

PRINCIPLES OF GENERAL CHEMISTRY

조성민, 임현아 편저

Joi

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H hydrogen [1.007; 1.009]	2 He helium 4.003																
3 Li lithium [6.938; 6.997]	4 Be beryllium 9.012																
11 Na sodium 22.99	12 Mg magnesium 24.31	3 Sc scandium 44.96	4 Ca calcium 40.08	5 V vanadium 50.94	6 Cr chromium 52.00	7 Mn manganese 54.94	8 Fe iron 55.85	9 Co cobalt 58.93	10 Ni nickel 58.69	11 Cu copper 63.55	12 Zn zinc 65.38(2)	13 B boron [10.80; 10.83]	14 C carbon [12.00; 12.02]	15 N nitrogen [14.00; 14.01]	16 O oxygen [15.99; 16.00]	17 F fluorine 19.00	18 Ne neon 20.18
19 K potassium 39.10	20 Ca calcium 40.08	21 Sc scandium 44.96	22 Ti titanium 47.87	23 V vanadium 50.94	24 Cr chromium 52.00	25 Mn manganese 54.94	26 Fe iron 55.85	27 Co cobalt 58.93	28 Ni nickel 58.69	29 Cu copper 63.55	30 Zn zinc 65.38(2)	31 Ga gallium 69.72	32 Ge germanium 72.63	33 As arsenic 74.92	34 Se selenium 78.96(3)	35 Br bromine 79.90	36 Kr krypton 83.80
37 Rb rubidium 85.47	38 Sr strontium 87.62	39 Y yttrium 88.91	40 Zr zirconium 91.22	41 Nb niobium 92.91	42 Mo molybdenum 95.96(2)	43 Tc technetium	44 Ru ruthenium 101.1	45 Rh rhodium 102.9	46 Pd palladium 106.4	47 Ag silver 107.9	48 Cd cadmium 112.4	49 In indium 114.8	50 Sn tin 118.7	51 Sb antimony 121.8	52 Te tellurium 127.6	53 I iodine 126.9	54 Xe xenon 131.3
55 Cs caesium 132.9	56 Ba barium 137.3	57-71 lanthanoids	72 Hf hafnium 178.5	73 Ta tantalum 180.9	74 W tungsten 183.8	75 Re rhenium 186.2	76 Os osmium 190.2	77 Ir iridium 192.2	78 Pt platinum 195.1	79 Au gold 197.0	80 Hg mercury 200.6	81 Tl thallium [204.3; 204.4]	82 Pb lead 207.2	83 Bi bismuth 209.0	84 Po polonium	85 At astatine	86 Rn radon
87 Fr francium	88 Ra radium	89-103 actinoids	104 Rf rutherfordium	105 Db dubnium	106 Sg seaborgium	107 Bh bohrium	108 Hs hassium	109 Mt meitnerium	110 Ds darmstadtium	111 Rg roentgenium	112 Cn copernicium						
57 La lanthanum 138.9	58 Ce cerium 140.1	59 Pr praseodymium 140.9	60 Nd neodymium 144.2	61 Pm promethium	62 Sm samarium 150.4	63 Eu europium 152.0	64 Gd gadolinium 157.3	65 Tb terbium 158.9	66 Dy dysprosium 162.5	67 Ho holmium 164.9	68 Er erbium 167.3	69 Tm thulium 168.9	70 Yb ytterbium 173.1	71 Lu lutetium 175.0			
89 Ac actinium	90 Th thorium 232.0	91 Pa protactinium 231.0	92 U uranium 238.0	93 Np neptunium	94 Pu plutonium	95 Am americium	96 Cm curium	97 Bk berkelium	98 Cf californium	99 Es einsteinium	100 Fm fermium	101 Md mendelevium	102 No nobelium	103 Lr lawrencium			

제1부. 일반화학 개요

1. 화학의 기초	08
2. 원자, 분자와 이온	15
3. 화학량론	25
4. 화학 반응의 종류, 화학량론	35

제2부. 기체와 열화학

5. 기체	48
6. 열화학	61

제3부. 구조와 결합

7. 원자 구조와 주기성	74
8. 결합 : 일반 개념	93
9. 공유 결합 : 궤도 함수	103

제4부. 물질의 상

10. 액체와 고체	114
11. 용액의 특성	133

제5부. 속도론과 평형

12. 화학 반응 속도론	150
13. 화학평형	162
14. 산과 염기	169
15. 산-염기 평형	180
16. 용해도와 착 이온 평형	191
17. 자발 과정과 엔트로피, 자유 에너지	199
18. 전기화학	211

제6부 전이 금속과 핵 화학

19. 핵 화학	224
20. 전이 금속과 배위화학	229

해답

해답	245
----	-----

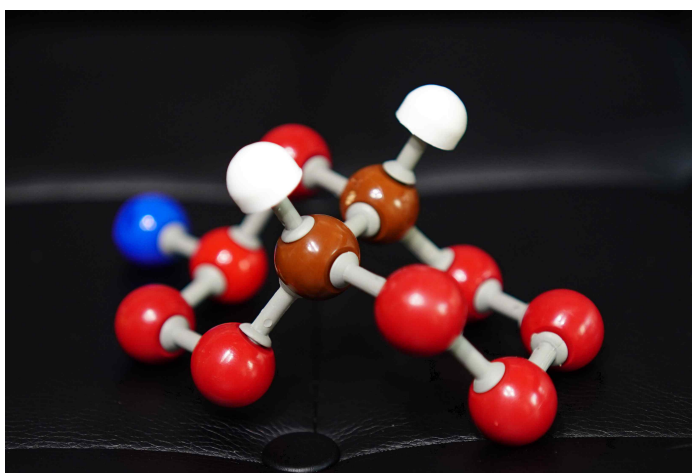
일반화학 주된 ◆ 기본개념



General Chemistry

제 1 부

일반화학 개요



1 화학의 개요

“화학이란 무엇인가?” “왜 배우는가?” 에 대한 물음의 답은 여러분에게 이미 존재한다. 화학은 물질의 성질과 한 물질이 다른 물질로 변하는 과정, 즉 반응을 연구하는 학문이다. 자 여러분은 이제부터 우리가 어떻게 이런 상태로 존재하는가를 탐구하게 될 것이다.



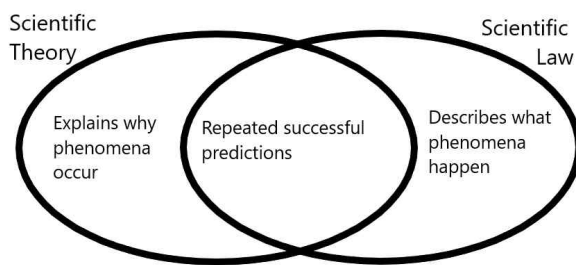
1. 과학적 방법

1. 과학적 방법의 단계

- (1) 관찰을 한다. → 관찰은 정성적일 수 있고(이 노트는 사각형이며, 검은색 표지이다.) 정량적일 수 있다.(이 노트의 질량은 300g이며, 길이는 25cm이다.)
- (2) 가설(hypothesis)을 세운다.
- (3) 가설을 검증하기 위한 실험을 한다.

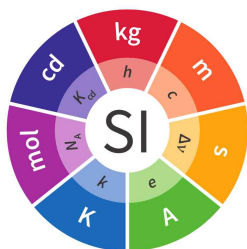
2. 과학적 모형

관찰은 보고 기록하는 것인데, 자연을 관찰할 때, 서로 다른 계에서 같은 결과가 나타나는 경우가 나타난다. 이와 같이 일반적으로 관찰할 수 있는 현상으로부터 자연법칙을 만든다. 그리고 이론은 왜 자연이 그렇게 특정한 방식으로 움직이는지에 대한 설명이다.



3. 측정 단위

- (1) 관찰은 모든 과학의 기본이다. 정량적인 관찰(측정)은 수와 척도(단위) 두 부분으로 구성된다.
- (2) SI(International system) 단위 : 영미에서 주로 사용하는 단위가 아닌, 현재의 대부분의 선진국에서 사용하는 표준단위.



예제 1

국제 단위계(SI)에 따른 기본 단위가 아닌 것을 모두 고르시오.

(일반)

- ① 질량 - g ② 길이 - m ③ 시간 - 초(s) ④ 온도 - $^{\circ}\text{C}$

- (3) SI 단위계에서 사용하는 접두어 : 기본단위를 실험자의 사용 규모에 따라 편리하게 나타내기 위하여 접두어를 사용하기도 한다. 일반적으로 10^3 스케일인데, 10, 100에 대한 접두어도 일상생활에서 자주 사용된다.

SI prefixes							V · T · E
Prefix	Base	Base	Decimal		English word		Adoption
Name Symbol	1000	10			Short scale	Long scale	[nb 1]
yotta Y	1000^8	10^{24}	1 000 000 000 000 000 000 000 000		septillion	quadrillion	1991
zetta Z	1000^7	10^{21}	1 000 000 000 000 000 000 000 000		sextillion	trilliard	1991
exa E	1000^6	10^{18}	1 000 000 000 000 000 000 000		quintillion	trillion	1975
peta P	1000^5	10^{15}	1 000 000 000 000 000 000		quadrillion	billiard	1975
tera T	1000^4	10^{12}	1 000 000 000 000		trillion	billion	1960
giga G	1000^3	10^9	1 000 000 000		billion	milliard	1960
mega M	1000^2	10^6	1 000 000		million		1873
kilo k	1000^1	10^3	1 000		thousand		1795
hecto h	$1000^{2/3}$	10^2	100		hundred		1795
deca da	$1000^{1/3}$	10^1	10		ten		1795
	1000^0	10^0	1		one		—
deci d	$1000^{-1/3}$	10^{-1}	0.1		tenth		1795
centi c	$1000^{-2/3}$	10^{-2}	0.01		hundredth		1795
milli m	1000^{-1}	10^{-3}	0.001		thousandth		1795
micro μ	1000^{-2}	10^{-6}	0.000 001		millionth		1873
nano n	1000^{-3}	10^{-9}	0.000 000 001		billionth	milliardth	1960
pico p	1000^{-4}	10^{-12}	0.000 000 000 001		trillionth	billionth	1960
femto f	1000^{-5}	10^{-15}	0.000 000 000 000 001		quadrillionth	billiardth	1964
atto a	1000^{-6}	10^{-18}	0.000 000 000 000 000 001		quintillionth	trillionth	1964
zepto z	1000^{-7}	10^{-21}	0.000 000 000 000 000 000 001		sextillionth	trilliardth	1991
yocto y	1000^{-8}	10^{-24}	0.000 000 000 000 000 000 000 001		septillionth	quadrillionth	1991

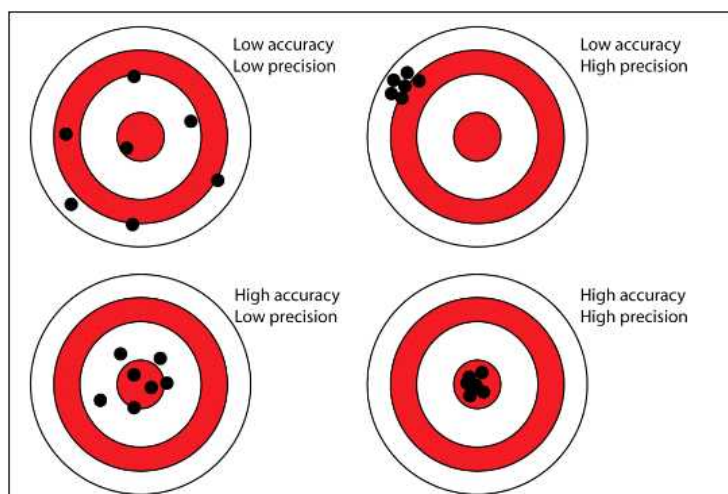
2. 유효 숫자

1. 측정의 불확실성

- (1) 측정에는 언제나 약간의 불확실성(uncertainty)이 존재한다.
측정의 불확실성은 항상 확실한 자리수와 불확실한 첫 번째 자리 수(추정한 숫자)를 기록하여 나타낸다. 이들 숫자를 측정의 유효 숫자(significant figure)라고 한다.
- (2) 유효 숫자는 측정의 불확실성을 자동적으로 나타낸다.

2. 정확도와 정밀도

- (1) 정확도(accuracy) : 측정값이 참값에 얼마나 근접하는가의 척도
- (2) 정밀도(precision) : 측정값이 서로 얼마나 유사한지를 나타내는 척도



3. 유효 숫자의 계산

1. 유효 숫자 규칙

- (1) '0'이 아닌 정수는 모두 유효 숫자에 포함한다.
- (2) '0'은 세 가지 종류가 있다.
 - ① '0'이 아닌 숫자 앞에 오는 '0' : 유효 숫자가 아니다.
 - ② 숫자 중간에 있는 '0' : 유효 숫자다.
 - ③ 숫자의 오른쪽에 있는 '0' : 숫자에 소수점이 있는 경우에만 유효 숫자다.
- (3) 완전수 : 측정 장치를 이용하지 않은 수로 무한대의 유효 숫자를 갖는다.
- (4) 지수 표기법 : 유효 숫자를 정확히 표현하기 편리하다.

예제 2

다음 결과에서 유효 숫자의 수를 써라.

- (1) 바이타민 C 0.01050 g
- (2) 이 책을 읽는 시간 300.0 초
- (3) 1 inch는 2.54 cm이다.
- (4) 태양까지 거리는 1.5×10^8 km이다.

예제 3

다음 중 유효 숫자의 개수가 다른 것은 어느 것인가? (학사)

- ① 123 ② 1.223 ③ 0.001230 ④ 1.230×10^4

2. 유효 숫자 계산

- (1) 곱셈과 나눗셈 : 계산 결과의 유효 숫자는 계산에 사용한 값 중 정밀도가 가장 낮은 측정값의 유효 숫자와 자리수가 같다.
 (2) 덧셈과 뺄셈 : 결과 값은 정밀도가 가장 낮은 유효 숫자와 최소자리가 같아야 한다.

예제 4

다음의 계산을 완료하고, 답을 유효 숫자로 표시하라.

- (1) 1.20×200
 (2) $6.4 \times 10^3 \text{ km} + 40 \text{ km}$

예제 5

유효 숫자 개념에 의하여 $(1.039 - 1.020) / 1.039$ 을 계산한 값은?
 (일반)

- ① 0.018 ② 0.0182 ③ 0.01 ④ 0.01828

예제 6

다음을 정확하게 유효 숫자에 맞춰 계산하시오.

$$55 \text{ mg} - 4.671 \text{ mg} + 0.894 \text{ mg}$$



4. 단위 차원 분석

1. 차원 분석(Dimensional analysis)

- (1) 한 단위계에서 얻은 결과를 다른 단위계로 환산하는 방법으로 단위 인자 방법(Unit factor method)라고도 한다.
- (2) 단위 인자(unit factor)에 존재하는 수는 완전수이다.

$$1 \text{ m} = 1.094 \text{ yd} \text{ 라면}$$

$$\frac{1 \text{ m}}{1.094 \text{ yd}} = \frac{1.094 \text{ yd}}{1 \text{ m}} = '1' \text{ 이 된다.}$$

예제 7

6.22 mi를 km 단위로 환산하라. (단, $1 \text{ m} = 1.094 \text{ yd}$ 이며, $1760 \text{ yd} = 1 \text{ mi}$ 이다.)

예제 8

1 gal 당 35 mile을 달리는 자동차의 연비를 liter 당 km로 나타내어보라. (단, $1 \text{ mi} = 1760 \text{ yd}$, $1 \text{ gal} = 4 \text{ L}$ 이다.)

예제 9

1 km^3 은 몇 L인가?

2. 온도

온도의 측정에 널리 사용되는 척도는 섭씨(Celsius), 화씨(Fahrenheit), 그리고 절대 온도이다. 이들 사이의 단위인자는 다음과 같다.

$$T_K = T_C + 273.15$$

$$T_F = \frac{9}{5} T_C + 32$$

예제 10

섭씨 온도와 화씨 온도 눈금의 값이 같아지는 온도는?

예제 11

정상인의 체온은 310.2 K이다. 화씨 온도로 얼마가 되는가?

3. 밀도(Density)

단위 부피에 대한 질량의 비를 밀도라고 한다.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

예제 12

물의 밀도는 1.0 g/cm³이다. 몇 kg/L인가? 몇 t/m³인가?

2 원자, 분자와 이온

20세기의 과학은 고성능 현미경으로 원자들을 직접 볼 수 있다. 그러나 눈으로 확인할 수 없었을 때에도 산소나 수소의 절대 질량비가 16 : 1에 가깝다는 것을 올바르게 주장했다.



5. 원자 존재에 대한 증거 : 화학 결합의 법칙

1. 질량 보존 법칙

프랑스의 Lavoisier는 화학 반응에서 질량은 새로 창조되지도 소멸하지도 않는다고 발표했다.

2. 일정 성분비 법칙

프랑스의 Proust는 주어진 화합물에서 원소들의 질량비가 항상 같다는 사실을 보여 주었다.

3. 배수 비례 법칙

영국의 Dalton은 두 원소가 서로 다른 일련의 화합물을 형성할 때, 어느 한 원소의 일정량과 결합한 또 다른 원소의 질량비는 간단한 정수비가 있다는 것을 발견했다.

4. 돌턴의 원자설

1808년 Dalton은 ‘화학 철학의 새 체계’라는 책을 발표하며 원자론을 발표한다.

- (1) 각 원소는 원자라는 작은 입자로 이루어졌다.
- (2) 주어진 원소의 원자는 모두 같다.
- (3) 원자는 생성, 소멸, 변화되지 않는다.
- (4) 화학 반응은 원자들이 재편성되는 과정이다.

예제 13

염소와 산소가 네 가지의 이 성분 화합물을 만든다. 분석 결과는 다음과 같다.

화합물	1.0000g의 Cl과 결합한 O의 질량
A	0.22564g
B	0.90255g
C	1.3539g
D	1.5795g

- (a) 이 화합물들에 대하여 배수 비례 법칙이 성립함을 보여라.
- (b) 화합물 A의 식이 Cl_2O 라면 다른 화합물의 분자식을 제시하라.

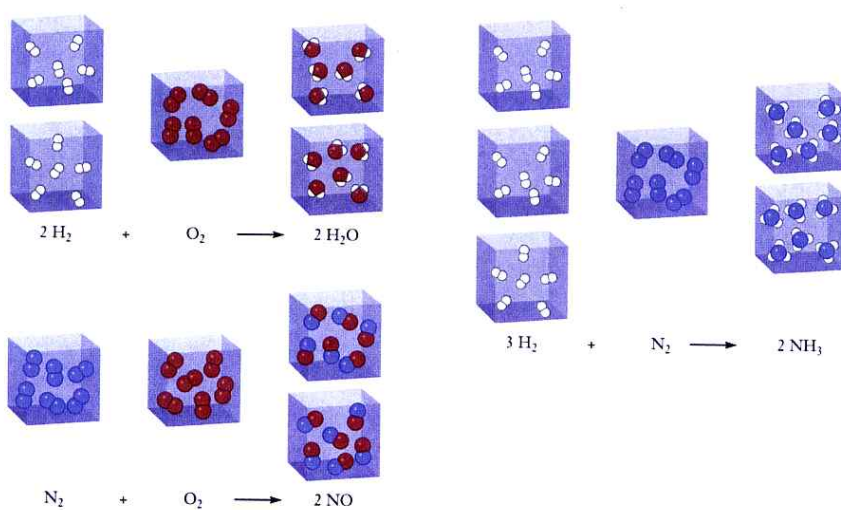
6. 분자 존재에 대한 증거 : 부피 요소

1. 기체 반응 법칙

프랑스의 Gay-Lussac은 기체가 반응하여 새로운 화합물을 만들 때, 일정한 부피비가 있음을 알아냈다.

2. 아보가드로 가설

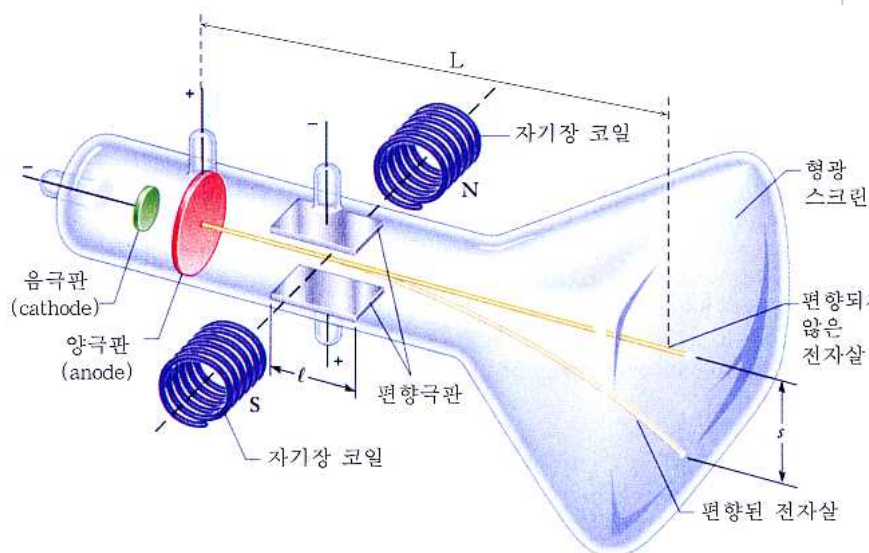
- (1) 기체는 원자가 결합하여 생성된 분자로 구성된다.
- (2) 기체 분자는 같은 온도와 압력에서 같은 부피에 같은 입자 수를 포함한다.



7. 원자의 물리적 구조

1. 전자

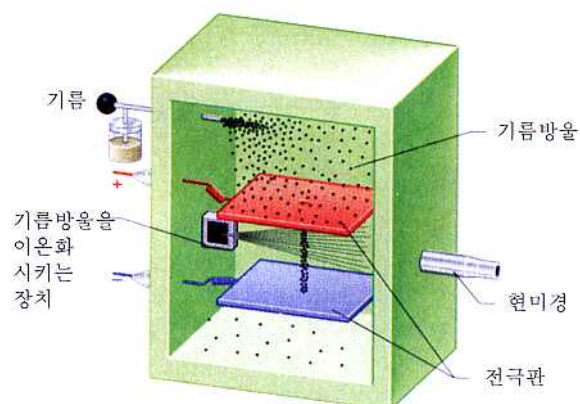
영국의 Thomson은 1898~1903년에 음극선관(cathode-ray tube)의 연구를 통해서 음극선은 음으로 대전된 입자, 즉 전자(electron) 흐름이라고 생각하였다.



$$\frac{e}{m_e} = \frac{SE}{lLH^2} = 1.7588202 \times 10^{11} \text{ C/kg}$$

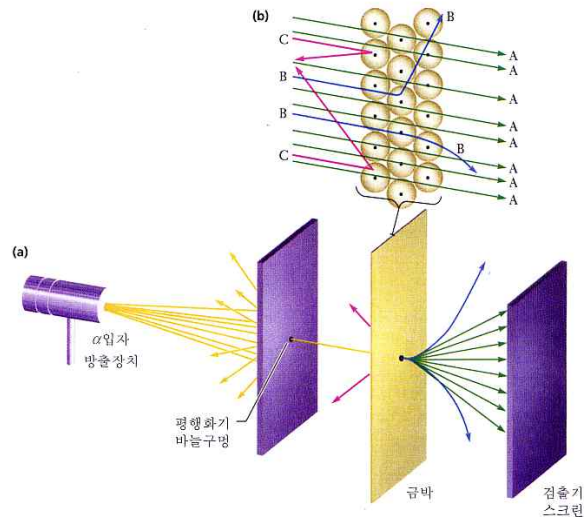
2. 밀리컨의 기름 방울 실험

1909년 미국 Chicago대학의 Millikan은 대전된 기름 방울을 이용하여 전자의 전하량을 측정할 수 있었다.



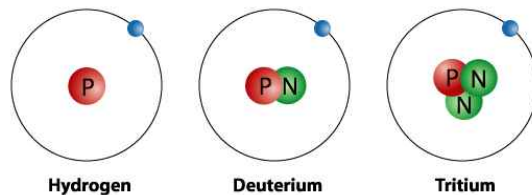
3. 원자핵

1911년 Rutherford는 알파 입자 금속박 산란 실험을 통하여 원자핵을 발견하였다.



4. 중성자 및, 동위 원소

원자 번호(양성자수)와 중성자수의 합을 그 원소의 질량수라고 한다. 같은 원소는 반드시 양성자수가 동일하나, 중성자수는 다를 수 있다. 같은 원소이나 중성자수가 다른 원소를 그 원소의 동위 원소라고 한다.



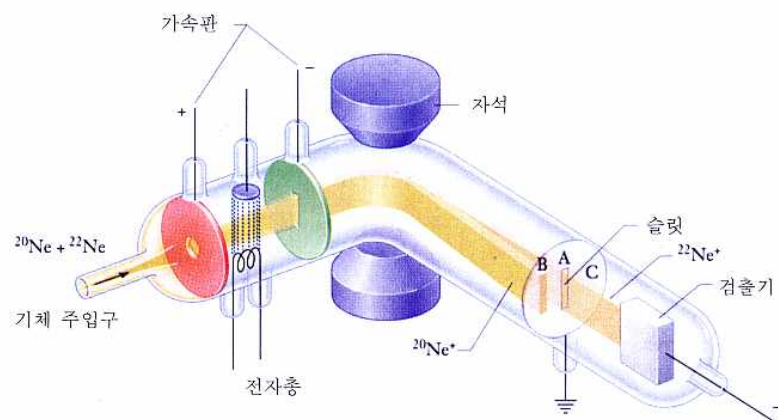
예제 14

원자 번호 86번 라돈-222는 지하실에 존재하여 일반 대중들, 그 중 특히 흡연가들의 폐암 발생율을 증가시킨다고 하여 크게 주목 받고 있다. 원자를 구성하는 전자, 양성자, 중성자의 수를 설명하라.

예제 13

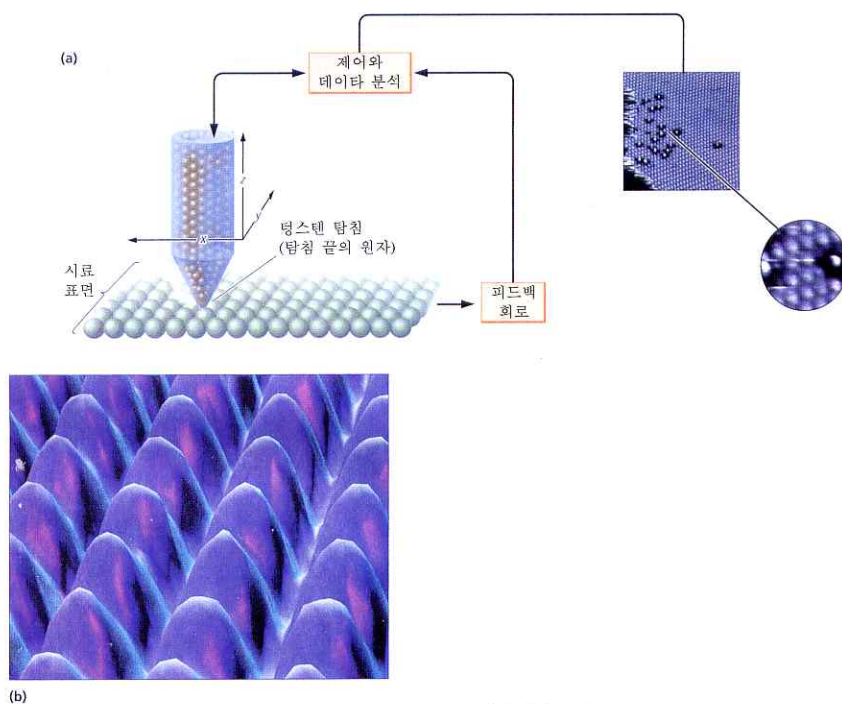
^{12}C 의 척도에서 ^{13}C 의 상대 원자량을 13.003354라고 할 때, 탄소의 화학적 상대 원자량을 계산하라. (단, 자연의 탄소의 구성비는 $^{12}\text{C} : ^{13}\text{C} = 98.892\% : 1.108\%$ 이다.)

5. 질량 분석법을 이용한 상대 원자량과 분자량의 측정
질량 분석기를 이용하면 화학종의 질량을 정확하게 비교할 수 있다.



Particle	Mass	Charge*
Electron	$9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$	1-
Proton	$1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$	1+
Neutron	$1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$	None

6. 주사 터널 현미경을 사용한 직접적 물리적 검출



1. 화학 결합의 종류

화학 결합의 종류	결정	구성입자	녹는점과 끓는점	전기전도성	
				고체	액체
공유 결합 (covalent bond)	원자 결정	원자	매우 높다	x	x
	분자 결정	분자	낮다	x	x
이온 결합	이온 결정	양이온, 음이온	높다	x	o
금속 결합	금속 결정	양이온, 자유전자	높다	o	o

	Alkaline earth metals																	Halogens	Noble gases
	↓ 1A 1	↓ 2A 2												3A 13	4A 14	5A 15	6A 16	7A 17	8A 18
	1 H													5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
	3 Li	4 Be											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
	11 Na	12 Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Transition metals						
	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
	55 Cs	56 Ba	57 La*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
	87 Fr	88 Ra	89 Ac†	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	Uub	Uut	Uuq	Uup				

58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

† Actinides



9. 화학 명명법

1. Ion

(1) Cation

+1가	리튬 Lithium	Li^{+}	나트륨 Sodium	Na^{+}	칼륨 Potassium	K^{+}	루비듐 Rubidium	Rb^{+}
	은 Silver	Ag^{+}	암모늄 Ammonium	NH_4^{+}	수소 Hydrogen	H^{+}		
+2가	베릴륨 Beryllium	Be^{2+}	마그네슘 Magnesium	Mg^{2+}	칼슘 Calcium	Ca^{2+}	스트론튬 Strontium	Sr^{2+}
	바륨 Barium	Ba^{2+}	아연 Zinc	Zn^{2+}				
+3가	알루미늄 Aluminium	Al^{3+}						
+n가	철 Iron(II) Ferrous	Fe^{2+}	철 Iron(III) Ferric	Fe^{3+}	구리 Copper(I) Cuprous	Cu^{+}	구리 Copper(II) Cupric	Cu^{2+}
	납 Lead	Pb^{2+} Pb^{4+}	코발트 Cobalt	Co^{2+} Co^{3+}	주석 Tin	Sn^{2+} Sn^{4+}	수은 Mercury	Hg_2^{2+} Hg^{2+}

(2) Anion

-1가	플루오린화 Fluoride	F^{-}	염화 Chloride	Cl^{-}	브로민화 Bromide	Br^{-}	아이오딘화 Iodide	I^{-}
	수산화 Hydroxide	OH^{-}	질산 Nitrate	NO_3^{-}	아세트산 Acetate	CH_3COO	과망가니즈산 Permanganate	MnO_4^{-}
	탄산수소 (중탄산) Hydrogen carbonate	HCO_3^{-}	황산수소 (중황산) Hydrogen sulfate	HSO_4^{-}			아미드화 Amide	NH_2^{-}
-2가	산화 Oxide	O^{2-}	황화 Sulfide	S^{2-}	황산 Sulfate	SO_4^{2-}	탄산 Carbonate	CO_3^{2-}
-3가	인산 Phosphate	PO_4^{3-}	보론산 Borate	BO_3^{3-}			옥살산 Oxalate	$C_2O_4^{2-}$

02

원자분자이온

(3) 이 성분 이온 결합 화합물(형태 I)

- ① 금속의 산화수가 한 가지일 경우
- ② 양이온을 먼저 쓰고 음이온을 나중에 쓴다.
- ③ 음이온을 먼저 부르고 양이온을 나중에 부른다. (영어에서는 반대)
- ④ 단원자 양이온은 원소의 이름을 그대로 사용한다.
- ⑤ 단원자 음이온은 원소의 이름에 “-화”를 붙인다.

