\%(\text{w/v})$ KI 용액 10 cm^3 와 1 mol dm^{-3} HCl 10 cm^3 를 삼각플라스크에 첨가한다.
3. 용액이 옅은 노란색(pale yellow)이 될 때까지, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 용액으로 적정한다. 녹말용액($0.1\%(\text{w/v})$ starch solution) 2 cm^3 를 첨가한다. 용액은 남색(dark blue)이 될 것이다. 무색인 종말점까지 적정한다. 소모된 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 용액의 부피를 기록한다.

c1) 소모된 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 용액의 부피를 기록하라.
 (표의 실험 횟수 전체를 채우지 않아도 됨.)

	실험 횟수		
	1	2	3
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 용액 뷰렛 초기 부피, cm^3			
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 용액 뷰렛 나중 부피, cm^3			
소모된 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 용액의 부피, cm^3			

채택한 실험값, cm^3 ; $V_3 =$
 (Accepted volume)

c2) Solution C 에 존재하는 IO_3^- 의 농도를 계산하라.

IO_3^- 의 농도, mol dm^{-3} : _____(소수점 아래 4 자리까지)

c3) 묶은 KIO_3 미지시료의 농도를 계산하라.

KIO_3 의 농도, mol dm^{-3} : _____ (소수점 아래 4 자리까지)

실험시험

문제 2

시약 및 기구(문제 2).

I. 시약 및 재료

시약	라벨	안전규약 ^a
3-펜탄온(3-Pentanone (MW 86.13)), ~0.86 g ^b , 바이알 안	A	H225-H319-H335-H336
<i>p</i> -클로로벤즈알데하이드(<i>p</i> - chlorobenzaldehyde (MW 140.57)), ~3.5 g ^c , 바이알 안	B	H302-H315-H319-H335
에탄올, 200 cm ³ , 세척병 안	Ethanol	H225-H319
2 mol dm ⁻³ NaOH 수용액 (2N NaOH 로 표기됨), 25 cm ³ , 병 안	2N NaOH	H290-H314

^a 안전에 관한 규약(Statements)은 34 쪽에 있다.

^b 3-펜탄온이 든 바이알의 무게는 사용하기 직전 측정한다. 정확한 값은 라벨에 주어진 정보에 기초하여 계산할 수 있다.

^c 라벨에 정확한 값이 표시되어 있다.

II. 장치 및 기구

공용 장비	수량
저울	실험실 당 12개
물 아스피레이터(aspirator)	벤치당 2개
얼음이 채워진 스티로폼 용기	벤치 열 당 하나 (요구하면 리필 가능)
개인 실험기구	수량
온도탐침이 달린 핫플레이트 스테러(Hotplate stirrer)	1
스탠드	1
클램프	2
100-cm ³ 둥근바닥 플라스크	1
눈금실린더, 25 cm ³	1
눈금실린더, 50 cm ³	1
공기 컨덴서 (Air condenser)	1
결정화 수조, 250 cm ³	1
125-cm ³ 삼각플라스크	2
감압 플라스크, 250 cm ³	1
뷰흐너 깔대기, 25 cm ³	1
시계접시	1
파스퇴르 피펫 (droppers)	5
고무 밸브	2
감압용 고무어댑터	1
고무 받침고리 (support ring)	1
자석 바	1
거름 종이	3 (지퍼백 안)
스패출라	1
막대 젓개	1
집게 (Forceps)	1
플라스틱 조인트 클립	1
세척병 (에탄올이 들어있음)	1 (리필이 가능함)
고무장갑	2 (두 종류의 크기)
타올	2
종이 클립	1
"Waste Task 2", 500 cm ³ -유리병	1
생성물 제출용 "Student code"가 표시된 바이알	1
보안경	1

문제 2 14%	a			b	총합
	a1	a2	a3	b1	
배점	2	2	2	18	24
점수					

전체점수 중 14%에 해당하는 문제

문제2: 탄소 구조물의 형성 반응

유기분자들의 중심구조는 대부분 탄소-탄소 골격으로 이루어져 있다. 탄소-탄소 결합 형성은 작은 출발물질로부터 복잡한 구조들을 만드는 데 중심적인 역할을 한다. 그러므로, 효율적인 탄소-탄소 결합 형성을 위한 합성은 많은 관심을 받아왔다. 이 실험에서는 *p*-클로로벤즈알데하이드와 3-펜탄온으로부터 더 복잡한 구조를 만드는 실험을 수행한다.

