

1. 우리 생활 속의 화학

화학의 유용성

| | |
|-----------|-------------------------------|
| 150만 년 전 | 불의 발견·이용 → 금속 제련 |
| B.C. 5000 | 구리의 제련 |
| B.C. 1300 | 철의 제련 |
| 중세·근대 | 연금술의 발전 → 화학적 조작·새로운 물질 발견 계기 |
| 1789 | 라부아지에 화학 혁명: 물질이 산소와 결합해 연소됨 |

1) 식량 문제 해결

| | |
|---------|--|
| 식량 문제 | 산업 혁명 이후 인구의 급격한 증가로 천연 비료에 의존하던 농업이 한계에 이름 |
| 질소 비료 | 농업 생산량 높이기 위해 질소 비료 필요 |
| 암모니아 합성 | 질소는 단백질·핵산 구성하나 N ₂ 직접 이용 불가능 하버·보슈는 공기 중의 질소를 수소와 반응시켜 암모니아를 대량으로 합성하는 방법 개발 질산·황산과 반응시켜 질산·황산암모늄 비료 만들 최적 온도·압력·촉매를 찾기 위한 실험 |

2) 의류 문제 해결

| | |
|-------|--|
| 의류 문제 | 식물에서 얻는 천연 섬유는 강도↓·가격↑·대량 생산 어렵 |
| 합성 섬유 | 합성 섬유: 간단한 분자를 이용해 합성한 섬유 만드는 원료에 따라 다양한 특징을 만들 수 있음 → 합성 섬유로 값싸고 다양한 기능 있는 의복 제작 가능 |

| 천연 섬유 | 합성 섬유 |
|---|--|
| 면, 마, 모, 견 | 나일론, 폴리에스터 |
| 흡습성·축감↓ 질기지 않아 쉽게 닳음 생산량 일정× 생산 과정에 시간·노력↑ | 흡습성↑ 질기고 쉽게 닳지 않음 대량생산 가능 세탁이 간편 해충·곰팡이의 피해× 다양한 기능의 섬유 제작 가능 |

| 나일론 | |
|-----|---|
| 특징 | 캐러티스가 개발한 최초의 합성 섬유 |
| 장점 | 질기다·물을 흡수해도 팽창하지 않는다 오랫동안 변하지 않는다 → 의류, 산업용(전선·그물·밧줄)으로 이용됨 |
| 단점 | 고온에 비교적 민감해 변형됨 황변 현상 일어남 |

3) 주거 문제 해결

주거 문제: 산업 혁명 이후 인구 급격히 증가해 주거 공간 필요

| | | |
|--------|--|------------------|
| 철 | 단단·내구성 | 골조·배관·가전제품·생활제품 |
| 스티로폼 | 단열재·가벼움·부식×·열에 약함 | |
| 시멘트 | 석회석(CaCO ₃) 가열해 만든 생석회(CaO) + 점토 | |
| 콘크리트 | 시멘트+물·모래·자갈 | 압축에 강·잡아당기는 힘에 약 |
| 철근콘크리트 | 콘크리트+철근→강도↑ | 주택·건물·도로 건설 |
| 유리 | 모래의 이산화규소(SiO ₂) | 건물의 외벽·창 |

→ 주택·건물·도로의 대규모 건설이 가능하게 됨

탄소 화합물의 유용성

1) 탄소 화합물

탄소 골격에 H·O·N·S·P·할로젠 등이 공유 결합해 이뤄진 화합물 ex) 아미노산, DNA, 화석 연료, 의약품, 합성 섬유

2) 탄소 화합물의 다양성

| |
|---------------------------------------|
| 탄소 원자는 최대 다른 원자 4개와 결합→단일·이중·삼중 결합 가능 |
| 탄소 사이의 다양한 결합이 가능: 고리·사슬·가지를 친 사슬 |
| H·O·N 등의 원자와도 결합함 |

3) 탄화수소

C·H로만 이뤄짐

연소할 때 많은 열이 발생 → 연료로 사용

완전 연소되면 CO₂, H₂O 생성됨

| | | |
|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 메테인(CH ₄) | 프로페인(C ₃ H ₈) | 뷰테인(C ₄ H ₁₀) |
| 정사면체 | 사슬 | 사슬 |
| 가장 간단한 탄화수소 액화 천연가스 주성분 | 액화 석유가스 주성분 | |
| 실온에서 기체·무색무취 | | |
| 가정용 연료 | 차량·상업용 연료 | 차량·상업·휴대용 연료 |

| | LNG(액화 천연가스) | LPG(액화 석유 가스) | |
|-------|---|--|------|
| 주성분 | 메테인 | 프로페인 | 뷰테인 |
| BP(C) | -162.0 | -42.1 | -0.5 |
| 특징 | 끓는점↓→기화 쉬움·액화 어려움→용기에 저장·운반× 가스관 통해 공급 | 액화 용이→용기 저장·운반 겨울철에는 기화되기 쉬운 프로페인 비율을 높여 공급 | |
| 이용 | 도시가스 | 차량·상업용 연료 | |

■ 연료의 연소 생성물 확인 실험

| | |
|----|--|
| 과정 | 연료를 알코올램프에 넣고 연소→발생 기체를 석회수에 통과 연소될 때 비커를 거꾸로 씌었다가 비커 안쪽에 액체 방울이 생기면 푸른색 염화 코발트 종이를 댐 |
| 결과 | 석회수가 뿌옇게 흐려짐·푸른색 염화 코발트 종이 붉어짐 |
| 결론 | Ca(OH) ₂ (aq) + CO ₂ (g) → CaCO ₃ (s) + H ₂ O(l) 석회수에 탄산칼슘이 생겨서 뿌옇게 흐려짐→기체는 CO ₂ 푸른색 염화 코발트 종이는 물에 의해 붉게 변함→액체는 물 |

4) 기타 탄소 화합물

| 에탄올(C ₂ H ₅ OH) | 아세트산(CH ₃ COOH) |
|--|--|
| 에테인(C ₂ H ₆)에서 H 대신 OH 결합 술의 주성분: 효모를 이용해 과일· 곡물의 당을 발효시킨 양친매성 | 메테인에서 H 대신 COOH 결합 알코올이 발효돼 생성(자연적으로) 인류가 이용해 온 대표적 발효식품 |
| 25°C에서 무색 액체 | |
| 수용액은 중성 | 수용액은 약한 산성 |
| 소독용 알코올·약품·용매·연료 | 의약품(아스피린)·플라스틱·염료 |

| 폼알데하이드(CH ₂ O) | 아세톤(C ₃ H ₆ O) |
|---------------------------|--------------------------------------|
| 모든 원자가 동일 평면에 존재 | 프로페인 2-C에 H 2개 대신 O 결합 |
| 25°C에서 무색 기체·자극적 냄새 | 25°C에서 무색 액체·특유의 냄새 |
| 물에 잘 용해됨 | |
| 플라스틱·가구용 접착제 | 탄소화합물 용매·매니큐어 제거제 |

탄소 화합물과 우리 생활

1) 원유의 분별 증류

끓는점 차이를 이용: 낮은 물질이 먼저 기화해 증류탑 위쪽에서 액화
탄소 수가 클수록 끓는점 높아 아래쪽에서 액화됨

| | | | |
|---------|------|---|----------|
| BP ↓ | 석유가스 | 가정용 연료 | 탄소수 ↓ |
| | 휘발유 | 자동차 연료 | |
| | 나프타 | 플라스틱·의약품·화장품·페인트·합성고 무·스티로폼·합성섬유·비닐·전선피복 | |
| | 등유 | 항공기 연료 | |
| | 경유 | 디젤 엔진 차량 연료 | |
| | 윤활유 | | |
| ↑ | 중유 | 선박 연료 | ↑ |
| | 찌꺼기 | 도로 포장재 원료 | |

2) 생활 속의 탄소 화합물

플라스틱: 가볍고 힘에 강하고 녹슬지 않고 대량 생산 가능해 값싸
아세틸살리실산(아스피린): 살리실산·아세트산 반응시킨 해열·진통제

2. 화학식량과 몰

| | |
|-----|---|
| 원자량 | 질량수 12인 탄소(C)의 원자량을 12로 함 탄소를 기준으로 비교한 원자의 상대적인 질량 → 단위× 사용하는 이유: 원자 1개의 질량은 매우 작아 측정 어렵 |
| 분자량 | 분자: 독립적으로 존재 가능한 원자들의 공유결합 분자를 구성하는 모든 원자의 원자량 합 |
| 기타 | 이온 결합 물질: $NaCl$, $CaCl_2$ 금속 결합 물질: Fe, Cu 공유 결합 물질 중 이산화규소(SiO_2), 다이아몬드(C) 화학식을 이루는 원자들의 원자량을 합함 |