(4) 이 성분 이온 결합 화합물(형태 II)

- ① 금속의 산화수가 여러 가지일 경우
- ② 금속 이온의 전하 로마자로 표기 예) 염화철(II), 염화철(III)
- ③ 금속이 두 종류의 산화수를 가질 때 : 낮은 전하를 띠는 이온 앞에 “제1-”, 높은 이온을 앞에 “제2-”라는 접두사를 붙인다.
- ④ 영어의 경우는 이름 끝에 -ous, -ic의 접미사

염화나트륨 Sodium chloride	$NaCl$	아이오딘화칼륨 Potassium iodide	KI	질산은 Silver nitrate	$AgNO_3$	염화구리(I) Copper(I) chloride	$CuCl$
아이오딘화칼슘 Calcium iodide	CaI_2	수산화바륨 Barium hydroxide	$Ba(OH)_2$	질산아연 Zinc nitrate	$Zn(NO)_3$	염화구리(II) Copper(II) chloride	$CuCl_2$
황산나트륨 Sodium sulfate	Na_2SO_4	탄산칼륨 Potassium carbonate	K_2CO_3	산화은 Silver oxide	Ag_2O	황화리튬 Lithium sulfide	Li_2S
탄산아연 Zinc carbonate	$ZnCO_3$	황산구리(II) Copper(II) Sulfate	$CuSO_4$	황화철 Iron(II) sulfide	FeS	산화마그네슘 Magnesium oxide	MgO
인산암모늄 Ammonium phosphate	$(NH_4)_3PO_4$	붕산베릴륨 Beryllium borate	$Be_3(BO_3)_2$	수산화알루미늄 Aluminum hydroxide	$Al(OH)_3$	탄산알루미늄 Aluminium carbonate	$Al_2(CO_3)_3$

(5) Molecule

- ① 화학식의 두 번째 원소에 “-화”의 접미사 (영어의 경우, 첫 번째 원소를 원소 이름 그대로 먼저 읽는다.)
- ② 다음에 붙이는 첫 번째 원소는 원소 이름을 그대로 사용 (영어의 경우, 두 번째 원소를 음이온으로 부른다.)
- ③ 원자의 개수는 각 원소의 앞에 “이”, “삼”등의 접두사 (영어의 경우, 접두사를 각 원소의 앞에 붙여 명명)
- ④ “일”이란 접두사는 첫 번째 원소에는 붙이지 않는다.

Hydrogen	H_2	Oxygen	O_2	Chlorine	Cl_2	Fluorine	F_2
Nitrogen	N_2	Bromine	Br_2	Iodine	I_2	Ozone	O_3
Water	H_2O	Hydrogen peroxide	H_2O_2	Ammonia	NH_3	Hydrogen chloride	HCl
Carbon monoxide	CO	Carbon dioxide	CO_2	Nitrogen dioxide	NO_2	Ethanol	C_2H_5OH

(6) 산(Acid)

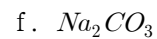
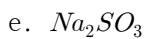
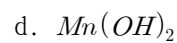
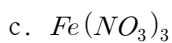
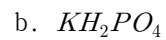
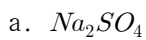
- ① 음이온이 산소를 갖고 있지 않다면 그런 산은 분자의 이름을 쓴 후 “-산”을 붙여 부른다. (영어로는 음이온에 Hydro-를 접두사로, -ic를 접미사로 붙이고 acid를 붙인다.)
- ② 음이온의 끝이 -ite으로 끝나면 -ous acid,
- ③ 음이온의 끝이 -ate로 끝나면 -ic acid

Chloric acid	HCl	Nitric acid	HNO_3	Sulfuric acid	H_2SO_4	Acetic acid	CH_3COOH
Carbonic acid	H_2CO_3	Phosphoric acid	H_3PO_4				

산	음이온	이름
$HClO_4$	과염소산(이온)	과염소산
$HClO_3$	염소산(이온)	염소산
$HClO_2$	아염소산(이온)	아염소산
$HClO$	하이포염소산(이온)	하이포염소산

예제 16

다음 화합물의 이름을 쓰시오.

예제 17

다음 이름들로부터 각 화합물의 화학식을 쓰시오.

a. 탄산수소 소듐

b. 과염소산 세슘

c. 하이포염소산 소듐

d. 셀레늄산 소듐

e. 브로민산 포타슘

예제 18

다음 이름으로부터 각 화합물의 화학식을 쓰시오.

a. 플루오린화 바나듐(V)

b. 이플루오린화 이산소

c. 과산화루비듐

d. 산화 갈륨

3 화학량론

사진에 젤리가 몇 개 있다고 생각하는가?
젤리 1개의 질량을 알고 있다면 전체의 질량을 측정함으로써 젤리의 개수도 파악할 수 있다.



03

화학량론

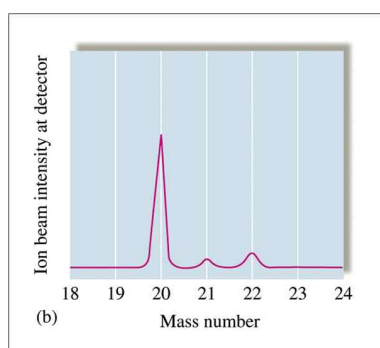
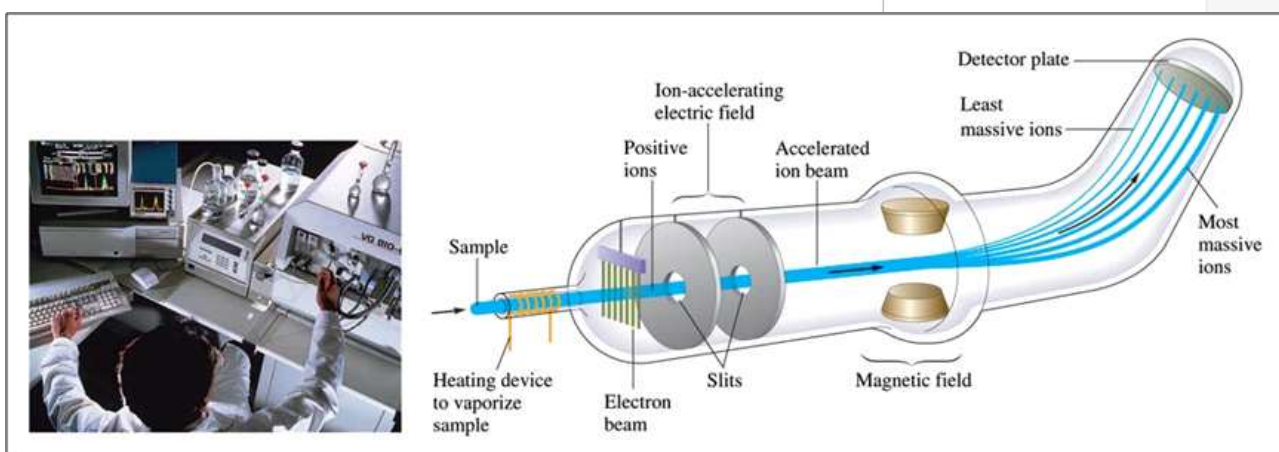
1. 원자량

1. 원자량 기준

^{12}C 의 질량을 정확히 12 원자 질량 단위(Atomic mass unit, amu)로 정함. - 1961년

2. 질량 분석계 (mass spectrometer)

: 원자 질량을 가장 정확하게 비교 가능, 동위 원소 조성결정



질량 분석계를 이용한 Ne의 동위 원소의 조성 비율

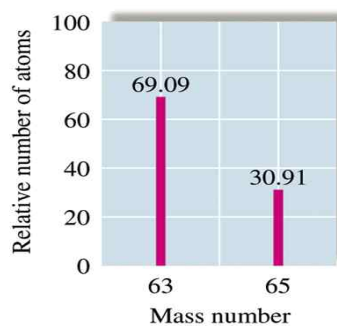
3. 평균 원자량 (average atomic mass)

C 원자의 질량은 12가 아니고 12.01이다. 왜 그럴까?

^{12}C (정확히 12 amu)는 자연계에 98.89 %, ^{13}C (정확히 13.0034 amu)은 1.11 % 존재한다.

예제 19

천연 구리 시료를 기화시켜 질량 분석계에 주입시켰더니 그림 3.3과 같은 결과를 얻었다. 이 결과를 이용하여 천연구리 (^{63}Cu 와 ^{65}Cu 의 질량은 각각 62.93 amu와 64.93 amu)의 평균원자량을 계산하시오.





2. 몰(Mole)

1. 1 mol의 개수

- (1) 정확히 12 g의 순수한 ^{12}C 중에 들어 있는 탄소 원자의 수와 같은 수
- (2) 6.02214×10^{23} 개
- (3) 아보가드로 수 (Avogadro's number)

Ex1) 1 mol ^{12}C 원자 수 = 6.02×10^{23} 개의 ^{12}C 원자 수

Ex2) 1 mol CO_2 분자 수 = 6.02×10^{23} 개의 CO_2 분자 수

Ex3) 1 mol SO_4^{2-} 이온 수 = 6.02×10^{23} 개의 SO_4^{2-} 이온 수

[물음] 1몰의 10원(1cm) 길이와 면적을 예측하라.

2. 몰 질량

몰 질량(molar mass) : 화학종(분자, 화합물, 이온 등) 1몰의 질량

예) CH_4 의 1몰의 질량?

C 1 몰의 질량과 H 4몰의 질량의 합 (C 1 몰의 질량 = 12.01 g, H 1 몰의 질량 : 1.008 g)

예제 20

자연계에서 발견되는 가장 무거운 원소 중 하나는 ^{238}U 이다.

^{12}C 의 상대 원자량을 12로 할 때 이 원자의 상대 원자량은 238.0508이다. ^{238}U 원자 한 개의 질량을 그램 단위로 계산하라.

예제 21

방해석(calcite)의 주성분인 탄산칼슘(CaCO_3)은 석회석, 구슬, 백물, 진주, 조개와 같은 해산물의 껍질에서 발견되는 중요한 무기물이다.

a. 탄산칼슘의 몰 질량을 계산하시오.

b. 탄산칼슘 시료 4.86 mol이 있다. 이 시료의 질량은 그램 단위로 얼마인가? 시료에 들어있는 CO_3^{2-} 이온의 질량은 얼마인가?

예제

바나나 냄새의 원인이 되는 아세트산 아이소펜틸(Isopentyl acetate, $C_7H_{14}O_2$)은 상업적으로 생산이 가능하다. 재미있는 사실은 벌이 쏘 때 다른 벌도 합세하도록 이 화합물 $1\ \mu g(1 \times 10^{-6} g)$ 을 내놓는다는 것이다. 벌이 쏘 때 내놓는 아세트산 아이소펜틸은 몇 분자인가? 이 중에는 탄소 원자 몇 개가 들어 있는가?

3. 화합물의 조성

1. 화학식의 의미

(1) 탄산칼슘의 화학식은 CaCO_3 이다.

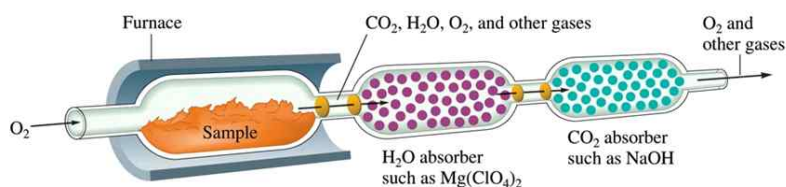
- ① 탄산칼슘 분자 1 물에는 칼슘 1 물, 탄소 1 물, 산소 3 물이 포함된다.
- ② 여기에 각각의 원자량을 곱하면, 이 화합물 1 물에 포함된 각 원자의 질량을 알 수 있다. 즉 Ca 40 g, C 12 g, O 48 g이 화합물 1 물을 구성한다.
- ③ 화학식량은 100이다.

(2) 질량 백분율

- ① 화학종의 몰 질량에 대한 각 원소의 질량비를 질량 백분율이라고 한다.
- ② 탄산칼슘의 질량 백분율은 $\text{Ca} : \text{C} : \text{O} = 40\% : 12\% : 48\%$

2. 화학식의 결정

(1) 시료 분석 : 시료를 연소시켜 발생하는 기체 산화물의 질량을 측정하면, 화합물을 구성하는 (산소 이외의) 원소의 질량비를 구할 수 있다.



(2) 실험식 결정 : 질량, 또는 질량비를 몰수비(개수비)로 나타낸다.

예제 23

산소를 포함하지 않는 어떤 화합물을 연소시켰을 때, 이산화탄소 2.2 g과 물 1.8 g과 이산화황 1.6 g이 발생했다면, 이 화합물을 구성하는 원소는 무엇이며, 각각의 질량비는 어떻게 구하는가?

예제 24

탄소, 수소와 산소로 구성된 화합물 9.2 mg을 완전 연소하였다. 이산화탄소가 17.6 mg, 물이 10.8 mg 발생되었다면, 이 물질의 실험식은 무엇인가?

(3) 분자식의 결정 : 분자식은 실험식의 정수배로 이루어진다.

예제 25

위의 화합물의 분자량이 46일 때, 분자식은? 92일 때 분자식은?

예제 26

커피, 차, 또는 초콜릿의 자극 성분인 카페인을 질량으로 49.48 %의 탄소, 5.15 %의 수소, 28.87 %의 질소, 16.49 %의 산소를 포함하며, 몰 질량은 194.2 g/mol이다. 카페인의 분자식을 구하시오.



4. 화학 반응식

1. 화학 반응식의 의미

화학 반응이 일어나면, 원자들의 재배치가 이루어진다. 이 때 계수비는 화합물의 개수를 표현한다.

$$\text{계수비} = \text{몰수비} = \text{화합물의 개수비} = \text{부피비(기체)}$$

Reactants		Products
$\text{CH}_4(g) + 2\text{O}_2(g)$	$\longrightarrow$	$\text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(g)$
1 molecule + 2 molecules	$\longrightarrow$	1 molecule + 2 molecules
1 mole + 2 moles	$\longrightarrow$	1 mole + 2 moles
6.022×10^{23} molecules + 2 (6.022×10^{23} molecules)	$\longrightarrow$	6.022×10^{23} molecules + 2 (6.022×10^{23} molecules)
16 g + 2 (32 g)	$\longrightarrow$	44 g + 2 (18 g)
80 g reactants	$\longrightarrow$	80 g products

2. 화학 반응식의 완결

- (1) 어떤 반응이 일어나는지 정한다. 반응물과 생성물 및 각각의 물리적 상태를 결정한다.
- (2) 첫 단계의 결과를 요약하는 균형이 맞지 않더라도 반응식을 적는다. (반응물 $\rightarrow$ 생성물)
- (3) 가장 복잡한 분자로부터 시작하여 반응식의 균형을 맞춘다.
- (4) 반응물과 생성물에 포함된 원자의 종류 및 그 개수가 같도록 계수를 결정한다.
- (5) 반응물 및 생성물의 화학식을 바꾸면 안 된다.

예제 27

크로뮴 화합물은 여러 가지 밝은 색을 낸다. 밝은 주황색인 고체 다이크로뮴산 암모늄($(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)에 불을 붙이면 화려한 반응이 일어난다. 실제 반응은 복잡하지만 여기서는 고체 산화 크로뮴(III), 질소 기체(N_2) 및 수증기가 생성물이라고 가정하자. 이 반응의 균형 맞추어진 화학 반응식을 쓰시오.

예제 28

1000 °C에서 암모니아 기체 $\text{NH}_3(g)$ 는 산소 기체와 반응하여 산화질소 기체 $\text{NO}(g)$ 와 수증기가 된다. 이 반응은 질산을 만드는 Ostwald 공정의 첫 단계이다. 이 반응식의 균형을 맞추시오.

3. 화학량론 계산

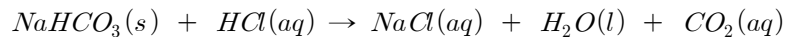
- (1) 균형 맞추어진 화학 반응식을 적어라.
- (2) 물질의 질량수를 몰수로 바꾸어라.
- (3) 균형 맞추어진 반응식을 써서 필요한 몰 수비를 결정하라.
- (4) 몰 수비를 사용하여 원하는 반응물이나 생성물의 몰수를 계산하라.
- (5) 필요하다면 몰수를 다시 그램 수로 바꾸어라.

예제 29

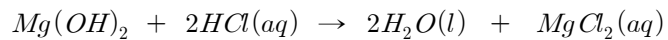
고체 수산화 리튬은 우주선에서 생물체가 내놓는 이산화탄소를 제거하기 위해 사용되며, 생성물로 고체 탄산 리튬과 물이 생성된다. 수산화 리튬 1.00 kg이 흡수할 수 있는 기체 이산화탄소의 질량은 얼마인가?

예제 30

베이킹 소다(NaHCO_3)는 흔히 제산제로 쓰인다. 위에서 분비되는 과량의 염산을 다음과 같이 중화시킨다.



수산화마그네슘의 현탁액인 마그네시아 또한 제산제로 쓰인다.



$\text{NaHCO}_3(s)$ 와 $\text{Mg}(\text{OH})_2(s)$ 중 어느 것이 그램당 제산 효과가 더 크겠는가?

4. 한계 시약을 포함하는 화학량론

- (1) 화학 반응을 일으키기 위해 시약을 섞을 때, 흔히 반응물이 모두 같이 동시에 반응하여 없어지도록 정확히 맞는 양 만큼, 즉 화학양론적 양(stoichiometric quantity)만큼 반응한다.
- (2) 한계 반응물 : 가장 먼저 소비되는 반응물, 생성물의 양을 결정.

예제 31

고온에서 고체 산화구리(II)위에 기체 암모니아를 통과시키면 질소 기체를 얻을 수 있다. 반응에서 다른 생성물은 고체 구리와 수증기이다. NH_3 18.1 g이 CuO 90.4 g 과 반응한다면 어느 것이 한계 반응물인가? N_2 는 몇 그램이나 생성되겠는가?

예제 32

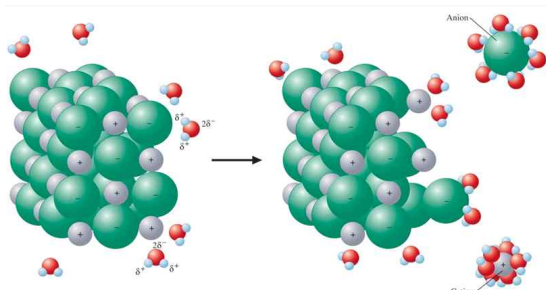
메탄올 (CH_3OH)은 가장 간단한 알코올이다. 이것은 경주용 자동차의 연료로 쓰이고 있어 미래의 휘발유 대용품이 될 수도 있다. 메탄올은 일산화탄소와 수소를 반응시켜 만든다. $CO(g)$ 68.5 kg이 $H_2(g)$ 8.60 kg과 반응한다면 이론적 수득량은 얼마이겠는가? 만약, CH_3OH $3.57 \times 10^4 g$ 이 실제 얻어졌다면 메탄올의 수득 백분율은 얼마인가?

4 물과 수용액

1. 물의 용해성

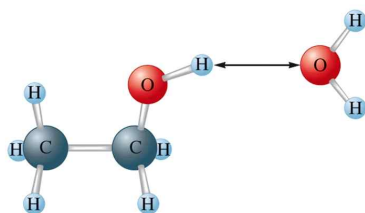
1. 물질의 물에 대한 용해도 경향

(1) 이온성 염류들은 용해도가 크다.



(2) 수소 결합을 형성하는 분자는 용해도가 크다.

(3) 극성인 분자가 용해도가 크다.



2. 전해질(Electrolyte)

(1) 용액 : 균일 혼합물

① 용매(solvent) : 녹이는 물질

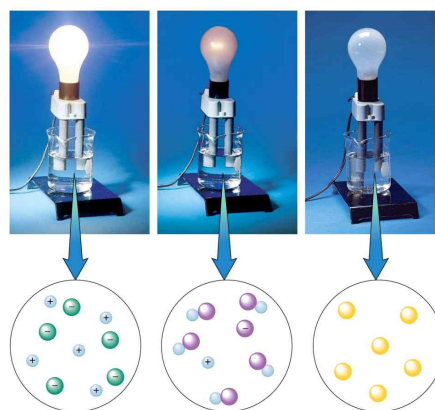
② 용질(solute) : 녹는 물질

(2) 전기 전도도(electrical conductivity) : 전류를 흐르게 하는 능력 (용액의 특성을 나타내는 유용한 성질)

① 센 전해질(strong electrolyte) : 전류가 효과적으로 흘러 전구가 매우 밝은 빛을 냄

② 약한 전해질(weak electrolyte) : 약간의 전류가 흘러 전구가 희미한 빛을 냄

③ 비전해질(nonelectrolyte) : 용액에 전류가 흐르지 않으며 전구는 빛을 내지 않음





2. 용액의 농도

1. 몰 농도(Molarity)

용액 1 L에 녹아있는 용질의 몰수를 그 용액의 몰 농도라고 하며, 단위는 mol/L, 또는 M을 사용한다.

$$C = \frac{n}{V} \quad (\text{mol/L} = \text{M})$$

예제 33

11.5 g의 고체 수산화소듐을 물에 녹여 1.50 L의 용액을 만들었을 때, 몰 농도를 계산하시오.

예제 34

1.56 g의 HCl 기체를 물에 녹여 26.8 mL의 용액을 만들었을 때, 몰 농도를 계산하시오.

예제 35

다음 각 용액에 들어 있는 모든 이온의 농도를 나타내시오.

a. 0.50 M $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$

b. 1 M $\text{Fe}(\text{ClO}_4)_3$

예제 36

$1 \times 10^{-3} \text{ M}$ 의 ZnCl_2 1.75 L에 녹아있는 Cl^- 의 몰 수는 얼마인가?

예제 37

일반적으로 혈청에는 약 0.14 M의 $NaCl$ 이 녹아있다. 1.0 mg의 $NaCl$ 을 포함하고 있는 혈액의 부피는 얼마인가?

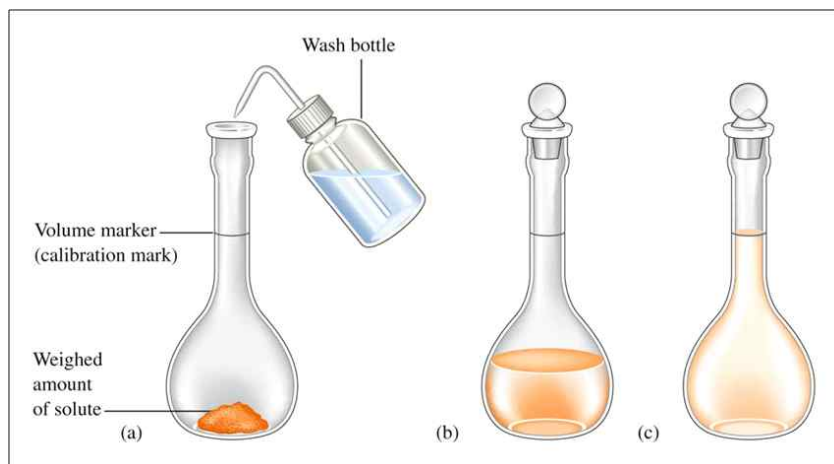
예제 38

어떤 포도주에 들어 있는 알코올의 양을 분석하는데 0.200 M의 $K_2Cr_2O_7$ (다이크로뮴산 포타슘)표준수용액 1.00 L가 필요했다. 이 용액을 만드는 데 필요한 고체 $K_2Cr_2O_7$ 의 양은 얼마인가?

2. 묽힘(Diluting)

저장 용액(진한 형태로 된 용액 - 실험에서 시간과 공간을 아끼기 위해)에 물을 첨가 하여 원하는 몰 농도를 얻는 과정

$$\text{묽힘 후의 용질의 몰 수} = \text{묽힘 전의 용질의 몰 수}$$



예제 39

17.4 M의 아세트산($HC_2H_3O_2$) 저장 용액으로부터 1.00 M의 아세트산 500 mL를 만드는 방법은?

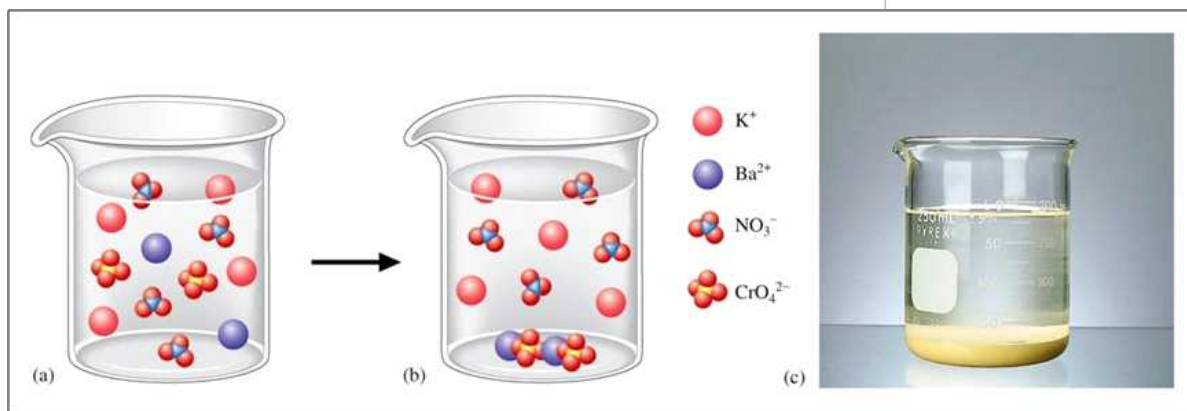
예제 40

0.10 M의 H_2SO_4 용액 1.5 L를 만드는데 필요한 16 M의 황산 부피는 얼마인가?

3. 침전 반응(Precipitation)

1. 침전 반응

- (1) 두 용액을 섞을 때, 불용성 고체 물질(침전 - precipitate)이 생성됨.
- (2) 예를 들어 노란색의 크로뮴산 포타슘 수용액(K_2CrO_4)을 무색의 질산바륨($Ba(NO_3)_2$)에 가하면 침전이 생성된다.



2. 용해도 경향

- (1) 대부분의 질산(NO_3^-)염은 물에 녹는다.
- (2) 대부분 알칼리 금속 이온(Li^+ , Na^+ , K^+ , Cs^+ , Rb^+)과 암모늄 이온(NH_4^+)을 포함하는 염은 물에 녹는다.
- (3) 대부분의 염화물, 브로민화물, 아이오딘화물들은 물에 녹는다. 중요한 예외는 Ag^+ , Pb^{2+} , Hg_2^{2+} 이온을 포함한 염이다.
- (4) 대부분의 황산염은 물에 녹는다. 중요한 예외는 $BaSO_4$, $PbSO_4$, Hg_2SO_4 , $CaSO_4$ 이다.
- (5) 대부분의 수산화염은 약간 녹는다. 물에 녹는 중요한 수산화물은 $NaOH$ 와 KOH 이다. $Ba(OH)_2$, $Sr(OH)_2$, $Ca(OH)_2$ 는 조금 녹는다.
- (6) 대부분의 황화(S^{2-}), 탄산(CO_3^{2-}), 크로뮴산(CrO_4^{2-}), 인산(PO_4^{3-}) 염은 약간 녹는다.

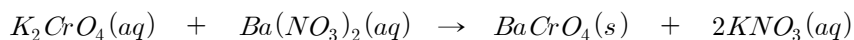
예제 41

용해도 규칙을 이용하여, 다음의 두 용액을 섞을 때 일어나는 현상을 예측하시오.

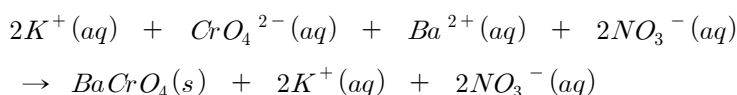
- $KNO_3(aq)$ 와 $BaCl_2(aq)$
- $Na_2SO_4(aq)$ 와 $Pb(NO_3)_2(aq)$
- $KOH(aq)$ 와 $Fe(NO_3)_3(aq)$

3. 용액의 반응 표현

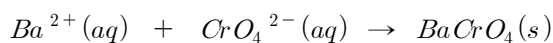
- (1) 화학식 반응식은 전체 반응의 화학양론을 나타내고, 용액 속의 반응물과 생성물의 실제 형태를 나타내지 않는다.



- (2) 전체 이온 반응식은 쉰 전해질인 반응물과 생성물을 모두 이온으로 나타낸다.



- (3) 알짜 이온 반응식은 변화에 참여하는 용액 성분만을 나타내고, 구경꾼 이온은 나타내지 않는다.



예제 42

수산화포타슘 수용액을 질산 철(III)와 혼합하여 수산화 철(III)가 침전되고, 질산포타슘의 수용액이 생성된다. 분자 반응식, 전체 이온 반응식, 알짜 이온 반응식을 각각 쓰시오.

4. 침전 반응의 화학양론

침전 반응 역시 기존의 화학양론의 원리가 그대로 이용된다.

예제 43

Na_2SO_4 와 $Pb(NO_3)_2$ 수용액을 섞으면 $PbSO_4$ 가 침전된다. 0.0500 M $Pb(NO_3)_2$ 1.25 L와 0.0250 M Na_2SO_4 2.00 L를 섞을 때 만들어지는 $PbSO_4$ 의 질량을 계산하시오.



4. 산-염기 반응

1. 산과 염기의 정의

(1) Arrhenius의 산 염기 정의

- 산 : 물에 녹았을 때 H^+ 이온을 만들어 내는 물질
- 염기 : 물에 녹았을 때 OH^- 이온을 만들어 내는 물질

(2) Bronsted - Lowry의 산염기 정의

- 산 : 양성자(H^+) 주개
- 염기 : 양성자(H^+) 받개

2. 산-염기 반응(중화 반응 : neutralization reaction)

산과 염기가 반응하여 물과 염을 생성하는 반응

Ex) 아세트산($HC_2H_3O_2$)과 수산화포타슘(KOH)의 반응

✓ 화학식 반응식

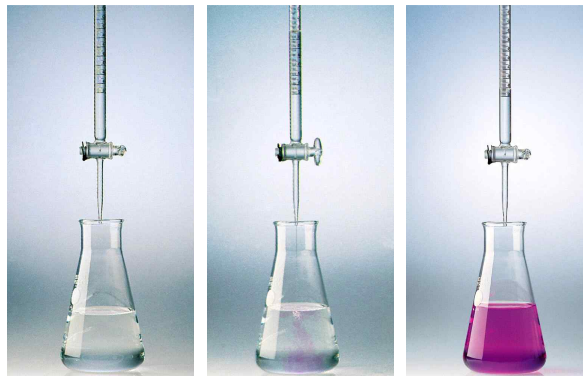
✓ 알짜 이온 반응식

예제 44

0.250 M HNO_3 28.0 mL와 0.320 M KOH 53.0 mL를 혼합하였다. 이 반응에 의해 생긴 물의 양을 계산하시오. 반응이 완결된 후, 존재하는 H^+ 또는 OH^- 이온의 농도는 얼마인가?

3. 산-염기 적정(acid-base titration)

- (1) 분석하려는 시약이 산 또는 염기 일 경우는 적정 시약으로 센 산 또는 센 염기가 되는데, 이 과정을 산 염기 적정이라고 한다.



- (2) 부피 분석(volumetric analysis) : 적정을 하여 어떤 물질의 양을 측정하는 방법
- (3) 적정(titration) : 농도를 알고 있는 용액(적정 시약(titrant))을 뷰렛으로부터, 분석하는 물질의 용액(분석 시약(analyte))에 가하여, 적정 시약에 포함된 물질이 분석시 약과 반응하도록 하여 분석 시약의 몰 농도를 분석하는 것
- (4) 당량점(equivalent point) : 적정이 완결되는 점 (화학양론적 종말점(stoichiometric end point))
- (5) 종말점(end point) : 지시약(indicator)의 색이 실제로 변화하는 점

예제 45

어떤 학생이 수산화 소듐 용액의 표준화 실험(정확한 농도의 측정)을 하고자 한다. 이 학생은 1.3009 g의 프탈산 수소 포타슘($KHC_8H_4O_4$, 또는 KHP)을 저울에 달았다. KHP 는 몰 질량이 204.22 g/mol이고, 분자 내에 한 개의 산성 수소를 가졌다. KHP 를 증류수에 녹이고, 지시약으로 페놀프탈레인을 가하여 이 용액을 수산화 소듐 용액으로 페놀프탈레인의 종말점까지 적정한다. 적정의 처음과 마지막의 뷰렛의 용액의 눈금을 읽어, 그 차이로부터 1.3009 g의 KHP 와 정확하게 반응하기에 필요한 수산화 소듐의 부피가 41.20 mL인 것을 알 수 있었다. 수산화 소듐 용액의 농도를 계산하시오.