중요사항들:

- 에탄올은 감점 없이 리필 가능하다.
- 질량을 재는 모든 과정에서 감독관 확인이 필요하다. 채점을 위해 감독관은 학생들의 답안지에 서명을 한다.
- 총점 중 18점은 제출한 생성물의 수율과 순도에 의해 결정된다. **생성물의 미제출은 어떤 점수도 받지 못하니 유의하라.**
- 생성물의 순도를 결정하기 위해 채점자가 ¹H-NMR과 녹는점을 측정할 것이다.

Part a

1. 3-펜탄온이 든 바이알(A)을 가져와서 (코드 Axxx, 예: A305) 파라필름을 벗긴다. 뚜껑과 함께 바이알의 질량을 재어, 답지 질문a1에 그 질량을 적는다.
2. 250 cm³-결정화 수조에 물을 채워 물 수조를 만들고, 최소 55±2°C 의 온도로 가열한다. 물 수조에 종이 클립을 넣고 스테러로 회전시키면 열이 골고루 퍼질 수 있다.
3. 100-cm³ 둥근바닥플라스크 안에 자석 바가 있는 것을 확인한다. 미리 질량을 잰 3-펜탄온(라벨 A)와 *p*-클로로벤즈알데하이드(라벨 B)를 플라스크에 넣는다. 혼합물에 에탄올 50 cm³ 를 넣고 빠르게 교반하여 최대한 녹인다.

4. 눈금실린더를 이용하여 2 mol dm^{-3} NaOH (라벨 2N NaOH) 15 cm^3 를 재어서 혼합물에 첨가한다. 이 때 NaOH 용액이 플라스크 조인트 부분에 묻지 않게 주의하라.
5. **그림 1**처럼 반응을 셋업한다. 반응플라스크를 최소 $55 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 물 수조에 담근다. 공기컨덴서를 연결하고 플라스틱 연결클립으로 고정한다. 물 수조를 사용하여 온도를 올린 후 30분 가량 이상 저어주면서 반응이 충분히 진행되게 한다.

