



직모화학부

2025학년도 화학 논술 대비
직전 특강

목 차

Topic 1

분자간 상호작용과 끓는점

Topic 2

기체

Topic 3

용액

Topic 4

반응 엔탈피

Topic 5

화학 평형

Topic 6

산 염기 평형

Topic 7

반응 속도

Topic 8

화학 전지/전기 분해

INTRO & INFO

이 책은 논술에 출제될 수 있는 화학1 및 화학2 내용을 최대한 컴팩트하게 정리하느라 생각이 다소 많이 들어갈 수밖에 없었고 완전히 이해시키는 것보다도 일단 내용을 머릿속에 박아넣는 걸 주된 방향으로 집필을 했습니다. 물론 일부 내용에 있어서는 이해를 돕기 위한 설명도 일부 추가하였으나 강의나 수능용 자습서만큼의 디테일함은 갖추지 못하다는 점은 이해해주시기 바랍니다. 그렇지만 강의를 수강할 시간적·경제적 여건이 되지 않는다면 이 책으로 단기 학습을 하는 것이 최선의 방법이라 생각합니다. 다만 이 자료를 한 번 눈으로만 쓱 보고 넘기면 시험장에서 절반은 못 풀 가능성이 높습니다. 암기해야 할 것은 암기하신 후에 기출문제까지 반드시 확인하고 시험장에 들어가시기 바랍니다. 본 책과 「직보화논:기출편」을 같이 보면서 문제풀이에 대한 연습도 조금이나마 하는 것을 추천드립니다. 그러고도 시간이 더 남는다면 반드시 추가적인 개념학습 및 기출문제 풀이를 진행해 주셔야 합니다. 과학 논술은 합격을 위한 필요 조건입니다. 과학 논술부터 최대한 빠르고 정확하게 풀이한 후에 남은 시간은 수리 논술에 몽땅 쏟아넣는 전략을 취하시는 게 좋습니다. 마지막으로 말씀드리면 이 책은 어디까지나 화학 논술 벼락치기를 위한 자료일 뿐입니다. 이 자료에 소개되지 않은 내용이 출제된다고 해서 욕하시면 안됩니다..

‘개념 정리’ 파트에서는 기본 개념을 정리해드립니다. ‘기출 <제시문>으로 개념 확인하기’ 파트에는 해당 토픽의 개념에 대한 기출 <제시문>을 모아서 다시 한 번 읽어볼 수 있도록 정리했습니다. 마지막 ‘O.S.T(Optimized Solutions and tips)’ 파트에서는 기본 개념을 문제에 적용시킬 수 있도록 최적화된 풀이법을 정리해놓았습니다. 또한 「직보화논:기출편」에서는 개정 이후의 기출과 해설을 수록하였고 ‘응용 기출 해결’에서는 「직보화논:개념편」에서 학습한 개념을 문제풀이에 적용하는 것을 직접 도와줄 것입니다.

전적으로 경희대 의학계열과 연세대 미래캠퍼스 의예과에 포커스가 맞춰진 자료입니다.

About 경희대 의학계열

↳ 경희대 의학계열 논술은 의예과, 치의예과, 한의예과, 약학과 이렇게 총 4개의 모집 단위에 해당되는 시험입니다. 선택지가 4개이다 보니 고민을 많이 하게 되는데 본인 소신껏 과를 정하시면 됩니다. 사실 경쟁률은 크게 중요하지 않습니다. 나의 등수가 모집인원 내에만 들어가면 되는 것이니 뒤에서 정리해드릴 과거의 결과를 참고만 하셔서 좋은 선택하시길 바라겠습니다. 경희대의 경우 수능 이틀 후에 시험이 치러지기 때문에 사실상 수능 이후에는 준비기간이 하루 정도밖에 되지 않습니다. 그렇지만 역으로 상대적으로 적은 준비기간 덕분에 준비를 하는 것만으로도 경쟁자들보다 상대적인 우위를 점할 수 있다고도 볼 수 있습니다. 또한 과학 논술이 그렇게 어렵지 않게 출제되어왔기 때문에 그 효과를 톡톡히 보실 수 있을 것이고, 최근의 기출을 보면 화학1 대문항 1개와 화학2 대문항 1개를 출제할 것으로 예상됩니다. 작년에도 역시 예상했던 대로 1번은 화학1, 2번은 화학2에서 어렵지 않게 출제되었습니다. 학교에서 당일에 배부하는 볼펜으로 작성해야 하고 수정테이프를 사용할 수 없다는 것 또한 미리 숙지하시고 가면 좋을 것 같습니다.

About 연세대 미래캠퍼스 의예과

↳ 당연히 연세대 미래캠퍼스(구 원주캠퍼스) 의예과만을 위한 시험입니다. 시험은 원주에 위치한 본 캠퍼스에서 쳐야합니다. 이러한 시험장의 위치적 특징 때문에 대부분 차를 타고 전국에서 모여듭니다. 그래서 시험이 끝나고 나가는데 엄청 오래걸릴 수 있으니 주의하세요. 연세대 미래캠퍼스 의예과의 경우 수능 이후에도 준비할 시간이 일주일가량 더 있습니다. 그러니 좀 더 열심히 깊게 학습하기를 권장드립니다. 마찬가지로 과학 논술의 난이도가 많이 높지 않고 기출로 출제된 주제를 반복하는 것을 좋아하는 학교입니다. 그러니 작년에 나온 것이라고 간과했다가는 시험장에서 당황하실 가능성이 높습니다. 또한 종종 화학1의 내용의 원리를 심도있게 물어보는 경우가 있으니 대비를 해놓으시는 것이 좋을 것 같습니다.

시험 일정 및 고사장

- ↳ 경희대학교 의학계열: 11월 16일 15시~17시 서울캠퍼스(1호선 회기역)
- ↳ 연세대학교 미래캠퍼스 의예과: 11월 22일 15시~17시 연세대 미래캠퍼스 본캠

기출의 역사

↳ 경희대학교 의학계열 화학 논술 주제(본 교재의 TOPIC을 중심으로 작성)

	모의	본시험
2021학년도	물 농도, 화학 양론, 산화환원 반응	(오전): 산화환원 반응, 몰랄 농도, 반응 속도 (오후): 산화환원 반응, 몰랄 농도, 용액의 총괄성(어는점 내림, 끓는점 오름, 삼투압)
2022학년도	화학 평형, 산 염기 평형, 반응 엔탈피	산 염기 평형, 화학 평형, 수소 연료전지
2023학년도	반응 엔탈피, 반응 속도, 용액의 총괄성(어는점 내림, 끓는점 오름, 증기압 내림)	원소의 주기적 성질, 화학 평형
2024학년도	원소의 주기적 성질, 분자 간 상호작용과 끓는점, 전기 분해	반응 엔탈피(결합 에너지)
2025학년도	산 염기 평형, 반응 엔탈피	!