5. 산화-환원 반응

1. 산화-환원 반응(oxidation-reduction reaction 또는 redox reaction)

- (1) 반응 중에 한 개 이상의 전자가 이동하는 반응
- (2) 산화 (oxidation) : 산화 상태의 증가(전자를 잃어버림)
- (3) 환원 (reduction) : 산화 상태의 감소(전자를 얻음)
- (4) 산화제(oxidizing agent, electron acceptor) : 전자 받개, 상대를 산화 시켜주는 물질 (본인은 환원)
- (5) 환원제(reducing agent, electron donor) : 전자 주개, 상대를 환원 시켜주는 물질 (본인은 산화)

2. 산화수 (oxidation number)

- (1) 동종 핵 사이의 공유 결합 : 전자를 두 원자 사이에 똑같이 분배
- (2) 이종 핵 사이의 공유 결합 : 전자에 대해 보다 강한 친화력을 가진 원자에 모든 전자를 할당한다.
- (3) 산화수 규칙

The Oxidation State of . . .	Summary	Examples
• An atom in an element is zero	Element: 0	Na(s), O ₂ (g), O ₃ (g), Hg(l)
• A monatomic ion is the same as its charge	Monatomic ion: charge of ion	Na ⁺ , Cl ⁻
• Fluorine is -1 in its compounds	Fluorine: -1	HF, PF ₃
• Oxygen is usually -2 in its compounds Exception: peroxides (containing O ₂ ²⁻) in which oxygen is -1	Oxygen: -2	H ₂ O, CO ₂
• Hydrogen is +1 in its covalent compounds	Hydrogen: +1	H ₂ O, HCl, NH ₃

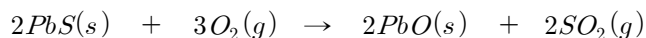
예제 46

다음 화합물에서 각 원자의 산화 상태를 나타내시오.

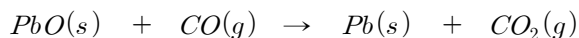
- a. CO₂
- b. SF₆
- c. NO₃⁻

예제 47

광석으로부터 금속을 얻는 야금술에는 언제나 산화-환원 반응이 관여한다. 주요 납의 광석인 방연광(PbS)의 경우, 반응의 첫 단계는 황화납이 산화물로 변하는 것이다.(배소 과정이라 부른다.)



다음 산화물을 일산화탄소로 처리하면 금속 원소가 만들어진다.



각 반응에 대해 산화 및 환원된 원자를 밝히고, 산화제와 환원제를 지적하시오.

3. 산화-환원 반응식의 균형 맞추기

(1) 반쪽 반응법(half reaction method) : 산화 환원 반응식의 균형을 맞추는데 이용하는 특별한 방법

(2) 산성 용액에서 일어나는 산화 환원 반응에 대하여 반응식의 균형을 맞추는 반쪽 반응법

① 산화 및 환원 반쪽 반응식을 적는다.

② 각 반쪽 반응식에 대해

a. 수소와 산소를 제외한 모든 원소의 균형을 맞춘다.

b. H_2O 를 이용하여 산소의 균형을 맞춘다.

c. H^+ 을 이용하여 수소의 균형을 맞춘다.

d. 전자를 이용하여 전하의 균형을 맞춘다.

③ 만약 필요하다면, 한쪽 또는 양쪽의 균형 맞추어진 반쪽 반응식에 정수를 곱하여 양쪽의 전자수를 맞춘다.

④ 반쪽 반응식을 더하고, 같은 화학종을 없앤다.

⑤ 원소 및 전하의 균형을 확인한다.

(3) 염기성 용액에서 일어나는 산화-환원 반응에 대하여, 반응식의 균형을 맞추는 반쪽 반응법

① 산성 용액의 경우에 반쪽 반응법을 이용하되, 최종적인 균형 반응식에 H^+ 이온이 존재 하도록 적는다.

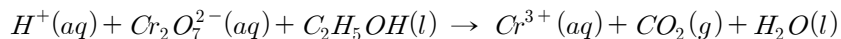
② 단계 1에서 얻은 반응식의 양쪽에 H^+ 이온 수와 같은 수의 OH^- 이온을 더한다. (H^+ 을 H_2O 로 만들어 제거하기 위함.)

③ H^+ 와 OH^- 이온이 모두 존재하는 쪽에서는 H_2O 이 만들어진다. 그런 후, 반응식의 양쪽에 있는 물 분자를 제거한다.

④ 원소 및 전하의 균형을 확인한다.

예제 48

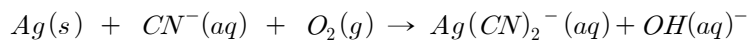
다이크로뮴산 포타슘($K_2Cr_2O_7$)은 밝은 주황색 화합물로, 환원되면 청자색 Cr^{3+} 를 만든다. 특정 조건 하에서 $K_2Cr_2O_7$ 은 에탄올(C_2H_5OH)과 다음과 같이 반응한다.



반쪽 반응법을 이용하여 이 반응식의 균형을 맞추시오.

예제 49

은(silver)은 자연에서 덩어리 형태로 발견되기도 하고, 더욱 흔하게는 다른 금속과 섞인 채로 발견되기도 한다. 사이안화 이온은 염기성 용액에서 일어나는 다음 반응에 의해 은을 수출해 내는 데 자주 사용된다.



반쪽 반응법을 이용하여 이 반응식의 균형을 맞추시오.

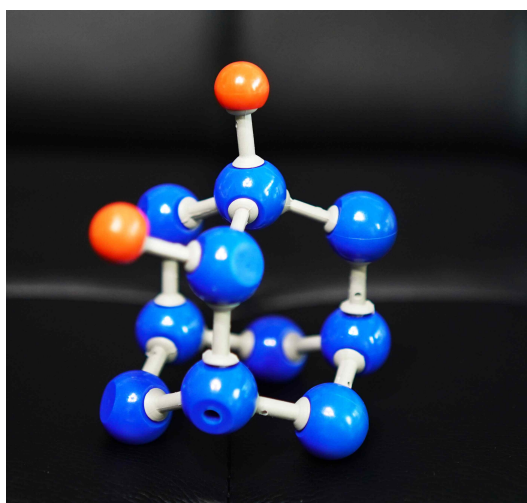
일반화학 주된 ◆ 이론



General Chemistry

제 2 부

기체와 열화학



5 기체

1. 압력, 온도와 부피

1. 기압

- (1) 1643년 이탈리아의 물리학자이며 Galileo의 제자인 Evangelista Torricelli가 기압을 측정하는 기압계를 발명했다. 해수면에서 실험한 결과 수은의 평균 높이는 760 mm이며, 이를 대기압이라고 한다.

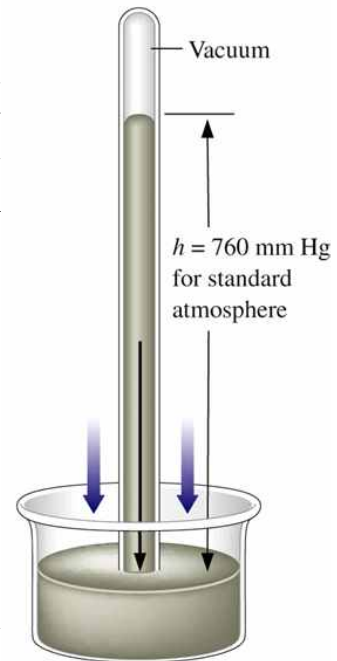
$$1 \text{ 기압} = 760 \text{ mmHg}$$

(2) 압력의 단위

$$\begin{aligned} 1 \text{ 표준 기압} &= 1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} \\ &= 760 \text{ torr} = 101325 \text{ Pa} \end{aligned}$$

예제 50

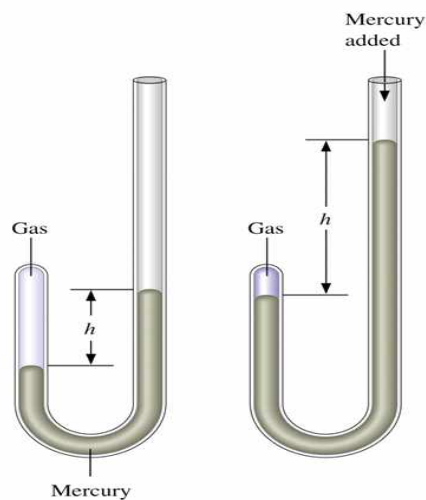
어떤 기체 압력이 49 torr로 측정되었다. 이 압력을 atm과 pascal로 환산하시오.



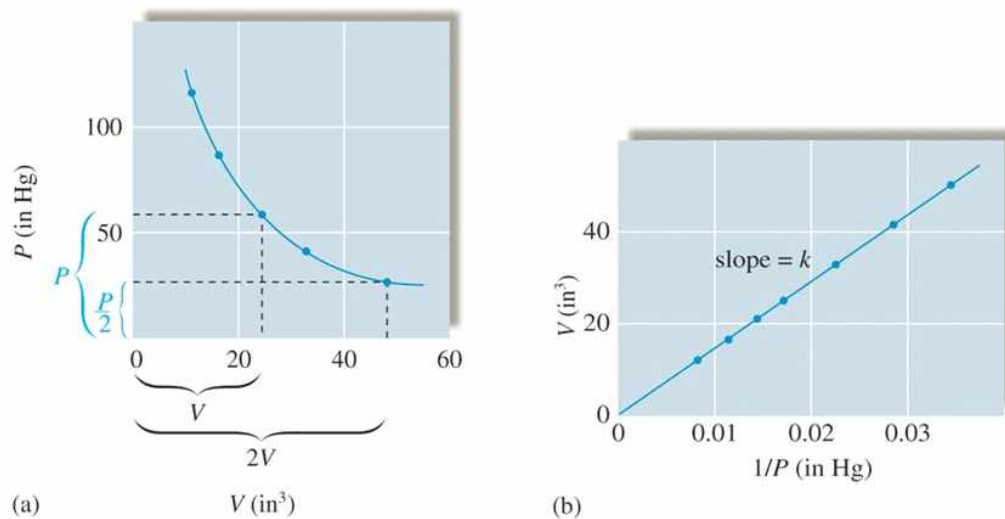
2. 보일(Boyle) 법칙

- (1) 일정 온도에서 기체의 압력과 부피는 반비례한다.

$$V = \frac{k}{P} = k \frac{1}{P}$$

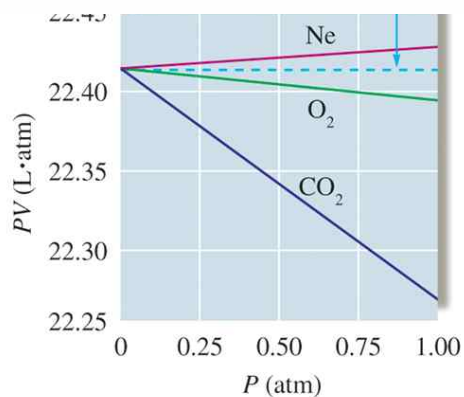


(2) 보일 법칙 그래프 표현



(3) 보일 법칙의 적용

서로 다른 기체에 보일 법칙을 적용하면, 낮은 압력에서 잘 적용된다.

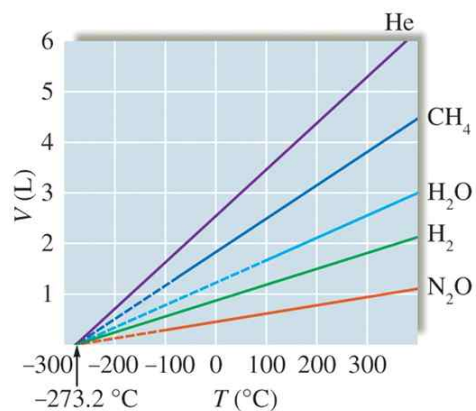


3. 샤를(Charles) 법칙

(1) 일정한 압력에서 기체

의 부피는 기체의 온도에 대해 선형으로 증가 (1787년)

$$(2) V = bT$$

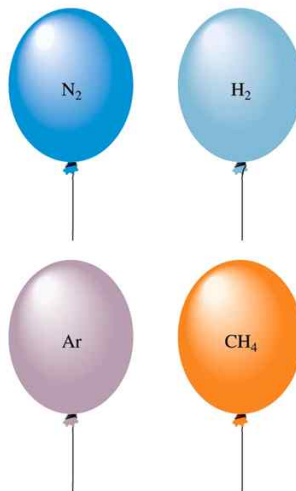


예제 51

15 $^{\circ}\text{C}$ 와 1 atm에서 어떤 기체의 부피가 2.58 L이다. 38 $^{\circ}\text{C}$ 와 1 atm에서 이 기체의 부피는 얼마인가?

4. 아보가드로(Avogadro) 법칙

(1) 같은 온도와 압력에서 같은 부피의 기체는 “입자”수가 같다.

(2) $V = an$ 예제 52

1 atm 압력과 25 °C에서 0.5 mol의 산소(O_2) 부피는 12.2 L이다. 같은 온도와 압력에서 이 산소가 모두 오존(O_3)으로 변한다면, 오존의 부피는 얼마인가?



2. 이상 기체 법칙

1. 이상 기체 상태 방정식

Boyle 법칙 : $V = \frac{k}{P}$ (일정한 T와 n)

Charles 법칙 : $V = bT$ (일정한 P와 n)

Avogadro 법칙 : $V = an$ (일정한 T와 P)

위의 관계식들을 조합하면..

$$V = R \left(\frac{Tn}{P} \right)$$

이상 기체 법칙 (ideal gas law)

$$PV = nRT$$

R은 만유 기체 상수(universal gas constant)이며, 표준 상태(STP, 0℃, 1 atm)에서 기체 1 몰의 부피는 22.4 L이므로 기체 상수는 다음과 같이 얻어진다.

$$R = \frac{PV}{nT} = \frac{1\text{atm} \times 22.4\text{Lmol}^{-1}}{1\text{mol} \times 273\text{K}} = 0.082 \text{ atm} \cdot \text{L} / \text{mol} \cdot \text{K}$$

예제 53

다이보레인(B_2H_6)은 공기에 노출되면 불꽃을 내며 타는 기체이다. -15 ℃와 345 torr 압력에서 이 기체 시료의 부피가 3.48 L였다. 온도를 36 ℃로, 압력을 468 torr로 상태를 바꾸면 기체의 부피는 얼마가 될까?

예제 54

25 ℃와 1.65 atm에서 부피가 2.80 L인 메테인 기체를 31 ℃와 1.25 atm에서 부피가 35.0 L 인 산소 기체와 혼합하였다. 혼합물을 점화시켜 이산화탄소와 수증기를 생성하였다. 압력이 2.5 atm 이고, 온도가 125 ℃에서 생성된 CO_2 의 부피를 계산하시오.

2. 기체의 몰 질량

이상 기체 법칙을 이용하여 주어진 온도와 압력에서 기체의 밀도를 안다면 기체의 몰 질량(분자량)을 계산할 수 있다.

$$n = \frac{\text{기체 그램 수}}{\text{몰 질량}} = \frac{\text{질량}}{\text{몰 질량}} = \frac{w}{\text{몰 질량}}$$

$$P = \frac{nRT}{V} = \frac{(w/\text{몰 질량})RT}{V} = \frac{w(RT)}{V/(\text{몰 질량})}$$

$$P = \frac{dRT}{\text{몰 질량}}$$

$$\text{몰 질량} = \frac{wRT}{PV} = \frac{dRT}{P}$$

예제 55

1.50 atm과 27 °C에서 기체의 밀도를 측정하였더니 1.95 g/L였다. 기체의 몰 질량을 계산하시오.

3. 돌턴 분압 법칙

1. 부분 압력

용기 속의 기체 혼합물이 가하는 전체 압력은 각 각의 기체가 홀로 있을 때 가하는 압력들의 합과 같다.

$$P_{\text{전체}} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$$

위의 식에서 P_1 , P_2 , P_3 등을 각각의 부분 압력이라고 한다.

2. 기체의 분압

각각의 기체들이 이상적으로 거동한다고 가정한다면

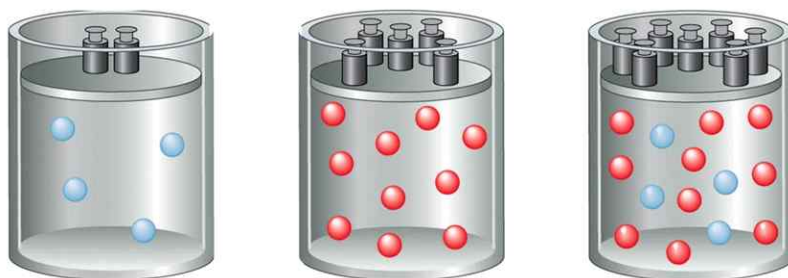
$$P_1 = \frac{n_1 RT}{V}, \quad P_2 = \frac{n_2 RT}{V}, \quad P_3 = \frac{n_3 RT}{V}, \quad \dots$$

$$\begin{aligned} P_{\text{전체}} &= P_1 + P_2 + P_3 + \dots = \frac{n_1 RT}{V} + \frac{n_2 RT}{V} + \frac{n_3 RT}{V} + \dots \\ &= (n_1 + n_2 + n_3 + \dots) \left(\frac{RT}{V} \right) \end{aligned}$$

$$P_{\text{전체}} = n_{\text{전체}} \left(\frac{RT}{V} \right)$$

위의 식에서 $n_{\text{전체}}$ 는 혼합물에서 모든 기체의 몰수의 합이다.

이상 기체의 혼합물은 각 기체 입자의 종류나 조성이 아니라 입자의 전체 개수이다.



3. 몰 분율과 분압

(1) 혼합물에서 어떤 주어진 성분의 몰수와 전체 몰수와의 비율

$$\chi_1 = \frac{n_1}{n_{\text{전체}}} = \frac{n_1}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots}$$

(2) 이상 기체 방정식으로 부터의 기체의 몰수를 나타내면

$$n = P\left(\frac{V}{RT}\right)$$

혼합물의 각 성분에 대해서는

$$n_1 = P_1\left(\frac{V}{RT}\right), \quad n_2 = P_2\left(\frac{V}{RT}\right), \quad \dots$$

따라서 압력으로 몰 분율을 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \chi_1 &= \frac{n_1}{n_{\text{전체}}} = \frac{P_1(V/RT)}{P_1(V/RT) + P_2(V/RT) + P_3(V/RT) + \dots} \\ &= \frac{(V/RT)P_1}{(V/RT)(P_1 + P_2 + P_3 + \dots)} \\ &= \frac{P_1}{P_1 + P_2 + P_3 + \dots} = \frac{P_1}{P_{\text{전체}}} \end{aligned}$$

이상 기체의 혼합물에서 각 성분의 몰 분율은 그것의 부분 압력에 정비례한다.

$$\chi_2 = \frac{n_2}{n_{\text{전체}}} = \frac{P_2}{P_{\text{전체}}}$$

예제 56

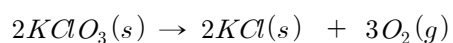
공기 중의 질소의 몰 분율은 0.7808이다. 대기압이 760 torr일 때, 공기 중 질소의 부분 압력을 계산하시오.

4. 기체의 수상치환

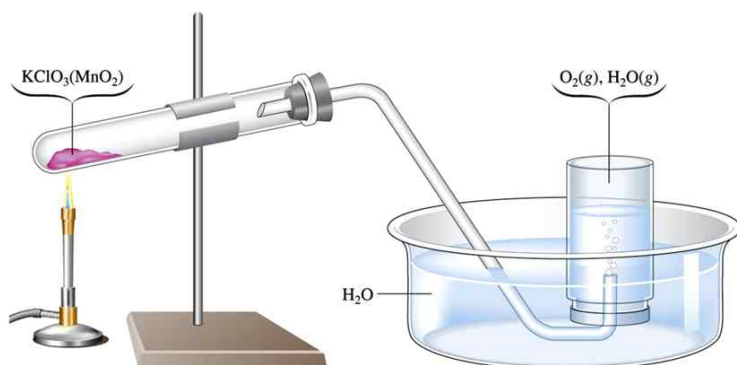
기체를 물과 치환하여 수집할 때는 수증기 때문에 기체 혼합물이 생긴다.

예제 57

고체 염소산포타슘($KClO_3$)을 시험관에서 가열하면 다음 반응에 따라 분해된다.



22 °C와 전체 압력이 754 torr인 조건에서 생성된 산소를 수상치환하였다. 포집된 기체의 부피는 0.650 L이고, 22 °C에서 물의 증기압은 21 torr이다. 포집된 기체의 산소 부분 압력과 분해된 $KClO_3$ 의 질량을 계산하시오.





4. 기체 분자 운동론

1. 기체 분자 운동론

- (1) 입자는 입자 사이의 거리에 비해 매우 작아서 입자의 부피는 무시할 수 있다.
- (2) 입자는 계속해서 움직이고, 용기의 벽에 입자가 충돌하는 것이 기체에 의한 압력의 원인이다.
- (3) 입자 간에 서로 힘이 작용하지 않는다고 가정한다.
- (4) 기체 입자 집합의 평균 운동 에너지는 기체의 Kelvin 온도에 정비례한다고 가정한다.

2. 온도의 의미

Kelvin 온도는 기체 입자의 평균 운동 에너지의 척도

$$\frac{PV}{n} = RT = \frac{2}{3}(KE)_{\text{평균}}$$

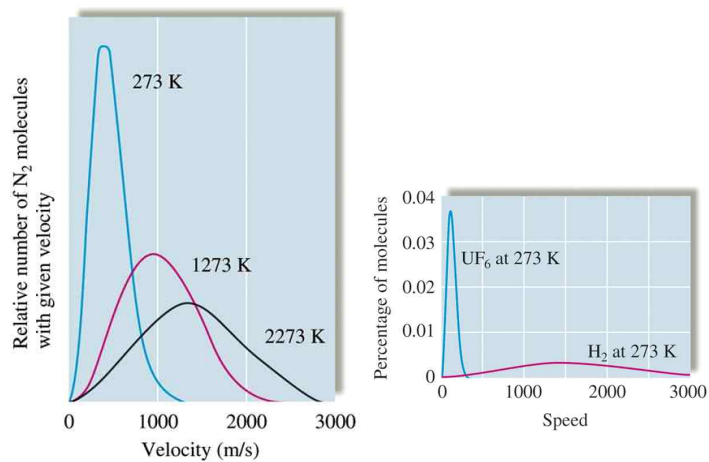
이것은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$(KE)_{\text{평균}} = \frac{3}{2}RT$$

3. 제곱 평균 근 속도

- (1) 제곱 평균 근 속도(root-mean-square-velocity, rms 속도) :
입자 속도의 제곱 평균을 의미

$$u_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$



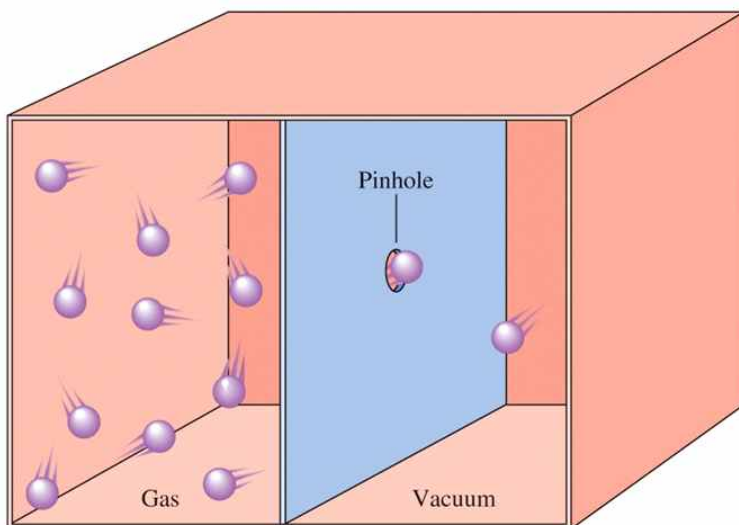
- (2) 평균 자유 행로(mean free path) : 어떤 기체 속에서 입자의 충돌 시에 움직인 평균 거리

예제 58

25 °C 헬륨 기체 시료에서 원자의 제곱 평균 근 속도(rms 속도)를 계산하십시오.

4. 분출과 확산

- (1) 확산(diffusion) : 기체의 혼합을 의미. (확산 속도=혼합 속도)
 (2) 분출(effusion) : 작은 구멍을 통하여 빈 공간으로 기체가 이동해 가는 것을 의미. (분출 속도=기체가 빈 공간으로 이동해 가는 속도)



(3) Graham의 분출 법칙

$$\frac{\text{기체 1의 분출 속도}}{\text{기체 2의 분출 속도}} = \frac{\sqrt{M_2}}{\sqrt{M_1}}$$

예제 59

원자로의 원료를 생산하기 위한 농축 과정에서 사용되는 기체인 육플루오린화 우라늄 (UF_6)과 수소 기체의 분출 속도의 비를 계산하십시오.

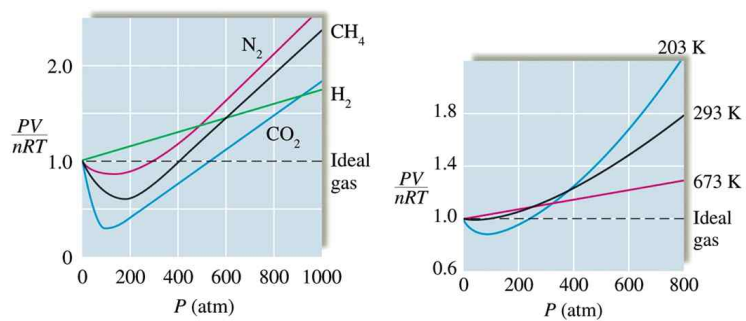
- (4) 암모니아와 염화수소가 만나서 염화암모늄이라는 고체(연기)를 생성하는 위치를 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{NH_3 \text{가 이동한 거리}}{HCl \text{가 이동한 거리}} = \frac{NH_3 \text{의 } u_s}{HCl \text{의 } u_s} = \sqrt{\frac{M_{HCl}}{M_{NH_3}}} = \frac{\sqrt{36.5}}{\sqrt{17}} = 1.5$$

5. 실제 기체

1. 상태 방정식에서 벗어남

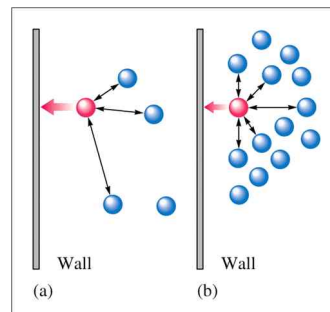
- (1) 몇 가지 기체의 P에 대한 'PV/nRT'를 관측하면 이상적인 거동($PV/nRT=1$)에서 상당히 벗어나는 것을 알 수 있다. 낮은 압력 (1atm이하)에서만 이상적 거동에 가깝다.
- (2) 세 가지 온도에서 질소 기체의 P에 대한 'PV/nRT' 그림의 모든 경우 비이상적인 거동이 명백하지만, 온도가 높을수록 벗어나는 정도가 작다.



2. 판데르발스 방정식

- (1) 분자간 힘은 짧은 거리에서는 반발력으로 먼 거리에서는 인력으로 작용한다.
- (2) 압력 보정
 - ① 높은 농도에서 기체 입자들 사이에 더 많은 상호 작용으로 관측된 기체 입자는 인력이 없을 때 예측되는 압력보다 더 낮은 압력을 벽면에 가한다.
 - ② 분자간 인력

$$P \rightarrow P + a \frac{n^2}{V^2} \quad \text{--- } a \text{ (atmL}^2\text{mol}^{-2}\text{)}$$



(3) 부피 보정

① $V \rightarrow V - nb$

② $b = \text{excluded volume (L mol}^{-1}\text{)}$

③ 분자 자신 1몰이 차지한 부피이므로, 액체 상태에서의 몰부피와 비슷해야 한다. 예를 들어 액체 질소의 밀도는 0.808 g/cm^3 이고, 분자량은 28.0이므로

$$N_2(l) \text{의 몰 부피} = \frac{28.0 \text{ g mol}^{-1}}{0.808 \text{ g cm}^{-3}} = 34.7 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1} = 0.0347 \text{ L mol}^{-1}$$

이 값은 질소의 판데르발스 상수 b 의 값인 $0.03913 \text{ L mol}^{-1}$ 과 비슷하다.

(4) 판데르발스 방정식

$$\left(P + a \frac{n^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

$$P = \frac{nRT}{V - nb} - a \frac{n^2}{V^2}$$

Gas	$a \left(\frac{\text{atm} \cdot \text{L}^2}{\text{mol}^2} \right)$	$b \left(\frac{\text{L}}{\text{mol}} \right)$
He	0.0341	0.0237
Ne	0.211	0.0171
Ar	1.35	0.0322
Kr	2.32	0.0398
Xe	4.19	0.0511
H ₂	0.244	0.0266
N ₂	1.39	0.0391
O ₂	1.36	0.0318
Cl ₂	6.49	0.0562
CO ₂	3.59	0.0427
CH ₄	2.25	0.0428
NH ₃	4.17	0.0371
H ₂ O	5.46	0.0305

예제 60

van der waals equation에서 상수 a 를 보고

H_2 , N_2 , CH_4 , CO_2 의 분자간 인력을 확인할 수 있을까?

확인할 수 있다면 인력이 가장 큰 순서대로 나열해 보시오.

6 열화학

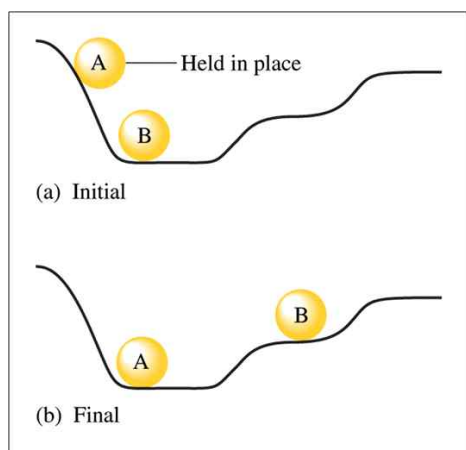
1. 에너지의 본질

1. 에너지 (energy)

- (1) 일을 하거나 열을 발생시킬 수 있는 능력 - 에너지는 열과 일의 두 가지 방법으로 전달
- (2) 퍼텐셜 에너지(potential energy) : 위치 또는 조성의 변화에 따른 에너지
- (3) 운동 에너지(kinetic energy) : 운동에 따른 에너지

2. 에너지 보존 법칙 (law conservation of energy)

에너지는 다른 형태로 바뀔 수는 있지만 새로 만들어 지거나 소멸되지 않는다.