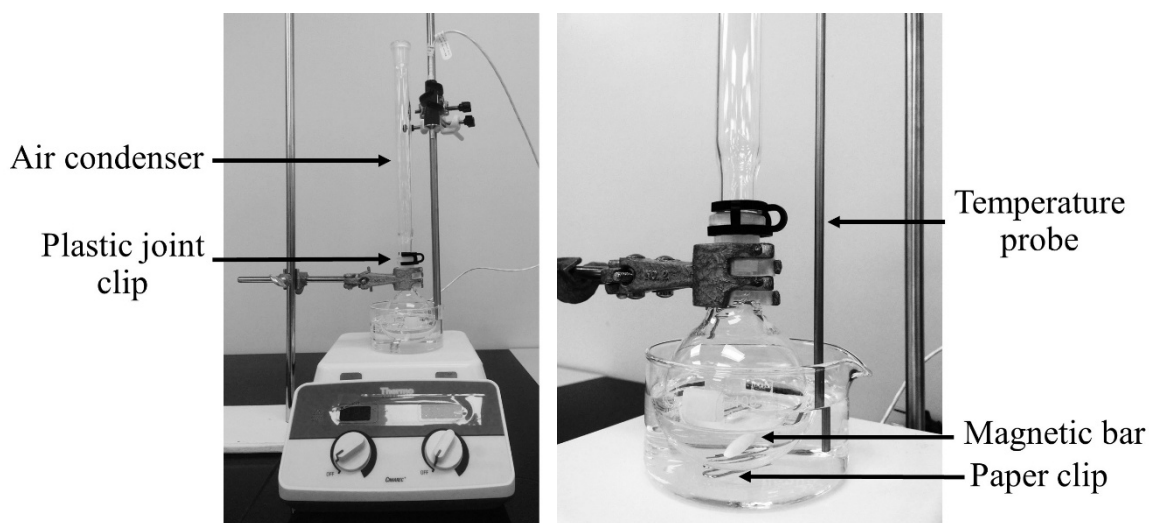


그림 1: 물 수조를 이용한 가열 반응의 셋업

6. 물수조로부터 반응플라스크를 주의해서 꺼낸다. (**주의! 플라스크는 뜨거울 수 있음.**) 그 플라스크를 고무받침고리 위에 놓는다.
7. (**중요**) 재결정 단계에서 핫플레이트의 과열을 막기 위해 핫플레이트/스터러로부터 온도 탐침을 제거한다. 탐침 제거 후에 감독관에게 알려 탐침을 확인하고 제출한다.
8. 250 cm^3 -결정화 수조의 따뜻한 물을 버리고 얼음과 소량의 물을 채워 얼음 수조를 준비한다. 얼음 수조를 이용하여 반응플라스크를 식힌다. 그러면 고체가 석출된다. (**제안:** 만약 5분 이내에 고체가 석출되지 않을 경우, 막대 젓개로 플라스크의 벽면을 긁어라. 이것에 의해 침전이 유도될 수 있다)
9. 완전한 침전을 위해 약 20분간 혼합물을 차가운 상태로 둔다.

10. 감압필터 장치를 셋업한다. (그림 2) 감압플라스크를 물 아스피레이터에 연결한다. 고무어댑터를 끼운 감압플라스크에 뷰흐너 깔대기를 끼운다. 깔대기 가운데에 거름종이를 잘 맞추어 놓는다. 감압필터로 침전을 걸러내고 소량의 차가운 에탄올로 침전물을 씻는다. 건조를 위해 2-3분간 감압상태로 둔다.



그림 2: 감압필터를 위해 필요한 셋업

11. 물 아스피레이터를 끄기 전에 감압호스를 분리한다. 실험기구들을 실험대로 옮기고 공용공간을 깨끗하게 한다. 거름종이에 있는 침전물을 모아 삼각플라스크로 옮긴다. 거름종이를 너무 세게 긁어서 종이가 긁혀 나오지 않게 **매우 주의하라**. 뷰흐너 깔대기는 에탄올로 세척한다.
12. 다른 삼각플라스크에 에탄올을 넣고 핫플레이트로 가열한다. (설정 온도를 100-120°C에 맞춘다) **가열하기 전에, 핫플레이트에서 온도탐침이 제거되었는지 반드시 확인하라**.
13. 뜨거운 에탄올로 생성물을 재결정한다. 다음 과정을 따라서 한다.

불순한 침전물이 들어있는 플라스크를 저으며 뜨거운 에탄올을 소량씩 넣는다. 고체가 완전히 녹을 때까지 최소한의 뜨거운 에탄올 넣기를 반복한다. (넣을 때마다 휘저어주면서) **플라스크는 뜨거울 수 있으니 주의하라**. 뜨거운 플라스크의 목을 타올로 감싼 상태로 잡고 휘젓는다. 완전히 용해된 후

플라스크를 후드벤치 위에 가만히 두어 상온에서 천천히 식힌다. 결정생성물이 관찰될 것이다. 만약 결정이 석출되지 않을 경우, 막대 젓개로 플라스크의 벽면을 긁어라. 이것에 의해 결정이 유도될 수 있다. 완전한 결정화를 위해 얼음 수조에 플라스크를 둔다.

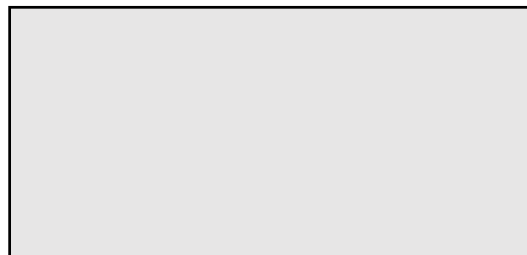
14. 감압필터를 이용하여 재결정된 생성물을 거른다. (단계 10의 감압필터 과정 참조) 소량의 차가운 에탄올로 침전물을 씻는다. 건조를 위해 2-3분간 감압상태로 둔다. 진공을 제거하고 공기-건조를 위해 벤치 위에서 최소 15분 이상 생성물을 놓아 둔다.
15. Student code가 붙어 있는 바이알 (뚜껑없이) 의 무게를 잰다. 답지 질문 a1에 그 값을 기록한다.
16. 재결정된 생성물을 미리 무게를 잰 바이알에 옮긴다. 답지 질문 a1에 재결정된 생성물의 질량을 기록한다.
17. 생성물 바이알의 라벨에 정보를 채워 넣는다. 생성물이 든 바이알을 벤치 위에 둔다. "STOP" 명령 이후에 감독관이 바이알을 가져갈 것이며 답안지 질문 b에 서명할 것이다. 학생들도 답안지 질문 b에 반드시 서명을 해야 한다. 일단 감독관과 학생이 둘 다 서명하면, 바이알은 지퍼백에 담겨져서 제출될 것이다.