Topic 1 : 분자간 상호작용과 끓는점

개념 정리

※ 기본 원리: 분자간 상호작용의 세기가 강할수록 '액체 → 기체'로의 상태변화에 더 큰 에너지가 필요하므로 '끓는점'이 높아진다.

(1-1) 분자간 상호작용의 종류

① 쌍극자-쌍극자 힘

쌍극자란?

↳ 극성 분자에서는 공유 전자쌍이 전기음성도가 큰 원자에 쏠려있다. 이때 부분적인 양전하($\delta+$)와 부분적인 음전하($\delta-$)를 띠는 원자들이 생기는데 이러한 양전하와 음전하의 쌍을 쌍극자라 한다.

그래서 쌍극자-쌍극자 힘이란?

↳ 극성 분자가 서로 접근할 때 각각의 부분적인 음전하와 부분적인 양전하 사이에 작용하는 전기적 인력을 쌍극자-쌍극자 힘이라 한다.

② 분산력

분산력을 이해하기 위해서는 편극 현상을 알아야 한다.

편극 현상이란?

↳ 분자에서 전자구름이 일시적으로 한쪽으로 치우쳐서 부분적인 전하를 띠는 현상이다.

그렇다면 분산력이란?

↳ 편극에 의해 생긴 순간 쌍극자와 순간 쌍극자에 의한 이웃한 분자의 유발 쌍극자 사이에 작용하는 힘이다.

《분산력의 특징》

- 분산력은 모든 분자간에 작용하는 힘이다.
- 분자량이 클수록 분자 내의 전자가 많아 편극 현상이 크게 일어나므로 대체로 분산력이 크다.
- 분자량이 비슷할 경우 표면적이 클수록 분산력이 크다.

③ 수소 결합

↳ 전기 음성도가 매우 큰 F, O, N에 결합된 H원자와 다른 분자의 F, O, N 사이에 작용하는 강한 인력이다. 전기 음성도가 큰 F, O, N 순서대로 수소 결합의 세기가 강하다.

수소 결합은 분자간 힘 중에서는 매우 강한 힘이지만 화학 결합에 비해서는 약한 힘이다.

(화학 결합: 이온 결합, 공유 결합, 금속 결합)

수소 결합을 하는 분자들은 분자량이 비슷한 다른 분자들(≒ 분산력이 비슷한)보다 끓는점이 높다.

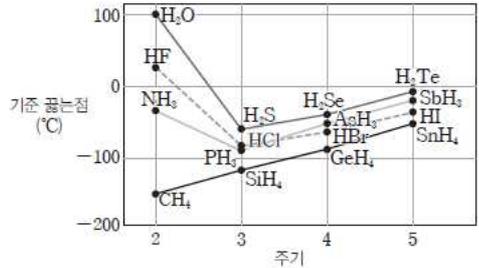
※ 분자간 힘의 크기는 대체로

수소 결합 > 쌍극자-쌍극자 힘 > 분산력

의 순으로 작아진다.

(1-2) 자료 해석

14~17족 원소의 수소 화합물의 주기에 따른 기준 끓는점 비교



《분석》

- 14족 원소의 수소 화합물은 무극성 분자이므로 분산력만 작용한다. 이때 14족 원소의 원자 번호가 커질수록 분자량이 커져 분산력이 증가하고, 끓는점이 높아진다.
- 15족, 16족, 17족 원소의 수소 화합물은 극성 분자이므로 분산력 외에도 쌍극자-쌍극자 힘이 작용한다. 같은 족에서 3주기, 4주기, 5주기로 갈수록 끓는점이 높아지는 것은 원소의 원자 번호가 커질수록 분자량이 커져 분산력이 증가하기 때문이다.
- 2주기인 HF, H₂O, NH₃의 끓는점이 3주기보다도 높은 것은 분자 간에 수소 결합을 하기 때문이다.

《정리》

수소 결합을 하는 수소 화합물은 수소 결합을 하지 않는 수소 화합물에 비해 대체로 끓는점이 높다. 또한 분산력은 모든 분자에 작용하는 힘으로 극성 분자의 경우도 분자량이 클수록 분산력이 크게 작용하여 끓는점이 높다.

(2) 증기 압력과 끓는점

① 끓는점

↳ 액체의 증기 압력과 액체의 표면을 누르고 있는 외부 압력(대기압)과 같아질 때의 온도를 끓는점이라 한다.

② 증기 압력

↳ 일정한 온도의 밀폐된 용기에 담은 액체는 표면에서 증발이 일어나다 화학1에서 배운 바와 같이 최종적으로 증발 속도와 응축 속도가 같아지는 동적 평형 상태에 이르게 된다. 이때 기체가 나타내는 압력을 증기 압력이라고 한다. 증기 압력은 온도에 영향을 받는다. 좀 더 직관적으로 설명하자면 증기가 되려는 힘이라고 할 수 있다.

기출 <제시문>으로 개념 확인하기

-2019학년도 연세대 원주캠퍼스 의예과

(다) 결합이나 분자의 극성을 나타낼 때에는 쌍극자 모멘트라는 양을 사용한다. 공유 결합 분자 내에서 전기 음성도가 큰 원자는 부분적인 음전하(δ^-)를 띠고, 상대적으로 전기 음성도가 작은 원자는 부분적인 양전하(δ^+)를 띠는데, 이처럼 일정한 거리에 떨어져 부분적인 전하를 띠는 것을 쌍극자라고 한다. 일반적으로 극성 분자에서 극성의 크기는 쌍극자 모멘트(μ)로 나타내며, 이는 두 원자가 가진 전하량(q)과 두 전하 사이의 거리(r)를 곱한 벡터량을 의미한다. 극성 분자들이 서로 끄는 힘을 쌍극자-쌍극자 힘이라고 한다.