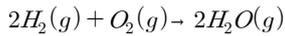
몰: 원자·분자·이온 등의 입자 수를 나타낼 때 사용하는 묶음 단위
사용하는 이유: 매우 작고 가벼워서 양이 적어도 수가 많기 때문에
아보가드로 수(N_A) = 6.02×10^{23} 1몰 = N_A 개의 입자

| | |
|-------|--|
| 질량 | 물질의 화학식량 뒤에 g 붙임 |
| 기체 부피 | 아보가드로 법칙: 모든 기체는 같은 온도와 압력에서 같은 부피 속에 같은 수의 분자가 들어있다. 기체 1몰의 부피: 1몰 = 22.4L (0°C, 1기압) |
| 기체 밀도 | 밀도 = 질량/부피 |

3. 화학 반응식과 용액의 농도

화학 반응식

계수는 가장 간단한 정수로 나타내고 1이면 생략한다



계수 비=반응 몰 비=반응 분자 수 비=(기체)반응 부피 비≠반응 질량 비
반응물과 생성물의 질량 총합은 같다

용액의 농도

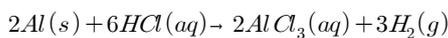
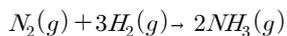
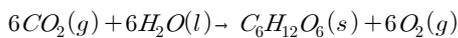
| | |
|----|-----------------------------------|
| 용해 | 용매(녹이는 물질)와 용질(녹는 물질)이 고르게 섞이는 현상 |
| 용액 | 두 종류 이상의 순물질이 균일하게 섞여 있는 혼합물 |

| | |
|-------------|---|
| 퍼센트 농도(%) | 용액 100g 속에 녹아 있는 용질의 양 온도나 압력의 영향을 받지 않음 퍼센트 농도(%) = $\frac{\text{용질의 질량}}{\text{용액의 질량}} \times 100$ |
| 몰 농도(M·몰/L) | 용액 1L 속에 녹아 있는 용질의 양(몰) 온도에 따라 용액의 부피가 변하므로 몰 농도 변함 몰 농도(M) = $\frac{\text{용질의 양(몰)}}{\text{용액의 양(L)}}$ |

■ 용액 만들기

| | |
|-----|---|
| 준비물 | 부피 플라스크, 전자저울, 비커 |
| 과정 | 0.1M $NaOH$ 수용액 1L 만들기 [1] $NaOH$ 4g를 적당량 증류수가 담긴 비커에 녹임 [2] 1L 부피 플라스크에 [1]을 넣음 [3] 증류수로 비커를 씻어 묻어 있는 용액까지 넣음 [4] 부피 플라스크에 증류수를 2/3 정도 채우고 섞음 [5] 표시선까지 증류수를 가하고 충분히 흔들어줌 |

화학식 정리



4. 원자의 구조 & 5. 현대적 원자 모형과 전자 배치

원자의 구성 입자

| | 질량 | 상대적 질량 | 전하량(C) | 상대적 전하 |
|--------|-------------------------|--------|------------------------|--------|
| 양성자(p) | 1.673×10^{-24} | 1 | $+1.6 \times 10^{-19}$ | +1 |
| 중성자(n) | 1.675×10^{-24} | 1 | 0 | 0 |
| 전자(e-) | 9.11×10^{-28} | 1/1837 | -1.6×10^{-19} | -1 |

$$\text{질량수} = \text{양성자수} + \text{중성자수}$$

$$12 \text{ C } 6$$

원자 번호 = 양성자수 = 원자의 전자 수

전자의 질량은 무시할만큼 작음

동위 원소: 원자번호 같음·질량수 다름 → 물리적 성질 같음·화학적 성질 다름
ex) 수소, 중수소, 삼중수소

대부분 원소들은 동위 원소가 있고 자연 상태에서 비율 일정

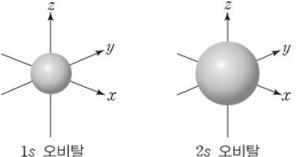
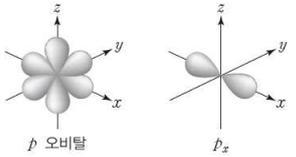
평균 원자량 = 모든 동위원소의 원자량×존재 비율 합

원자 모형의 발전 과정

| 전자의 발견 | |
|--|--|
| 1878년 크룩스 | 방전관에 높은 전압을 걸 때 -극 → +극 흐르는 빛을 음극선이라 명명 |
| 1897년 톰슨의 음극선 실험 | [1] 진로에 장애물을 설치하면 그림자 생김 → 직진함 [2] 진로에 바람개비 설치하면 회전함 → 질량을 가진 입자의 흐름 [3] 전기장에서 진로가 +극으로 흐름 → 음전하 띰 -극으로 사용한 금속·방전관 안의 기체 관계없이 같은 특성의 음극선 → 음극선의 구성 입자가 모든 물질의 공통적인 입자라 생각·전자라 명명 |
| 톰슨의 원자 모형 | |
| 음극선 실험 → 원자가 음전자를 포함함 → +전하가 고르게 분포된 공에 전자가 박혀 있는 모형 | |
| 원자핵의 발견 | |
| 1911년 러더퍼드의 α입자 산란 실험 | 금박 주위에 원형 형판 스크린을 장치하고 α입자를 금박에 충돌시킴 → 대부분의 α입자는 금박을 통과·직진하나 극히 일부는 경로가 휜·튀김 → 금박을 구성하는 원자의 대부분은 빈 공간·α입자를 튕겨 내는 매우 작고 원자 질량의 대부분을 차지하는 양전하 입자 존재·원자핵이라 명명 |
| 러더퍼드의 원자 모형 | |
| +전하를 띤 매우 작은 원자핵이 원자의 중심에 있고, -전하를 띤 전자가 원자핵 주위를 도는 모형 | |
| 수소 원자의 선 스펙트럼 | |
| 수소 기체를 방전관에 넣고 고전압으로 방전 → 빛 방출 → 프리즘에 통과 → 불연속적인 선 스펙트럼 E를 흡수해 들뜬 전자가 에너지를 방출하며 차이만큼의 E를 빛으로 방출 | |
| 보어의 원자 모형 | |
| 수소 원자의 불연속적 선 스펙트럼을 설명하기 위해 제안됨 전자는 원자핵 주위의 일정한 궤도(전자껍질)를 원운동·그 사이엔 존재× 핵에서 가까운 쪽부터 K(주양자수 n=1), L(n=2), M, N 전자 껍질의 에너지 준위는 주양자수에 의해서만 결정 $E_n = -\frac{1312}{n^2} kJ/mol$ | |
| 원자핵에서 멀어질수록 에너지 준위 ↑·인접한 껍질 간 에너지 간격 ↓ 같은 궤도에서 E 흡수·방출×, 다른 궤도로 전이될 때 E 차이 흡수·방출 전이할 때 방출하는 에너지가 클수록 파장은 짧음(반비례 관계) n=3,4,5,6에서 n=2로 전이할 때 가시광선의 빛 방출 | |
| 현대적 원자 모형 | |
| 보어 모형의 한계: 다전자 원자의 선 스펙트럼을 설명할 수 없음 전자는 질량이 매우 작아 정확한 위치와 운동량을 동시 측정 불가능하나 파동의 성질 지녀 발견 확률을 파동함수로 나타낼 수 있음 → 오비탈(궤도 함수) | |

오비탈

일정한 에너지를 가진 전자가 원자핵 주위에서 발견될 확률 궤도함수의 모양, 전자의 에너지 상태를 의미하기도 함

| s오비탈 | p오비탈 |
|--|---|
| 구형으로 모든 전자껍질에 존재 핵에서 거리가 같으면 방향에 관계없이 전자가 발견될 확률 같다 같은 원자에서 2s 크기 > 1s 크기 | 아령 모양으로 l부터 존재 방향성 → 거리·방향 따라 확률 다름 3차원 각 축으로 분포 → 한 전자껍질에 에너지 준위 같은 p_x, p_y, p_z 존재 |
|  |  |
| 1s 오비탈 | 2s 오비탈 |
| | p 오비탈 |
| | p _x |