- (1) 온도 (temperature) : 특정 물질을 이루고 있는 입자의 무질서한 운동을 나타내는 특성
- (2) 열 (heat) : 두 물체 사이의 온도 차이에 의한 에너지의 전달 (transfer)
- (3) 일 (work) : 일정한 거리에 걸쳐 작용한 힘
- (4) 경로 함수 (path function) : 경로에 따라 상대적인 양이 달라짐. 예) 열과 일
- (5) 상태 함수 (state function) or 상태 성질 (state property)
현재의 상태에 의해서만 그 값이 결정되는 계의 특성. 경로와 관계없이 처음 상태와 마지막 상태에 의해서만 결정

3. 화학 에너지

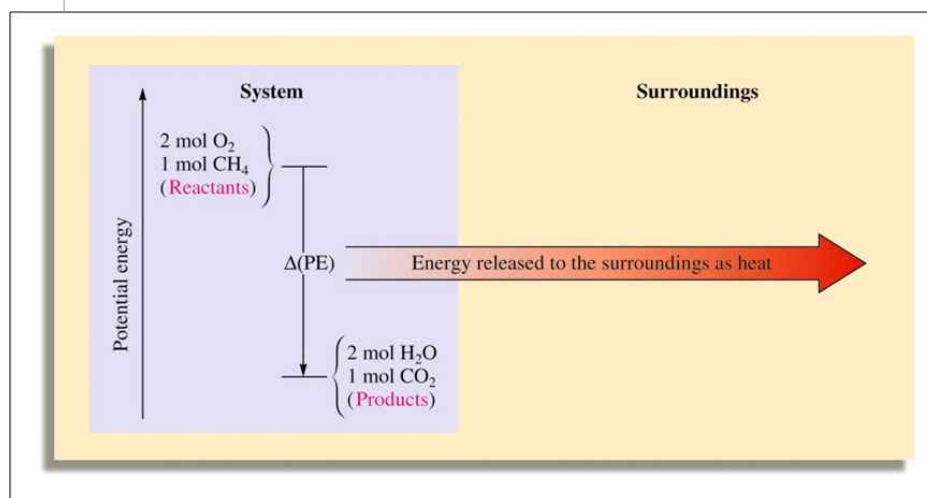
(1) 계(system) : 우주에서 우리의 관심 대상이 되는 부분 - 반응물과 생성물로 정의

- ① 열린계(open system)
- ② 닫힌계(close system)
- ③ 고립계(isolated system)

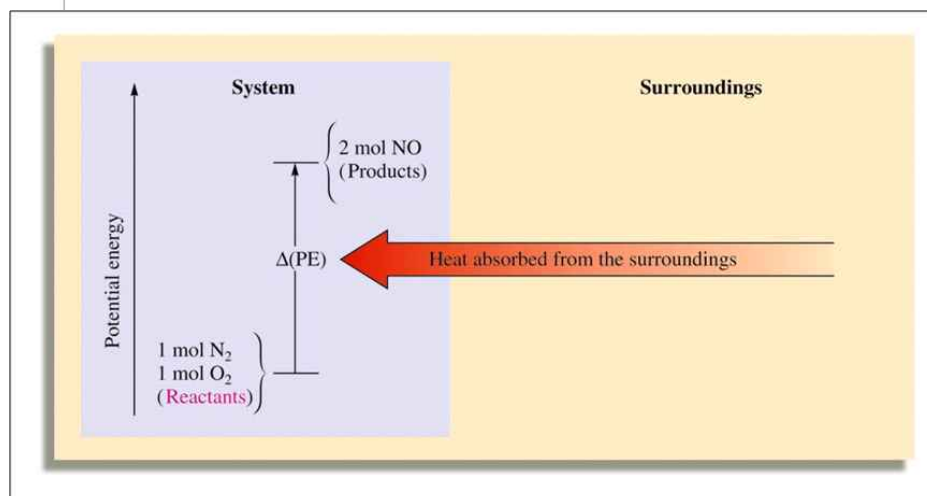
(2) 주위(surroundings) : 계를 제외한 우주의 모든 부분 - 일반적으로 반응용기로 정의

(3) 반응의 종류

- ① 발열 반응 (exothermic reaction) : 에너지가 계로부터 방출, 화학 결합에 저장되었던 퍼텐셜 에너지가 열에너지(무질서한 운동 에너지)로 변화



- ② 흡열 반응 (endothermic reaction) : 주위로부터 열을 흡수하는 반응



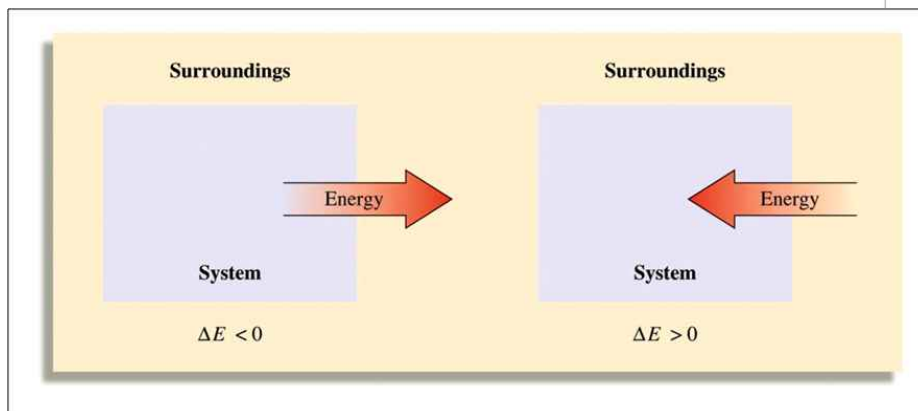
(4) 열역학(thermodynamics) : 에너지와 에너지 변환을 다루는 분야

(5) 열역학 제1 법칙(first of thermodynamics)

① 에너지 보존 법칙

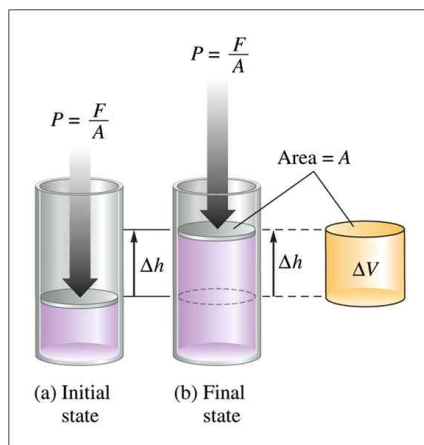
② E (계의 내부 에너지)는 그 계를 이루고 있는 모든 입자의 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 합으로 정의

$$\Delta E = q + w$$



(6) 화학 변화에서 일(w) : 기체에 의한 일(팽창), 기체에 해주는 일(압축)

$$w = -P_{ext}\Delta V$$



예제 61

풍선 내의 공기를 가열하여 풍선을 최대한으로 부풀게 하였다. 팽창 과정에서 풍선의 부피는 4.00×10^6 L에서 4.50×10^6 L로 증가하였으며, 1.3×10^8 J의 에너지가 열로 공급되었다. 외부의 압력이 1.0 atm으로 일정하였다면, 이 변화 과정에서의 ΔE 를 구하시오.



2. 엔탈피

1. 엔탈피(Enthalpy)

(1) 엔탈피는 다음과 같이 정의하며, 상태 함수이다.

$$H = E + PV$$

(2) 일정한 압력 하에서 일어나는 반응에 대한 반응열(heat of reaction)과 엔탈피 변화(change in enthalpy)라는 용어가 같은 의미로 사용

$$\Delta H = q_p$$

(3) 화학 반응에서의 엔탈피 변화는 다음 식으로 나타낸다. (압력이 일정할 때, ΔH 가 음의 값이면 발열, 양의 값이면 흡열 반응을 나타냄)

$$\Delta H = H_f - H_i$$

예제 62

메테인(CH_4) 1 mol을 일정한 압력 하에서 연소시키면 890 kJ의 에너지가 열로 방출된다. 메테인 5.8 g을 일정한 압력 하에서 연소시킬 때, ΔH 를 구하시오.

2. 크기 성질과 세기 성질

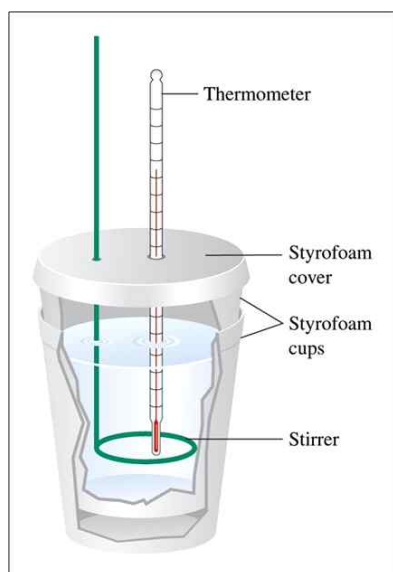
- (1) 크기 성질 : 시료의 양에 의존하는 성질. 예) 질량, 부피, 분자수, 엔탈피
- (2) 세기 성질 : 시료의 양에 의존하지 않는 성질로 끓는점, 밀도, 녹는점, 온도
- (3) 반응 엔탈피(ΔH) : 일정한 압력에서, 1 몰이 반응할 때의 엔탈피 변화량

3. 열량계(calorimeter)

- (1) 화학 반응 과정에 관련된 열의 흐름을 실험적으로 측정하는 장치
- (2) 열 계량법(calorimetry) : 열의 흐름을 측정하는 과학적인 방법으로, 물체가 열을 흡수하거나 방출할 때의 온도의 변화를 관찰하는 방법
- (3) 열 용량(heat capacity, C) : 어떤 물질을 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 높이는데 필요한 열량

$$C = \frac{\text{흡수된 열}}{\text{온도 상승}}$$

- (4) 비열(specific heat capacity) : 1 g 당 열 용량 - $\text{J/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$, $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$
- (5) 몰 열 용량(molar heat capacity) : 1 몰 당 열 용량 - $\text{J/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$, $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$
- (6) 일정 압력 열 계량법(constant-pressure calorimetry) : 압력이 변하지 않으며 열량계를 이용하여 열의 흐름을 측정하는 방법



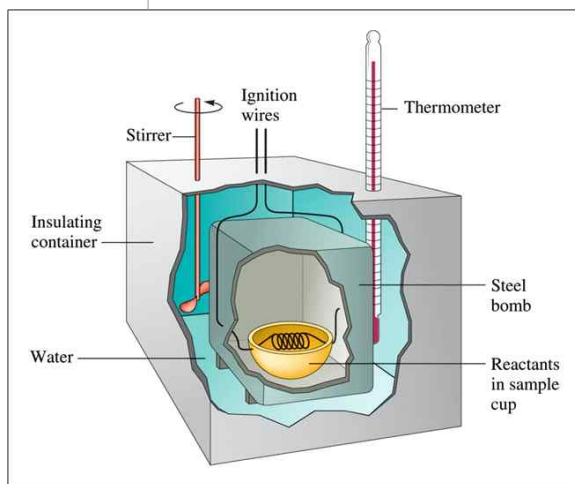
예제 63

$25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 의 $1.00\text{ M Ba(NO}_3)_2$ 용액 1.00 L 를 열량계 속에 있는 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 의 $1.00\text{ M Na}_2\text{SO}_4$ 용액 1.00 L 와 혼합하였다. 흰색의 고체 BaSO_4 가 생기면서 혼합 용액의 온도가 $28.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 증가하였다. 열량계가 흡수하는 열은 무시하며, 용액의 비열은 $4.18\text{ J/}^{\circ}\text{Cg}$ 이고, 혼합 용액의 밀도를 1.0 g/mL 라고 가정할 때, BaSO_4 1 mol 이 만들어질 때의 엔탈피를 구하시오.

(7) 일정 부피 열 계량법(constant-volume calorimetry)

부피의 변화가 0이므로 일($-P\Delta V$)도 0이 된다.

$$\Delta E = q + w = q = q_v$$



예제 64

과학자들은 물의 분해로 얻을 수 있는 수소를 천연 가스(주로 메테인)의 대체 연료로 사용하자고 제안하고 있다. 이러한 연료의 연소 에너지를 구하기 위하여 열 용량이 $11.3 \text{ kJ/}^\circ\text{C}$ 인 통 열량계를 이용하여 다음 실험을 하였다. 과량의 산소 하에서 메테인 1.50 g 을 연소시켰을 때 온도가 $7.3 \text{ }^\circ\text{C}$ 상승하였다. 같은 조건에서 수소 1.15 g 연소시켰을 때에는 온도가 $14.3 \text{ }^\circ\text{C}$ 상승하였다. 수소와 메테인 1 g 당 연소열을 구하시오.

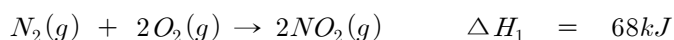


3. Hess 법칙

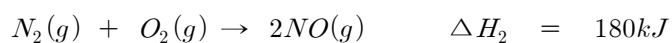
1. 총 열량 불변 법칙

(1) 특정한 반응물에서 특정한 생성물이 만들어 질 때, 반응이 한 단계로 이루어지거나 또는 여러 단계에 걸쳐 일어남에 관계없이 엔탈피 변화량은 같다.

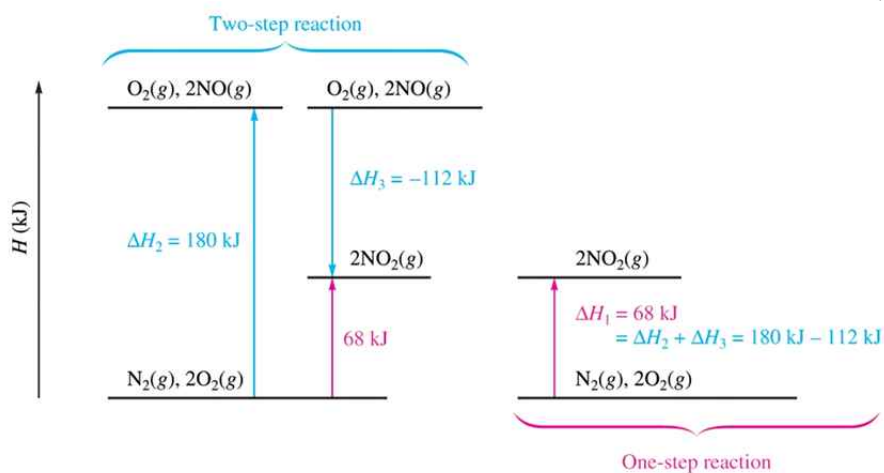
(2) 질소를 산화시켜 이산화질소를 만드는 반응을 예로 들어보자. 전체 반응은 한 단계로 쓸 수 있으며, 이때의 엔탈피를 ΔH_1 이라고 하자.



이 반응은 두 단계로 진행시킬 수 있다 각 단계의 엔탈피 변화를 ΔH_2 와 ΔH_3 로 나타내자.



알짜 반응 $\text{N}_2(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NO}_2(\text{g}) \quad \Delta H_2 + \Delta H_3 = 68\text{kJ}$

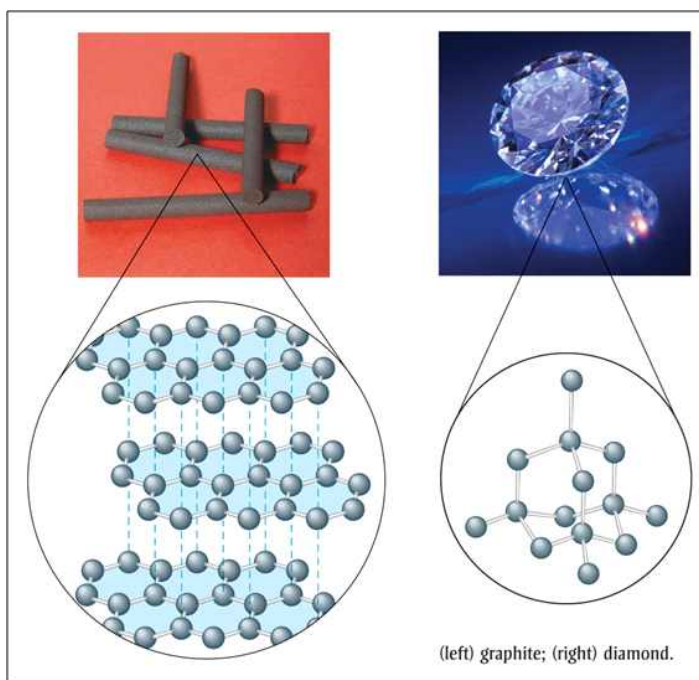
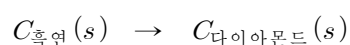


2. 엔탈피 변화의 특징

- (1) 반응이 역으로 진행되면 ΔH 의 부호는 반대로 된다.
- (2) ΔH 의 크기는 반응에 참여하는 반응물과 생성물의 양에 직접 비례한다. 반응식의 계수를 정수배하면 ΔH 의 값에도 같은 정수를 곱해 주어야 한다.

예제 65

탄소는 흑연과 다이아몬드의 두 가지 형태로 존재한다. 흑연은 부드럽고, 검정색이며, 미끈거리는 물질로써, 연필이나 자물쇠의 윤활제에 사용된다. 다이아몬드는 광채가 나는 단단한 보석이다. 흑연의 연소열(-394 kJ/mol)과 다이아몬드의 연소열(-396 kJ/mol)을 이용하여 흑연에서 다이아몬드를 만들 때의 엔탈피 변화량을 구하시오.



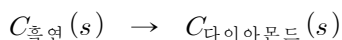
3. Hess의 법칙을 이용하는 요령

Hess의 법칙을 이용한 계산에서는 몇 개의 반응식을 조작하고 결합하여 원하는 반응식을 유도하게 된다. 유도하고자 하는 반응식의 반응물과 생성물이 원하는 위치에 올 수 있도록 주어진 반응식의 역반응을 생각하거나, 반응식에 적당한 숫자를 곱하여 계수를 맞추어 준다.



4. 표준 생성 엔탈피

일정 압력 하에서 일어나는 반응의 엔탈피 변화는 열량계로 측정할 수 있다. 그러나, 실제로 어떤 반응은 측정 자체가 불가능한 경우가 있다. 고체 상태의 흑연을 다이아몬드로 바꾸는 반응이 그 한 예이다.



이 반응은 정상 조건에서는 너무 느려 열량계로 직접 측정하여 이 반응의 ΔH 값을 얻을 수는 없다. 따라서 연소열로부터 이 반응의 ΔH 를 계산할 수 있다. 그리고 표준 생성 엔탈피를 사용하여도 ΔH 를 계산해낼 수 있다.

1. 표준 생성 엔탈피 (standard enthalpy of formation, ΔH_f°)

- (1) 표준 상태에서 화합물을 이루고 있는 원소로부터 그 화합물 1mol을 생성할 때 수반되는 엔탈피의 변화 (위 첨자“°”는 변화가 표준 상태에서 일어났음을 알려줌. 물질의 표준 상태 (standard state)를 의미)
- (2) 대부분의 열역학 함수 값은 절대적인 값을 구할 수 없고, 상대적인 변화량만을 측정할 수 있으므로 기준이 되는 상태에 대한 정의가 특히 필요하다. 한 예로, 엔탈피의 절대값을 측정할 수 있는 방법은 없다. 열전달에 대한 실험을 통하여 엔탈피 변화량(ΔH)만을 측정할 수 있을 뿐이다.

2. 흔히 사용하는 표준 상태의 정의

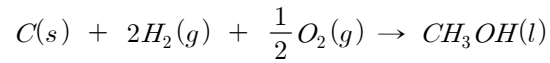
(1) 화합물의 경우

- ① 기체 상태 물질의 표준 상태는 압력이 정확히 1 atm인 기체이다.
- ② 응축 상태(액체 또는 고체) 순 물질의 표준 상태는 순수한 액체 또는 고체이다.
- ③ 용액의 표준 상태는 농도가 정확히 1 M인 용액이다.

(2) 원소의 경우

- ① 원소의 표준 상태는 1 atm, 25 °C 하에서 그 원소가 존재하는 상태이다
- ② 산소의 표준 상태는 1 atm의 $O_2(g)$, 소듐의 경우는 $Na(s)$, 수은의 경우는 $Hg(l)$ 를 말한다.

(3) 메탄올의 생성 반응

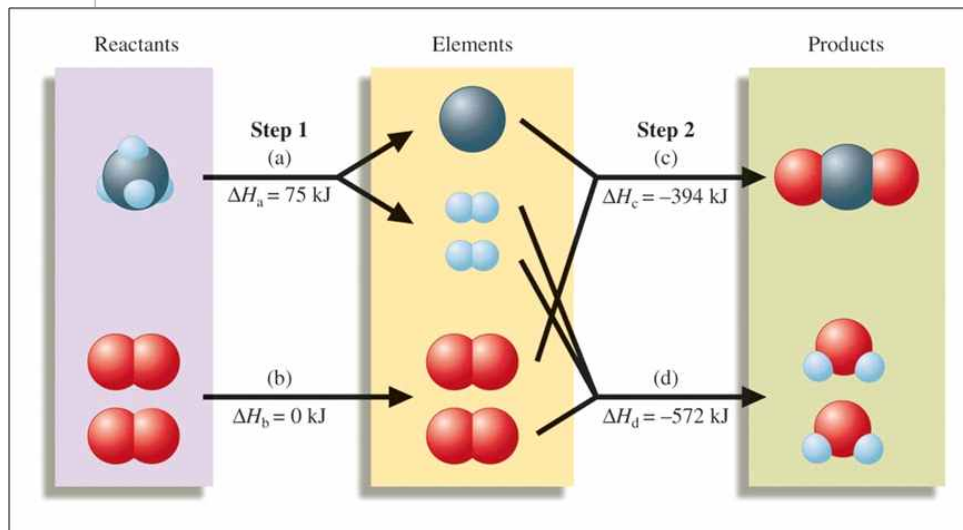
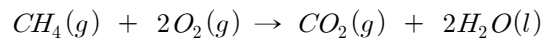


$$\Delta H_f^\circ = -239 \text{ kJ/mol}$$

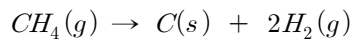
탄소의 표준 상태는 흑연, 산소와 수소의 표준 상태는 이 원자 기체이며, 메탄올의 표준 상태는 액체이다.

3. 반응 엔탈피 계산

(1) 메테인의 연소 반응에 대한 표준 엔탈피의 변화를 계산해 보자.



① 반응 (a) : 메테인을 원소로 분해시키는 반응



다음과 같은 메테인 생성 반응의 역반응이다.



역반응의 ΔH 는 부호만 반대이고 크기가 같으므로, 반응 (a)의 ΔH 는 $-\Delta H_f^\circ$, 즉 75 kJ이다.

$$\Delta H_{(a)}^\circ = 75 \text{ kJ}$$

② 반응 (b) : 산소는 이미 표준 상태의 원소이므로 변화가 필요 없다.

$$\Delta H_b^\circ = 0$$

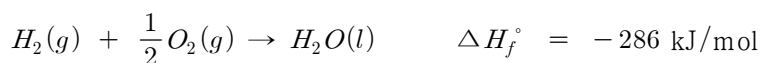
③ 반응 (c), (d) : (a)와 (b)에서 생긴 원소를 사용하여 생성물을 만드는 반응.

(c)는 CO_2 생성 반응

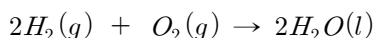


$$\Delta H_{(c)}^\circ = \Delta H_f^\circ(CO_2(g)) = -394 \text{ kJ}$$

④ (d)는 H_2O 의 생성 반응



계수를 맞추기 위해서 물 2 mol이 필요하므로, 원소로부터 물 2 mol을 만들어야 한다.



$$\Delta H_f^\circ = 2 \times \Delta H_f^\circ(H_2O(l)) = 2(-286 \text{ kJ}) = -572 \text{ kJ}$$

⑤ 결론

$$\Delta H^\circ = \Delta H_a^\circ + \Delta H_b^\circ + \Delta H_c^\circ + \Delta H_d^\circ$$

$$\begin{aligned} &= [-\Delta H_f^\circ CH_4(g)] + 0 + [\Delta H_f^\circ CO_2(g)] + [2 \times \Delta H_f^\circ H_2O(l)] \\ &= -(-75 \text{ kJ}) + 0 + (-394 \text{ kJ}) + (-572 \text{ kJ}) \\ &= -891 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\Delta H_{\text{반응}}^\circ = \sum n_p \Delta H_f^\circ(\text{생성물}) - \sum n_r \Delta H_f^\circ(\text{반응물})$$

$\sum$: 총합, n_p , n_r : 각각 생성물과 반응물의 몰 수

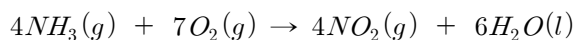
4. 엔탈피 계산에서 유의할 주요 개념

- (1) 반응의 방향을 반대로 바꾸면 ΔH 의 크기는 바뀌지 않지만, 부호가 반대가 된다.
- (2) 계수를 맞춘 반응을 정수배할 때에는 그 반응의 ΔH 값도 같은 정수로 곱해야 한다.
- (3) 반응의 엔탈피 변화는 반응물과 생성물의 생성 엔탈피로부터 구할 수 있다.
- (4) 표준 상태 원소의 ΔH_f° 값은 0이다.

예제 66

표준 생성 엔탈피를 이용하여 암모니아가 연소되어 이산화질소와 물을 생성하는 반응의 표준 엔탈피 변화량을 구하시오. 이 반응은 질산을 만드는 과정의 첫 단계이다.

Compound	ΔH_f° (kJ/mol)
$\text{NH}_3(g)$	-46
$\text{NO}_2(g)$	34
$\text{H}_2\text{O}(l)$	-286
$\text{Al}_2\text{O}_3(s)$	-1676
$\text{Fe}_2\text{O}_3(s)$	-826
$\text{CO}_2(g)$	-394
$\text{CH}_3\text{OH}(l)$	-239
$\text{C}_8\text{H}_{18}(l)$	-269

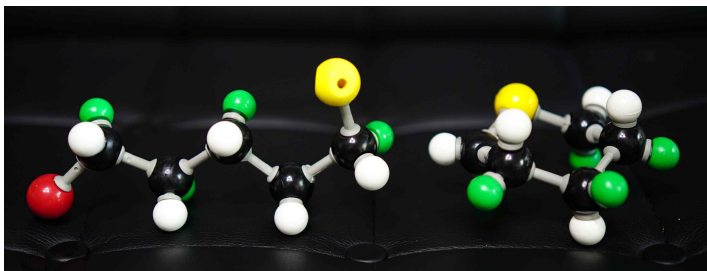


예제 67

메탄올(CH_3OH)은 종종 경주용 자동차의 고성능 엔진 연료로 사용된다. 자료를 이용하여 메탄올 1 g과 가솔린 1 g의 표준 연소 엔탈피를 비교해 보시오. 가솔린은 여러 화합물의 혼합물이지만, 가솔린이 순수한 옥테인(C_8H_{18})이라고 가정한다.

제 3 부

구조와 결합



7 원자 구조와 주기성

1. 물질의 본질

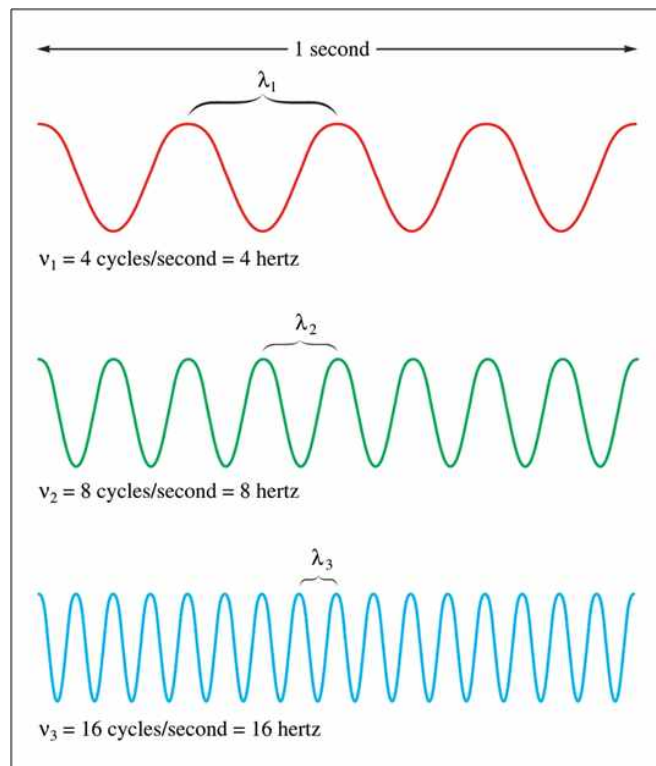
1. 전자기 복사(electromagnetic radiation)

- (1) 에너지가 공간을 이동하는 방법 중의 하나.
- (2) 방사되는 에너지의 종류는 다르지만 모두 같은 형태의 파동 성질을 나타냄.
- (3) 매질이 없이도 진행.
- (4) 예) 태양의 빛, 전자레인지의 음식을 데우는데 쓰이는 에너지, X선, 난로로부터 방사되는 열

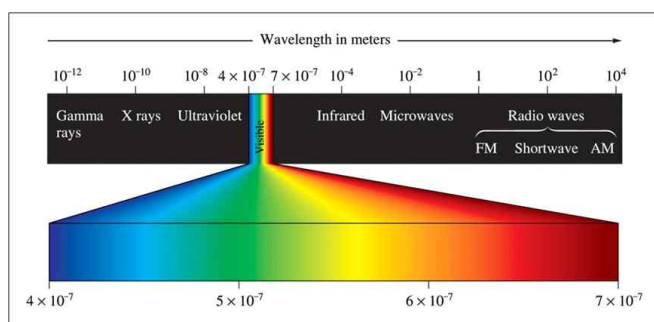
2. 파동의 성질 - 파장, 진동수, 속도

- (1) 파장(wavelength) : 마루와 마루, 또는 골과 골 사이의 거리 (λ)
- (2) 진동수(frequency) : 1초 동안 통과하는 진동의 수(ν) [$1/s = s^{-1} = \text{Hz}$]

$$\lambda \propto \frac{1}{\nu}$$



- (3) 빛의 속도(c) = $\lambda \nu = 2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}$



예제 68

불꽃 놀이에서 보는 화려한 붉은색은 $Sr(NO_3)_2$ 나 $SrCO_3$ 와 같은 스트론튬의 염들을 가열할 때 나오는 650 nm 근처의 파장을 갖는 빛에 의한 것이다. (실험실에서 이들 염들 중 하나를 약간의 물이 들어간 메탄올에 녹여 이들 혼합물이 들어 있는 증발 접시에 불을 붙여 간단하게 실험할 수 있다). 파장이 6.5×10^2 nm 인 붉은 빛의 진동수를 계산하시오. ($c = 3 \times 10^8$ m/s)

3. 양자 역학의 도입

- (1) 19 세기 말 : 물질과 에너지를 독립적으로 생각. (물질은 입자로, 빛의 형태를 갖는 에너지는 파동으로 생각.)

	입자	파동
공간 내에서의 위치	있음	없음
질량	있음	없음
연속성	불연속적	연속적

- (2) 20세기 초 : 파동-입자 이중성 - 흑체 복사 실험 (Max Planck)

- ① 에너지가 양자화되어 있다는 것을 명백히 밝힌 실험.
- ② 에너지는 $h\nu$ 의 크기를 갖는 불연속적인 단위로만 나타남.
(이 작은 에너지의 꾸러미를 양자(quantum)라 정의)에너지는 양자의 정수배로만 전달 가능. 에너지도 마치 입자와 같은 성질을 갖는 것을 나타낸다. (파동 입자 이중성)

$$\Delta E = nh\nu$$

예제 69

종종 불꽃 놀이에서 푸른색은 염화구리(I) ($CuCl$)을 $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 가열하여 얻은 것이다.

가열 상태에서 이 화합물은 450 nm 의 파장을 갖는 푸른빛을 방출한다. 염화구리(I)에 의하여 450 nm 에서 방출되는 에너지 증가량(즉 양자)은 얼마인가?

4. 양자 역학

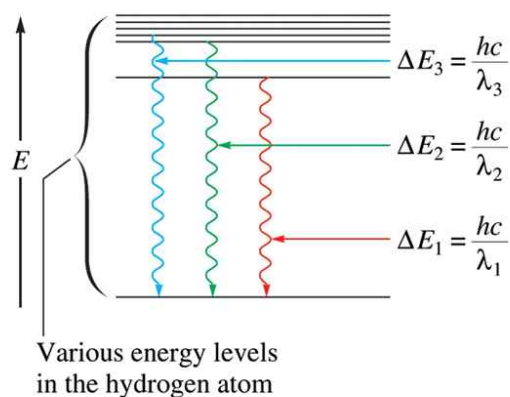
- (1) 광전 효과 : 특정 주파수(문턱 진동수) 이상의 빛을 금속에 쬔었을 때, 전자가 검출되는 현상
- (2) 플랑크(Max Planck) : 에너지는 양자라고 하는 불연속적인 단위로만 존재할 수 있다.
- (3) 빛의 이중성(dual nature of light) : 전자기 복사는 입자인 물질로서의 성질도 또한 나타낸다.

5. 스펙트럼의 종류

- (1) 방출 스펙트럼 (emission spectrum) : 들뜬 원자가 가지는 과량의 에너지가 여러 파장의 빛으로 방출한다.
- (2) 흡수 스펙트럼 (absorption spectrum) : 에너지가 여러 파장인 빛을 흡수한다.
- (3) 연속 스펙트럼 (continuous spectrum) : 백색광을 통과시켰을 때 얻어지는 스펙트럼

6. 선 스펙트럼 (line spectrum)

- (1) 원자를 통과시킬 때 몇 개의 선만을 보이게 되는 스펙트럼



- (2) 수소의 특정한 에너지 준위 사이의 에너지 변화는 그림에 보인 것과 같이 특정 파장의 빛만을 방출하게 된다.

$$\Delta E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$



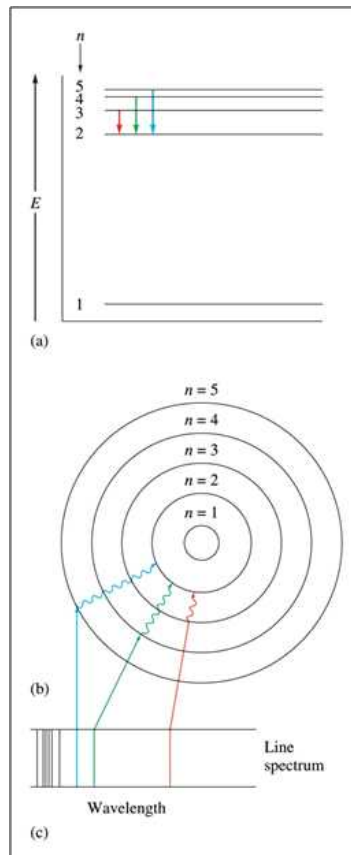
2. 원자의 양자 역학적 모형

1. 수소 원자에 대한 보어의 원자 모형(quantum model)

(1) Niels Bohr(1885~1962) 가정 : 수소 원자 내의 전자는 핵 주위를 오직 허용된 특정 원형 궤도만을 따라 움직인다.