-2022학년도 연세대 미래캠퍼스 의예과

(가) 물질을 이루는 분자의 상호 작용을 분자간 힘이라고 한다. 분자간 힘은 물질의 끓는점에 영향을 미치므로 끓는점으로 분자간의 힘의 크기를 알 수 있다. 분자간의 힘은 쌍극자-쌍극자 힘, 분산력, 수소 결합이 있다. 쌍극자를 가지는 극성 분자들이 가까워지면, 같은 전하 사이의 반발력을 최소화하고 반대 전하 사이의 인력을 최대화하도록 분자들이 배열한다. 이때 한 분자의 쌍극자와 이웃한 분자의 쌍극자 사이에 인력이 작용하는데, 이러한 분자 사이의 힘을 쌍극자-쌍극자 힘이라고 한다. 무극성 분자는 전자의 치우침 없이 전자가 고르게 분포한다고 가정하지만, 전자가 순간적으로 분자의 한쪽으로 치우치면 잠시 동안 쌍극자가 생길 수 있다. 이처럼 전자가 분자의 한쪽으로 치우치는 현상을 편극이라고 하고, 이때 순간적으로 생성되는 쌍극자를 순간 쌍극자라고 한다. 순간 쌍극자는 이웃한 분자의 전자 분포에 영향을 미쳐 또 다른 순간 쌍극자를 만들 수 있다. 이 두 순간 쌍극자 사이에 작용하는 약한 힘을 분산력이라고 한다. 전기 음성도가 큰 F, O, N 원자에 결합한 H 원자와 이웃한 분자의 F, O, N 원자 사이에 작용하는 강한 정전기적 인력을 수소 결합이라고 한다.

-2023학년도 중앙대 자연2

(마) 밀폐된 용기에 액체를 담아 두면 액체 표면에 있는 분자들이 분자 사이의 인력을 극복하고 기체 상태로 떨어져 나오는데, 이를 증발이라고 한다. 처음에는 용기 내 기체 분자 수가 적기 때문에 증발이 주로 일어나지만, 증발이 계속되면서 용기 내 기체 분자 수가 많아진다. 기체 분자들 중 일부는 액체 표면에 충돌하여 다시 액체로 돌아가는데, 이를 응축이라고 한다. 액체의 증발 속도는 일정한 온도에서 변하지 않으므로 시간이 지나면 증발 속도와 응축 속도가 같아지는 평형에 이른다. 이러한 동적 평형 상태에서 액체가 증발하여 생긴 기체가 나타내는 압력을 증기압(증기 압력)이라고 한다.

Optimized Solutions and Tips

※ 물질의 끓는점을 비교해야 하는 문제가 나온다면 무엇이 분자간 힘이 더 센지를 추론해야 한다.

수소 결합 여부 → 극성/무극성 분자 판단 → 분산력의 크기(≒ 분자량의 크기)
(∵ 수소 결합 > 쌍극자-쌍극자 힘 > 분산력)

위의 세 가지 기준을 순서대로 하나씩 체크하면서 비교를 해주자.

- 수소 결합이 공통적으로 존재한다면 수소 결합을 이루는 원자(F, O, N)의 전기 음성도가 더 큰 것이 수소 결합의 세기가 더 세다고 판단할 수 있다.
- 극성/무극성 분자 판단은 쌍극자-쌍극자 힘에 근거한 것이다.
- 분산력은 우선적으로 분자량의 크기로 비교해주면 되는데 만약에 비슷해서 비교가 안된다면 표면적을 따져주어야 한다.

목 차

1. INTRO

-P. 48

2. 응용 기출 해결 (대표 기출문제 및 자체 해설)

-P. 49~64

3. 2021학년도~2025학년도 기출문제 및 대학 공식 답안
(경희대 의학계열)

-P. 66~117

4. 2021학년도~2024학년도 기출문제 및 대학 공식 답안
(연세대 미래캠퍼스 의예과)

-P. 119~145

INTRO

안녕하세요! 「직보화논 개념편」에 이은 「직보화논 기출편」입니다. 사실 처음부터 기출편까지 기획했던 것은 아니었습니다. 그러나 개념과 문제풀이 사이에 어느정도 간극이 있다는 생각이 들었고 현실적으로 이를 개념편만으로는 수험생 스스로 해결하기 힘들 것 같았습니다. 또한 기출문제를 일일이 다운받고 여러 파일을 찾아가며 보는 것보단 하나로 통합되어 깔끔하게 편집된 것이 좋을 것 같아서 이렇게 기출편까지 제작하게 되었습니다.

「직보화논 기출편」은 우선 21학년도부터 24학년도까지의 경희대 의학계열과 연세대 미래캠퍼스 의예과 모의 논술과 본 시험의 문제와 대학 예시 답안을 모두 담았고, 경희대의 경우 25학년도 모의 논술까지 담았습니다. 21학년도부터 현재의 교육과정으로 바뀌었기 때문에 가장 현실적이면서도 적절한 범위라고 생각했습니다. 또한 가독성을 위해서 직접 타이핑을 하며 일관되게 편집을 했습니다...

그렇지만 이런 단순한 기출문제집으로 끝내면 학습에 어려움이 있을거라 판단하여 ‘응용 기출 해결’ 파트에 7개의 대표 기출문제와 자체 해설을 실었습니다. 딱딱한 답안 형식이 아닌, 비슷한 유형의 다른 기출문제까지도 해결할 수 있도록 개념을 문제풀이에 적용하는 과정을 그대로 보여드리려고 노력했습니다(본 시험에서는 답안을 간결하게 쓰시면 됩니다). ‘응용 기출 해결’ 파트를 기반으로 삼아서 그 뒤에 수록된 4년(5년)치 기출을 시험장에 들어가기 전에 최대한 모두 풀어보셨으면 좋겠습니다. 만약 충분한 시간이 없다면 ‘응용 기출 해결’ 파트라도 꼭 모두 풀어보시기 바랍니다. 작년 시험에서도 직보화논만 정독했다면 충분히 만점을 받을 수 있게 출제되었습니다. 시간이 없다면 직보화논이면 충분합니다. 화학 논술을 선택한 모든 여러분께 좋은 결과가 있기를 Team Uni-K가 기대하겠습니다.

대표 기출 1번

Topic 1

2022학년도 연세대학교 미래캠퍼스 의예과 기출

[제시문]

[가] 물질을 이루는 분자의 상호 작용을 분자간 힘이라고 한다. 분자간 힘은 물질의 끓는점에 영향을 미치므로 끓는점으로 분자간의 힘의 크기를 알 수 있다. 분자간의 힘은 쌍극자-쌍극자 힘, 분산력, 수소 결합이 있다. 쌍극자를 가지는 극성 분자들이 가까워지면, 같은 전하 사이의 반발력을 최소화하고 반대 전하 사이의 인력을 최대화하도록 분자들이 배열한다. 이때 한 분자의 쌍극자와 이웃한 분자의 쌍극자 사이에 인력이 작용하는데, 이러한 분자 사이의 힘을 쌍극자-쌍극자 힘이라고 한다. 무극성 분자는 전자의 치우침 없이 전자가 고르게 분포한다고 가정하지만, 전자가 순간적으로 분자의 한쪽으로 치우치면 잠시 동안 쌍극자가 생길 수 있다. 이처럼 전자가 분자의 한쪽으로 치우치는 현상을 편극이라고 하고, 이때 순간적으로 생성되는 쌍극자를 순간 쌍극자라고 한다. 순간 쌍극자는 이웃한 분자의 전자 분포에 영향을 미쳐 또 다른 순간 쌍극자를 만들 수 있다. 이 두 순간 쌍극자 사이에 작용하는 약한 힘을 분산력이라고 한다. 전기 음성도가 큰 F, O, N 원자에 결합한 H 원자와 이웃한 분자의 F, O, N 원자 사이에 작용하는 강한 정전기적 인력을 수소 결합이라고 한다.