오비탈의 종류 → 주 양자수 → $2p^1$ 오비탈에 들어 있는 전자 수

양자수

오비탈의 크기·에너지·모양을 나타내기 위해 도입한 개념

| | |
|------------------|---|
| 주양자수 n | 전자껍질을 나타냄·에너지와 크기를 결정 양의 정숫값을 가짐 |
| 부양자수 l | 오비탈의 모양 결정 $0 \leq l \leq n-1$ 의 정숫값을 가짐 |
| 자기양자수 m_l | 오비탈의 방향 결정 $-l \leq m_l \leq l$ 의 정숫값을 가짐 부양자수 l인 오비탈은 2l+1개·방향 다르나 E같은 |
| 스핀자기양자수 m_s | 외부에서 자기장을 걸었을 때 전자의 자기 상태는 서로 반대 방향으로 나누어짐 스핀: 전자가 자신의 축을 중심으로 회전할 때 자전 스핀은 2가지 방향 → 스핀자기양자수는 방향 따라 $\pm \frac{1}{2}$ |

| n | 1 | 2 | 3 |
|---------|----|----------|-----------------|
| l | 0 | 0, 1 | 0, 1, 2 |
| m_l | 0 | 0, 1, -1 | 0, 1, 0, -1, -2 |
| 오비탈 종류 | 1s | 2s, 2p | 3s, 3p, 3d |
| 오비탈 수 | 1 | 1, 3 | 1, 3, 5 |
| 오비탈 총 수 | 1 | 4 | 9 |

오비탈의 에너지 준위

1) 수소 원자

주양자수가 커질수록 원자핵과의 인력이 약해져 에너지 준위 높아짐

$$1s < 2s = 2p < 3s = 3p = 3d < \dots$$

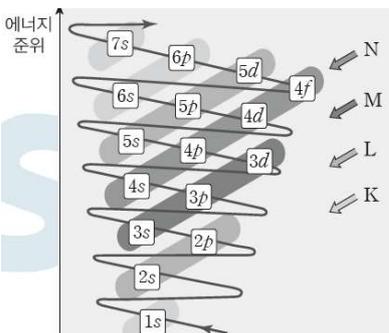
2) 다전자 원자

주양자수 같아도 부양자수에 따라 에너지 준위 다름

$$1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < \dots$$

바닥 상태에서의 전자 배치

쌓음 원리: 에너지 준위가 낮은 오비탈부터 순서대로 전자가 채워짐



파울리 배타 원리: 1개의 오비탈에는 전자가 최대 2개까지 채워지며, 두 전자는 서로 다른 스핀 방향을 가짐

훈트 규칙: 에너지 준위가 같은 오비탈이 여러 개 있을 때 홀전자 수가 최대가 되도록 전자가 채워짐

1개의 오비탈에 쌍으로 들어가는 것보다 나누어 들어갈 때 반발력 ↓ 안정 ↑
바닥상태: 쌓음 원리·파울리 배타 원리·훈트 규칙 모두 만족하는 배치
들뜬상태: 쌓음 원리나 훈트 규칙 만족하지 않는 배치

전자 껍질에 따른 바닥상태에서의 전자 배치

각 전자껍질에는 최대 $2n^2$ 개의 전자가 채워질 수 있다

바닥상태 전자 배치에서 최외각 전자껍질의 전자 수는 8을 넘지 못함
np에 전자가 채워지면 nd에 채워지기 전 (n+1)s가 채워지므로

원자가 전자: 바닥 상태의 전자 배치에서 가장 바깥 전자 껍질의 전자
화학적 성질을 결정함 → 원자가 전자 수 같으면 화학적 성질 비슷함

6. 원소의 주기적 성질

원소의 분류와 주기율

주기율: 원소를 원자 번호 순으로 배열할 때 성질이 비슷한 원소가 주기적으로 나타나는 것

원인: 화학적 성질을 결정하는 원자가 전자 수가 주기적으로 변함

| | |
|---------------|---|
| 라부아지에 1789 | 더 이상 분해할 수 없는 33종의 물질을 기체·비금속·금속·화합물로 분류 |
| 뒤베라이너 1816 | 세 쌍 원소: 화학적 성질 비슷·물리적 성질 규칙적으로 변하는 세 원소를 묶음 |
| 뉴렌츠 1865 | 옥타브설: 원자량 순으로 나열하면 8번째마다 화학적 성질이 비슷한 원소 나타남 |
| 멘델레예프 1869 | 발견된 63개 원소를 원자량 순 배열한 최초의 주기율표 발견되지 않은 원소는 빈칸·주기율표의 위치로부터 새로운 원소의 존재 가능성과 성질 예측 원자량 순 나열 시 주기성 맞지 않는 부분 존재 18Ar(원자량 39.9), 19K(원자량 39.1) |
| 모즐리 1913 | X선 연구 통해 원소에서 양성자수를 결정하는 방법 발견 원소를 양성자수 순으로 배열 → 현대와 비슷한 주기율표 |

주기율표

| | | | | | | | | | | |
|---|----|----|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3~10 2 Hg | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | |
| 1 | H | | | | | | | | He | |
| 2 | Li | Be | | | B | C | N | O | F | Ne |
| 3 | Na | Mg | | | Al | Si | P | S | Cl | Ar |
| 4 | K | Ca | | | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr |
| 5 | Rb | Sr | | | In | Sn | Sb | Te | I | Xe |
| 6 | Cs | Ba | | | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn |
| 7 | Fr | Ra | | | | | | Ts | Og | |

금속 | 준금속 | 비금속 | 25°C에서 | 기체 | 액체 | 고체

| | 금속 원소 | 비금속 원소 |
|---------|-----------|-------------------|
| 이온 형성 | 양이온 되기 쉽다 | 음이온 되기 쉽다(18족 제외) |
| 열·전기전도성 | 큼 | 매우 작음(흑연 제외) |
| 상온에서 상태 | 대부분 고체 | 대부분 기체·고체 |

준금속 원소

금속보다는 전기 전도성이 작고, 비금속보다는 커서 구분 명확 ×
규소와 저마늄은 반도체 칩과 태양 전지 만드는 데 이용

원소의 주기적 성질

1) 유효 핵전하

전자에 작용하는 실질적인 핵전하

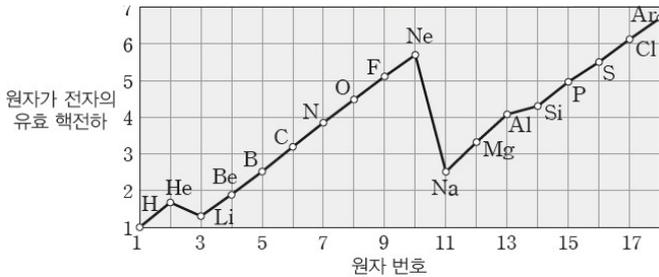
핵과 전자 사이의 인력·전자들 사이 반발력 고려

가림 효과: 안쪽 전자껍질 같은 전자껍질과의 반발력 때문에 핵전하 ↓

같은 전자껍질의 전자에 의한 가림 효과 < 안쪽 전자껍질

수소 원자는 전자가 1개이므로 가림 효과 없어 유효 핵전하 +1

| 같은 주기에서 원자번호 증가 | 다음 주기로 바뀔 때 |
|---|---|
| 양성자 1개 증가 → 핵전하 +1 전자 1개 증가 → 가림 효과 ↑ 양성자의 효과가 더 커서 핵전하 ↑ | 전자껍질 수가 증가해 원자핵과 거리가 멀어져 유효 핵전하 크게 ↓ ※같은 족에서는 증가 |



전자 수가 증가할수록(이온) 가림 효과에 의해 유효 핵전하 감소

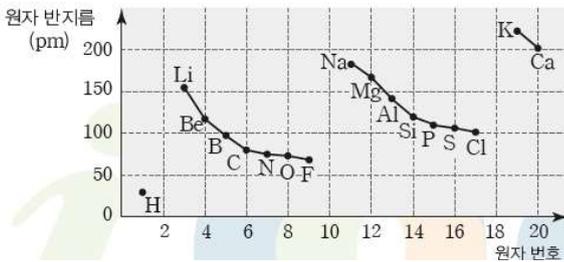
2) 원자 반지름

오비탈 모형에선 전자 발견 확률이 0이 되지 않아 원자 크기 정의 어렵

→ 같은 종류의 두 원자 결합했을 때 원자핵 사이의 거리의 1/2로 정의

나트륨 같은 금속은 결정에서 가장 가까운 원자핵 사이 거리의 1/2

| 같은 주기에서 원자번호 증가 | 같은 족에서 주기 증가 |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 유효 핵전하 ↑ → 핵과 전자 사이의 인력 ↑ → 원자 반지름 ↓ | 전자껍질 수 ↑ → 전자와 핵 사이의 거리 ↑ → 원자 반지름 ↑ |



(18족 원소 제외)

3) 이온 반지름

| 양이온 반지름 | 음이온 반지름 |
|---|---|
| 비활성 기체와 같은 전자 배치 가지게 되면 전자껍질 수 ↓ → 이온 반지름 < 원자 반지름 | 비활성 기체와 같은 전자 배치 가지게 되면 전자껍질 수 ↑ → 이온 반지름 > 원자 반지름 |

| 같은 주기에서 음이온과 양이온 | 같은 족에서 주기 증가 |
|-------------------------------|----------------------|
| 양이온이 전자껍질 수가 1개 적기 때문에 반지름 작다 | 전자 껍질 수 ↑ → 이온 반지름 ↑ |