(2) 수소 원자에서 전자에 허용되는 에너지 준위

$$E = -2.18 \times 10^{-18} J \left(\frac{Z^2}{n^2} \right)$$



예제 70

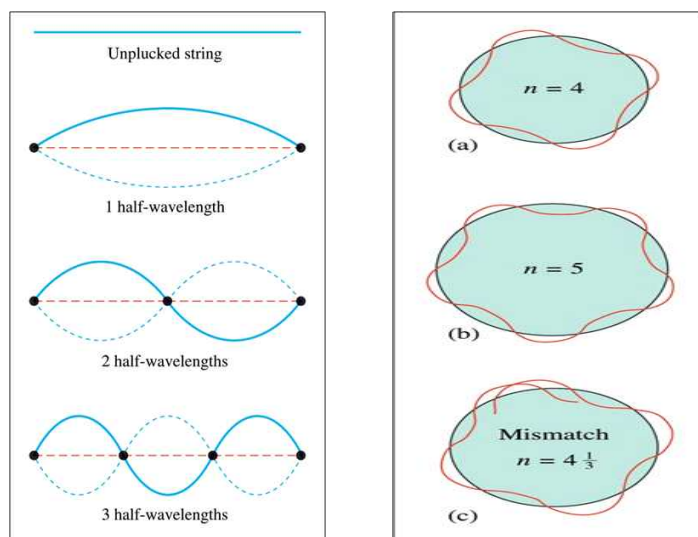
$n=1$ 준위에서 $n=2$ 준위로 수소 원자의 전자를 들뜨게 하는 데 필요한 에너지를 계산하시오. 이러한 들뜬 상태로 되기 위하여 바닥 상태에 있는 수소 원자가 흡수해야 하는 빛의 파장도 계산하시오.

예제 71

바닥 상태에 있는 수소 원자로부터 전자를 제거하는 데 필요한 에너지를 계산하시오.

2. 파동 역학(wave mechanics)

- (1) Warner Heisenberg, Louis de Broglie, Erwin Schrodinger에 의해 보어의 모형의 한계를 설명함.
- (2) 전자의 파동 성질을 중심으로 원자 구조에 관한 문제 해결
- (3) 핵에 결합된 전자를 마치 정상파(standing wave)와 유사한 것으로 봄



3. Schrodinger 방정식

$$H\psi = E\psi$$

4. Heisenberg의 불확정성 원리

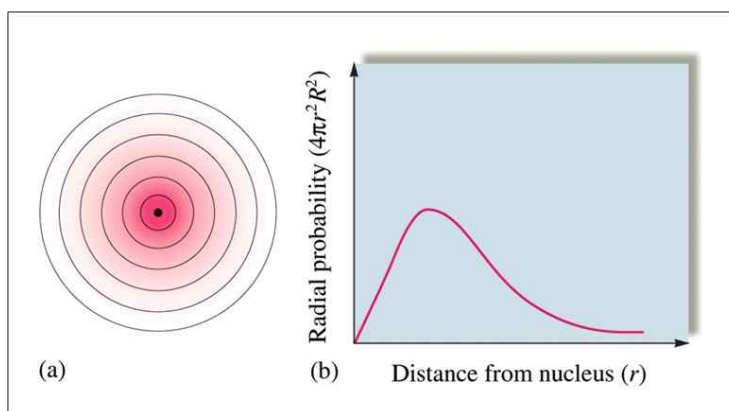
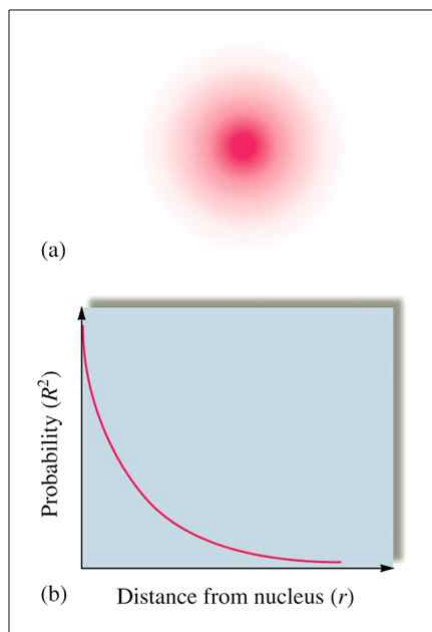
$$\Delta x \Delta (mv) \geq \frac{h}{4\pi}$$

5. 파동 함수의 물리적 의미

(1) $(\psi)^2$ 의 의미 - 공간의 특정 점의 근처에서 전자를 발견할 확률
: 확률 분포(probability distribution)

(2) 공간의 두 좌표 (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) 중 전자가 발견될 확률 비교

$$\frac{[\psi(x_1, y_1, z_1)]^2}{[\psi(x_2, y_2, z_2)]^2} = \frac{N_1}{N_2}$$





3. 궤도 함수

1. 양자수

(1) 수소에 대한 Schrodinger 방정식을 푼 해

(2) 양자수의 종류

주양자수(principle quantum number: n)	궤도 함수의 크기 및 에너지($n=1,2,3\cdots$)				
각 운동량 양자수 (angular quantum number: l)	궤도 함수의 모양 ($l = 0 \sim n-1$ 까지의 정수)				
	l	0	1	2	3
	오비탈종류	s	p	d	f
자기 양자수(magnetic quantum number: m_l)	궤도 함수들의 배향 ($-l \sim l$)				

2. 오비탈의 표현

n	ℓ	Orbital Designation	m_ℓ	Number of Orbitals
1	0	1s	0	1
2	0	2s	0	1
	1	2p	-1, 0, +1	3
3	0	3s	0	1
	1	3p	-1, 0, 1	3
	2	3d	-2, -1, 0, 1, 2	5
4	0	4s	0	1
	1	4p	-1, 0, 1	3
	2	4d	-2, -1, 0, 1, 2	5
	3	4f	-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3	7

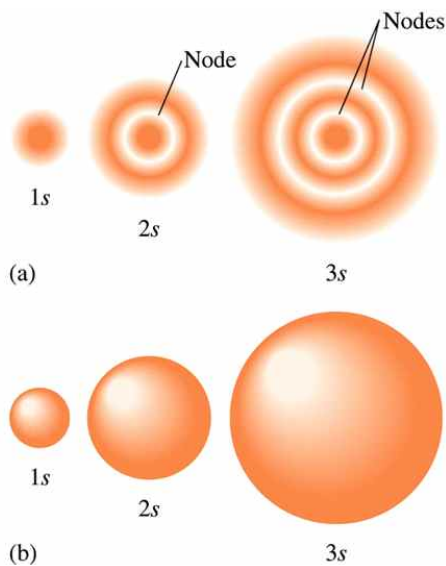
예제 72

$n=5$ 일 때, 허용된 부껍질의 개수를 결정하고(즉, 각기 다른 l 값), 각각에 대한 이름을 적으시오.

3. s 오비탈

(1) 확률 분포 = 전체 전자가 발견 확률의 90%를 내포하는 표면

(2) s 오비탈의 모양 : 구형



(3) 마디 (node) = 마디 표면(node surface) : 전자가 발견될 확률이 0인 공간

(4) 마디 수 : $n-1$ 개 (n 값이 증가할수록 커짐.)

마디(node)	각 마디(angular node)	l
	방사상 마디(radial node)	$n - l - 1$

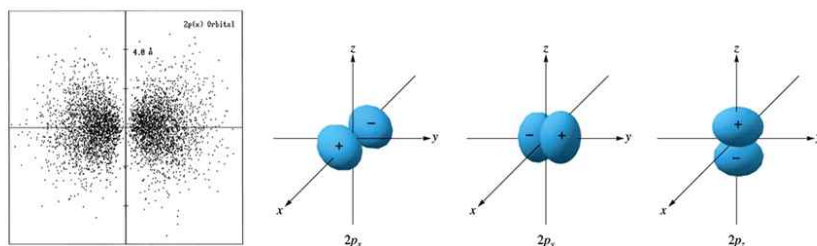
예제 73

수소 원자의 3p와 4d 오비탈에서 방사상 마디와 각 마디 수를 구하시오.

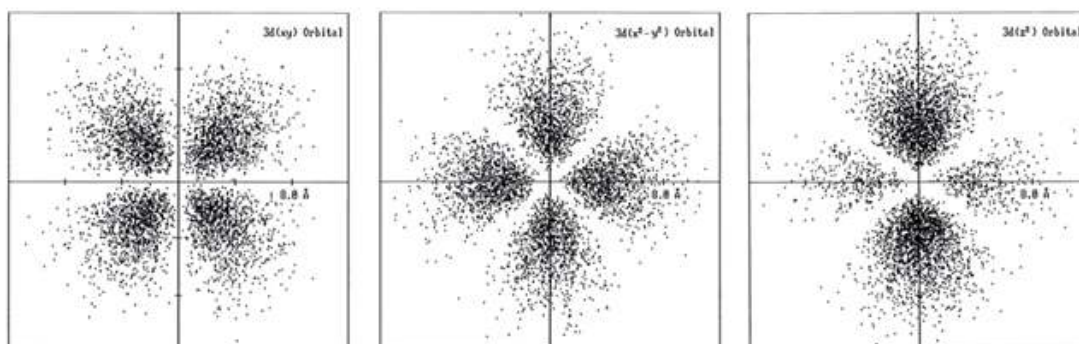
4. p orbital

(1) 모양 : 아령형

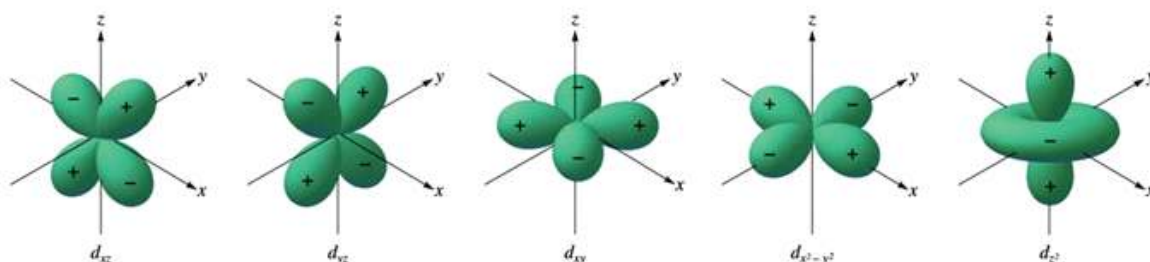
(2) 원자핵에 마디 평면이 존재한다.



5. d orbital

 $n = 3$ 인 준위에서 처음 나타남.

(a)



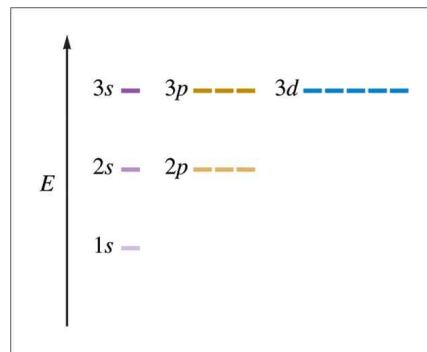
(b)



4. 궤도 함수 전자 배치(Electron configuration)

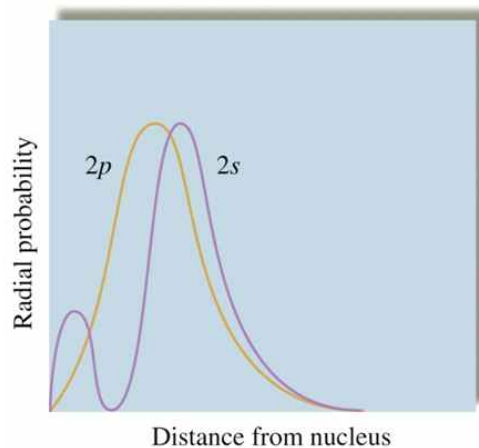
1. 수소의 궤도 함수 에너지

- (1) 수소 원자의 경우 동일한 n 값을 갖는 모든 궤도 함수의 에너지는 같다. (= 축퇴(degenerate))
- (2) 바닥 상태(ground state) : 가장 낮은 에너지 상태 (E_x) H의 경우 $1s^1$
- (3) 들뜬 상태(excited state) : 높은 에너지 상태 (E_x) H의 경우 $2s^1 \dots$



2. 전자 상관 문제(electron correlation problem)

- (1) 핵 주위를 도는 전자의 경로를 정확히 알 수 없기 때문에 상호작용을 정확히 다룰 수 없다.
- (2) 핵과 전자들 사이의 당기는 힘에 의한 퍼텐셜 에너지와 두 전자들 사이의 반발에 의한 퍼텐셜 에너지를 근사법으로 접근한다.

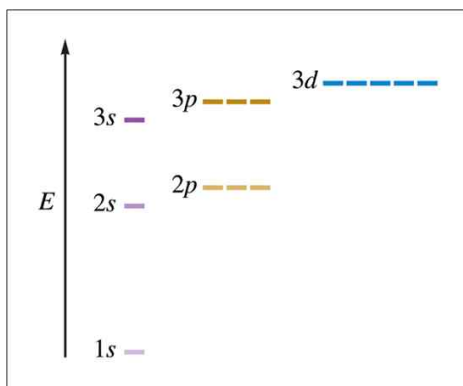


- (3) 침투 효과(penetration effect) : 전자가 핵을 향해 끌려가는 효과로 전자가 핵에 침투가 잘 될수록 에너지 준위가 낮다.

$$E_{ns} < E_{np} < E_{nd} < E_{nf}$$

3. 쌓음 원리(Aufbau principle)

에너지 준위가 낮은 궤도 함수부터 전자를 채우는 원리

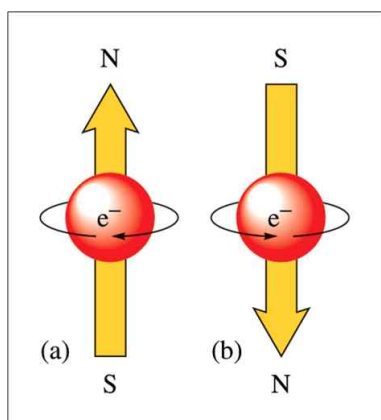


4. Pauli의 배타 원리(Pauli exclusion principle)

- (1) 한 원자에서 어떠한 두 전자도 같은 값의 양자수 세트(n, l, m_l, m_s)를 가지지 않는다.
- (2) 궤도 함수는 오직 두 개의 전자만을 수용할 수 있으며 서로 반대의 스핀을 가져야 한다.

5. Hund의 규칙

- (1) 홀전자 수가 최대가 되게 전자를 배치하는 원리
- (2) 전자가 두 가지 스핀값($+\frac{1}{2}$ 과 $-\frac{1}{2}$)중에서 한 값만을 가진다.



6. 오비탈과 전자배치

The periodic table is color-coded to show the filling order of atomic orbitals:

- s orbitals (red):** 1s, 2s, 3s, 4s, 5s, 6s, 7s.
- d orbitals (blue):** 3d, 4d, 5d, 6d, 7d.
- p orbitals (green):** 2p, 3p, 4p, 5p, 6p, 7p.

Arrows indicate the sequence of filling:

- Red arrow: 1s → 2s → 3s → 4s (K-19).
- Blue arrow: 3d → 4s (Ni-28).
- Green arrow: 3p → 4s → 4p → 5s → 5p → 6s → 6p (As-33).

Electron configurations for specific elements:

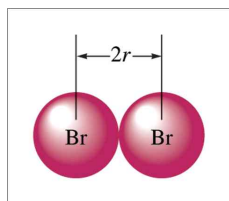
- K-19: $[\text{Ar}] 4s^1$
- Ni-28: $[\text{Ar}] 3d^8 4s^2$
- As-33: $[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^2 4p^3$

Argon (Ar-18) configuration: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$

5. 원자의 주기성

1. 원자 반지름

- (1) 원자 반지름 (r)은 동일한 원자로 구성된 분자에서 핵과 핵 사이의 거리의 반으로 정의된다.



- (2) 일부 원자들의 원자 반지름(pm). 반지름이 주기에서 오른쪽으로 갈수록 감소하고 족에서 아래로 내려가면서 증가한다.

Atomic radius decreases →							
1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A
H 37							He 32
Li 152	Be 113	B 88	C 77	N 70	O 66	F 64	Ne 69
Na 186	Mg 160	Al 143	Si 117	P 110	S 104	Cl 99	Ar 97
K 227	Ca 197	Ga 122	Ge 122	As 121	Se 117	Br 114	Kr 110
Rb 247	Sr 215	In 163	Sn 140	Sb 141	Te 143	I 133	Xe 130
Cs 265	Ba 217	Tl 170	Pb 175	Bi 155	Po 167	At 140	Rn 145

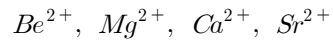
Atomic radius increases ↓

(3) 이온 반지름

- ① 양이온 < 원자 : 전자 껍질 수 감소
 ② 음이온 > 원자 : 전자간 반발력 증가

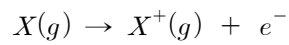
예제 74

다음 이온들에 대한 원자 반지름 값의 경향성을 예측하시오.



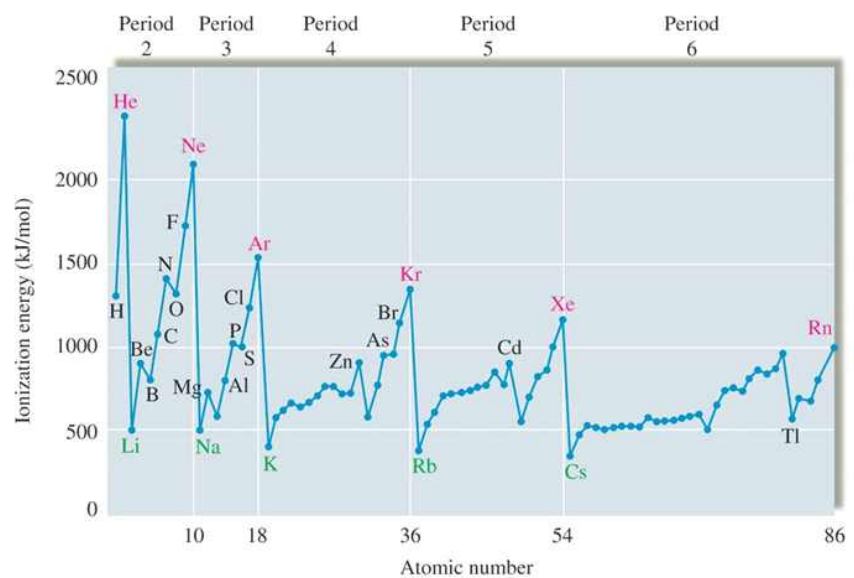
2. 이온화 에너지

- (1) 기체 상태의 원자나 이온으로부터 전자 하나를 제거할 때 필요한 에너지(ionization energy)

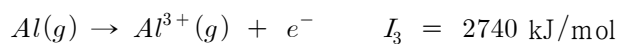
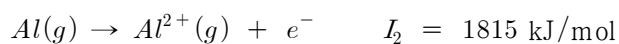
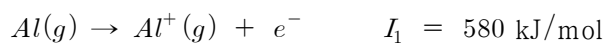


(2) 주기성

	1A	2A		3A	4A	5A	6A	7A	8A
1	H 1311								He 2377
2	Li 520	Be 899		B 800	C 1086	N 1402	O 1314	F 1681	Ne 2088
3	Na 495	Mg 735		Al 580	Si 780	P 1060	S 1005	Cl 1255	Ar 1527
4	K 419	Ca 590		Ga 579	Ge 761	As 947	Se 941	Br 1143	Kr 1356
5	Rb 409	Sr 549		In 558	Sn 708	Sb 834	Te 869	I 1009	Xe 1176
6	Cs 382	Ba 503		Tl 589	Pb 715	Bi 703	Po 813	At (926)	Rn 1042



(3) 순차적 이온화 에너지



Element	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7
Na	495	4560					
Mg	735	1445	7730	Core electrons*			
Al	580	1815	2740	11,600			
Si	780	1575	3220	4350	16,100		
P	1060	1890	2905	4950	6270	21,200	
S	1005	2260	3375	4565	6950	8490	27,000
Cl	1255	2295	3850	5160	6560	9360	11,000
Ar	1527	2665	3945	5770	7230	8780	12,000

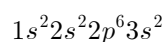
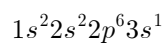
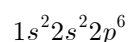
*Note the large jump in ionization energy in going from removal of valence electrons to removal of core electrons.

예제 75

인(P)과 황(S)의 이온화 에너지는 각각 1060 kJ/mol과 1005 kJ/mol이다. 그 이유는 무엇 인가?

예제 76

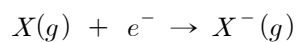
다음과 같은 전자배치를 갖는 원자들을 고려해 보자.



어느 원자의 일차 이온화 에너지가 가장 크며, 어느 원자의 이차 이온화 에너지가 가장 작은가? 그 이유는 무엇인가?

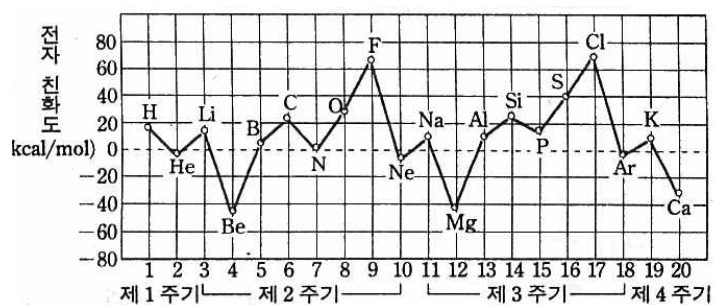
3. 전자 친화도

- (1) 기체 상태의 원자에 하나의 전자를 더하는 데 관련된 에너지의 변화



- (2) 전자 친화도의 주기성

- ① 동주기 : 원자 번호가 증가할수록 대체로 증가
- ② 동족 원자 번호가 증가할수록 대체로 감소



4. 주기율표의 구성

(1) 주족 원소와 전이 금속

Diagram of the periodic table showing groups and element categories:

- Alkali metals:** Group 1A (Hydrogen, H).
- Alkaline earth metals:** Group 2A.
- Transition elements:** Groups 3A through 10A.
- Halogens:** Groups 17A and 18A.
- Noble gases:** Group 18A.
- Lanthanides and Actinides:** Shown as separate rows below the main table.

(2) 금속과 비금속

Diagram of the periodic table showing metal and non-metal regions:

- Metals:** Groups 1A through 10A.
- Nonmetals:** Groups 13A through 18A.
- Metalloids:** Elements between metals and nonmetals (Groups 11A, 12A, 13A, 14A, 15A, 16A).
- Lanthanides and Actinides:** Shown as separate rows below the main table.

(3) 알칼리 금속

- 1A족의 금속들(리튬, 소듐, 포타슘, 루비듐, 세슘, 프랑슘)
- 가장 화학적으로 반응성이 큰 금속
- 환원력에 대한 경향성 (고체 알칼리 금속과 비금속 간의 반응)
 $Li < Na < K$
- 환원력에 대한 경향성 (물과의 반응) - $Li > Na > K$ (수화)
- 물과 반응 속도 : $Li < Na < K$ (녹는점 $Li > Na > K$ 이므로)

8 결합 : 일반 개념



1. 화학 결합의 종류

1. 이온 결합

- (1) 금속의 양이온과 비금속의 음이온이 정전기적 인력에 의해 결합하는 것
- (2) 전기 음성도 차이가 클수록 이온 결합력은 커진다.
- (3) 두 원자간 전기 음성도 차이가 1.7 이상이면 이온 결합
- (4) 이온 사이의 인력은 Coulomb의 법칙을 사용하여 계산할 수 있다.

$$E = 2.31 \times 10^{-19} \left(\frac{Q_1 Q_2}{r} \right)$$

- (5) 정전기적 인력은 전하량이 클수록 두 이온 사이의 거리가 가까울수록 증가한다. (단, 너무 가까우면 핵 간의 반발력이 생겨 불안정)
- (6) 이온 결합의 길이 : 두 이온이 일정한 거리를 두고 가장 안정한 상태를 이룰 때의 거리 : (+) 이온과 (-) 이온의 반지름의 합과 거의 같다.

2. 공유 결합

- (1) 2개의 원자가 전자를 내어 전자쌍을 이루어 이것을 공유함으로써 이루어진 결합
- (2) 공유 결합 에너지 : 두 원자 사이의 공유 결합 1 몰을 끊어서 중성 원자로 만들 때 필요한 에너지
- (3) 공유 결합 길이 : 두 원자가 안정한 분자를 이루었을 때 두 원자의 핵 간 거리
- (4) 전기 음성도 : 분자에 있는 원자의 결합 전자를 자신에게 끌어당기는 능력
 - ① 같은 주기에서는 오른쪽으로 갈수록 증가, 같은 족에서 아래로 내려갈수록 감소
 - ② $F(4.0) > O(3.5) > N(3.0) > Cl(3.0) > Br(2.8) > C(2.5) > S(2.5) > I(2.5) > H(2.1) > P(2.1)$
- (5) 극성 공유 결합 : 공유 결합 분자에서 전기 음성도가 다른 두 원자 사이의 공유 전자쌍이 전기 음성도가 더 큰 원자 쪽으로 끌려 δ^- 를 띠고 전기 음성도가 작은 쪽은 δ^+ 를 띠게 하는 결합이다.
- (6) 무극성 공유 결합 : 같은 종류의 원자 간에 이루어지는 공유 결합.

예제 77

이온 결합으로만 구성된 화합물의 모임은 ?

- ① Na_2SO_4 , KCl , MgCl_2 ② NO , NaF , H_2SO_4
 ③ NO_2 , HF , NH_3 ④ SO_2 , HCl , Na_2S



2. 공유 결합 모형

1. 분자 궤도 함수(MO) 모형

- (1) 원자의 전자가 원자 궤도 함수에 채워지듯이 분자의 전자는 분자 궤도 함수에 채워진다
- (2) 분자를 원자핵과 비편재화된 전자의 집합체로 생각한다.
- (3) 분자의 결합 에너지와 결합 길이 등에 대한 정량적인 정보 제공한다.

2. 편재 전자(LE)모형

- (1) 분자에 있는 원자는 원자 궤도 함수를 이용하여 전자를 공유함으로써 결합되어 있다고 가정한다.
- (2) 분자에 있는 전자쌍은 특정한 원자나 두 원자 사이의 공간에 편재
- (3) 고립 전자쌍 : 각 원자에 편재된 전자
- (4) 결합 전자쌍 : 원자 사이의 공간에 있는 전자
- (5) 정성적인 모형이므로 정량적인 정보 제공 못한다.

기출 78

분자 궤도 함수 이론에 대한 다음 사항 중 틀리게 기술된 것은?
 (일반)

- ① 생성된 분자 궤도 함수의 수는 참여한 원자 궤도 함수의 수와 항상 같다.
- ② 결합 궤도 함수가 안정할수록 그에 상응하는 비결합 궤도 함수는 더 불안정해진다.
- ③ 분자 궤도 함수는 원자 궤도 함수와 달리, 파울리(Pauli)의 배타 원리를 따르지 않는다.
- ④ 가장 안정한 배열 형태는 Hund의 규칙을 따른다.



3. Lewis 구조를 그리는 방법

1. Lewis 구조를 그리는 규칙

- (1) 모든 원자의 원자가 전자를 합한다.
- (2) 한 결합 당 한 쌍의 전자를 사용하여 각 원자를 단일 결합으로 연결한다.
- (3) 남은 전자는 수소 원자는 $\rightarrow$ 이 전자 규칙, 다른 원자는 $\rightarrow$ 팔 전자 규칙을 따르도록 재배치한다.
- (4) 만일 남은 전자가 있으면 d궤도 함수를 가진 원자에 배치한다.(3주기 이상)
- (5) 여러 Lewis 구조가 가능할 때 가장 작은 형식 전하를 가지는 구조가 가장 안정할 수 있다.

예제 79

HNO_3 와 POCl_3 의 Lewis 구조를 그려라.

2. 산화수(Oxidation number)

- (1) 어떤 결합이 이온 결합이라는 가정 하에서 계산된 원자의 전하를 말한다.
- (2) 산화수는 족 번호와 밀접한 관련이 있는 경우가 많다.

3. 형식 전하(formal atom charge)

- (1) 각 결합 전자쌍이 두 원자에 의하여 동등하게 공유된다는 다른 개념은 더 합리적으로 전하를 추정할 수 있다.

$$* \text{ 형식 전하} = \text{족 번호} - \text{비공유 전자쌍} - \frac{1}{2} \text{결합 전자들의 수}$$

- (2) 형식 전하의 합은 이온 전하와 같다

4. 형식 전하에 적용할 수 있는 두 가지의 원리

- (1) 분자의 원자들은 가능한 한 0에 가까운 형식 전하를 가져야 한다
- (2) 분자는 그들의 음전하가 전기 음성도가 가장 큰 원자에 있을 때 가장 안정하다

기출 80

NO_3^- 이온에서 질소 원자의 형식 전하는 다음 중 어느 것인가? (일반)

- ① -2 ② -1 ③ +1 ④ +2

기출 81

$\text{S-C}\equiv\text{N}^-$ 이온에 대한 질소 원자의 형식 전하는? (학사)

- ① -1 ② 0 ③ +1 ④ +2

기출 82

다음 각 경우에서 밑줄 친 원소의 산화수가 +5인 화합물은?

(일반)

- ① $\underline{\text{Fe}}_2\text{O}_3$ ② $\text{Na}\underline{\text{Cl}}\text{O}_3$ ③ $\underline{\text{C}}_2\text{H}_5\text{OH}$ ④ $\underline{\text{Cl}}\text{O}_2^-$

5. 팔 전자계 규칙의 예외

- (1) 불완전 옥텟 : 13족. BF_3
- (2) 확장된 옥텟 : 여덟 개 이상의 전자를 가지는 경우. 주기율표 상의 3 주기 이상의 원소

① SF_6 , PCl_5 , I_3^-

② 8개 이상의 전자를 가질 수 있는 원자를 두 개 이상 가진 분자에서는 초과 전자는 중심 원자가 가지는 것으로 가정한다.

예 : I_3^-

기출 83

다음의 이온 중에서 Octet rule에 맞지 않는 항목은? (일반)

- ① BH_2^{-1} ② BH_4^- ③ NH_2^- ④ NH_4^{+1}

기출 84

다음 중 thiocyanate anion(NCS^-)의 Lewis 구조로서 타당한 것은? (일반)



4. 공명(Resonance)

1. 공명

- (1) 분자의 구조를 한가지로 나타낼 수 없고, 두 가지 이상의 구조의 중간값으로 나타낼 수 있을 때, 그 분자는 공명한다고 한다.
- (2) 전자가 어느 한 부분에 국한되지 않고 비편재화 되어 더욱 안정성에 기여할 수 있다.
- (3) 공명은 원자 핵의 배치는 변화시키지 않고, π 전자나 비공유 전자들의 배치만 변화시킨다.
- (4) 공명은 절대로 빠른 평형이 아니다. 실제 구조도 아니다.
- (5) 공명 구조는 일반적인 원자가 전자 규칙을 따른다.
- (6) 공명 혼성체는 각각의 어느 공명 구조보다 더 안정하다.

2. 공명 기여도

같은 구조일 경우에는 실제 구조에 대한 기여도가 서로 같지만 실제 구조에 대한 기여도가 다를 경우에는 가장 기여도가 큰 구조를 찾는 것이 중요하다.

- (1) 옥텟을 최대한으로 만드는 구조가 더 안정하다.
- (2) 형식 전하의 분리가 적은 구조가 더 안정하다.
- (3) (-) 전하가 전기 음성도가 큰 원자에 부여된 구조가 더 안정하다.

기출 85

다음 화학종의 구조식을 공명으로 표현하라.(일반)



기출 86

아래 화합물 각 쌍에 대하여 형식 전하 개념을 이용하되 어느 화합물이 더 그럴듯한 구조인지 골라라. 반드시 루이스 구조식을 그리고 답을 쓸 것. (일반)

1) NNO or NON

2) HCN or HNC

3) NOBr or ONBr

기출 87

다음 화합물에 대하여 답하여라. FNO_2 (일반)

1) 루이스 점 구조식을 그리고 모든 원자에 형식 전하를 표시하라.