[문제]

다음 물질들을 끓는점이 낮은 것부터 높은 순서로 나열하고, 그 이유를 논리적으로 설명하시오. (5점)

A: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_3$ B: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ C: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ D: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$

[해설]

문제 풀이에 앞서서 혹시나 위의 문제의 화학식을 이해하지 못하는 사람이 있을 수도 있어서 A를 예시로 설명해보겠다. 그냥 단순하게 표현하면 $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ 가 되겠지만 친절하게 구조를 알려주는 화학식이다. 우선 왼쪽부터 $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-O-CH}_3$ 가 연결되는 구조임을 나타내고 있다. 당황하지 말고 쓰인대로 봐주면 된다.

「직보하는 개념편」에서 이러한 문제를 푸는 방법에 대해 소개했었다. 끓는점은 분자간 상호작용의 세기에 비례하므로 각 물질에서 다르게 작용하는 분자간 힘을 파악하는 것이 핵심이다.

수소 결합 여부 → 극성/무극성 분자 판단 → 분산력의 크기(≒ 분자량의 크기)

(∵ 수소 결합) 쌍극자-쌍극자 힘) 분산력)

위의 기준을 따라서 차근차근 해결해보자. 우선 수소 결합을 하고 있는 분자를 찾아보자. B와 D에 수소결합이 존재한다. 수소 결합이 존재하는 B와 D 사이의 대소를 먼저 가려보자. 개념편에서 동일하게 수소 결합이 존재한다면 어느 것의 수소 결합이 더 센지 체크하라 했었다. N, O, F 중 전기 음성도가 큰 것이 더 강한 수소 결합을 형성한다. 여기서 보면 B는 O와, D

는 N과 수소 결합을 형성하고 있다. 따라서 끓는점은 $B > D$ 임을 확정할 수 있다. 이제 남은 A와 C를 극성/무극성 기준을 적용해 비교해보자. C의 경우 구조적으로 대칭을 이루는 무극성 탄화수소이다. (구조를 직접 그려볼 것) 반면, A는 사이에 O가 끼어 구조적 대칭이 깨진 극성 물질이다. 그러므로 극성인 A가 C보다 끓는점이 높다.

모두 종합해보면 $C < A < D < B$ 임을 알 수 있다. 여기서 분산력은 비교할 필요가 없었는데 극성/무극성으로 판단이 되지 않아서 분산력의 크기까지 비교해야 하는 경우에는 우선적으로 분자량의 크기를 비교해주면 되고, 이걸로도 안된다면 마지막으로 구조를 그려서 어떤 것의 표면적이 넓은지를 체크해주어야 한다.

경희대학교 의학계열 기출 2021학년도~2025학년도



2021학년도 경희대 의학계열 모의 논술

[문제 1] 다음 제시문을 읽고 논제에 답하시오. (40점)

[가] 원자나 분자는 크기가 아주 작은 입자이기 때문에 질량의 실제 값이 매우 작아 이를 그대로 사용하는 것은 불편하다. 따라서 원자의 질량은 특정 원자의 질량을 기준으로 하여 결정한 질량의 비, 즉 상대 질량을 사용하여 나타내며, 이렇게 정해진 값을 원자량이라고 한다. 현재는 질량수가 12인 탄소 원자(^{12}C)의 질량을 12로 정하고, 이를 기준으로 비교한 다른 원자들의 상대 질량 값을 원자량이라고 한다. 탄소로만 이루어진 다이아몬드 12g에는 탄소 원자가 약 6.02×10^{23} 개 들어 있다. 화학자들은 원자나 분자와 같이 매우 많은 수를 나타내기 위해 몰(mole)이라는 단위를 사용한다. 1몰은 6.02×10^{23} 개의 입자를 뜻하며, 6.02×10^{23} 을 아보가드로수(N_A)라고 한다.

[나] 염화 나트륨(NaCl)이 물에 녹으면 염화 나트륨 수용액이 된다. 이처럼 두 종류 이상의 순물질이 균일하게 섞여 있는 혼합물을 용액이라고 한다. 물과 같이 다른 물질을 녹이는 물질을 용매라고 하고, 용매에 녹는 물질을 용질이라고 한다. 일정량의 용액에 녹아 있는 용질의 상대적인 양을 용액의 농도라고 하는데, 용매와 용질이 섞인 비율에 따라 용액의 성질이 달라지므로 용액의 농도를 아는 것이 중요하다. 용액의 농도는 화학 반응에서의 양적 관계를 다룰 때 중요하다. 화학 반응은 수용액에서 많이 일어나며, 물질들은 일정한 입자 수의 비로 반응하므로 화학에서는 용질의 양을 몰로 나타낸 농도를 사용하는 것이 편리하다. 용액 1L 속에 녹아 있는 용질의 양(mol)을 나타낸 농도를 몰 농도라고 하며, 단위는 M 또는 mol/L를 사용한다.

$$\text{몰 농도 (M)} = \frac{\text{용질의 양 (mol)}}{\text{용액의 부피 (L)}}$$

[다] 원소 기호를 이용하여 복잡한 화합물을 화학식으로 간단하게 나타내듯이, 화학식을 이용하여 화학적 변화를 나타낸 것을 화학 반응식이라고 한다. 화학 반응이 일어나도 반응 전후 원자는 새로 생겨나거나 없어지지 않으며, 반응 물질의 원자 수 총합과 생성 물질의 원자 수 총합이 같은 것을 이용하여 화학 반응식을 나타낼 수 있다. 화학 변화를 화학식으로 나타낸 화학 반응식을 보면, 화학 반응에 관여하는 물질들의 종류뿐만 아니라 반응물들과 생성물들 사이의 양적 관계인 화학 양론(stoichiometry)도 알 수 있다.