등전자이온의 이온 반지름

원자 번호가 클수록 유효 핵전하 ↑ → 이온 반지름 ↓

(2주기음이온) $O^{2-} > F^- > Na^+ > Mg^{2+} > Al^{3+}$ (3주기양이온)

→ 전자 배치는 네온의 전자 배치와 같다

4) 이온화 에너지

기체 상태의 원자 1몰에서 전자 1몰을 떼어 기체 상태의 +1가 양이온

으로 만드는데 필요한 에너지 $M(g) + E \rightarrow M^+(g) + e^-$

이온화 에너지 작을수록 전자 떼기 쉬워 양이온 되기 쉬움

| 같은 주기에서 원자번호 증가 | 같은 족에서 주기 증가 |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 유효 핵전하 ↑ → 핵과 전자 사이의 인력 ↑ → 이온화 에너지 ↑ | 전자껍질 수 ↑ → 전자와 핵 사이의 인력 ↓ → 이온화 에너지 ↓ |

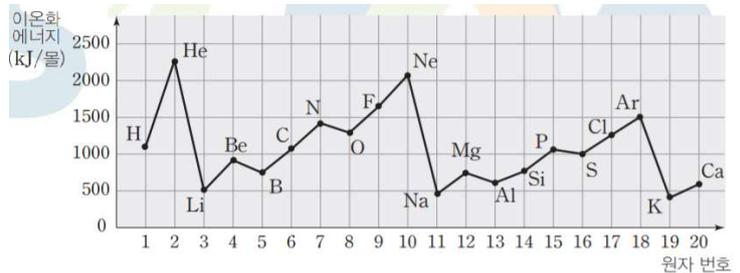
순차 이온화 에너지: 기체 상태의 원자에서 전자를 1개씩 차례로 떼어내는 데 필요한 개별 에너지

전자를 떼어 낼수록 이온의 전자 수 감소 → 전자 사이의 반발력 감소하고 가림 효과 감소 → 유효 핵전하 증가 → 다음 전자 떼기 어려워짐

$E_1 < E_2 < E_3 \dots$

원자가 전자를 모두 떼어낸 후 다음 전자를 뺄 때에는 안쪽 전자껍질에서 전자가 떨어지게 돼 순차 이온화 에너지가 급격히 증가

→ 이온화 에너지가 급격히 증가하기 전까지 뺀 전자 수 = 원자가전자 수



7. 이온 결합

옥텟 규칙

비활성 기체는 바닥상태에서 최외각 전자껍질에 8개의 전자(He는 2개) 옥텟 규칙: 18족 원소 외 원소들이 전자를 잃거나 얻거나 공유해서(화학 결합을 통해서) 18족 원소처럼 최외각 전자껍질에 8개의 전자를 채워서 안정한 전자 배치를 가지려는 경향

이온 결합

양이온과 음이온 사이의 정전기적 인력에 의해 형성됨

주로 양이온이 되기 쉬운 금속과 음이온이 되기 쉬운 비금속 원소 사이 많은 양·음이온이 정전기적 인력에 의해 이온 결합을 형성해 3차원적으로 서로를 둘러싸며 규칙적으로 배열된 이온 결정으로 존재

ex) $NaCl, KF$

이온 결합의 성질

1) 물에 대한 용해성

잘 용해됨

각 이온이 물 분자에 둘러싸여 안정한 상태로 존재

2) 전기적 성질

정전기적 인력에 의해 단단히 결합을 함 → 대부분 상온에서 고체 상태 고체 상태에선 이온들이 단단히 결합해 자유롭게 이동x → 전류x

수용액 상태에선 전압 걸면 양이온은 -극 음이온은 +극으로 이동 → 전류 흐름 용융액에 전류 흘려주면 성분 원소로 분해됨 ∴ 이온 결합 시 전자 관여

■ NaCl 용융액의 전기 분해

| | |
|----|--|
| 과정 | 고체 염화나트륨을 가열하면 801°C에서 녹아 용융액이 얻어짐 용융액에 전류를 흘려줌 |
| 결과 | +극에서는 염소 기체, -극에서는 금속 나트륨이 생성됨 |
| 결론 | 전기 분해가 일어나 Cl^- 는 +극으로 이동해 Cl_2 형성했고 Na^+ 는 -극으로 이동해 금속 나트륨(Na) 형성 |

3) 결정의 부서짐

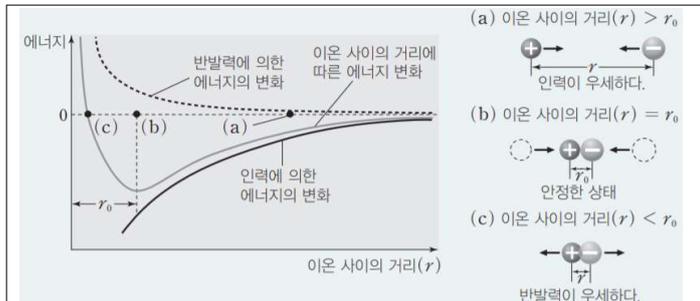
힘을 가하면 이온의 층이 밀리면서 두 층의 경계면에 같은 전하를 띤 이온들끼리 반발력이 작용해 쉽게 부서짐

4) 녹는점과 끓는점

양이온과 음이온 사이에 강한 정전기적 인력 작용 → BP·MP ↑

이온 사이의 거리가 가까울수록 전하량이 클수록 BP·MP ↑

이온 사이의 거리에 따른 에너지



- (a) 두 이온 사이에 작용하는 정전기적 인력에 의해 에너지 ↓ 안정 ↑
- (b) 인력과 반발력이 균형을 이뤄 에너지 가장 낮고 가장 안정
- (c) 거리가 너무 가까워 전자-전자, 원자핵-원자핵 간 반발력 ↑ 안정 ↓

이온 결합 물질의 화학식과 이름

| | |
|----------|--|
| 양이온 | 뒤에 '~이온'을 붙임(여러 종류 이온 존재 시 로마 숫자로 구별) ex) Na^+ 나트륨 이온, Cu^+ 구리(I) 이온 |
| 음이온 | 뒤에 '~화 이온'을 붙임(이름이 '소'로 끝날 경우 생략) ex) I^- 아이오딘화 이온, Cl^- 염화 이온 |
| 이온 결합 물질 | 화합물이 전기적 중성이 되는 비율로 결합 양이온의 원소 기호를 앞에 씀 ex) $NaCl$, $CuCl_2$ 음이온의 이름을 먼저 읽되 '이온'은 생략함 |

| | | | | | |
|----------|-----------|----------------|-----------|------------|----------|
| $NaCl$ | 염화 나트륨 | $CuSO_4$ | 황산 구리(II) | $AgNO_3$ | 질산 은 |
| $MgCl_2$ | 염화 마그네슘 | $Al_2(SO_4)_3$ | 황산알루미늄 | CuO | 산화 칼슘 |
| NaF | 플루오린화 나트륨 | Na_2CO_3 | 탄산 나트륨 | $Mg(OH)_2$ | 수산화 마그네슘 |
| KI | 아이오딘화 칼륨 | $CuCO_3$ | 탄산 칼슘 | $BaSO_4$ | 황산 바륨 |

8. 공유 결합과 결합의 극성

공유 결합

비금속 원소의 원자들이 18족과 같은 전자 배치를 가지기 위해 전자쌍을 공유하며 형성되는 결합

공유 결합 길이: 공유 결합을 하고 있는 두 원자의 핵 간 거리

공유 결합 반지름: 공유 결합 길이의 절반

공유 결합 물질: 원자들이 공유 결합해 형성된 물질로 대부분 분자
ex) 비금속 원소로 구성된 H_2O , CO_2 , 설탕($C_{12}H_{22}O_{11}$)과 흑연(C)·다이아몬드(C), 메테인(CH_4), 암모니아(NH_3), 포도당

공유 결합의 성질

1) 전기적 성질

| | |
|---------|---|
| 전기 전도성 | 자유롭게 이동할 수 있는 전자·이온 없으므로 고체·액체 모두 전기 전도성 × ※흑연은 예외 |
| 물의 전기분해 | 물에 황산나트륨(Na_2SO_4) 같은 전해질을 소량 넣고 전기분해하면 -극에선 $H(g)$ ·+극에선 $O(g)$ 발생 |
| 전자 | 물에 전류를 흘려주면 성분 원소로 분해됨 ∴ 공유 결합 형성 시 전자가 관여함 |