다음의 품목들은 벤치 위에 남겨두어야 한다:

- 시험봉투 안에 놓여진 질문/답 책자 (이 책자)
- 정보들이 적힌 "Student code"로 라벨이 된 바이알

화합물들을 무작위로 나눠줄 때 감독관이

이 곳에 라벨을 붙일 것이다.



Axxx (예: A567) = 3-펜탄온이 든 바이알 코드

영점화(Tared) 질량 (뚜껑도 함께): 3-펜탄온을 넣기 **전** (바이알 + 라벨 + 뚜껑) 질량

Bxxx (예: B567) = *p*-클로로벤즈알데하이드가 든 바이알 코드

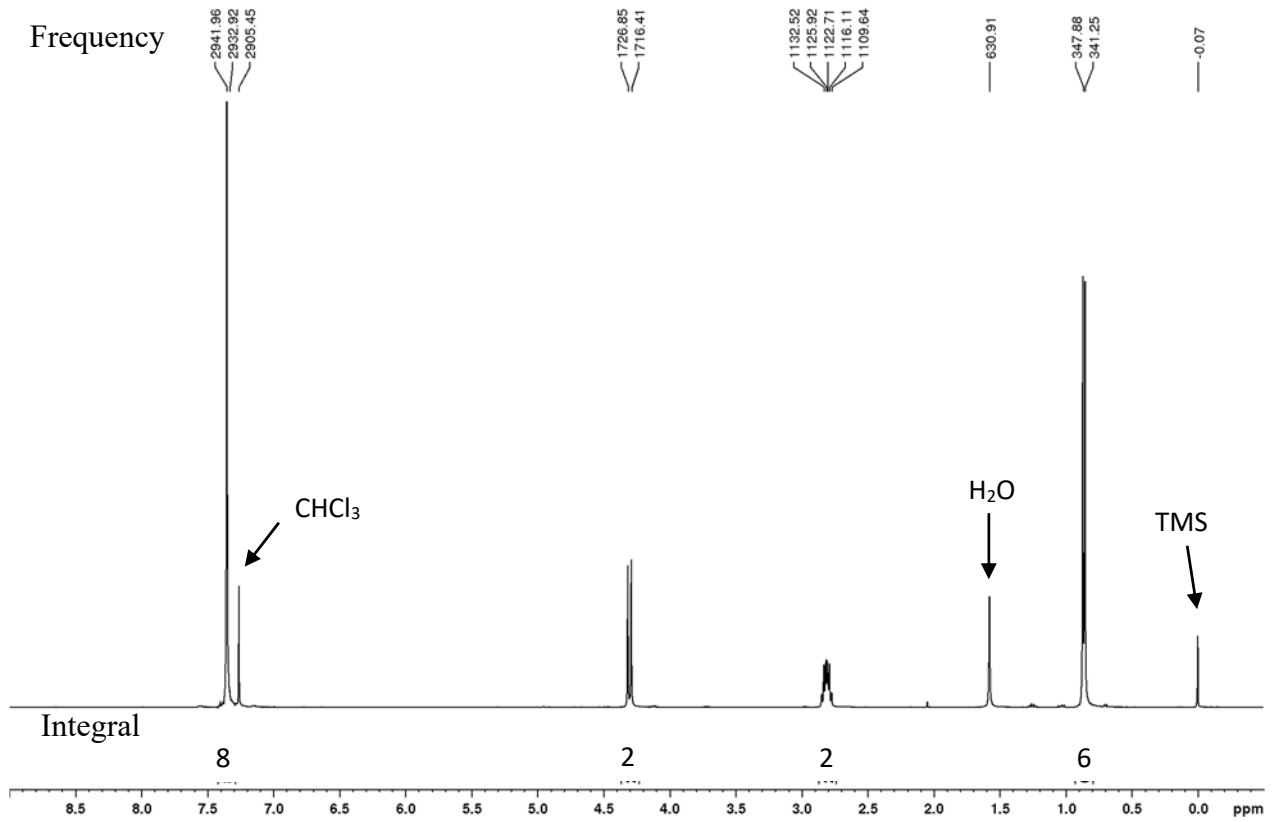
알짜(Net)질량: *p*-클로로벤즈알데하이드 질량

a1) 계산할 때, 위의 라벨에 적힌 정보와 각자의 실험 결과를 사용하라. 아래 표에 모든 결과를 적어라.

<p>3-펜탄온이 들어있는 바이알의 질량 (뚜껑 포함)= _____</p> <p>*채점을 위해 감독관의 서명. <input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/></p> <p>3-펜탄온의 질량 = _____</p> <p><i>p</i>-클로로벤즈알데하이드의 질량 (라벨에 적힌대로): _____</p> <p>생성물 재기 전 빈 바이알(뚜껑 없이)의 질량: _____</p> <p>*채점을 위해 감독관의 서명 <input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/></p> <p>재결정된 생성물이 담긴 바이알(뚜껑 없이)의 질량: _____</p> <p>*채점을 위해 감독관의 서명 <input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/></p> <p>재결정한 생성물의 질량: _____</p>

a2) 이 반응에서 생길 수 있는 방향족 화합물 4 개를 써라. 단, 입체이성질체끼리는 한 개로 간주한다.

a3) 아래 주어진 400MHz $^1\text{H-NMR}$ (in CDCl_3)을 토대로, 생성물의 구조를 그려라.



수소 갯수비(Integrals)는 분자에 존재하는 모든 수소에 대한 것이다.



Part b

b1) 제출한 생성물은 수득률(%)과 순도 확인을 위한 분석 후 채점될 것이다.

제출하는 생성물에 대한 정보를 기입하라.

상태: 고체(Solid) 액체(Liquid)

Signature of Supervisor: _____(제출할 때 서명)

Signature of Student: _____ (제출할 때 서명)

안전 규약 (Health Statements)