[라] 화학 반응식은 반응 물질로부터 어떤 생성 물질이 만들어지는가 뿐만 아니라 반응 전후 물질의 양이 어떻게 변하는지도 나타낸다. 이때 물질의 양은 몰이나 부피(온도와 압력 조건이 일정할 때), 질량, 입자 수 등으로 나타낼 수 있다. 탄산칼슘과 묽은 염산의 반응에서 반응하는 탄산칼슘의 질량이 증가할수록 생성되는 이산화 탄소의 질량도 증가한다. 이때 탄산칼슘과 이산화 탄소의 몰수 비는 1 : 1로 항상 일정하며, 이는 화학 반응식의 계수 비와 같다. 즉, 화학 반응식의 계수 비는 화학 반응에 포함된 반응 물질과 생성 물질의 양적 관계를 나타낸다.

[마] 산소는 거의 모든 물질과 결합을 할 만큼 화학 반응을 잘하는 원소이다. 어떤 물질이 산소와 결합하거나 전자를 잃는 반응을 산화라고 한다. 산화와 반대로 어떤 물질이 산소를 잃거나 전자를 얻는 반응을 환원이라고 한다. 산소가 관여하거나 전자의 이동이 분명한 반응에서부터 전자가 이동하지 않고 원자 사이에 공유되어 공유 결합 물질이 생성되는 반응에 이르기까지 여러 가지 산화 환원 반응을 모두 설명하기 위해 산화수를 사용한다. 산화수란 공유 결합 물질에서 전기 음성도가 더 큰 원자로 공유 전자쌍이 완전히 이동한다고 가정할 때 각 원자가 갖게 되는 가상의 전하이다. 물질을 구성하는 원자의 산화수를 알면 화학 반응에서 산화되는 물질과 환원되는 물질을 판단할 수 있다. 화학 반응에서 산화수가 증가하는 것은 전자를 잃는 것을 뜻하고, 산화수가 감소하는 것은 전자를 얻는 것을 뜻한다. 따라서 산화수가 증가하면 산화, 산화수가 감소하면 환원된 것이다.

[1-1] 제시문 [가]와 [나]를 참조하여 다음 질문에 답하십시오.

농도가 0.101M인 KNO_3 용액 400ml에 농도가 0.740M인 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 용액을 몇 mL 가하면 NO_3^- 이온의 농도가 1.104 M인 용액을 만들 수 있을지에 대해 논술하십시오.
(단, N, O, Mg, K의 원자량은 각각 14, 16, 24.3, 39이다). (10점)

[1-2] 제시문 [가]~[마]를 참조하여 다음 질문에 답하십시오.

2.0M 농도의 HCl 200mL에 마그네슘(Mg) 3.645g을 넣어 모두 반응시켰다.

(1) 이때 일어나는 반응의 균형 잡힌 화학 반응식에 대해 논술하십시오. (3점)

(2) 반응이 완결된 용액에 남아 있는 HCl의 농도에 대해 논술하십시오 (단, 반응 전후의 용액의 부피는 일정하다고 가정하고 H, Mg, Cl의 원자량은 각각 1, 24.3, 35.5이다). (12점)

[1-3] 제시문 [가]~[마]를 참조하여 다음 질문에 답하십시오.

아연(Zn) 조각을 충분한 농도의 AgNO_3 수용액이 담긴 비커에 넣었다.

(1) 이때 일어나는 반응의 균형 잡힌 화학 반응식에 대해 논술하십시오. (3점)

(2) 2.500g의 아연 조각을 AgNO_3 용액에 넣고 어느 정도 시간이 흐른 후, 용액에 존재하는 고체를 분리하고 건조했다. 얻어진 고체의 질량이 3.894g이라면 고체에 존재하는 금속의 종류와 금속 각각의 질량에 대해 논술하십시오 (단, Zn와 Ag의 원자량은 각각 65.4와 107.9이고 소수점 세 자리 아래는 반올림한다). (12점)

2021학년도 경희대 의학계열 모의 논술 해설

UNIVERSITY'S SOLUTION

[문제 1-1]

혼합 용액에 존재하는 NO_3^- 이온의 몰수는 KNO_3 용액에 존재하는 NO_3^- 이온의 몰수와 가해지는 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 용액에 존재하는 NO_3^- 이온의 몰수의 합과 같고 용액의 부피도 각각의 용액의 부피의 합과 같다.

KNO_3 용액에 존재하는 NO_3^- 이온의 몰수는 $\frac{0.101\text{몰}}{1\text{L}} \times 0.4\text{L} = 0.0404\text{몰}$ 이다. $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 은 물에 녹아 2개의 NO_3^- 이온을 내놓으므로 가해지는 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 용액의 부피를 x 라 하면 추가되는 NO_3^- 이온의 몰수는 $\frac{0.740\text{몰}}{1\text{L}} \times 2 \times x\text{L} = 1.480x\text{몰}$ 이고 혼합 용액 전체의 부피는 $(x+0.4)\text{L}$ 가 된다.

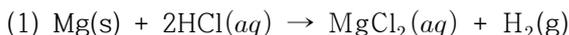
따라서 NO_3^- 이온의 농도가 1.104 M인 용액을 만들기 위해 가해지는 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 용액의 부피 x 는 $\frac{1.104\text{몰}}{1\text{L}} \times (x+0.4)\text{L} = (1.480x\text{몰}) + (0.0404\text{몰})$ 이고,

$$1.104x + 0.4416 = 1.480x + 0.0404 \text{이므로}$$

$$0.376x = 0.4012, x = 1.067 \text{이다.}$$

따라서 가해야 할 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 용액의 부피는 1.067L (1067mL)이다.

[문제 1-2]



$$(2) 3.645\text{g에 해당하는 Mg의 몰수는 } 3.645\text{g} \times \frac{1\text{몰 Mg}}{24.3\text{g Mg}} = 0.15\text{몰 이고}$$

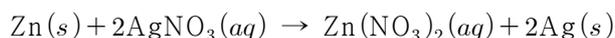
Mg 1몰은 2몰의 HCl과 반응하므로 반응한 HCl의 몰수는 0.3몰이다.

2.0M 농도의 HCl 200mL에 존재하는 HCl의 몰수는 $\frac{2.0\text{몰}}{1\text{L}} \times 0.2\text{L} = 0.4\text{몰}$ 이고 HCl 0.3몰이 Mg과 반응하였으므로 용액 중에 남은 HCl의 몰수는 0.1몰이다.

용액의 부피는 변화가 없다고 가정하였으므로 남은 용액의 HCl의 농도는 $\frac{0.1\text{몰}}{0.2\text{L}} = 0.5\text{M}$ 이다.

[문제 1-3]

(1) Zn이 Zn^{2+} 로 산화되고 Zn 1몰당 2몰의 Ag^+ 이 환원되어 Ag가 된다.