■ 물의 전기 분해

| | |
|----|---|
| 과정 | 비커에 증류수를 넣고 황산나트륨을 소량 녹임 위 용액을 가득 채운 2개의 시험관을 전극이 고정된 비커 속에 거꾸로 세우고, 전류를 흘려주어 발생하는 기체를 모음 ※ 순수한 물은 전류 거의 흐르지 않아 전해질을 소량 넣어줌 |
| 결과 | -극에선 수소 기체·+극에선 산소 기체가 2:1 부피로 발생 |
| 결론 | -극: 물이 전자를 얻어 수소 기체 발생 +극: 물이 전자를 잃어 산소 기체 발생 $2H_2O(l) \rightarrow 2H_2(g) + O_2(g)$ |

2) 녹는점과 끓는점

대부분 녹는점과 끓는점이 낮다(물 예외)

공유 결정과 분자 결정

| | | |
|-------|--|--|
| 분자 결정 | 분자로 존재 분자 간의 약한 인력에 의해 규칙적으로 배열됨 → BP·MP ↓ 승화성 있기도 함 | 드라이아이스(CO_2) 아이오딘(I_2) 나프탈렌($C_{10}H_8$) |
| 공유 결정 | 원자들이 공유결합해 그물처럼 연결 원자 간 인력이 강해 BP·MP ↑ | 흑연(C), 석영(SiO_2) 다이아몬드(C) |

■ 다이아몬드와 흑연

동소체: 1가지의 같은 원소로 이뤄져 있으나 구조가 달라 성질 다름

| 다이아몬드 | 흑연 |
|------------------------------|--------------------------------------|
| 무색투명 | 검은색·약간 광택을 띰 |
| 강도가 매우 큼 | 층 간 인력 약해 잘 미끄러짐→연함 |
| 정사면체 중심에서 꼭짓점에 있는 4개의 탄소와 결합 | 3개의 탄소와 결합해 정육각형 모양 반복되는 판이 쌓인 층상 구조 |
| 전기 전도성 없음 | 1개의 원자가 전자 남음→전기 전도성 있음 |
| 보석·공업용 절단기 | 연필심·윤활유 |
| | |

결합의 극성

1) 전기 음성도

공유 결합을 형성한 원자가 공유 전자쌍을 끌어당기는 능력(상대적) 플링은 전기 음성도가 가장 큰 플루오린의 전기 음성도를 4.0으로 하고 다른 원소의 전기 음성도를 상대적으로 정함

18족 원소는 매우 안정하여 다른 원자와 결합 × → 전기 음성도 제외

| | |
|---|---|
| 같은 주기에서 원자번호 증가 | 같은 족에서 주기 증가 |
| 유효 핵전하 ↑ → 핵과 전자 사이의 인력 ↑ → 공유 전자쌍 끄는 힘 ↑ | 전자껍질 수 ↑ → 핵과 전자 사이의 인력 ↓ → 공유 전자쌍 끄는 힘 ↓ |

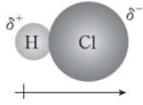
공유 결합을 이룬 두 원자의 전기 음성도 차이 ↑ 큰 쪽으로 치우침 ↑

| | |
|-----------|--|
| 극성 공유 결합 | 전기 음성도가 다른 두 원자 사이의 공유 결합 전기 음성도 큰 원자가 전자쌍 ↑ 부분적 음전하(δ^-) 작은 원자가 부분적 양전하(δ^+) ex) HCl , HF , H_2O , NH_3 , CO_2 |
| 무극성 공유 결합 | 같은 원소의 원자 사이의 공유 결합 결합한 두 원자의 전기 음성도 같아 부분적 전하 × ex) H_2 , Cl_2 , O_2 , N_2 |
| 두 종류 결합 | 과산화수소(H_2O_2), 에테인(C_2H_2) |

| 결합의 종류 | 무극성 공유 결합 | 극성 공유 결합 | 이온 결합 |
|------------|-----------|------------------------|-------|
| | | | |
| 전기음성도 차 | 0.0 | 0.9 | 2.1 |
| 전기음성도 차이 ↑ | → 극성 크기 ↑ | → 차이가 매우 커지면 대체로 이온 결합 | |

2) 쌍극자와 쌍극자 모멘트

쌍극자: 일정한 거리를 두고 크기가 같고 부호가 반대인 전하가 분리된 것
 극성 공유 결합에서 두 원자는 부분적인 전하를 띠는 쌍극자임
 쌍극자 모멘트(μ) = 전하량(q) × 두 전하 사이 거리(r)
 화살표가 전기 음성도가 작은 원자에서 큰 원자를 가리키도록 표시

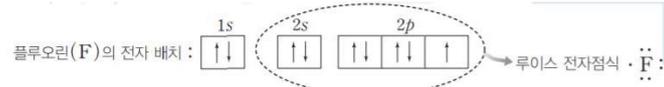


결합의 표현 - 루이스 전자점식

원소 기호 주위에 원자가 전자를 점으로 표시해 나타낸 것

1) 원자의 루이스 전자점식

원자가 전자 1개당 점 1개씩 원소 기호의 4방향에 돌아가면서 표시하고, 5개부터는 쌍을 이뤄 표시함

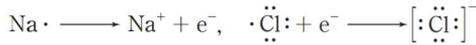


3) 분자의 루이스 전자점식

| | |
|---------|-----------------------------|
| 공유 전자쌍 | 공유 결합에 참여하는 두 원자가 공유하는 전자쌍 |
| 비공유 전자쌍 | 원자가 전자 중 공유 결합에 참여하지 않은 전자쌍 |



3) 이온과 이온 결합 물질

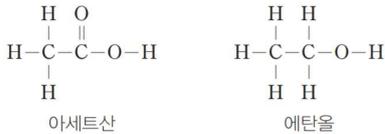


4) 다원자 이온의 루이스 점자점식

| | | |
|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 수산화 이온(OH^-) | 하이드로늄 이온(H_3O^+) | 암모늄 이온(NH_4^+) |
| $[\text{:}\ddot{O}\text{:H}]^-$ | $[\text{H}:\ddot{O}:\text{H}]^+$ | $[\text{H}:\ddot{N}:\text{H}]^+$ |

5) 구조식

전자 배치를 간단하게 표현하기 위해 공유 전자쌍을 선으로 나타냄
 비공유 전자쌍은 생략하기도 함



금속 결합의 형성

금속 결합: 금속 양이온과 자유 전자 사이의 정전기적 인력에 의해 형성
 자유 전자: 금속 원자가 양이온이 되며 내놓은 원자가 전자로 금속 양이온 사이를 자유롭게 움직이며 금속 양이온을 결합시킴
 금속 결정: 금속 결합을 하여 금속 원자가 규칙적으로 배열된 고체

| | |
|--------|---|
| 전기 전도성 | 자유 전자가 움직일 수 있어 고체·액체 전기 전도성 금속에 전압을 걸어주면 자유 전자는 +극으로 이동 |
| 열 전도성 | 금속을 가열하면 자유 전자가 에너지 얻음 → 인접 자유 전자와 금속 양이온에 에너지 전달해 열 전도성 매우 ↑ |
| 연성과 전성 | 외부의 힘에 의해 변형되어도 자유 전자가 이동하여 결합을 유지할 수 있어 뽀함성(연성)과 퍼짐성(전성) 크다 |
| BP·MP | 자유 전자와 금속 양이온 사이의 강한 정전기적 인력에 의해 BP·MP ↑ → 수은 제외 상온에서 고체 상태 ※ 알칼리 금속은 녹는점 낮고 무르다 |

화학 결합의 상대적 세기

결합의 세기 클수록 결합을 끊는 에너지가 많이 필요함

∴ 녹는점이 높을수록 화학 결합의 세기 큼

| | |
|--------------|---|
| 이온 결합 물질 | 강한 정전기적 인력에 의해 결합 → BP·MP 높음 |
| 금속 결합 물질 | 자유 전자와 금속 양이온 사이의 강한 정전기적 인력 → BP·MP 높음 (알칼리 금속 제외) |
| 공유 결합 물질(분자) | 분자 사이의 인력이 약해 이온 결합 물질보다 BP·MP 낮음 |
| 공유 결합 물질(원자) | BP·MP 매우 높음 ex) 흑연, 다이아몬드 |

9. 분자의 구조와 성질

분자의 구조

1) 전자쌍 반발 이론

분자·이온에서 중심 원자 주위의 전자쌍들은 모두 음전하를 띠고 있어 서로 반발하여 가능한 멀리 떨어져 있으려고 함

| | | | |
|--------|------|--------|--------|
| 전자쌍의 수 | 2 | 3 | 4 |
| 모양 | 직선 | 평면 삼각형 | 정사면체 |
| 사이각 | 180° | 120° | 109.5° |