2) 이 화합물에 공명 구조가 존재하는가? 만일 존재한다면 모든 공명 구조를 그려라.

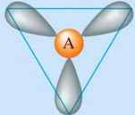
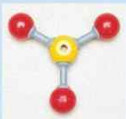
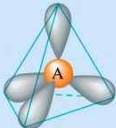
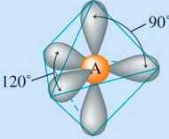
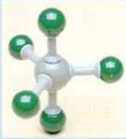
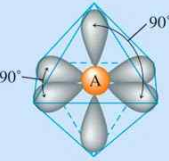
3) 이 화합물은 극성인가 혹은 비극성인가?

4) 이 화합물의 기하학적 구조를 예측하라.

5. VSEPR

1. 원자가 껍질 전자쌍 반발 (Valence Shell Electron Pair Repulsion) 원리

- (1) 분자는 중심 원자 주위의 전자쌍 사이의 반발력을 최소로 하는 구조를 가진다고 가정한다.
- (2) 비공유 전자쌍 사이의 반발력 > 비공유와 공유 전자쌍 사이의 반발력 > 공유 전자쌍 사이의 반발력

Number of Electron Pairs	Arrangement of Electron Pairs	Example
2	Linear 	
3	Trigonal planar 	
4	Tetrahedral 	
5	Trigonal bipyramidal 	
6	Octahedral 	

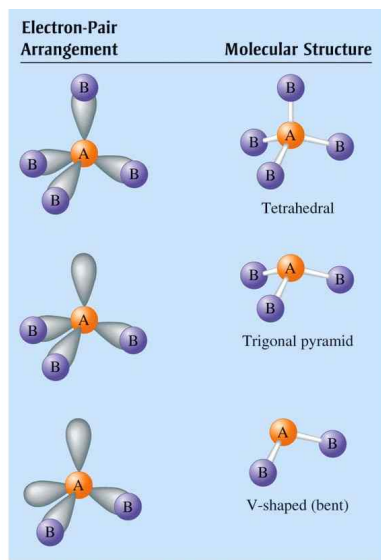
2. VSEPR 모형으로 분자의 구조를 예측하기 위한 방법

- (1) 분자의 Lewis 구조를 그려라.
- (2) 중심 원자 주위에 있는 전자쌍의 수를 세어 전자쌍 사이의 반발력이 최소가 되도록 배열한다
- (3) 주변 원자는 중심 원자와 전자쌍을 공유하는 방법에 따라 배치한다
- (4) 분자 구조의 이름은 원자의 위치에 따라 결정한다. 예를 들면 NH_3 분자 : 전자쌍은 정사면체 배열을 하고 있으나 원자는 정사면체 배열을 하고 있지 않다. 암모니아의 분자 구조는 삼각뿔(trigonal pyramid)이다.

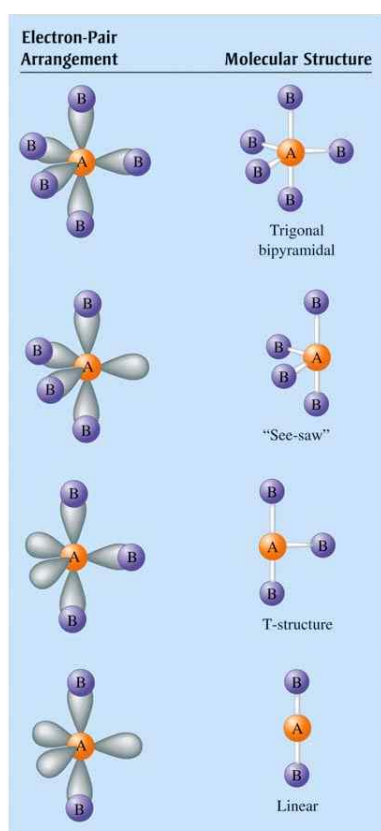
Number of Lone Electron Pairs								
CN	0	e.g.	1	e.g.	2	e.g.	3	e.g.
2	 linear	CO ₂						
3	 trigonal planar	BCl ₃ SO ₃	 angled	SO ₂ NO ₂ ⁻ O ₃	 linear	O ₂		
4	 tetrahedral	CH ₄ SO ₄ ²⁻	 trigonal pyramidal	NH ₃	 angled	H ₂ O	 linear	HCl
5	 trigonal bipyramidal	PCl ₅	 bisphenoidal (seesaw)	SF ₄	 T-shaped	ClF ₃	 linear	I ₃ ⁻
6	 octahedral	SF ₆	 square pyramidal	ClF ₅	 square planar	ICl ₄ ⁻		
7	 pentagonal bipyramidal	IF ₇						

3. 분자 구조 예측

(1) 입체수 4



(2) 입체수 5



기출 88

다음 중 화합물과 중심 원소 전자쌍의 기하학적 배열이 서로 다른 것은? (일반)

- ① H_2O - 정사면체
- ② XeF_2 - 삼각쌍뿔
- ③ SO_2 - 삼각평면
- ④ I_3^- - 직선 구조

기출 89

다음의 분자나 이온 중 기하학적인 형태가 다른 하나는? (일반)

- ① CH_4 ② NH_4^+ ③ SF_4 ④ SnCl_4

기출 90

VSEPR 이론에 따른 화학식과 입체 구조가 다르게 짝지어진 것은? (일반)

- ① PCl_6^- : 정팔면체형 ② NO^+ : 직선형
- ③ BF_3 : 정삼각형 ④ XeF_4 : 정사면체형

기출 91

다음 중 평면 구조를 가지면서 극성 분자인 것은?

- ① C_6H_6 ② CH_4 ③ H_2O ④ NH_3

기출 92

다음 분자들 중 가장 작은 결합각을 가지는 분자는?

- ① BF_3 ② CCl_4 ③ NH_3 ④ H_2O

기출 93

다음 화합물의 Lewis 구조식을 쓰라. (학사)

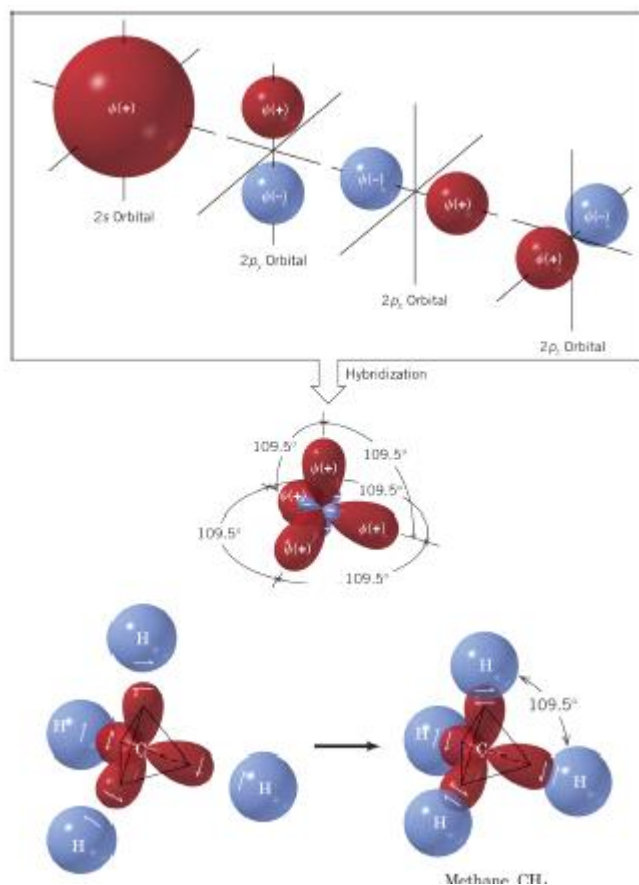
- 1) $[\text{SiF}_6]^{2-}$
- 2) POCl_3

9 공유 결합 : 궤도 함수

1. 혼성화와 편재 전자 모형

1. sp^3

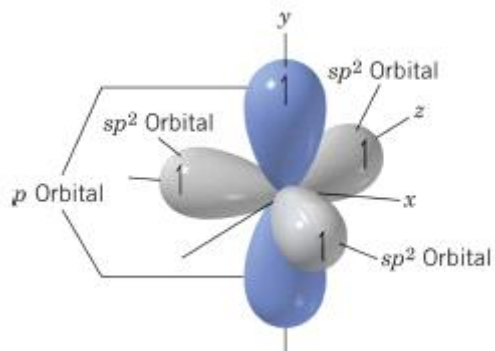
원자 오비탈 4개(s 오비탈 1개와 p 오비탈 3개)가 혼성화하여 새롭게 혼성화 오비탈 4개를 만들며, 이 혼성화 오비탈의 가장 안정한 입체 배치는 4면체이다.



- (1) 사면체 : CH_4 , SiH_4 , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , 알케인
- (2) 삼각뿔 : NH_3 , PCl_3 , SCl_3^+
- (3) 굽은형 : H_2O

2. sp^2

원자 오비탈 3개(s 오비탈 1개와 p 오비탈 2개)가 혼성화하여 새롭게 혼성화 오비탈 3개를 만들며, 이 혼성화 오비탈의 가장 안정한 입체 배치는 평면 삼각형을 만든다.



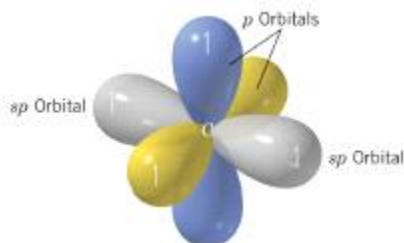
(1) 삼각형 : BH_3 , $AlCl_3$, SO_3

(2) 굽은형 : SO_2 , O_3 , NO_2^-

(3) 알켄, 방향족

3. sp

원자 오비탈 2개(s 오비탈 1개와 p 오비탈 1개)가 혼성화하여 새롭게 혼성화 오비탈 2개를 만들며, 이 혼성화 오비탈의 가장 안정한 입체 배치는 직선형이 된다.

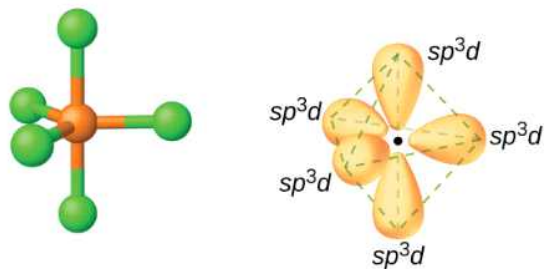


(1) 선형 : BeH_2 , HCN , CO_2

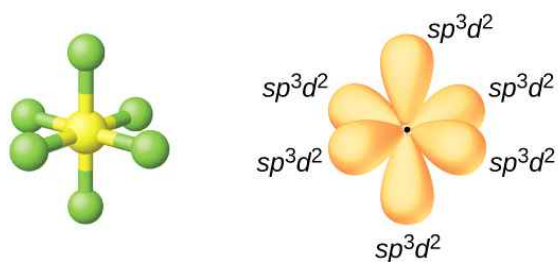
(2) 알카인

4. dsp^3

s 오비탈과 d 오비탈 각각 1개와 p 오비탈 3개가 혼성화하여 새롭게 혼성화 오비탈 5개를 만든다.

5. d^2sp^3

s 오비탈 1개와 d 오비탈 2개, 그리고 p 오비탈 3개가 혼성화하여 새롭게 혼성화 오비탈 6개를 만든다.



기출 94

다음 중 서로 틀리게 짝진 것은? (일반)

- ① $[\text{NH}_4^+]$ - tetrahedral - sp^3
- ② $\text{PCl}_5(\text{s})$ - trigonal bipyramidal - sp^3d
- ③ XeF_4 - tetrahedral - sp^3
- ④ ICl_5 - square pyramidal - sp^3d^2

기출 95

화합물 SeF_6 의 중심 원자의 혼성화 상태와 화합물의 예측되는 기하학적 모양을 기술하라. (${}_{34}\text{Se}$, ${}_{9}\text{F}$ 를 이용하여라.) (일반)

기출 96

아래 화합물 각각에 대하여 루이스 구조식을 그리고 원자가 껍질 전자쌍 반발 원리를 이용하여 화합물의 구조를 예측하고, 중심 원자의 혼성화 오비탈을 기술하고 극성 화합물인지 비극성 화합물인지 기술하라. (일반)

- 1) XeF_4
- 2) BrF_4^+
- 3) CH_3^+



2. 분자 궤도 함수 모형

1. 편재 전자 모형의 문제점

- (1) 전자가 편재되어 있다는 잘못된 가정으로 공명의 개념 추가 도입 필요
- (2) 홀전자를 가진 분자에 대해 잘 설명할 수 없다.
- (3) 결합 에너지에 대한 직접적인 정보를 주지 못한다.

2. 분자 궤도 함수(MOT ; Molecular orbital theory)

- (1) 원자 궤도 함수가 원자의 양자 역학적 해인 것처럼 분자 궤도 함수도 분자의 양자 역학적 해이다.
- (2) 원자 궤도 함수가 혼합되면 항상 결합성과 반결합성인 두 개의 분자 궤도 함수가 형성된다.
- (3) 결합성 궤도 함수는 반결합성 궤도 함수보다 항상 더 낮은 에너지를 갖는다
- (4) 형성되는 분자 궤도 함수의 개수는 항상 결합하는 원자들에 의하여 공여되는 원자궤도 함수들의 총 개수와 동일
- (5) 결합 분자 궤도 함수는 분자 궤도 함수를 형성하는데 사용한 모궤도 함수보다 낮은 에너지를 가지며 반결합 분자 궤도 함수는 모궤도 함수보다 높은 에너지를 가진다.
- (6) 분자의 전자 배치는 Aufbau 원리에 따른다.
- (7) Pauli 원리와 Hund 법칙을 따른다.

3. 결합 차수

(1) 결합 궤도 함수(bonding orbitals)

- ① 핵 사이의 영역에서 전자 밀도가 높은 분자 궤도 함수를 결합궤도 함수라 한다.
- ② 원자 궤도 함수보다 낮은 에너지 상태
- ③ 이 궤도 함수에 전자가 들어가면 분자를 형성(결합을 만들려고)하려고 한다.

(2) 반결합 궤도 함수(antibonding orbitals)

- ① 두 핵 사이보다 반대 영역에서 전자 밀도가 큰 분자 궤도 함수를 반결합 궤도 함수라 한다.
- ② 원자 궤도 함수보다 더 높은 에너지 상태에 있다.

(3) 결합 차수

- ① 결합하는 두 원자 사이의 결합수
- ② 결합의 세기를 나타냄. 클수록 결합의 세기는 강해짐

$$\text{결합 차수} = \frac{1}{2}(n_b - n_a)$$

n_b : 결합 궤도 함수에 있는 전자 수

n_a : 반결합 궤도 함수에 있는 전자 수

4. 궤도 함수 표현

- (1) 원자 궤도 함수는 s(핵에 마디면 없음), p(마디면 1개), d(마디면 2개) 등으로 표시한다.
- (2) 분자 궤도 함수는 σ (마디면 없음), π (마디면 1개), δ (마디면 2개) 등으로 표시한다.
- (3) H_2 분자 궤도 함수에 대한 에너지 준위 그림

예제 97

- 1) He^{2+} 분자 이온에 대한 바닥 상태의 전자 배치와 결합 차수를 구하면?
- 2) H_2^{2-} 분자 이온의 바닥 상태의 전자배치와 결합 차수를 구하면?

5. 2주기 원소의 분자 오비탈 표현

(1) 2주기 원소들의 이원자 분자의 경우, 두 가지 방법의 에너지 순서가 적용된다.

(2) Li_2 , Be_2 , B_2 , C_2 , N_2

① σ_{2s} , σ_{2s}^* , π_{2p} , σ_{2p} , π_{2p}^* , σ_{2p}^* 순서로 채워진다.

② s 오비탈과 p 오비탈의 혼성화 효과에 의해서 π_{2p} 분자 오비탈이 σ_{2p} 분자 오비탈보다 먼저 쉰인다.

(3) O_2 , F_2 , Ne_2

① σ_{2s} , σ_{2s}^* , σ_{2p} , π_{2p} , π_{2p}^* , σ_{2p}^* 순서로 채워진다.

② s 오비탈과 p 오비탈의 혼성화 효과는 거의 없어져서 σ_{2p} 분자 오비탈이 π_{2p} 분자 오비탈보다 먼저 쉰인다.

(4) 결합 차수와 특정 결합의 결합 에너지는 선형 비례하지 않는다. 예) 결합 에너지 $B_2 \gg F_2$ ($\because$ 전자쌍 반발)

6. 동핵 이원자 분자에 대한 분자 궤도 함수

	최외각전자수	전자배치	결합차수
H_2	2	$(\sigma_{1s})^2$	1
He_2	4	$(\sigma_{1s})^2(\sigma_{1s}^*)^2$	0
Li_2	2	$(\sigma_{2s})^2$	1
Be_2	4	$(\sigma_{2s})^2(\sigma_{2s}^*)^2$	0
B_2	6	$(\sigma_{2s})^2(\sigma_{2s}^*)^2(\pi_{2p})^2$	1
C_2	8	$(\sigma_{2s})^2(\sigma_{2s}^*)^2(\pi_{2p})^4$	2
N_2	10	$(\sigma_{2s})^2(\sigma_{2s}^*)^2(\pi_{2p})^4(\sigma_{2p})^2$	3
O_2	12	$(\sigma_{2s})^2(\sigma_{2s}^*)^2(\sigma_{2p})^2(\pi_{2p})^4(\pi_{2p}^*)^2$	2
F_2	14	$(\sigma_{2s})^2(\sigma_{2s}^*)^2(\sigma_{2p})^2(\pi_{2p})^4(\pi_{2p}^*)^4$	1
Ne_2	16	$(\sigma_{2s})^2(\sigma_{2s}^*)^2(\sigma_{2p})^2(\pi_{2p})^4(\pi_{2p}^*)^4(\sigma_{2p}^*)^2$	0

	B ₂	C ₂	N ₂	O ₂	F ₂
σ_{2p}^*	—	—	—	σ_{2p}^* —	—
π_{2p}^*	—	—	—	π_{2p}^* $\uparrow$ $\uparrow$	$\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$
σ_{2p}	—	—	$\uparrow\downarrow$	π_{2p} $\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$
π_{2p}	$\uparrow$ $\uparrow$	$\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$	σ_{2p} $\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$
σ_{2s}^*	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	σ_{2s}^* $\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$
σ_{2s}	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	σ_{2s} $\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$
Magnetism	Para-magnetic	Dia-magnetic	Dia-magnetic	Para-magnetic	Dia-magnetic
Bond order	1	2	3	2	1
Observed bond dissociation energy (kJ/mol)	290	620	942	495	154
Observed bond length (pm)	159	131	110	121	143

예제 98

O₂, O₂⁺, O₂⁻, O₂²⁻ 중 가장 센 결합을 하고 있는 분자는?

	O ₂	O ₂ ⁺	O ₂ ⁻	O ₂ ²⁻
σ_{2p}^*				
π_{2p}^*	$\uparrow$ $\uparrow$	$\uparrow$	$\uparrow\downarrow$ $\uparrow$	$\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$
π_{2p}	$\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$
σ_{2p}	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$
σ_{2s}^*	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$
σ_{2s}	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$
자기성	상자기성	상자기성	상자기성	반자기성
결합차수	2.0	2.5	1.5	1

7. 자기성

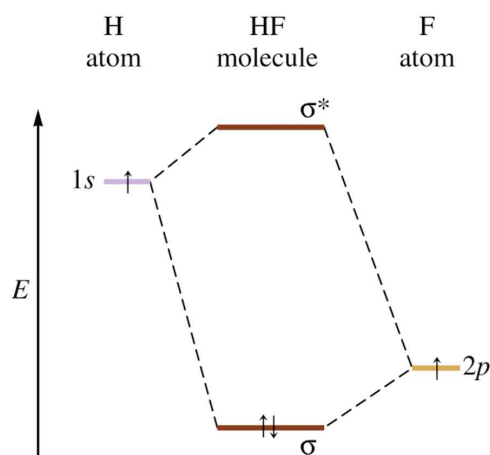
(1) 상자기성(paramagnetic) : 자기장에 물질이 끌려가는 현상을 말함. 상자기성은 분자 내에 홀전자가 있는 경우에 나타난다.

(2) 반자기성(diamagnetic) : 자기장에서 물질이 밀려나는 현상
반자기성은 짝진 전자와 관련이 있다.

8. 이핵 이원자 분자의 결합

- (1) 이웃한 원자들로 이루어진 분자들 : 분자에 있는 원자의 성질이 매우 비슷하므로 동핵 이원자 분자에 썼던 분자 궤도 함수 그림을 그대로 사용할 수 있다
- (2) 두 원자가 아주 다르면 동핵 분자의 에너지 준위 그림을 사용할 수 없다.

NO		NO ⁺ , CN ⁻	
σ^*_{2p}		σ^*_{2p}	
π^*_{2p}	$\uparrow \downarrow$	π^*_{2p}	
σ_{2p}	$\uparrow \downarrow$	σ_{2p}	$\uparrow \downarrow$
π_{2p}	$\uparrow \downarrow \uparrow \downarrow$	π_{2p}	$\uparrow \downarrow \uparrow \downarrow$
σ^*_{2s}	$\uparrow \downarrow$	σ^*_{2s}	$\uparrow \downarrow$
σ_{2s}	$\uparrow \downarrow$	σ_{2s}	$\uparrow \downarrow$
자기성	상자기성	자기성	반자기성
결합차수	2.5	결합차수	3



예제 99

O₂가 이중 결합과 상자성을 가짐을 MO이론으로 설명하라. (학사)

예제 100

분자 궤도 함수를 이용하여 다음 분자의 바닥 상태에서의 전자 배치 및 결합 차수를 표에 기술하여라.

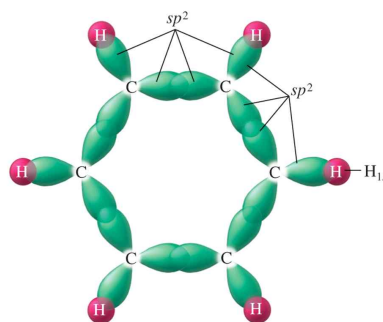
- ① O₂ ② N₂ (일반)



3. 편재 전자 모형과 분자 궤도 함수 모형

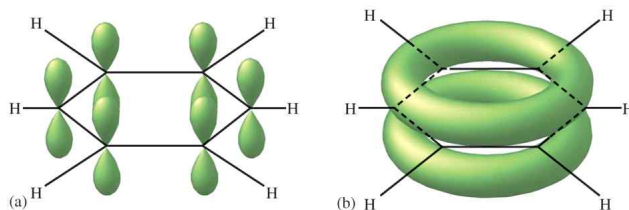
1. 편재 전자 모형 문제점

- (1) 한 분자에 대해 여러 개의 구조를 그릴 수 있을 때 문제점이 발생한다.
- (2) 편재된 σ 결합 설명 가능, 비편재화된 π 결합의 설명이 어렵다.



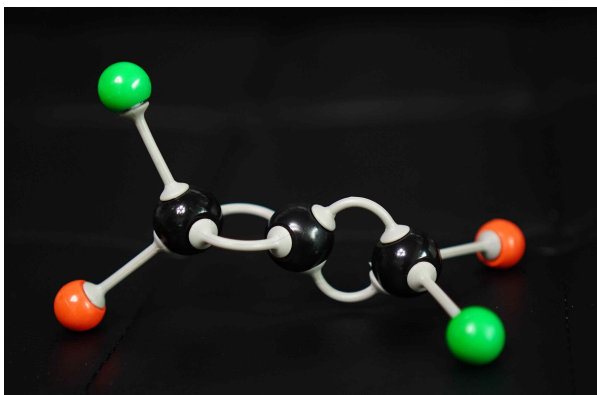
2. 공명

비편재화된 분자의 π 결합은 공명으로 설명할 수 있다.



제 4 부

물질의 상

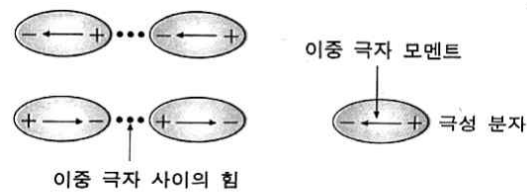


10 액체와 고체

1. 분자간 힘

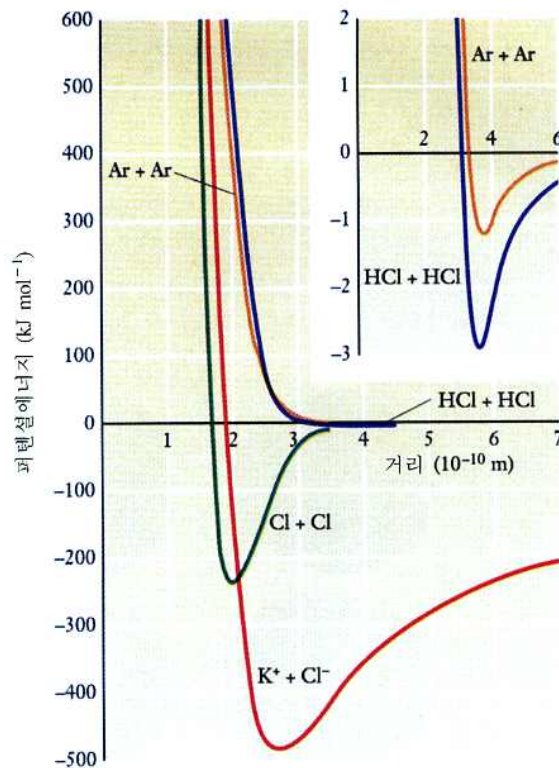
1. 쌍극자-쌍극자 힘

극성 분자의 경우 이중 극자 - 이중 극자 사이의 인력이 작용한다. 낮은 온도에서 분자간 거리가 가까우면 전기적 인력이 작용하며, 높은 온도에서는 큰 의미가 없다.



2. 분산력

극성 분자가 한 분자에 접근할 때 분자의 전자들이 극성 분자의 (+)전하가 있는 쪽으로 치우치는 현상을 편극이라고 하며, 이 편극에 의하여 유발되는 힘을 유발 이중 극자-유발 이중 극자 힘, 즉 '분산력'이라고 한다. 분산력은 전자의 수가 많을수록 커지므로 대체적으로 분자량에 비례하는 성질이다.

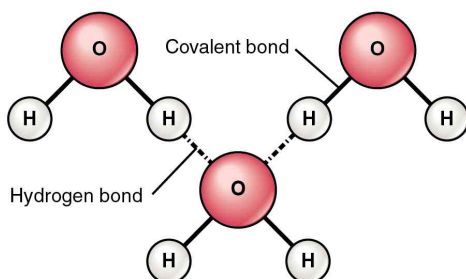


3. 수소 결합

(1) 수소 결합의 형성

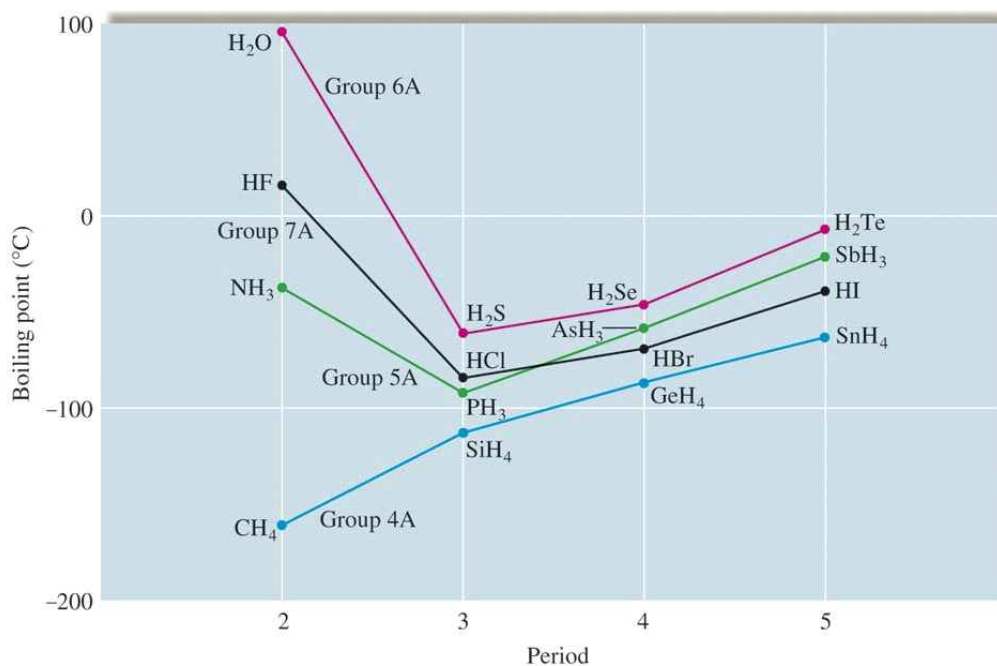
'F, O, N' 처럼 전기 음성도가 큰 원자와 H와의 결합을 수소 결합이라고 한다. 전기 음성도의 차이가 크면 수소 결합력이 크다.

ex) HF , H_2O , NH_3 , C_2H_5OH



(2) 물리적 성질

수소 결합을 형성하는 분자는 일반적으로 mp, bp가 높고, 물 증발열, 점성도가 높다. 또한, 분자가 몇 개씩 회합될 수 있다. 수소 결합 에너지는 공유 결합 에너지의 1/10이지만, 분자간 힘의 10 배 정도에 달하며, 수소 결합이 가능한 물질은 서로 잘 섞일 수 있다.





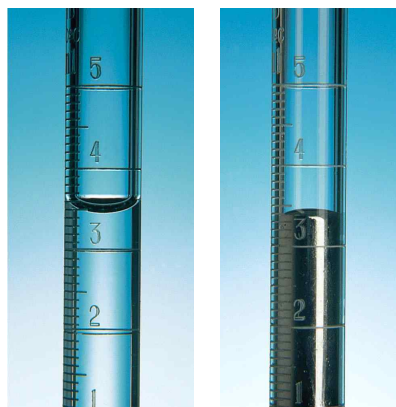
2. 액체 상태

1. 표면 장력(Surface tension)

- (1) 표면적을 최소화하려는 경향
- (2) 분자간 인력에 비례하는 경향이 나타난다.

2. 모세관 작용(Capillary action)

- (1) 극성 액체들이 좁은 관 속에서 액체가 스스로 올라가는 현상
- (2) 응집력(cohesive force)과 부착력(adhesive force)의 상호 작용



3. 점성도(Viscosity)

- (1) 액체가 흐르지 않으려는 정도
- (2) 분자간 인력에 비례하는 경향이 나타난다.

4. 액체의 구조 모형

- (1) 분자간 힘도 매우 크고, 분자의 움직임도 크다.
- (2) 대부분의 영역은 고체와 유사하나, 보다 무질서하고, 빈 공간의 수도 다르다.



3. 고체 상태 개요

1. 분류

(1) 결정성 고체(Crystalline solid)

- ① 구성 성분들의 규칙적 배열
- ② 격자(Lattice) : 구성 성분의 위치 표현
- ③ 단위 세포(Unit cell) : 격자의 반복되는 가장 작은 단위

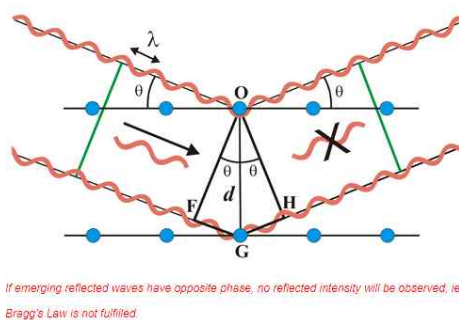
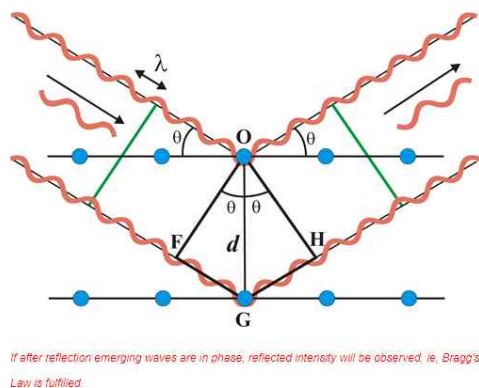
	Unit cell	Lattice	Space-filling unit cell	Example
(a)	 Simple cubic			Polonium metal
(b)	 Body-centered cubic			Uranium metal
(c)	 Face-centered cubic			Gold metal

(2) 비결정성 고체(Amorphous solid)

- ① 무질서한 배열
- ② 유리, 아교

2. 고체의 X선 분석

- (1) X선 회절법(X-ray diffraction) : 규칙적으로 배열된 점들로부터 빛살이 산란될 때, 이들 간격이 빛의 파장과 비슷하면 회절이 생긴다.