(2) Zn가 산화되어 Ag^+ 가 환원되는 반응이므로 생성된 Ag의 질량을 $x\text{g}$ 이라고 가정하면 산화된 Zn의 질량은 $x\text{g}(\text{Ag}) \times \frac{1\text{몰}(\text{Ag})}{107.9\text{g}(\text{Ag})} \times \frac{1\text{몰}(\text{Zn})}{2\text{몰}(\text{Ag})} \times \frac{65.4\text{g}(\text{Zn})}{1\text{몰}(\text{Zn})} = 0.303x\text{g}$ 이다.

그리고 산화되지 않고 남은 Zn의 질량은 $2.50\text{g} - 0.303x\text{g}$ 이다.

얻어진 고체의 질량이 3.50g 이므로 고체의 질량은 아래와 같이 정리할 수 있다.

$$3.894x\text{g} = x\text{g} + (2.500 - 0.303x)\text{g} = (2.500 + 0.697x)\text{g}$$

$$0.697x = 1.394, x = 2.00\text{이다.}$$

따라서 고체에 존재하는 금속은 Ag과 Zn이고, 각각의 질량은 2.000g 과 1.894 g 이다.

연세대학교 미래캠퍼스 의예과 기출
2021학년도~2024학년도



2021학년도 연세대 미래캠퍼스 의예과

[문제 11] 아래의 제시문을 읽고 다음 질문에 답하시오. (20점)

[가] 보어 원자 모형에 따르면, 전자는 특정한 에너지 준위($E_n, n = 1, 2, 3, \dots$)를 갖는 원형 궤도를 따라 원자핵 주위를 원운동하고 있다. 그러나 이 모형은 강한 자기장 속에서 원자의 선 스펙트럼이 여러 갈래로 갈라지는 현상 등 원자의 스펙트럼과 관련된 다양한 현상을 설명할 수 없었다.

[나] 하이젠베르크는 전자의 위치를 정확히 측정하려고 하면 운동량의 오차가 커지고, 반면에 운동량을 정확히 측정하려고 하면 위치의 오차가 커져서, 두 물리량을 동시에 정확히 측정하는 것이 불가능하다는 것을 알아내고, 이를 불확정성 원리라고 하였다.

[다] 현대 원자 모형에서는 원자 내 전자의 운동을 원자핵 주위에서 전자가 발견될 확률 분포로 나타낸다. 이것을 오비탈이라고 하며, 전자의 위치를 공간상에서 점 밀도로 나타낼 수 있다. 원자 내에 있는 전자의 상태는 네 가지 양자수[주 양자수(n), 부 양자수(l), 자기 양자수(m_l), 스핀 자기 양자수(m_s)]로 나타낸다.

[라] 수소 원자와 다전자 원자 오비탈의 에너지 준위는 다음과 같다.

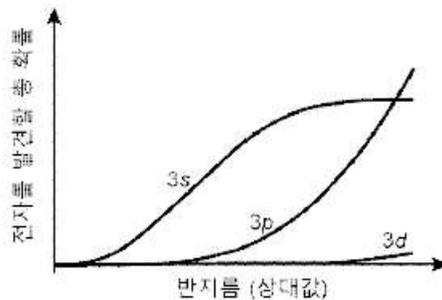
수소 원자: $1s < 2s = 2p < 3s = 3p = 3d < 4s = 4p = 4d = 4f < \dots$

다전자 원자: $1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p < \dots$

[마] 다전자 원자에서는 전자 사이의 반발력이 전자에 작용하는 원자핵의 인력을 약하게 만드는데, 이것을 가려막기 효과라고 한다. 가려막기 효과를 고려하여 전자에 실제로 작용하는 핵전하를 유효 핵전하라고 한다.

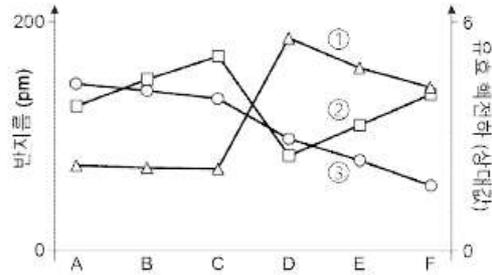
[11-1] 제시문 [가], [나], [다]를 참고하여 현대 원자 모형에서 오비탈을 점 밀도 그림의 형태로 표현하는 이유를 서술하시오. (3점)

[11-2] 중심이 원자핵이고 반지름이 R 인 구를 생각해 보자. $3s, 3p, 3d$ 오비탈에 대해 구내에서 전자를 발견하게 될 총 확률을 R 의 함수로 그리면 아래의 그림과 같다. 이 사실을 바탕으로, 다전자 원자에서 주 양자수가 같고 부 양자수가 다른 오비탈의 에너지 준위가 $s < p < d < f$ 순으로 증가하는 이유를 수소 원자와 비교하여 서술하시오. (7점)



[11-3] 알루미늄($_{13}\text{Al}$) 원자의 바닥 상태 전자 배치에서 가장 높은 에너지 준위를 가지는 오비탈에 존재하는 전자의 상태를 나타내는 양자수(n, l, m_l, m_s)를 쓰시오. 만약 양자수가 여러 개이면 모두 쓰고, 양자수에 따라 전자의 상태가 어떻게 다른지 서술하시오. (3점)

아래의 그림은 주기율표에서 비활성 기체를 제외한 2주기, 3주기의 원자 번호가 연속되는 6개 원소의 주기적 성질을 보여주고 있다. (단, A~F는 임의의 원소 기호이다)



[11-4] ①, ②, ③이 각각 무엇을 나타내는지 쓰고, 이러한 경향성이 나타나는 까닭을 서술하시오. (3점)

[11-5] B와 E, C와 D가 결합하여 각각 화합물 EB, DC를 형성할 때, 두 입자의 핵 간 거리(값)에 따른 에너지 변화 그래프를 그리고, 이를 바탕으로 두 화합물의 녹는점을 비교하여 서술하시오. (4점)

[문제 12] 아래 제시문을 읽고 문제에 답하시오. (20점)

[가] 증기 압력은 액체에서 증발과 응축이 평형을 이룰 때 이 액체의 증기가 나타내는 압력이다. 같은 온도에서 순수한 용매인 물에 설탕과 같은 비휘발성 용질을 녹이면, 용질 입자가 용액 표면의 일부를 차지하므로 용액 표면에서의 용매의 입자 수가 줄어든다. 즉, 비휘발성 용질이 용매 입자의 증발을 방해하여 순수한 용매만 있을 때보다 증발하려는 경향도 줄어들게 된다. 결국 용액의 증기 압력은 순수한 용매의 증기 압력보다 낮아지게 되는데, 이러한 현상을 증기 압력 내림(ΔP)이라고 한다.