2) 전자쌍 사이의 반발력 크기

공유 전자쌍은 2개의 원자가 공유하나 비공유 전자쌍은 1개의 원자에만 속함 → 더 많은 공간을 차지

비공유-비공유 반발력 > 공유-비공유 반발력 > 공유-공유 반발력

결합각

중심 원자와 이와 결합한 두 원자의 원자핵을 선으로 이었을 때 내각

| | |
|--------|----|
| 이원자 분자 | 직선 |
|--------|----|

중심 원자가 공유 전자쌍만 가지는 경우

| | | |
|-----------------|--------|---|
| 분자 | 형태 | 결합각 |
| 중심 원자에 2개 원자 결합 | 직선 | 180° |
| 중심 원자에 3개 원자 결합 | 평면삼각형 | 결합한 원자가 같음: 120° ex) BCl_3 결합한 원자가 다름: ex) CH_2O C=O가 C-H보다 전자 밀도가 커서 반발력 ↑ $HCO > HCH$ |
| 중심 원자에 4개 원자 결합 | (정)사면체 | 결합한 원자가 같음: 정사면체 ex) CH_4 결합한 원자 다름: 사면체 ex) CH_3Cl 결합한 원자 크기와 전기 음성도 달라 결합각이 약간 달라짐 |

중심 원자가 비공유 전자쌍을 가지는 경우

| | | |
|---------------------|-----|--|
| 비공유 전자쌍 1개 원자 3개 결합 | 삼각뿔 | 비공유전자쌍까지 사면체를 이루나 구조 결정 시 고려하지 않아 삼각뿔 결합한 원자 같음: 107° ex) NH_3 |
| 비공유 전자쌍 2개 원자 2개 결합 | 굽은형 | 비공유전자쌍까지 사면체를 이루나 구조 결정 시 고려하지 않아 굽은형 결합한 원자 같음: 104.5° ex) H_2O |

무극성 분자와 극성 분자

| | |
|--------|---|
| 무극성 분자 | 무극성 공유 결합이 있는 2원자 분자 ex) H_2, O_2, N_2 극성 공유 결합 있어도 결합의 쌍극자 모멘트 합이 0 |
| 극성 분자 | 극성 공유 결합이 있고 쌍극자 모멘트 합 ≠ 0 → 분자가 부분적 전하 띰 |

| | | |
|--------|---|---|
| | 극성 분자 | 무극성 분자 |
| 용해성 | 극성 용매에 잘 용해됨 ex) $H_2O - HCl, NH_3, NaCl, CuSO_4$ 잘 용해됨 | 무극성 용매에 잘 용해됨 ex) 사염화 탄소(CCl_4) - Br_2, I_2 , 벤젠(C_6H_6) 잘 용해됨 |
| | 극성 용매와 무극성 용매는 서로 잘 섞이지 않고 층 이룸 | |
| BP·MP | 극성 분자는 한 분자의 부분적 양전하를 띤 부분과 다른 분자의 부분적 음전하를 띤 부분의 인력이 존재 → 분자량이 비슷하면 BP·MP는 극성 > 무극성 | |
| 전기적 성질 | 전기장에서 기체 상태의 극성 분자는 부분적 음전하를 띤 부분은 전기장의 +극 쪽으로(vice versa) 배열됨 | |

■ 물의 극성 실험

| | |
|----|--|
| 과정 | 뷰렛에 물을 넣고 뷰렛 꼭지를 열어 가는 물줄기 흐르게 함 -전하·+전하를 띤 대전체를 물줄기에 가까이 가져간다. |
| 결과 | -전하·+전하를 띤 대전체 모두 물줄기가 대전체 쪽으로 휘어짐 |
| 결론 | 물은 극성 분자이므로 분자 내 쌍극자 존재 → 대전체를 가까이 가져가면 양전하를 띤 수소 원자 쪽이 끌림(vice versa) |

10. 동적 평형

가역 반응과 비가역 반응

| | |
|------------------------------|---|
| 정반응 | 반응물 → 생성물 |
| 역반응 | 정반응의 생성물 → 반응물 |
| 정반응과 역반응은 서로 반대 방향으로 진행되는 반응 | |
| 가역 반응 | 반응 조건(농도·압력·온도)에 따라 정반응과 역반응이 모두 일어날 수 있는 반응 \rightleftharpoons 로 나타냄 |
| 비가역 반응 | 한쪽 방향으로만 진행됨 역반응이 정반응에 비해 무시할 수 있을 만큼 거의 x |

1) 가역 반응의 예

| | |
|--------|---|
| 염화 코발트 | 염화 코발트($CoCl_2$)는 수분 흡수 시 푸른색→붉은색 $CoCl_2 + 6H_2O \rightleftharpoons CoCl_2 \cdot 6H_2O$ (붉은색 수화물) |
| 석회 동굴 | 탄산 칼슘이 주성분인 석회암 지대에서 석회 동굴 생성 $CaCO_3(s) + H_2O(l) + CO_2(g) \rightleftharpoons Ca(HCO_3)_2(aq)$ 석회 동굴 생성 중유석, 석순 생성 |

2) 비가역 반응의 예

| | |
|---------|--|
| 연료의 연소 | 메테인 완전 연소 $CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l)$ |
| 금속·산 반응 | 마그네슘 리본을 염산에 넣으면 수소 기체 발생 $HCl(aq) + NaOH(aq) \rightarrow H_2O(l) + NaCl(aq)$ $Mg(s) + 2HCl(aq) \rightarrow H_2(g) + MgCl_2(aq)$ |
| 중화 반응 | 염산에 수산화 나트륨을 넣으면 중화 반응 $HCl(aq) + NaOH(aq) \rightarrow H_2O(l) + NaCl(aq)$ |
| 양금 생성 | 질산 은에 염화 나트륨 넣으면 염화 은 양금 생성됨 $AgNO_3(aq) + NaCl(aq) \rightarrow AgCl(s) + NaNO_3(aq)$ |

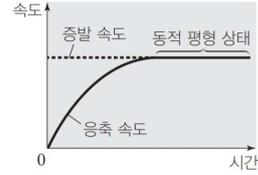
동적 평형

1) 동적 평형

가역 반응에서 반응물과 생성물의 농도가 변하지 않는 경우 반응이 정지된 것으로 보이나 정반응과 역반응의 속도가 같은 것
ex) 밀폐된 용기 안에 충분한 시간 동안 물을 담아 두면 물과 수증기가 동적 평형을 이룬다. $H_2O(l) \rightleftharpoons H_2O(g)$
ex) 충분한 양의 설탕을 충분한 시간 동안 물에 넣어 두면 설탕, 물, 설탕물이 동적 평형을 이룬다. $C_{12}H_{22}O_{11}(s) \rightleftharpoons C_{12}H_{22}O_{11}(aq)$

2) 상평형

2가지 이상의 상태가 공존할 때 서로 상태가 변하는 속도가 같아서 겉보기에 상태 변화 x로 보임



3) 용해 평형

용매 속에 충분한 양의 고체 용질이 오랜 시간 동안 들어 있을 때 용질이 용해되는 속도와 석출되는 속도가 같아서 변화 x로 보임

포화 용액: 용해 평형을 이루고 있는 용액
불포화 용액: 포화 용액보다 용질이 적게 녹아 있는 용액
물의 자동 이온화

물은 대부분 분자로 존재하나 매우 적은 양은 이온화해 동적 평형 이룸
 $H_2O(l) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_3O^+(aq) + OH^-(aq)$

물의 이온화 상수(K_w): 물의 자동 이온화 반응에서 생성된 H_3O^+ 와 OH^- 의 몰 농도를 곱한 값

물의 자동 이온화 반응은 가역 반응으로서 정반응 속도와 역반응 속도가 같은 동적 평형 상태임

→ 일정한 온도에서 $[H_3O^+]$, $[OH^-]$, K_w 는 일정한 값을 가짐
수소 이온 농도 지수(pH)

1) pH

$pH = -\log[H_3O^+]$ $pOH = -\log[OH^-]$

25°C에서 $[H_3O^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}$ 이므로 $pH + pOH = 14$

2) 우리 주변 생활 속 물질의 pH

pH 측정 방법: pH 시험지나 pH 미터 사용

25°C에서 1M HCl(aq)의 pH=0이고 1M NaOH(aq)의 pH=14

11. 산 염기와 중화 반응

산과 염기의 정의

1) 아레니우스 정의

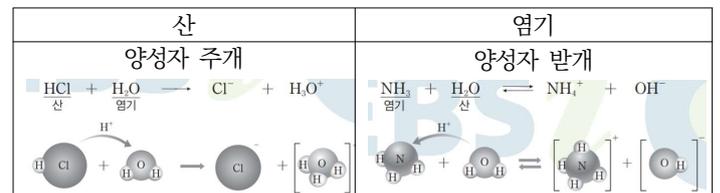
산과 염기가 물에 녹아서 이온화하는 것을 근거로 함

| | |
|----|---|
| 산 | 수용액에서 H^+ 를 내놓는 물질 ex) HBr, HF, HNO_3, H_2SO_4 |
| 염기 | 수용액에서 OH^- 를 내놓는 물질 ex) $LiOH, KOH, Ba(OH)_2$ |