H225	고휘발성 액체와 증기(Highly flammable liquid and vapor)
H272	화재 증진(May intensify fire); 산화제(oxidizer)
H290	금속 부식(Maybe corrosive to metals)
H300	삼키면 치명적(Fatal if swallowed)
H301	삼키면 유독함(Toxic if swallowed)
H302	삼키면 해로움(Harmful if swallowed)
H314	심각한 피부 화상과 눈 손상 유발 (Causes severe skin burns and eye damage)
H315	피부 자극 유발(Causes skin irritation)
H319	심각한 눈 자극 유발(Causes serious eye irritation)
H330	흡입하면 치명적(Fatal if inhaled)
H335	호흡 곤란 유발(May cause respiratory irritation)
H336	졸림과 어지럼 유발(May cause drowsiness or dizziness)
H371	장기 손상 유발(May cause damage to organs)

Characteristic ^1H NMR Chemical Shifts

Type of Hydrogen (R=Alkyl, Ar=Aryl)	Chemical Shift (ppm)	Type of Hydrogen (R=Alkyl, Ar=Aryl)	Chemical Shift (ppm)
$(\text{CH}_3)_4\text{Si}$	0 (by definition)		
RCH_3	0.9	$\text{RCH}=\text{O}$	9.5-10.1
RCH_2R	1.2-1.4	RCOOH'	10-13
R_3CH	1.4-1.7	RCOCH_3	2.1-2.3
RCH_2I	3.2-3.3	RCOCH_2R	2.2-2.6
RCH_2Br	3.4-3.5	RCOOCH_3	3.7-3.9
RCH_2Cl	3.6-3.8	RCOOCH_2R	4.1-4.7
RCH_2F	4.4-4.5	$\text{R}_2\text{C}=\text{CRCHR}_2$	1.6-2.6
RCH_2NH_2	2.3-2.9	$\text{R}_2\text{C}=\text{CH}_2$	4.6-5.0
RCH_2OH	3.4-4.0	$\text{R}_2\text{C}=\text{CHR}$	5.0-5.7
RCH_2OR	3.3-4.0	$\text{RC}\equiv\text{CH}$	2.0-3.0
$\text{RCH}_2\text{CH}_2\text{OR}$	1.5-1.6	ArCH_3	2.2-2.5
R_2NH	0.5-5.0	ArCH_2R	2.3-2.8
ROH	0.5-6.0	ArH	6.5-8.5