[나] 라울은 '비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 용액의 증기 압력은($P_{\text{용액}}$) 순수한 용매의 증기 압력($P_{\text{용매}}$)과 용액 내 용매의 몰 분율($X_{\text{용매}}$)의 곱과 같다'는 사실을 밝혀냈다. 이를 라울 법칙이라고 한다. 용액의 증기 압력 내림은 순수한 용매의 증기 압력에서 용액의 증기 압력을 뺀 것과 같다.

[다] 같은 온도에서 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액의 증기 압력은 순수한 용매의 증기 압력보다 작으므로 용액의 끓는점은 순수한 용매의 끓는점보다 높아지는데, 이러한 현상을 끓는점 오름이라고 한다. 용액의 끓는점 오름(ΔT_b)은 용액의 끓는점과 순수한 용매의 끓는점의 차이이며 몰랄 농도(m)에 비례한다.

$$\Delta T_b = K_b \times m \quad (K_b: \text{몰랄 오름 상수})$$

[12-1] 25°C에서 물 500mL에 일정한 양의 비휘발성, 비전해질 용질 A가 녹아 있는 용액의 증기 압력이 23.2mmHg일 때, 이 용액의 끓는점을 구하시오. (단, 소수점 둘째 자리에서 반올림하시오. 25°C에서 순수한 물의 증기 압력과 밀도는 각각 23.8mmHg, 1.00g/mL이고, 순수한 물의 끓는점은 100°C, 몰랄 오름 상수는 $K_b = 0.51^\circ\text{C}/m$ 이다.) (8점)

[12-2] 1기압에서 일정량의 물에 A 38g, B 160g을 녹인 수용액을 일정한 열원으로 가열하다가 시간 t_2 에서 C 400g을 첨가하였다. 아래 그림은 시간에 따른 용액의 온도를 나타낸 것이다. 시간 t_1 에서 물의 질량(w_{t_1})과 시간 t_3 에서 물의 질량(w_{t_3})의 비율 $w_{t_1} : w_{t_3}$ 를 구하시오. 그리고 시간에 따른 몰랄 농도를 그래프로 나타내고, 그 이유를 설명하시오. (단, 화학식량은 A가 C의 3.8배, B가 C의 2배이다. A, B, C는 모두 비휘발성, 비전해질이고, 서로 반응하지 않는다.) (12점)

2021학년도 연세대 미래캠퍼스 의예과 해설

UNIVERSITY'S SOLUTION

[문제 11-1]

제시문 (가)의 보어 원자 모형은 원자 스펙트럼과 관련된 다양한 실험적 결과를 해석하지 못하므로 원자 내 전자의 운동을 적절하게 설명하지 못함을 알 수 있다. 게다가 이 모형에 따르면, 전자는 원형 궤도를 따라서 원운동하고 있으므로 특정 시간에서 원자핵 주위를 운동하고 있는 전자의 위치를 정확하게 측정할 수 있는데, 이는 제시문 (나)의 불확정성 원리에 어긋난다. 제시문 (나)의 불확정성 원리에 따르면, 전자의 운동량과 위치를 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하므로 원자핵 주위를 지속적으로 운동하고 있는 전자에 대해 특정 시간에서 전자 위치를 정확하게 측정하는 것은 불가능함을 알 수 있다. 이에 따라, 현대 원자 모형에서는 원자 내 전자의 운동을 원자핵 주위에서 전자가 발견될 확률인 오비탈(점 밀도 그림)로 표현하는 것이다.

[문제 11-2]

문제에 주어진 그래프에서, 원자핵과 가까운 위치에서 전자를 발견할 총 확률은 $s > p > d > f$ 순이다. 이는 주 양자수 n 이 동일한 경우 부 양자수 l 이 작은 오비탈부터 전자가 채워짐을 의미한다. 제시문 (마)에 따르면, 다전자 원자에서는 가려막기 효과가 존재하므로 (n, l) 오비탈의 전자는 (k_1, k_2) [$k_1 = 1, 2, \dots, n-1$ 일 때, $k_2 = 0, 1, \dots, k_1 - 1$; $k_1 = n$ 일 때, $k_2 = 0, 1, \dots, l$] 오비탈에 존재하는 전자들로부터 가려막기 효과를 경험하게 된다. 앞에서 설명한 것처럼 n 값이 동일할 때 l 값이 작은 오비탈부터 전자가 채워지므로, l 값이 커짐에 따라 오비탈의 전자에 작용하는 가려막기 효과는 $s < p < d < f$ 순이 되고 그 결과, 유효 핵전하 및 핵과 전자 사이의 인력은 $s > p > d > f$ 순이 된다. 따라서 주 양자수가 같을 때 부 양자수에 따른 오비탈 에너지 준위는 $s < p < d < f$ 순이다. 이에 반해, 수소 원자에는 전자가 1개만 존재하여 가려막기 효과가 없으므로 s, p, d, f 오비탈의 에너지 준위는 같다.

[문제 11-3]

Al의 바닥상태 전자 배치는 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$ 이다.

가장 높은 에너지 준위를 가지는 오비탈은 $3p$ 오비탈이므로

주 양자수 $n = 3$

부 양자수 $l = 1$

가능한 자기 양자수 $m_l = 1, 0, -1$

가능한 스핀 자기 양자수 $m_s = +\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$

그러므로 가능한 양자수 (n, l, m_l, m_s) 를 써보면,

$(3, 1, 1, +\frac{1}{2}), (3, 1, 1, -\frac{1}{2}),$

$$(3, 1, 0, +\frac{1}{2}), (3, 1, 0, -\frac{1}{2}),$$

$$(3, 1, -1, +\frac{1}{2}), (3, 1, -1, -\frac{1}{2})$$

m_l 값이 다르면 p 오비탈의 방향이 다르고

m_s 값이 다르면 전자의 스핀이 다르다.

[문제 11-4]

①: 원자 반지름

A~C, D~F: 같은 주기 내에서 유효 핵전하가 증가함에 따라 원자 반지름이 점차 감소한다.

C-D: 전자가 껍질 수가 2개에서 3개로 증가함에 따라 원자 반지름 급격히 증가한다.

②: 유효 핵전하

A~C, D~F: 같은 주기에서 오른쪽으로 갈수록 원자핵에 양성자가 하나씩 더해지고, 원자가 껍질에 전자가 하나씩 더해진다. 양성자가 하나 증가하면 핵전하는 1 만큼 증가한다. 그러나 원자가 껍질에 더해진 전자는 다른 전자들에 의하여 원자핵으로부터 완전히 가려지지도 않고, 다른 전자들을 완전히 가리지도 못한다. 즉, 원자가 껍질에 더해진 전자에 의한 가려막기 효과는 비교적 작다. 따라서 같은 주기에서 한 칸 오른쪽으로 갈 때, 핵전하는 1 만큼 증가하나 더해진 전자는 이를 완전히 상쇄하지 못하므로, 결과적으로 유효 핵전하는 증가한다.