수용액에서 H^+ 는 산성을, OH^- 는 염기성을 나타낸다

한계: H^+ 를 내놓지 않는 산, OH^- 를 내놓지 않은 염기는 설명할 수 없고 수용액 상태가 아닌 경우에도 적용할 수 없다

2) 브뢴스테드-로리 정의



중화 반응

아레니우스 산 염기의 정의에 따라 수용액에서 산과 염기가 반응해 물이 생성되는 반응

| | |
|-----------|--|
| 이온화 | $HCl(aq) \rightarrow H^+(aq) + Cl^-(aq)$ $NaOH(aq) \rightarrow Na^+(aq) + OH^-(aq)$ |
| 전체 반응식 | $HCl(aq) + NaOH(aq) \rightarrow H_2O(l) + NaCl(aq)$ or $H^+(aq) + Cl^-(aq) + Na^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow H_2O(l) + Na^+(aq) + Cl^-(aq)$ |
| 알짜 이온 반응식 | 구경꾼 이온: 반응 참여× 반응 후에 그대로 남음 - Na^+, Cl^- 알짜 이온: 구경꾼 이온을 제외하고 실제 반응에 참여한 이온 중화 반응에서 알짜 이온 반응식은 $H^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow H_2O(l)$ |

중화 반응에서의 양적 관계

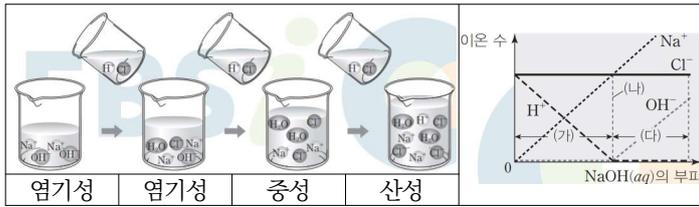
1) 이온 수

산과 염기 수용액을 혼합하면 H^+ 와 OH^- 가 1:1 몰 비로 반응
 $H^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow H_2O(l)$

※자동 이온화에 의한 H^+ 와 OH^- 의 양은 무시할 만큼 작아 고려×
완전히 이온화하는 산과 염기의 중화 반응에서 반응하고 남은 이온의 종류에 따라 혼합 용액의 액성이 결정된다.

| | | |
|--------------|--------------|--------------|
| $H^+ > OH^-$ | $H^+ = OH^-$ | $H^+ < OH^-$ |
| 산성 | 중성 | 염기성 |

일정한 양의 $NaOH(aq)$ 에 $HCl(aq)$ 를 조금씩 가할 경우



2) 양적 관계

$nMV = n' M' V'$

n, n' : 산·염기의 가수(1몰이 내놓을 수 있는 최대 $H^+ \cdot OH^-$ 의 몰 수)
 M, M' : 산·염기 수용액의 몰 농도 V, V' : 산·염기 수용액의 부피(L)

| | | | |
|------|--------------------|-------|----------------------|
| 1가 산 | HCl, CH_3COOH | 1가 염기 | $NaOH, KOH$ |
| 2가 산 | H_2SO_4, H_2CO_3 | 2가 염기 | $Cu(OH)_2, Ba(OH)_2$ |
| 3가 산 | H_3PO_4 | 3가 염기 | $Al(OH)_3$ |

중화 적정

농도를 모르는 산이나 염기의 농도를 $nMV = n' M' V'$ 통해 알아냄
중화점: 중화 적정에서 산의 H^+ 와 염기의 OH^- 양이 같아지는 점
표준 용액(농도를 정확히 알고 있는 염기나 산 용액)이 사용됨

| | |
|---------|---------------------|
| 피펫 | 액체의 부피를 정확히 취하여 옮김 |
| 뷰렛 | 표준 용액의 부피를 측정 |
| 삼각 플라스크 | 농도를 측정하고자 하는 수용액 담음 |

■ HCl 중화 적정 실험

| | |
|----|--|
| 과정 | 피펫으로 $HCl(aq)$ 100mL를 취해 삼각플라스크에 넣음 페놀프탈레인 용액을 2~3 방울 넣음(산성에서 무색·염기성에서 적색) 깔때기를 이용해 뷰렛에 0.1M $NaOH$ 표준 용액을 넣고 꼭지를 열어 표준 용액을 흘려주어 뷰렛 끝까지 채운 후 눈금을 읽음 뷰렛 꼭지를 열어 표준 용액을 삼각 플라스크에 조금씩 떨어뜨림 붉은 색이 나타나면 삼각 플라스크를 흔들어주면서 붉은색이 사라지지 않을 때 꼭지를 잠근 후 뷰렛의 눈금을 읽는다. |
| 결과 | $HCl(aq)$ 100mL 완전히 중화시키기 위해 0.1M $NaOH$ 표준 용액 40mL 필요하다. |
| 결론 | $1 \times 0.1 \times m = 1 \times 0.04 \times 0.1$ $HCl(aq)$ 의 몰 농도는 0.04M이다. |

12. 산화 환원 반응과 화학 반응에서 출입하는 열

산소의 이동에 의한 산화·환원

| | |
|-----|--|
| 산화 | 산소를 얻는 반응 ex) $2Cu + O_2 \rightarrow 2CuO$ 에서 Cu는 산화됨 |
| 환원 | 산소를 잃는 반응 ex) $CuO + H_2O \rightarrow Cu + H_2O$ 에서 Cu는 환원됨 |
| 동시성 | 한 물질이 산소를 얻을 때 다른 물질이 그 산소를 잃으므로 산화와 환원은 항상 동시에 일어난다. $CuO + H_2 \rightarrow Cu + H_2O$ 산화: $CuO \rightarrow Cu$ 환원: $H_2 \rightarrow H_2O$ |

| | |
|-------|---|
| 연소 | 물질이 산소와 빠르게 반응하면서 빛과 열을 냄 숯: $C + O_2 \rightarrow CO_2$ 숯은 산화됨 천연 가스: $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$ 천연 가스는 산화됨 |
| 철의 제련 | 산화 철(III)(Fe_2O_3) 성분의 철광석을 순수한 철(Fe)로 환원 용광로에 철광석과 탄소 성분의 코크스를 넣고 뜨거운 공기를 넣으면 탄소가 불완전 연소돼 CO로 산화·철광석은 환원 |

전자의 이동에 의한 산화·환원

| | |
|-----|---|
| 산화 | 전자를 잃는 반응 ex) $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$ 에서 Zn은 산화됨 |
| 환원 | 전자를 얻는 반응 ex) $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$ 에서 Cu는 환원됨 |
| 동시성 | 한 물질이 전자를 잃을 때 다른 물질이 그 전자를 얻으므로 산화와 환원은 항상 동시에 일어난다. 산화 반응: $Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$ 환원 반응: $2Ag^+ + 2e^- \rightarrow 2Ag$ 전체 반응: $Cu + 2Ag^+ \rightarrow Cu^{2+} + 2Ag$ |



3) 예시

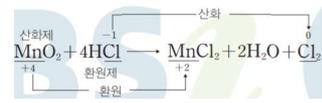
| | |
|--------------|--|
| 금속과 비금속 | 금속은 산화돼 양이온이 되고 비금속은 환원돼 음이온 됨 ex) 나트륨을 염소 기체에 넣으면 불꽃을 내며 격렬히 반응 $2Na + Cl_2 \rightarrow 2NaCl$ 산화 반응: $2Na \rightarrow 2Na^+ + 2e^-$ 환원 반응: $Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$ ex) 공기 중에서 마그네슘 리본에 불을 붙이면 격렬히 연소 $2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO$ 산화 반응: $2Mg \rightarrow 2Mg^{2+} + 4e^-$ 환원 반응: $O_2 + 4e^- \rightarrow 2O^{2-}$ |
| 금속과 금속 이온 | 반응성이 작은 금속 양이온이 들어 있는 수용액에 반응성이 큰 금속을 넣으면 반응성이 큰 금속은 산화되어 양이온으로 수용액에 녹고, 작은 금속의 양이온은 환원되어 석출됨 반응성의 크기가 반대면 일어나지 않는다. ■ 질산 은($AgNO_3$) 수용액에 구리 선을 넣음 → 구리선에 은이 석출되고 수용액은 점점 푸르게 변함 $Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$ 로 구리는 산화돼 용액에 녹음 → 푸른색 $Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$ 로 은은 환원돼 석출됨 |
| 금속과 산 | 산 수용액에 수소보다 반응성이 큰 금속을 넣으면 금속은 산화되어 양이온이 되고 H^+ 는 환원되어 수소 기체 발생 ex) 마그네슘을 묽은 염산에 넣음 $Mg + 2H^+ \rightarrow Mg^{2+} + H_2$ 산화 반응: $Mg \rightarrow Mg^{2+} + 2e^-$ 환원 반응: $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$ |
| 할로젠과 할로젠화 이온 | 할로젠 원소의 반응성은 $F_2 > Cl_2 > Br_2 > I_2$ 반응성 작은 할로젠 음이온 수용액에 반응성 큰 할로젠 분자를 넣으면 음이온이 산화되고 분자는 환원되어 음이온 됨 ex) KBr 수용액에 Cl_2 넣으면 Br^- 산화· Cl_2 환원 $2Br^- (무색) + Cl_2 \rightarrow Br_2 (적갈색) + 2Cl^-$ |