- (2) Bragg 방정식

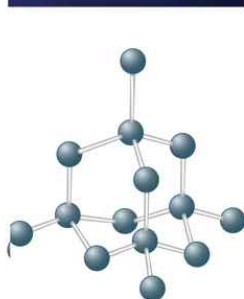
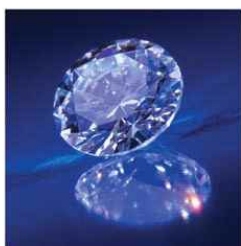
$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

예제 101

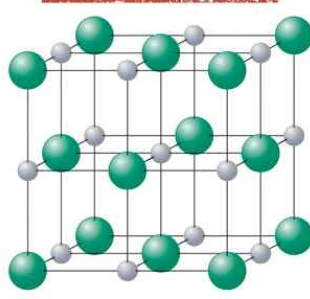
파장이 100 pm인 X선을 사용하여 어떤 금속의 결정을 분석하였다. 각도 30도에서 반사(보강 간섭)가 일어났다. $n=1$ 이라 가정하고, 이러한 반사를 일으킨 원자들로 이루어진 면과 면 사이의 거리 d 를 계산하라.

3. 결정성 고체의 형태

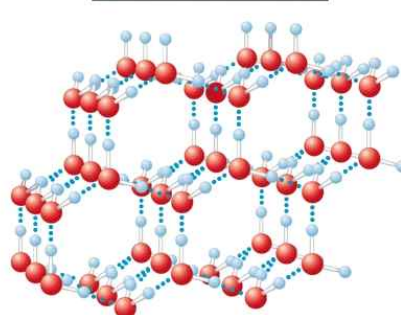
- (1) 이온성 고체 : 이온 결합 격자점에 이온이 존재
 (2) 분자성 고체 : 공유 결합 격자점에 분자가 존재
 (3) 원자성 고체 : 공유 결합 격자점에 원자가 존재



● C
(a) Diamond



● Cl⁻
● Na⁺
(b) Sodium chloride

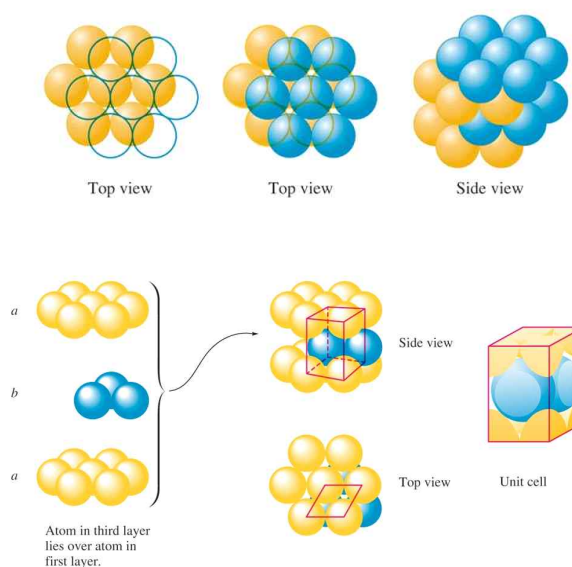


● H₂O
(c) Ice

4. 금속의 구조와 결합

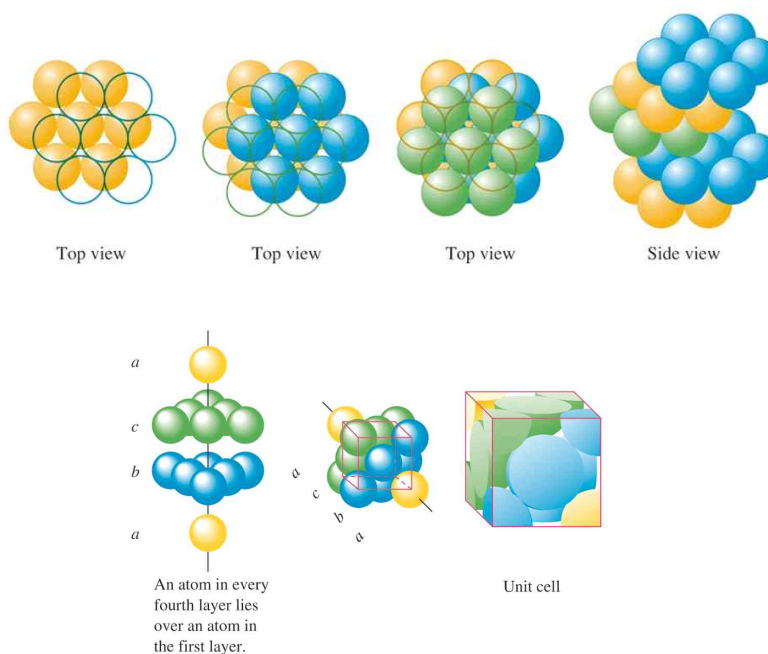
1. 육방 최조밀 쌓임(hcp ; Hexagonal closest packed structure)

- (1) ab 배열의 반복
- (2) Mg, Zn



2. 입방 최조밀 쌓임(ccp ; Cubic closest packed structure)

- (1) abc 배열의 반복
- (2) Al, Fe, Cu, Co, Ni



3. 단위 세포 구성입자의 개수

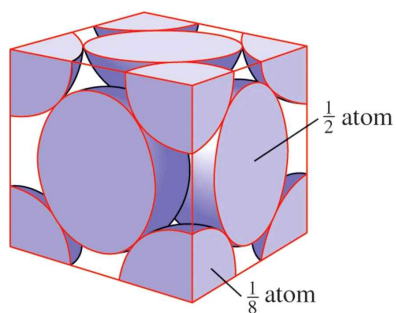
(1) 단위 세포의 중심에 위치한 구는 온전히 1개이며, 면에 위치한 구는 1/2개, 모서리에 위치한 구는 1/4개, 그리고 꼭지점에 위치한 구는 1/8개를 배정한다.

(2) 면심 입방체의 구성입자

$$(8 \times \frac{1}{8}) + (6 \times \frac{1}{2}) = 4$$

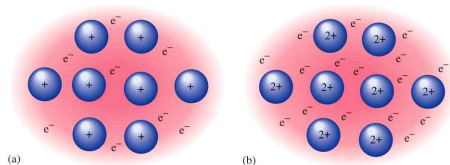
예제 102

은의 결정 구조는 입방 최조밀 구조이다. 은원자의 반지름은 144 pm이며, 원자량은 108이다. 고체 은의 밀도를 계산하라.



4. 금속결합

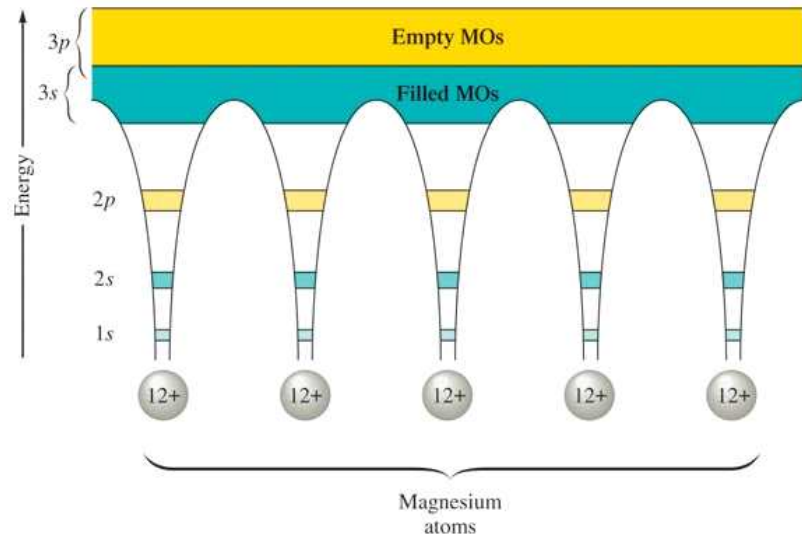
(1) 전자 바다 모형(electron sea model)



(2) 띠 모형(Band model)과 분자 궤도 함수 모형(MO model)

- ① 금속 결정에서 많은 금속 원자들이 상호 작용하게 되면, 얻어진 많은 수의 분자 궤도 함수들이 점점 더 가까워지다가, 사실상 연속된 ‘띠(Band)’를 형성하게 된다.
- ② 에너지 우물의 표현처럼 핵심부 전자들은 편재되어 있다. 그러나 원자가 전자들은 조밀하게 배열된 분자 궤도 함수들에 들어가서 부분적으로만 채우게 된다.

(3) 전도 띠(Conduction band) : 전도 전자들이 채워진 분자 궤도 함수



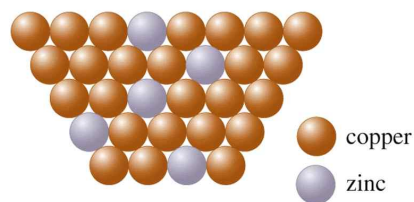
5. 금속 합금

(1) 치환형 합금(Substitutional alloy)

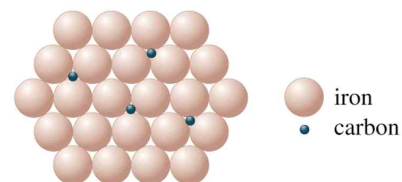
- ① 주 금속의 일부 원자들이 비슷한 크기를 갖는다.
- ② 놋쇠, 청동, 황동, 주화

(2) 틈새형 합금(Interstitial alloy)

- ① 최조밀 쌓임의 금속 구조에서 틈새 자리의 일부가 작은 원자들로 채워진다.
- ② 강철, 연철, 고탄소강



(a) Brass

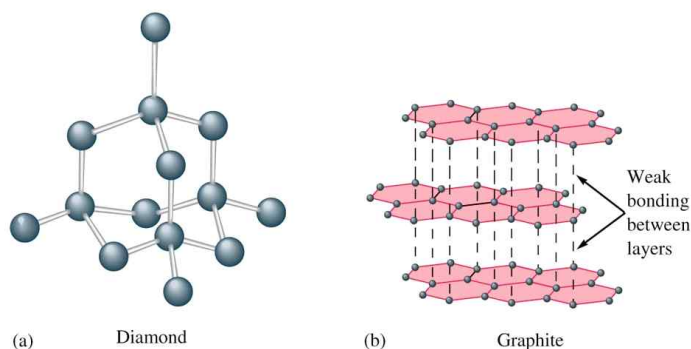


(b) Steel

5. 탄소와 규소 : 그물형 원자성 고체

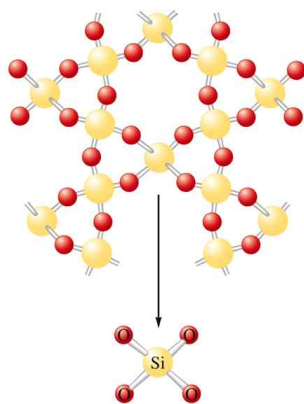
1. 다이아몬드와 흑연

- (1) 다이아몬드는 채워진 준위와 빈 준위 사이에 넓은 간격이 있다. 이는 비어 있는 전도 띠로 전자들이 쉽게 전도될 수 없다는 것을 의미한다.
- (2) 흑연은 π 결합을 형성한다.
 - ① 흑연층의 안정성 증가
 - ② 전기 전도성이 있다.



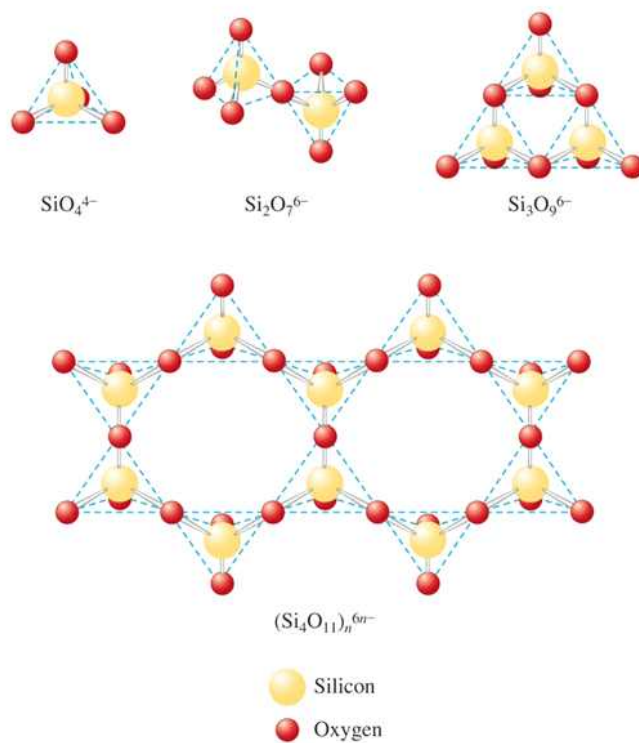
2. 규소

- (1) 실리카(Silica) : 기본적인 규소-산소 화합물은 SiO_2 의 실험식을 갖는다.

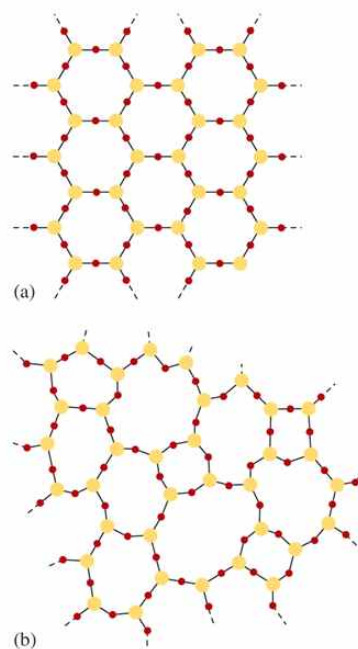


- (2) CO_2 vs SiO_2 : p 오비탈의 크기 차이에 의하여 π 결합의 효과 다르게 나타난다.

- (3) 규산염(Silicate) : 규소와 산소의 비율이 1:2보다 크며, 규소-산소의 다원자 음이온과 금속 양이온을 가지고 있다.



- (4) 유리 : 실리카의 녹는점인 1600 °C로 가열한 후 급속히 냉각시켰을 때 생성되는 비결정질 물질

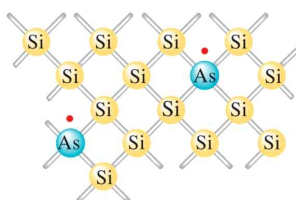


3. 세라믹(Ceramic)

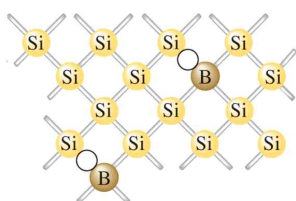
- (1) 규산염을 포함하는 점토로부터, 높은 온도에서 가열하여 단단하게 만든 물질
- (2) 강하고, 잘 깨지며, 내열성, 내화학성이 크다.
- (3) 유리는 용융하여 재성형이 가능하나, 세라믹은 재용융이 불가능하다.
- (4) 유리는 균일(homogeneous)하며, 세라믹은 불균일(heterogeneous)하다.
- (5) 세라믹은 두 가지 상을 갖는다. 유리질의 접합체 속에 규산염의 미세한 결정들이 떠 있다.

4. 반도체(Semiconductor)

- (1) 규소나 저마늄 원자 등이 도핑되면(doped, 특정 원소를 미량 혼합) 작은 전도도를 상온에서도 크게 만들 수 있다.



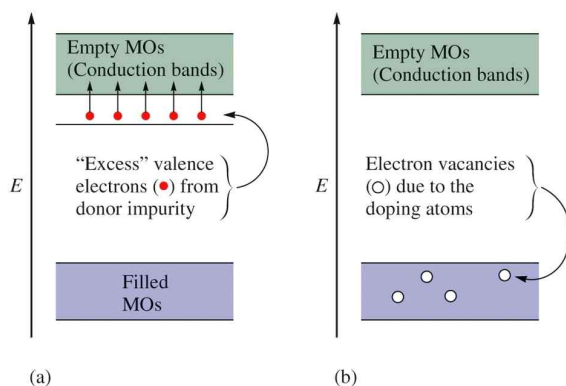
(a) n-type semiconductor



(b) p-type semiconductor

(2) 분류

- ① p형 반도체 : 13족과 같이 전자가 하나 부족한 원자로 도핑. 양공을 갖는다.
- ② n형 반도체 : 15족과 같이 전자가 하나 더 있는 원자로 도핑. 여분의 전자를 갖는다.



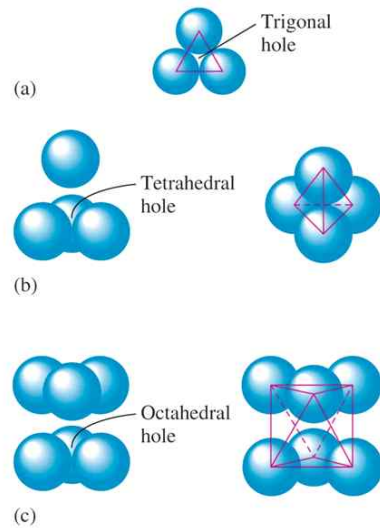
(3) 정류 작용

- ① p-n 접합(p-n junction) 평상시 적은 수의 전자가 n형에서 p형으로 이동하여 생긴 접합 전위(junction potential)로 인하여 전류가 흐르지 못한다.
- ② 정 바이어스(forward bias)에서 전류가 흐른다.
- ③ 역 바이어스(reverse bias)일 때, 전류가 흐르지 못한다.

6. 이온성 고체

1. 최조밀 쌓임 구조의 구멍(hole)

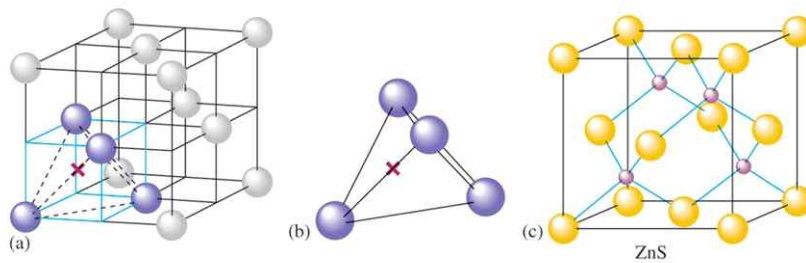
- (1) 삼각형 구멍
- (2) 사면체 구멍
- (3) 팔면체 구멍



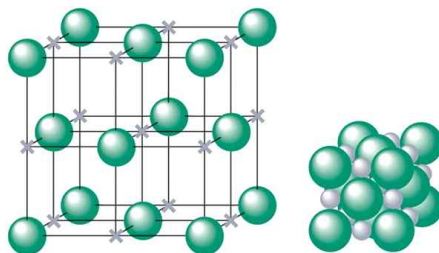
- (4) 구멍의 크기 : 삼각형 < 사면체 < 팔면체

2. 단위 세포의 구멍

- (1) 어느 구멍에 채워질 것인가? 양이온과 음이온의 상대적인 크기에 따라 결정
- (2) 황화아연 : 사면체 구멍의 절반만 아연 이온으로 채워진다.



- (3) 염화나트륨 : 팔면체 구멍을 채움

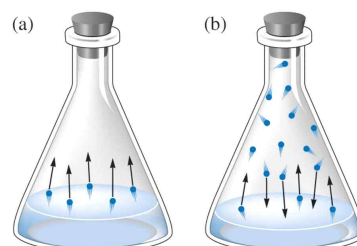




7. 증기압과 상태 변화

1. 증기압(Vapor pressure)

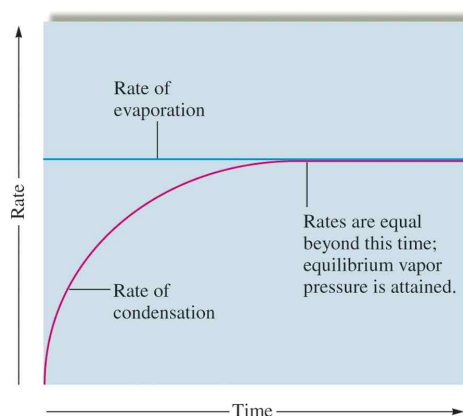
(1) 증발 : 액체의 분자가 액체의 표면을 이탈하여 기체가 되는 현상



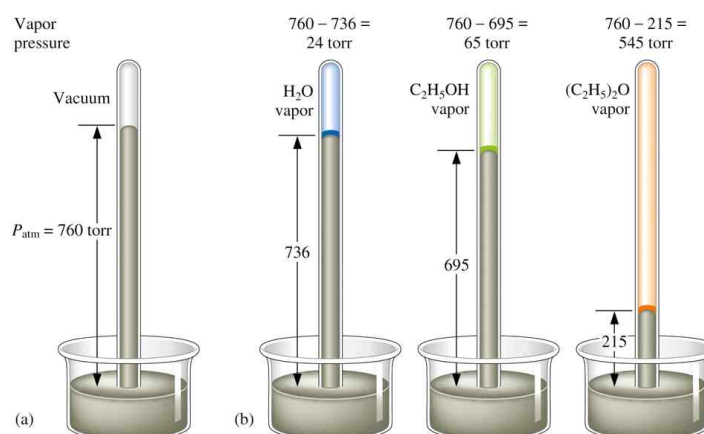
(2) 증발열(heat of vaporization) : 1기압의 압력 하에서 액체 1몰이 증발하는 데 필요한 에너지

(3) 증기압

① 평형 상태에 있는(증발과 응축이 평형) 증기의 압력을 액체의 평형 증기압, 혹은 증기압이라 한다.



② 측정 : $P_{vap} = P_{atm} - P_{Hg}$

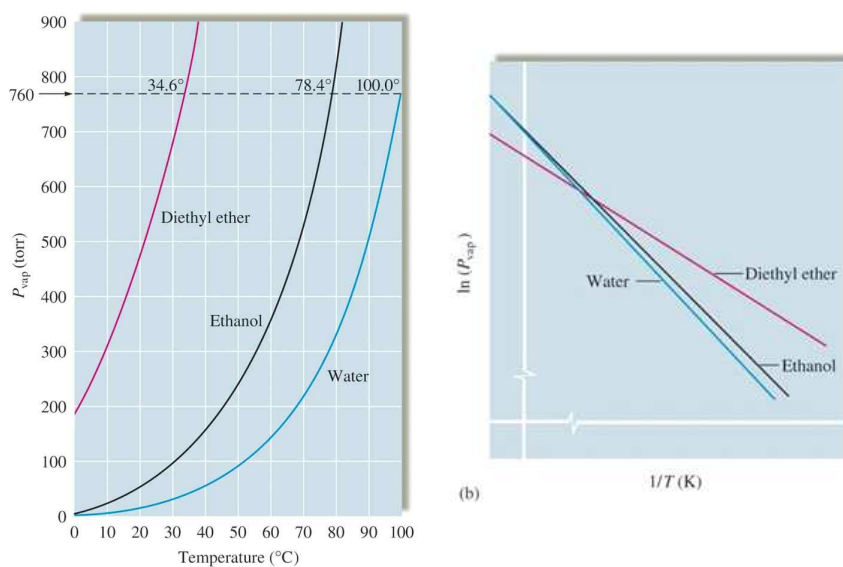


(4) 액체의 증기압은 분자량과 분자간 인력에 영향을 받는다.

- ① 주어진 온도에서 무거운 분자가 가벼운 분자보다 느린 속도를 가지며 따라서 액체 표면에서 이탈하는 경향이 더 작다.
- ② 분자간의 인력이 큰 액체는 증기상으로 이탈하는 데 많은 에너지가 필요하기 때문에 낮은 증기압을 갖는다.
- ③ $\text{H}_2\text{O} < (\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$: 물보다 디에틸에터가 분자량이 크지만 물 분자 사이의 수소 결합 때문에 물의 증기압이 디에틸에터의 증기압보다 낮아짐)

(5) 증기압과 온도

$$\ln(P_{\text{vap}}) = -\frac{\Delta H_{\text{vap}}}{R}\left(\frac{1}{T}\right) + C$$



(6) 온도에 따른 증기압의 변화

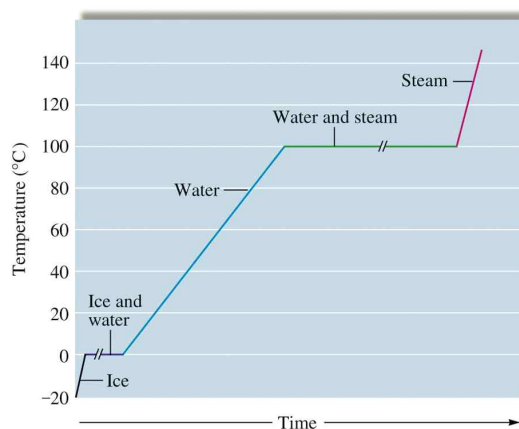
$$\ln\left(\frac{P_{\text{vap}2}}{P_{\text{vap}1}}\right) = -\frac{\Delta H_{\text{vap}}}{R}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)$$

예제 103

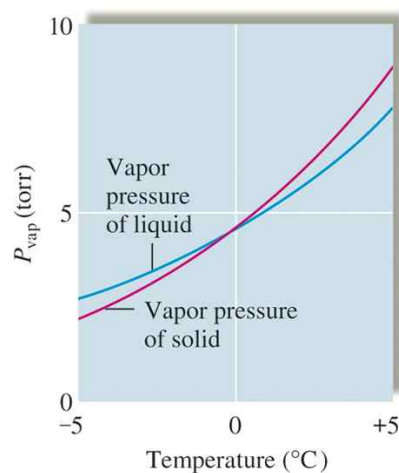
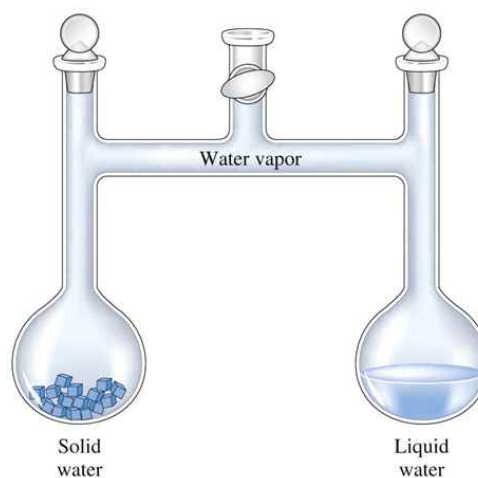
25 도에서 물의 증기압은 몇 torr인가? (단 물의 증발열은 44 kJ/mol이다.)

2. 상태의 변화

- (1) 용융열, 용융 엔탈피 : 어떤 고체가 녹을 때 녹는점에서 일어나는 엔탈피 변화



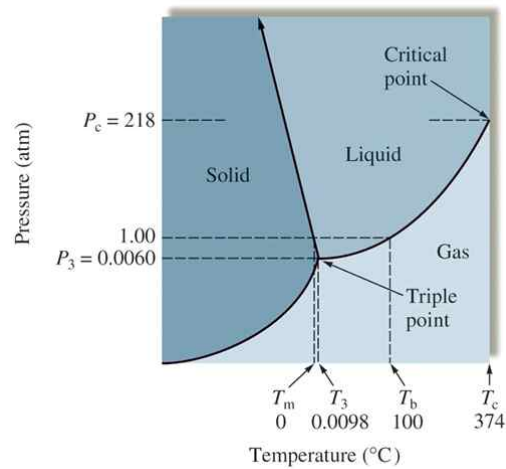
- (2) 녹는점 : 액체와 고체의 증기압이 같을 때의 온도
 (3) 정상 녹는점 : 전체 압력이 1 기압인 조건 하에서 고체와 액체 상태가 동일한 증기압을 갖는 온도



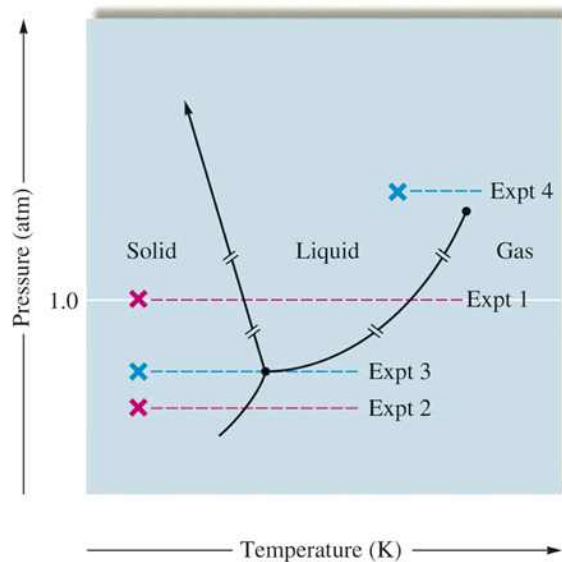
8. 상평형 그림

1. 상평형 그림(Phase diagram)

- (1) 물질의 상태를 온도와 압력의 함수로 나타낸 그래프
- (2) 닫힌계의 조건을 만족할 때 성립



2. 물의 상평형 설명



-20도에서 얼음으로 가득 채우고 피스톤으로 얼음 위에서 공간 없이 시작한다.

- (1) 1기압
- (2) 0.003 atm
- (3) 0.006 atm
- (4) 218 atm 이상

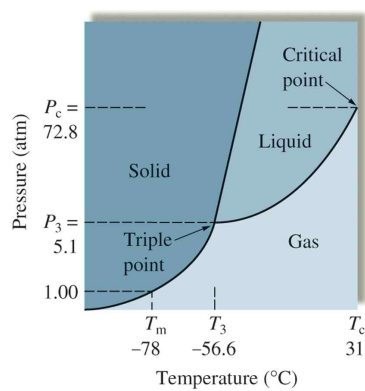
3. 임계점

- (1) 임계 온도 : 기화 가능한 최고 온도
- (2) 임계 압력 : 임계 온도에서 액체를 얻는데 필요한 압력

4. 물의 상 평형과 실생활

- (1) 스케이트
- (2) 언 빨래의 건조

5. 이산화탄소의 상 평형 그림



11 용액의 특성



1. 용액의 조성

1. 농도

(1) 몰 농도 : 용액 1 L에 있는 용질의 몰수

(2) 질량 퍼센트(무게 퍼센트)

$$\text{질량 퍼센트} = \frac{\text{용질의 그램 수}}{\text{용액의 그램 수}} \times 100\%$$

(3) 몰 분율 : 용액에 있는 분자의 전체 몰 수에 대한 어떤 성분의 몰 수의 비

$$\text{성분 A의 몰 분율} = X_A = \frac{n_A}{n_A + n_B}$$

(4) 몰랄 농도(m) : 1kg의 용매에 녹아 있는 용질의 몰 수

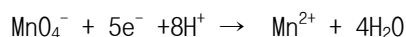
(5) 노르말 농도(N) : 용액 1 L에 녹아있는 용질의 당량 수

① 당량 수 : 산-염기 반응에서 $\rightarrow$ 정확히 1몰의 양성자를 내어 놓거나 받아들이는 산 혹은 염기의 질량

$$H_2SO_4 \text{의 당량(분자량=98)} = \frac{\text{분자량}}{2} = 49, 1M = 2N$$

② 산화-환원반응에서 $\rightarrow$ 1몰의 전자를 내어놓거나 받아들이는 산화제나 환원제의 양

$$\text{예) } KMnO_4 \text{의 당량(분자량=158)} = \frac{\text{분자량}}{5} = 31.6$$



2. 농도의 환산

(1) 용액의 농도 기준이 서로 다르므로 부피와 질량 관계를 구할 수 있는 밀도를 알면 농도 상호간에 쉽게 환산할 수 있다.

(2) % 농도(P)와 몰 농도의 환산

$$\text{몰 농도} = \frac{10Pd}{M}$$

(3) 몰 농도와 몰랄 농도의 환산

어느 온도에서 분자량이 M인 비전해질 수용액의 몰 농도를 C라 하고 이 용액의 밀도를 d g/mL 라고 할 경우의 몰랄 농도는?