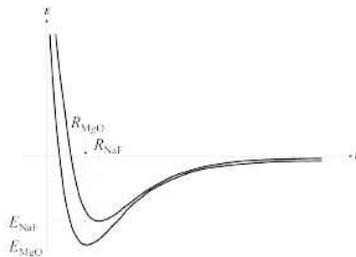
C-D: 전자가 껍질의 수가 2개에서 3개로 증가함에 따라, 원자핵으로부터 가장 멀게 위치한 3 번째 원자가 껍질에 존재하는 전자가 느끼는 유효 핵전하는 급격히 감소한다.

③: 안정화된 이온 반지름

A~F는 동일한 원자가 껍질과 전자 배치를 가지는 등전자 이온($A^{3-}, B^{2-}, C^{-}, D^{+}, E^{2+}, F^{3+}$ 이온)을 형성한다. 따라서 유효 핵전하가 증가함에 따라 핵과 전자 사이의 인력이 증가하므로 이온 반지름이 점차 작아진다.

[문제 11-5]

B는 O(산소), C는 F(플루오린), D는 Na(소듐), E는 마그네슘(Mg)이므로 화합물 EB는 MgO, DC는 NaF이다. 두 화합물 모두 이온결합 화합물이며 NaF는 1가 이온 사이의 결합, MgO는 2가 이온 사이의 결합이다. 이온 결합의 세기는 이온의 전하량의 곱에 비례하므로 MgO의 결합력이 더 세고 이온 사이의 거리가 더 짧다. 각각의 화합물에 대해 결합 에너지 그래프를 그리면 다음과 같다. 이 그래프와 이온 사이의 결합력을 고려할 때, MgO의 녹는점이 더 높을 것이다.



[문제 12-1]

용액, 용매의 증기 압력이 각각 23.2 torr, 23.8 torr이므로

$$x_{\text{용매}} = \frac{P_{\text{용액}}}{P_{\text{용매}}} = \frac{23.2\text{mmHg}}{23.8\text{mmHg}} = \frac{116}{119}$$

$$x_{\text{용매}} = \frac{N_{\text{용매}}}{N_{\text{용매}} + N_{\text{용질}}}$$

$$N_{\text{용질}} = \frac{1 - x_{\text{용매}}}{x_{\text{용매}}} \times N_{\text{용매}} = \frac{1 - \frac{116}{119}}{\frac{116}{119}} \times (500\text{mL}) \frac{1.00\text{g}}{1\text{mL}} \frac{1\text{mol}}{18\text{g}} = \frac{125}{174}\text{mol}$$

용액의 끓는점을 구해보면,

$$\begin{aligned} T_{b,\text{용액}} &= T_{b,\text{용매}} + \Delta T_b \\ &= T_{b,\text{용매}} + K_b \times m \end{aligned}$$

$$= 100^\circ\text{C} + (0.51^\circ\text{C/m}) \times \frac{\frac{125}{174}\text{mol}}{(500\text{mL}) \frac{1\text{g}}{1\text{mL}} \frac{1\text{kg}}{1000\text{g}}}$$

$$\begin{aligned} &= 100 + \frac{85}{116}^\circ\text{C} \\ &= 100.7^\circ\text{C} \end{aligned}$$

[문제 12-2]

(1) 물의 질량비 $w_{t_1} : w_{t_3}$ 계산

t_1 에서 A, B 수용액의 끓는점 오름 $\Delta T_b = 0.5^\circ\text{C}$

t_3 에서 A, B, C 수용액의 끓는점 오름 $\Delta T_b = 3.0^\circ\text{C}$

$$m = \frac{\Delta T_b}{K_b} \text{이므로 } m_{(A,B)} : m_{(A,B,C)} = 1 : 6 \dots \textcircled{1}$$

C의 화학식량을 n 으로 놓으면

$$m_{(A,B)} = \frac{N_A + N_B}{w_{t_1}} = \frac{\frac{38\text{g}}{3.8\text{ng/mol}} + \frac{160\text{g}}{2\text{ng/mol}}}{w_{t_1}\text{kg}} = \frac{90}{n \cdot w_{t_1}}\text{mol/kg}$$

$$m_{(A,B,C)} = \frac{N_A + N_B + N_C}{w_{t_3}} = \frac{\frac{38\text{g}}{3.8\text{ng/mol}} + \frac{160\text{g}}{2\text{ng/mol}} + \frac{400\text{g}}{n\text{ng/mol}}}{w_{t_3}\text{kg}} = \frac{490}{n \cdot w_{t_3}}\text{mol/kg}$$

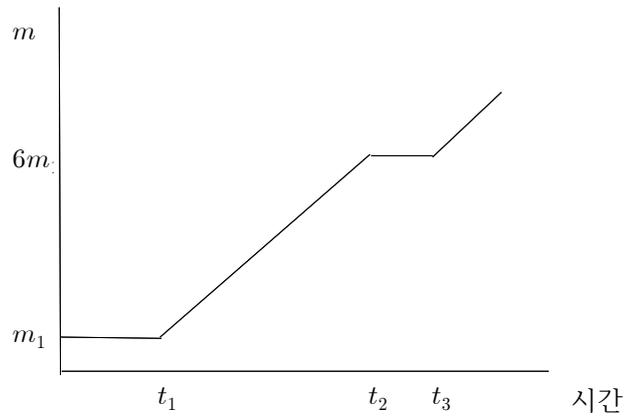
위 결과를 식 ①에 대입하면,

$$\frac{90}{n \times w_{t_1}} : \frac{490}{n \times w_{t_3}} = 1 : 6$$

$$\frac{540}{w_{t_1}} = \frac{490}{w_{t_3}}$$

$$\therefore w_{t_1} : w_{t_3} = 540 : 490$$

(2) 몰랄 농도 그래프



연번	시간	몰랄 농도 변화
1	구간 $(0, t_1)$	용액이 끓지 않으므로 초기 몰랄 농도 m_1 이 유지된다.
2	구간 (t_1, t_2)	용액이 끓으면서 물의 질량이 감소하여 몰랄 농도가 증가한다.
3	시간 t_2	C를 첨가하여 용액의 몰랄 농도가 초기 몰랄 농도의 6배인 $6m_1$ 이 된다.
4	구간 (t_2, t_3)	C의 첨가에 따른 용액의 끓는점 오름 현상에 의해 용액이 끓지 않으므로 몰랄 농도 $6m_1$ 이 유지된다.
5	시간 t_3 이후	용액이 끓으면서 물의 질량이 감소하여 몰랄 농도가 증가한다.