산화수와 산화·환원

1) 산화수

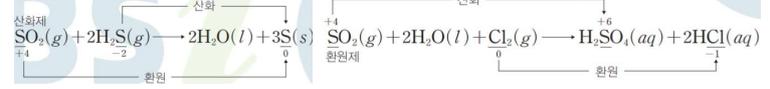
물질을 구성하는 원자가 산화되거나 환원된 정도

| | |
|----------|--|
| 이온 결합 물질 | 양이온은 원자가전자를 잃고 음이온은 얻었음 → 각 이온의 전하가 그 이온의 산화수 ex) NaCl: Na의 산화수 +1, Cl의 산화수 -1 ex) MgO: Mg의 산화수 +2, O의 산화수 -2 |
| 공유 결합 물질 | 전기 음성도가 큰 원자가 공유 전자쌍을 모두 가진다 가정 ex) H ₂ O에서 전기 음성도 O > H → H의 산화수 +1, O의 산화수 -2 ex) NH ₃ 에서 전기음성도 N > H → H의 산화수 +1, N의 산화수 -3 |



■ 산화제와 환원제의 상대적 세기

어떤 반응에서 산화제로 작용하는 물질이 어떤 반응에선 환원제일 수도 이산화 황(SO₂)가 자신보다 더 산화되기 쉬운 황화 수소(H₂S)와 반응할 때는 산화제로 작용하고, 자신보다 더 환원되기 쉬운 염소(A₂)와 반응할 때는 환원제로 작용한다.



H₂S > SO₂ > A₂ 산화되기 쉽고, A₂ > SO₂ > H₂S 환원되기 쉬움

2) 산화-환원 반응식의 완성

- [1] 각 원자의 산화수·반응 전후의 산화수 변화를 구한다.
- [2] 증가한 산화수와 감소한 산화수가 같도록 계수를 맞춘다.
- [3] 산화수의 변화가 없는 원자들의 수가 같도록 계수를 맞춘다.

화학 반응에서 출입하는 열

반응물과 생성물이 가지고 있는 에너지가 다르므로 열의 출입 존재

1) 발열 반응과 흡열 반응

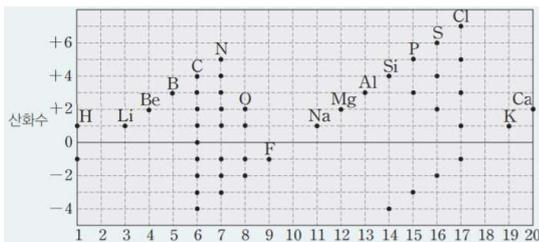
| | |
|-------|--|
| 발열 반응 | 화학 반응이 일어날 때 열을 방출함 → 주위 온도 ↑ 생성물의 에너지 합 < 반응물의 에너지 합 ex) 연료의 연소 수증기의 액화·물의 응고와 같은 상태 변화 손난로 속에서 철가루가 산화되며 열을 방출해 따듯해짐 |
| 흡열 반응 | 화학 반응이 일어날 때 열을 흡수함 → 주위 온도 ↓ 생성물의 에너지 합 > 반응물의 에너지 합 ex) 탄산 칼슘의 가열, 광합성 물의 기화·얼음의 용해와 같은 상태 변화 냉각 팩의 질산 암모늄이 물에 용해될 때 열 흡수해 시원함 |

2) 산화수 규칙

| |
|---|
| 원소를 이루는 원자의 산화수는 0이다. ex) Cu, H ₂ , O ₂ 에서 Cu, H, O의 산화수는 모두 0이다. |
| 1원자 이온의 산화수는 그 이온의 전하와 같다. ex) Cu ²⁺ 에서 Cu의 산화수는 +2 |
| 화합물에서 각 원자의 산화수 총합은 0이다. ex) H ₂ O에서 (-1)×2 + (+2) = 0 |
| 다원자 이온에서 각 원자의 산화수 총합은 그 이온의 전하와 같다. ex) SO ₄ ²⁻ 에서 전기 음성도 O > S S의 산화수 +6, O의 산화수 -2 (+6) + (-2)×4 = -2 |
| 화합물에서 1족 금속의 산화수는 +1, 2족 금속의 산화수는 +2 이다. → Li·Na·K의 산화수는 +1, Be·Mg·Ca의 산화수는 +2 |
| 화합물에서 F의 산화수는 -1이다. → F는 전기 음성도가 가장 크므로 항상 산화수가 -1이다. |
| 화합물에서 H의 산화수는 +1이다.(단, 금속의 수소 화합물에선 -1이다.) ex) H ₂ O, HCl, CH ₄ 에서 H의 산화수는 +1 NaH, MgH ₂ 에서 H의 산화수는 -1 |
| 화합물에서 O의 산화수는 -2이다. 단, 과산화물에선 -1이고 플루오린 화합물에선 +1 또는 +2이다. ex) H ₂ O, CO ₂ 에서 O의 산화수는 -2 H ₂ O ₂ 에서 H의 산화수가 +1이므로 O의 산화수는 -1 OF ₂ , O ₂ F ₂ 에서 전기음성도 F > O이므로 O의 산화수는 각각 +2, +1 |

3) 산화수의 주기성

전자를 잃거나 얻으려는 성질과 관련 → 전자 배치와 관계·주기성 존재
상대 원자의 전기 음성도에 따라 여러 산화수를 가질 수 있다.



4) 산화수와 산화·환원

| | |
|-----|--|
| 산화 | 산화수가 증가하는 반응 |
| 환원 | 산화수가 감소하는 반응 |
| 동시성 | 한 원자의 산화수가 증가하면 다른 원자의 산화수가 감소 → 산화와 환원은 항상 동시에 일어난다 산화되는 물질에서 증가한 산화수의 합은 환원되는 물질에서 감소한 산화수이 합과 같다. $\begin{array}{c} \text{산화(산화수 } 1 \times 2 \text{ 증가)} \\ \text{MnO}_2 + 4\text{HCl} \rightarrow \text{MnCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Cl}_2 \\ \text{+4} \quad \text{-1} \quad \text{+2} \quad \text{0} \\ \text{환원(산화수 2 감소)} \end{array}$ 화학 반응 전후에 산화수 변하는 물질 있으면 산화·환원 반응임 |

산화·환원 반응식

1) 산화제와 환원제

| | |
|-----|----------------------|
| 산화제 | 다른 물질을 산화시키고 자신은 환원됨 |
| 환원제 | 다른 물질을 환원시키고 자신은 산화됨 |

2) 열의 측정

| | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 열량 | 물질이 방출하거나 흡수하는 열에너지의 양 |
| 비열 | 물질 1g의 온도를 1°C 높이는 데 필요한 열량 [J/g·°C] |
| 열량(Q) = 비열(c) × 질량(m) × 온도 변화(Δt) | |

3) 열량계



가정: 열량계와 외부 사이의 열의 출입 × 열량계 자체가 흡수하는 열을 무시

반응에서 발생한 열량 = 열량계의 용액이 얻은 열량

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---|-----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|------------------|---|
| | | ↓ ↑ 유효 핵전하·이온화 에너지(18)·전기 음성도(18) | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 전기 음성도 이온화 에너지 ↑ | |
| ↓ | 1 | H | | | | | | | He | | |
| | 2 | Li | Be | B | C | N | O | F | Ne | | |
| | 3 | Na | Mg | Al | Si | P | S | Cl | Ar | | |
| | 4 | K | Ca | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr | | |
| | 5 | Rb | Sr | In | Sn | Sb | Te | I | Xe | | |
| | 6 | Cs | Ba | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn | | |
| ↑ 유효 핵전하 원자 반지름 | 7 | Fr | Ra | | | | | Ts | Og | ↓ | |
| | | 원자 반지름 ↑ | | | | | | | | | ↓ |