Periodic table of elements

18 8A																	
2 He 4.003																	
10 Ne 20.18																	
18 Ar 39.95																	
36 Kr 83.80																	
54 Xe 131.3																	
86 Rn (222)																	
118 Og (294)																	
17 F 19.00																	
7A Cl 35.45																	
16 O 16.00																	
6A S 32.07																	
15 N 14.01																	
5A P 30.97																	
14 C 12.01																	
4A Si 28.09																	
13 B 10.81																	
3A Al 26.98																	
12 Mg 24.31																	
2 Be 9.012																	
1 H 1.008																	
1A Li 6.941																	
3 Na 22.99																	
11 K 39.10																	
19 Rb 85.47																	
37 Cs 132.9																	
55 Fr (223)																	
4 Ca 40.08																	
20 Sr 87.62																	
38 Y 88.91																	
57 La 138.9																	
87 Ac (227)																	
3 Sc 44.96																	
21 Yt 88.91																	
39 Zr 91.22																	
57 Hf 178.5																	
89 Rf (261)																	
4 Ti 47.88																	
22 V 50.94																	
40 Cr 51.99																	
58 Mn 54.94																	
74 Fe 55.85																	
92 Co 58.93																	
110 Ni 58.69																	
138 Pd 106.4																	
178 Pt 195.1																	
226 Au 197.0																	
294 Hg 200.6																	
378 Tl 204.4																	
476 Pb 207.2																	
620 Bi 209.0																	
820 Po (209)																	
1020 At (210)																	
1220 Rn (222)																	
1520 Ac (227)																	
89 Th 232.0																	
103 Pa 231.0																	
117 U 238.0																	
151 Np (237)																	
185 Pu (244)																	
243 Am (243)																	
315 Cm (247)																	
415 Bk (247)																	
543 Cf (251)																	
715 Es (252)																	
923 Fm (257)																	
1201 Md (258)																	
1579 No (259)																	
2043 Lr (262)																	
104 Ce 140.1																	
138 Pr 140.9																	
174 Nd 144.2																	
226 Pm (145)																	
294 Sm 150.4																	
382 Eu 152.0																	
494 Gd 157.3																	
638 Tb 158.9																	
826 Dy 162.5																	
1074 Ho 164.9																	
1392 Er 167.3																	
1810 Yb 173.0																	
2342 Lu 175.0																	
3042 Th 232.0																	
4052 Pa 231.0																	
5342 U 238.0																	
7042 Np (237)																	
9242 Pu (244)																	
12142 Am (243)																	
15942 Cm (247)																	
21042 Bk (247)																	
27842 Cf (251)																	
36842 Es (252)																	
48442 Fm (257)																	
63442 Md (258)																	
83442 No (259)																	
109442 Lr (262)																	
14342 Ce 140.1																	
19042 Pr 140.9																	
25042 Nd 144.2																	
32442 Pm (145)																	
41442 Sm 150.4																	
52442 Eu 152.0																	
65442 Gd 157.3																	
81442 Tb 158.9																	
100442 Dy 162.5																	
122442 Ho 164.9																	
148442 Er 167.3																	
188442 Yb 173.0																	
242442 Lu 175.0																	
312442 Th 232.0																	
408442 Pa 231.0																	
52442 U 238.0																	
67442 Np (237)																	
87442 Pu (244)																	
112442 Am (243)																	
145442 Cm (247)																	
188442 Bk (247)																	
242442 Cf (251)																	
312442 Es (252)																	
408442 Fm (257)																	
53442 Md (258)																	
70442 No (259)																	
92442 Lr (262)																	