(1000d - wM) g : M 몰 = 1000 g : x 몰

$$m = \frac{1000C}{(1000d - CM)}$$

예제 104

자동차 축전지에 들어있는 전해질은 밀도가 1.230 g/ml인 3.75 M의 황산 용액이다. 황산의 농도를 질량 퍼센트, 몰랄 농도, 몰분율, 노르말 농도로 나타내시오. (황산 = 98.1)

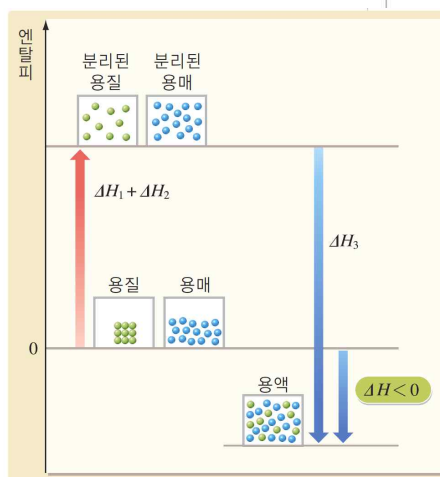
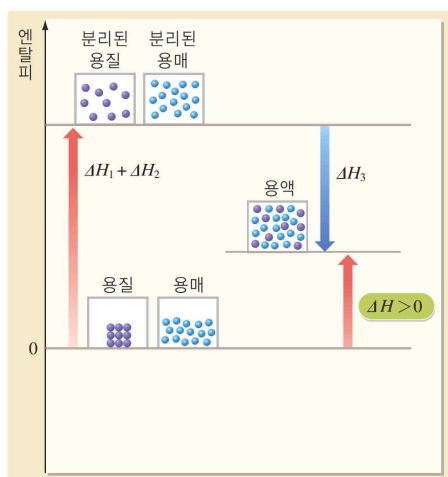
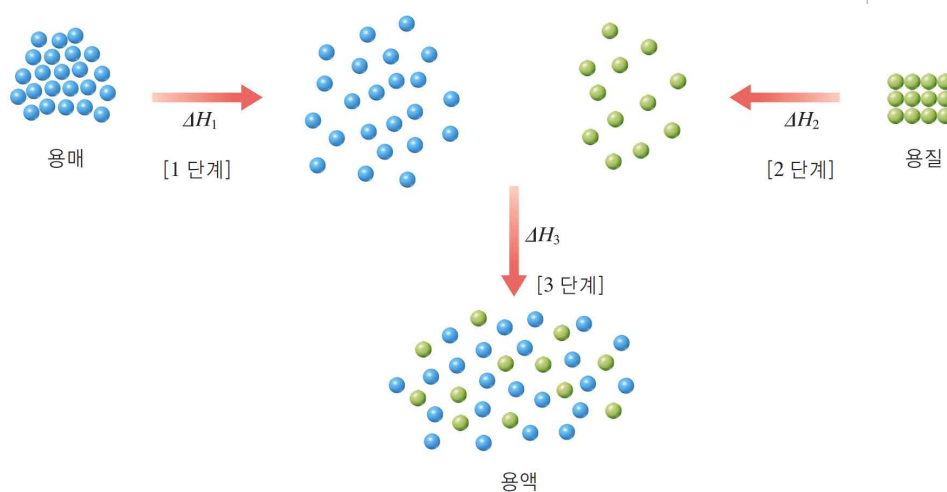
2. 용액 형성의 에너지

1. 용해도에 영향을 미치는 요인

- (1) 비슷한 것은 비슷한 것을 녹인다.
- (2) 용해열 : 용질을 용매에 녹일 때 관련된 엔탈피 변화

2. 액체 용액의 형성 단계

- (1) 용질이 각 성분으로 쪼개진다.(용질의 팽창, ΔH_1)
- (2) 용매 분자 사이의 인력을 극복하여 용매 분자 사이에 용질이 들어갈 수 있는 공간을 만든다.(용매의 팽창, ΔH_2)
- (3) 용매와 용질 사이에 상호 작용이 일어나 용액 형성(ΔH_3)



3. 열화학 단계

(1) 1단계, 2단계는 흡열 과정이고 3단계는 발열 과정이다.

$$\text{용해열} = \Delta H_{\text{용액}} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$$

(2) 물과 기름을 혼합

- ① $\Delta H_1 \rightarrow$ 기름은 비극성 분자, 분산력을 극복할 에너지 필요
- ② ΔH_3 작다. $\rightarrow$ 비극성 분자와 극성 분자 이의 인력은 무시할 수 있다.
- ③ ΔH_2 은 큰 에너지 필요 $\rightarrow$ 물 분자, 수소 결합 에너지를 극복하는 데에는 큰 에너지 필요
- ④ 따라서 $\Delta H_{\text{용액}}$ 은 큰 양의 값이 된다. 기름을 물에 녹이기 위해서는 많은 양의 에너지 필요한데 보통의 조건에서는 거의 진행되지 않는다.

(3) 이온성 고체와 물에 대한 용해도

- ① ΔH_1 은 매우 큰 양의 값 $\rightarrow$ 이온간의 인력을 극복하는데 필요한 에너지 많음
- ② ΔH_2 도 큰 양의 값 $\rightarrow$ 수소 결합을 끊는데 큰 에너지 필요
- ③ ΔH_3 은 큰 음의 값 $\rightarrow$ 이온과 물 분자 간의 강한 인력을 나타내므로 큰 음의 값
- ④ $\Delta H_{\text{용액}} = 3 \text{ kJ/mol}$ ($\Delta H_1 + \Delta H_2$ 와 ΔH_3 은 거의 상쇄됨)
- ⑤ 비록 적은 양의 에너지를 필요로 하지만 용매와 용질을 섞을 때 발생하는 큰 무질서도의 증가 때문에 용액이 만들어진다.
- ⑥ 결론 $\rightarrow$ 에너지의 영향과 무질서도의 증가를 같이 고려해야 한다.

기출 105

I_2 는 물에 매우 조금 녹으나, KI가 용해된 물에는 잘 녹는다.

또한 I_2 는 사염화탄소에도 잘 녹는다. 이들 각각의 현상의 이유를 설명하라. (학사)



3. 용해도의 이해에 필요한 요인

1. 용해도에 영향을 주는 요인

- (1) 물질이 섞이고자 하는 자연적인 현상(무질서한 상태로 가고자 하는 자연적인 경향)
- (2) 분자나 이온들 사이의 상대적인 인력

2. 분자 용액

- (1) 질소와 산소의 용액인 공기
- (2) 기체들 사이의 분자간 힘은 약해서 용해도의 주요한 요인은 분자들이 섞이고자 하는 자연적인 경향이다. 그래서 기체들은 잘 섞인다.

예) 성질이 비슷한 헵테인과 옥테인으로 이루어진 용액에서 분자간의 힘은 분산력이고 서로 크기가 거의 비슷하다.

- (3) 분자들이 섞이려는 경향으로 인하여 물질들은 서로 섞이게 된다.
- (4) 물과 옥테인의 혼합
- (5) 물과 알코올의 혼합

3. 이온 용액

- (1) 이온 용액에서 용해도의 차이는 결정 내 이온 사이의 인력과 이온과 물 사이의 인력의 에너지 차로써 결정된다.
- (2) 결정 내 이온 사이의 인력
 - ① 결정 격자에서 이온을 함께 붙잡고 있는 에너지인 격자에너지
 - ② 격자 에너지는, 이온의 전하가 클수록 중심 이온 사이의 거리가 작을수록 커진다.
- (3) 알칼리 토금속의 수산화물 계열에서 용해도
 - ① $Mg(OH)_2 < Ca(OH)_2 < Sr(OH)_2 < Ba(OH)_2$
 - ② 격자 에너지가 용해도의 경향성을 결정
 - ③ 이온의 반지름이 증가함에 따라 격자에너지가 감소
 - ④ 격자 에너지 감소는 $Mg^{2+}, Ca^{2+}, Sr^{2+}, Ba^{2+}$ 수화 에너지의 감소보다 훨씬 크므로 격자 에너지가 이 계열에 있어서의 용해도 경향성을 결정한다.

(4) 이온과 물 사이의 인력

- ① 물과 이온 사이의 인력은 이온-쌍극자 힘 때문이다.
- ② 이온이 물 분자를 끌어당기는 것을 수화라고 한다.
- ③ 전하가 클수록, 원자 반지름이 작을수록 수화 에너지는 크다
예제) Na^+ 와 K^+ 중 어느 것이 큰 수화 에너지를 가지는가?

(5) 알칼리 토금속의 황 산화물

- ① 용해도 : $\text{MgSO}_4 > \text{CaSO}_4 > \text{SrSO}_4 > \text{BaSO}_4$
- ② 수화 에너지가 용해도의 경향성을 지배 : SO_4^{2-} 는 OH^- 보다 훨씬 크기 때문에 MgSO_4 로부터 BaSO_4 로 감에 따라 격자 에너지의 퍼센트 변화율은 수산화물의 경우보다 작다. 따라서 격자 에너지의 변화는 작고 양이온의 수화 에너지는 훨씬 큰 값으로 감소한다.
- ③ MgSO_4 는 물에 녹지만 BaSO_4 는 물에 녹지 않는다.



4. 용해도에 영향을 미치는 요인

1. 구조의 영향

- (1) 수소 결합을 하는 물질끼리 용해도가 크다.
- (2) 극성 물질은 극성 용매에 잘 녹는다.
- (3) 무극성 물질은 무극성 용매에 잘 녹는다.

2. 압력의 영향

- (1) 고체, 액체는 압력의 영향을 거의 받지 않는다.
- (2) 기체는 압력이 증가하면 상당히 증가한다
 - ① Henry 법칙 : 묽은 용액에서 기체의 용해도는 용액 위에 있는 그 기체의 부분 압력에 비례한다.
 - ② $C = kP$ (P , 기체 용질의 분압, C 용해된 기체의 농도)

3. 온도의 영향

- (1) 고체 : 대부분은 온도가 증가함에 따라 증가하지만 몇가지 물질(황산나트륨과 황산세륨)의 용해도는 온도가 높아짐에 따라 감소
- (2) 기체 : 기체의 용해도는 온도가 증가함에 따라 감소

예제 106

다음의 용해도에 관한 설명 중 맞는 것은? (학사)

- ① 온도를 증가하면 화합물의 용해도는 항상 증가한다
- ② 압력을 감소하면 기체의 용해도는 증가한다
- ③ 용해열이 작은 화합물은 온도 변화에 따른 용해도 변화가 작다
- ④ 용해될 때 흡열하는 화합물은 온도를 증가하면 용해도가 감소한다

예제 107

다음의 용해도에 관한 설명 중 틀린 것은? (학사)

- ① 기체는 찬물보다는 뜨거운 물에 더 잘 녹는다.
- ② 압력이 높을수록 기체는 액체 속에 잘 녹아든다.
- ③ 용매 헥세인은 벤젠을 녹일 수 있지만 염화 나트륨은 녹일 수는 없다.
- ④ 고체를 액체에 녹일 때 압력은 용해도에 별 영향을 미치지 않는다.

예제 108

액체에 대한 기체의 용해도는 헨리의 법칙으로 설명한다.

298 K와 1 기압에서 순수한 질소의 물에 대한 용해도는

$6.8 \times 10^{-3} \text{ M}$ 이다. 298 K에서의 질소 가스의 헨리 상수(k)를 구하라. (학사)

① $3.4 \times 10^{-3} \text{ M atm}^{-1}$

② $6.8 \times 10^{-3} \text{ M atm}^{-1}$

③ $1.4 \times 10^{-2} \text{ M atm}^{-1}$

④ $2.6 \times 10^{-3} \text{ M atm}^{-1}$

5. 용액의 증기압

1. 라울(Raoult) 법칙

이상 용액 중 한 성분의 증기분압은 그 온도에서 순수 성분의 증기압과 액상에서의 몰 분율을 곱한 것과 같다.

$$P = X_0 P_0$$

예제 109

25 °C에서 158.0 g의 설탕(분자량 = 342.3)을 물 643.5 cm³에 녹여 만든 용액의 증기압을 계산하여라.

(25 °C에서 물의 밀도는 0.9971 g/cm³이고, 증기압은 23.76 torr 이다.)

2. 용액의 증기압 내림

- (1) 용액의 증기압력은 순수한 용매의 증기압보다 낮아짐.
- (2) 증기압내림은 용질의 종류와는 관계없고 용매에 녹는 용질의 몰 수에 비례한다
- (3) 증기압 내림 현상은 용액 중에 들어있는 분자의 개수와 분자량을 실험적으로 편리하게 측정하는 방법을 제공한다.

3. 총괄성(colligative properties)

- (1) 용질의 고유한 화학적 성질에는 관계없이 용액 중에 있는 용질 입자들의 수에만 의존하는 성질들을 총괄성질이라고 한다.
- (2) 증기압 내림, 끓는점 오름, 어는점 내림, 삼투압

4. 수정된 라울의 법칙

- (1) 두 휘발성 액체로 이루어진 용액의 경우

$$P = P_A + P_B = X_A P_A^0 + X_B P_B^0$$

P_A, P_B : 용액 위에 있는 증기에 있는 A와 B의 부분 압력

P_A^0, P_B^0 : 순수한 A와 B의 증기압

X_A, X_B : A와 B의 몰 분율

- (2) 수정된 라울의 법칙을 따르는 용액은 이상 용액이다.
- (3) 큰 음의 용해열은 용질과 용매 사이에 강한 인력이 있다.
 - ① 이 용액은 라울의 법칙으로부터 음의 편차를 나타낸다
 - ② 두 성분 모두 순수한 액체로 있을 때 보다 용액으로부터 벗어나려는 경향이 작을 것이다.

③ 분자들 간에 효과적으로 수소 결합을 할 수 있는 아세톤과 물로 이루어진 용액에서 잘 나타난다.

(4) 두 액체가 열을 흡수해서 섞인다면

- ① 용매와 용질 사이의 인력 < 순수한 액체에서의 분자간 인력
- ② 액체가 섞일 때 발생하는 에너지보다 더 큰 에너지가 액체를 팽창시키기 위해 필요
- ③ 용액에 있는 분자가 증발하려는 경향은 예상보다 더 크다
- ④ 라울의 법칙으로부터 양의 편차

(5) 벤젠과 톨루엔과 같은 비슷한 액체

- ① 용액 형성 엔탈피는 0에 가깝다
- ② 라울의 법칙을 잘 따름

예제 110

Benzene의 몰 분율이 0.4인 Benzene-Toluene 혼합 용액(이상 용액으로 가정)이 30 °C에서 증기상(vapor phase)과 평형을 이루고 있을 때 증기상에서의 Benzene의 몰 분율을 구하라. (단, 30 °C에서 순수한 Benzene과 Toluene의 증기압은 각각 120 Torr 와 40 Torr이다.)

- ① 0.33 ② 0.67 ③ 0.75 ④ 0.86

기출 111

용액에 대한 다음의 설명 중 옳은 것을 모두 선택한 것은?
(학사)

- a) Raoult의 법칙은 이상 용액의 경우에만 적용된다.
- b) 벤젠에 톨루엔을 녹인 용액은 증기압곡선이 이상 용액일 경우와 매우 유사하다.
- c) 증기압 곡선이 이상 용액일 경우에 예상되는 값보다 음의 편차를 보이는 것은 용매-용질 분자간의 인력이 약할 경우이다.
- d) 아세톤-물 용액은 증기압 곡선이 이상 용액일 경우보다 양의 편차를 보인다.

- ① a), d) ② b), c) ③ a), b) ④ a), b), c), d)



6. 총괄성

1. 끓는점 오름

용액의 끓는점은 순수한 용매의 끓는점보다 높다.

$$\Delta T_b = mK_b$$

(m : 몰랄 농도, K_b : 몰랄 끓는점 오름 상수. 물 : 0.512)

2. 어는점 내림

용액의 어는점은 순수한 용매의 어는점보다 낮다.

$$\Delta T_f = mK_f$$

(m : 몰랄 농도, K_f : 몰랄 어는점 내림 상수. 물 : 1.86)

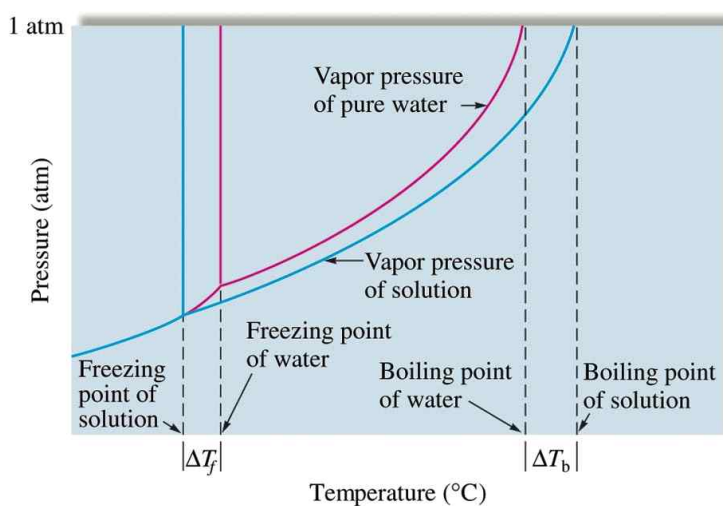
Solvent	Boiling Point (°C)	K_b (°C · kg/mol)	Freezing Point (°C)	K_f (°C · kg/mol)
Water (H ₂ O)	100.0	0.51	0	1.86
Carbon tetrachloride (CCl ₄)	76.5	5.03	-22.99	30.
Chloroform (CHCl ₃)	61.2	3.63	-63.5	4.70
Benzene (C ₆ H ₆)	80.1	2.53	5.5	5.12
Carbon disulfide (CS ₂)	46.2	2.34	-111.5	3.83
Ethyl ether (C ₄ H ₁₀ O)	34.5	2.02	-116.2	1.79
Camphor (C ₁₀ H ₁₆ O)	208.0	5.95	179.8	40.

예제 112

물 200.0 g에 에틸렌글라이콜(C₂H₆O₂) 6.5 g을 포함하고 있는 용액의 어는점과 끓는점은 얼마인가?

기출 113

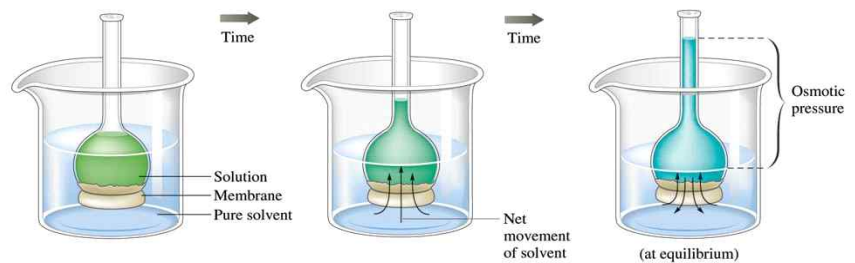
에틸렌글라이콜은 부동액으로 사용된다. 어는점을 -10 °C가 되게 하기 위해 3 kg의 물에 넣어야 하는 에틸렌글라이콜의 양은 몇 g 인가? (단, 물의 K_f = 1.86) (일반)



3. 삼투압

반트 호프의 법칙 : 농도가 그리 크지 않은 용액의 삼투압은 용매와 용질의 종류에 관계없이 용액의 몰 농도와 절대 온도에 비례한다.

$$\pi = CRT$$



4. 전해질 용액의 총괄성

- (1) 같은 몰랄 농도의 수용액에서 묽은 전해질 수용액은 비전해질 수용액보다 그 끓는점 오름이나 어는점 내림의 정도가 커진다.
- (2) 전해질 용질이 이온화하여 전체 입자의 몰 수가 증가하기 때문

$$(3) \text{ van't Hoff 계수}(i) = \frac{\text{용액에 있는 입자의 몰 수}}{\text{녹아있는 용질의 몰 수}}$$

- (4) 전해질용액의 총괄성은 van't Hoff의 계수를 포함한 식으로 나타낸다.

$$\Delta T = imK$$

$$\pi = iCRT$$

- (5) 이온쌍의 형성 때문에 i 의 실험값은 예상값과 차이가 난다. (어떤 순간에 작은 퍼센트의 Na^+ 과 Cl^- 은 이온쌍을 이루어 한 개의 입자로 행동할 수 있다. 진한 용액에서 이온쌍이 더 잘 형성된다)

기출 114

다음 수용액 중 어는점이 가장 낮은 것은? (일반)

- ① 0.020 M 황산마그네슘 용액 ② 0.030 M 염화나트륨 용액
③ 0.025 M 염화칼슘 용액 ④ 0.010 M 질산 용액

예제 115

다음 물질 10 g을 각각 1,000 g의 물에 용해시켰을 때 끓는점이 높은 것부터 순서가 맞는 것은?

A, 과당. B, 맥아당. C, 염화나트륨

- ① C>A>B ② C>A>B
③ B>A>C ④ A>B>C

5. 비휘발성 · 비전해질인 물질의 분자량 측정

$$m = \frac{1000w}{MW}$$

$$\Delta T = K_b m_{\text{용질}} = K_b \frac{1000w}{MW}$$

$$\text{용질의 분자량은 } M = \frac{1000wK_b}{W\Delta T}$$

Electrolyte	<i>i</i> (expected)	<i>i</i> (observed)
NaCl	2.0	1.9
MgCl ₂	3.0	2.7
MgSO ₄	2.0	1.3
FeCl ₃	4.0	3.4
HCl	2.0	1.9
Glucose*	1.0	1.0

*A nonelectrolyte shown for comparison.



7. 콜로이드

1. 콜로이드 입자

- (1) 빛을 산란할 수 있을 정도의 크기를 갖는 입자가 분산된 용액을 콜로이드 용액이라 함
- (2) 지름이 $1\text{nm} \sim 10\mu\text{m}$
 - ① 현미경으로 볼 수 없고, 거름종이로 거를 수 없다(거름 종이 통과 가능)
 - ② 한외 여과막(ultra-filtration membrane)이나 투석막(Dialysis membrane)은 통과하지 못함
- (3) 콜로이드 입자는 매우 미세하기 때문에 단위 중량당 표면적이 매우 크다

2. 콜로이드의 종류(1)

- (1) Suspension : 액체의 분산매에 고체 입자가 분산질로 된 것
- (2) Emulsion : 액체의 분산매에 액체 입자가 분산질로 된 것
- (3) Aerosol : 안개, 연기 등과 같이 액체나 고체 분산질이 기체 분산매에 분산된 것

3. 콜로이드의 종류(2)

- (1) 소수 콜로이드
 - ① 물과 분산질 사이에 인력이 없는 콜로이드.
 - ② 소량의 전해질에 의해 쉽게 엉금이 되는 불안정한 콜로이드.
 - ③ 엉김이 일어나는 콜로이드
 - ④ 예) 금속 산화물, 금속 수산화물, 점토 콜로이드
- (2) 친수 콜로이드
 - ① 콜로이드 입자가 표면에 친수성 원자단을 가져서 물 분자에 의해 둘러 싸여 있는 콜로이드
 - ② 친수 콜로이드는 쉽게 엉기지 않는 안정한 콜로이드
 - ③ 예) 녹말, 단백질, 우유
- (3) 보호 콜로이드
 - ① 소수 콜로이드에 친수콜로이드를 조금 가하면 친수 콜로이드가 소수 콜로이드 입자를 둘러싸서 안정화시킨다
 - ② 소수 콜로이드에 가해주는 친수 콜로이드를 보호 콜로이드라 한다.
 - ③ 예) 먹물의 아교, 잉크의 아라비아 고무

4. 콜로이드 용액의 성질

(1) 입자의 크기에 의한 특성

- ① 틴들 현상(Tyndall) : 빛을 비추면 빛의 진로가 뚜렷이 보이는 현상
- ② 투석(Dialysis) : 콜로이드 용액에 섞여 있는 용질 분자나 이온을 콜로이드 입자와 분리함으로써 콜로이드 용액을 정제하는 방법

(2) 표면적이 크고 같은 전하를 띠고 있어 생기는 현상

- ① 흡착(Adsorption) : 단위 질량당 표면적이 크므로 콜로이드 입자의 표면에 다른 입자가 모이는 현상
- ② 전기 이동(Electrophoresis) : 콜로이드 용액에 직류 전류를 통하면 콜로이드 입자가 (+)극 또는 (-)극으로 이동하는 현상(콜로이드 입자가 (-)이온 또는 (+)이온을 흡착하기 때문이다) 예)코트렐 집진기
- ③ 응집(Coagulation) : 소수 콜로이드 용액에 전해질을 가할 때 콜로이드 입자가 양금으로 되는 현상(콜로이드 입자가 주위에 자신이 흡착한 이온과 반대 전하를 가진 이온들 때문에 흡착했던 이온들을 잃어버림으로써 입자간의 반발력이 사라져 입자들이 엉긴다)
- ④ 염석(Salting out) : 친수 콜로이드는 소량의 전해질에 의해 양금으로 되지 않고 다량의 전해질을 가하면 양금이 생성되는데 이러한 현상을 말한다. 예)두부를 만들 때 콜로이드 용액에 간수를 가하여 굳히는 것

(3) 분산매의 열운동에 의한 현상

브라운 운동 : 분산매가 대류 운동 할 때 콜로이드 입자간에 충돌이 일어나는 현상

예제 116

다음 설명 중 틀린 것은 ?

- ① 콜로이드 입자의 크기는 $10^{-17} \sim 10^{-15}$ cm이다.
- ② 한외 현미경으로 콜로이드 입자의 크기를 볼 수 있다.
- ③ 콜로이드는 표면적이 커서 흡착력이 크다
- ④ 콜로이드는 여과지로 거를 수 없다.

일반화학 주원 ◆ 기판판정



General Chemistry

이

정답

- 1) 4
- 2) 4, 3, 완전수, 2
- 3) 1
- 4) 200, 6.4×10^3 km
- 5) 1
- 6) 51
- 7) 10.0
- 8) 14
- 9) 10^{12}
- 10) -40
- 11) 98.96
- 12) 1, 1
- 13) 1, 4, 6, 7 / ClO_2 , ClO_3 , Cl_2O_7
- 14) 86, 86, 136
- 15) 12.011
- 16) Sodium sulfate, Potassium dihydrogen phosphate, Ferric nitrate, Manganese(II) hydroxide, Sodium sulfite, Sodium carbonate
- 17) NaHCO_3 , CsClO_4 , NaClO , Na_2SeO_4 , KBrO_3
- 18) VF_5 , OF_2 , Rb_2O_2 , Ga_2O_3
- 19) 63.55
- 20) 4×10^{-22}
- 21) 100, 292
- 22) 5×10^{15} , 3×10^{16}
- 23) 3 : 1 : 4
- 24) $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$

- 25) C_2H_6O , $C_4H_{12}O_2$
- 26) $C_8H_{10}N_4O_2$
- 27) 1,1,1,4
- 28)
- 29) 0.957 kg
- 30) 수산화마그네슘
- 31) 10.7 g
- 32) 68.8, 51.9%
- 33) 0.192 M
- 34) 1.59 M
- 35) a) 0.50 M Co^{3+} , 1.50 M NO_3^- , b) 1 M Fe^{3+} , 3 M ClO_4^-
- 36) 3.5 mmol
- 37) 0.12 mL
- 38) 58.8
- 39) 28.7 mL
- 40) 9.4 mL
- 41) a) 변화 없다. b) $PbSO_4$ 침전 c) $Fe(OH)_3$ 침전
- 42) $3KOH(aq) + Fe(NO_3)_3(aq) \rightarrow Fe(OH)_3(s) + 3KNO_3(aq) \dots$
- 43) 16.55 g
- 44) 0.123 M OH^-
- 45) 0.1546 M
- 46) a. C(+4), b. S(+6), F(-1), c. N(+5)
- 47) 산화제 : O_2 , PbO , 환원제 : PbS , CO
- 48) $16H^+ + 2Cr_2O_7^{2-} + C_2H_5OH \rightarrow 4Cr^{3+} + 2CO_2 + 11H_2O$
- 49) $4Ag + 8CN^- + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4Ag(CN)_2^- + 4OH^-$

- 50) 0.064 atm, 6542 Pa
- 51) 2.79 L
- 52) 8.13 L
- 53) 3.07 L
- 54) 2.47 L
- 55) 32
- 56) 593
- 57) 2.12 g
- 58) 1363 m/s
- 59) 1 : 13.2
- 60) CO_2 , CH_4 , N_2 , H_2
- 61) $8 \times 10^7 J$
- 62) -320 kJ/mol
- 63) -26 kJ/mol
- 64) 수소 : 141 kJ/g, 메테인 : 55 kJ/g
- 65) 2 kJ/mol
- 66) -1396 kJ
- 67) -22.6 kJ/g, -47.7 kJ/g
- 68) $4.61 \times 10^{14} Hz$
- 69) $4.41 \times 10^{-19} J$
- 70) $E = 1.633 \times 10^{-18} J$, 파장 = $12.216 \times 10^{-7} m$
- 71) $2.178 \times 10^{-18} J$
- 72) 5s, 5p, 5d, 5f, 5g
- 73) 3p : 각마디(1), 방사상마디(1)
4d : 각마디(2), 방사상마디(1)

- 74) Be^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} 로 갈수록 증가한다.
- 75) 전자의 짝지음 에너지 때문
- 76) 첫 번째가 가장 크다. 18족 원소
세 번째가 이차이온화에너지가 가장 작다. 주양자수 3의 전자들만 제거하므로
- 77) 1
- 78) 3
- 79) 강의 참조...
- 80) 3
- 81) 2
- 82) 2
- 83) 1
- 84) 강의 참조
- 85) 강의 참조
- 86) NNO , HCN , $ONBr$
- 87) 굽은형
- 88) 4
- 89) 3
- 90) 4
- 91) 3
- 92) 4
- 93) (1) 팔면체 (2) 사면체
- 94) 3
- 95) d^2sp^3 , 팔면체
- 96) (1) 시소형 (2) 뒤틀린 사각뿔 (3) 평면삼각형
- 97) $(\sigma_{1s})^2(\sigma_{1s}^*)^1$, 결합차수 = $1/2(2-1) = 1/2$
 $(\sigma_{1s})^2(\sigma_{1s}^*)^2$, 결합차수 = $1/2(2-2) = 0$

98) O_2^+

99) 강의 참조

100) 2차, 3차

101) 100 pm

102) 10.6 g/cm^3

$$w = 7.2 \times 10^{-22} \text{ g}$$

$$V = \left(\frac{4 \times 144}{\sqrt{2}} \times 10^{-12} \text{ m} \right)^3 = 6.8 \times 10^{-23} \text{ cm}^3$$

103) 24

104) 29.9 %, 4.35 m, 0.0726, 7.50 N

105) 이온성 물질의 용해, 분자성 물질의 용해

106) 3

107) 1

108) 2

109) 23.46 torr

110) 2

111) 3

112) 100.268°C , -0.975°C

113) 1000.68 g

114) 3

115) 1

116) 1

117) 1

118) 4

119) 1

120) 1

$$121) t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{k} = \frac{0.693}{k}$$

$$(24 \times 60 \times 60) = \frac{0.693}{k}, \quad k = \frac{0.693}{(24 \times 60 \times 60)} = 8.0 \times 10^{-6} s^{-1}$$

122) 2

123) 2

124) 3번

정반응 속도 = 역반응 속도, $k_1[O_3] = k_{-1}[O_2][O]$

$$v = k[O][O_3], \quad [O] = \frac{k_1}{k_{-1}} \frac{[O_3]}{[O_2]}$$

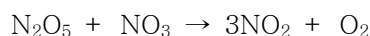
$$v = \frac{k k_1}{k_{-1}} \frac{[O_3]^2}{[O_2]} \quad \text{따라서 } O_2 \text{가 증가하면 } v \text{ 는 감소한다.}$$

125) 속도식을 구할 때는 두 가지 사항을 고려해야 한다.

① 단일단계반응의 총합 = 균형방정식과 같아야 하고

② 반응메커니즘은 실험적으로 결정된 속도식을 만족시켜야 한다.

위 문제의 단일단계 반응의 총합을 구하면



가장 느린 단계가 속도결정단계이므로 속도상수 $v = k_2[NO_3][NO_2]$ -----①

그러나 NO_2 는 중간산물이므로

$$k_1[N_2O_5] = k_{-1}[NO_3][NO_2], \quad [NO_2] = \left(\frac{k_1}{k_{-1}} \times \frac{[N_2O_5]}{[NO_3]} \right) \text{ -----②}$$

②를 위의 속도식 ①에 대입하면

$$v = \frac{k_1 k_2}{k_{-1}} [N_2O_5] = k[N_2O_5]$$

따라서, 이 반응은 일차속도식을 따른다.

126) 3번

$$\ln(k) = \frac{-E_a}{RT} + \ln(A)$$

$$\ln(k_1) = \frac{-E_a}{RT_1} + \ln(A), \quad \ln(k_2) = \frac{-E_a}{RT_2} + \ln(A). \quad \text{두 식을 빼면}$$

$$\ln(k_1) - \ln(k_2) = \frac{-E_a}{RT_1} - \frac{-E_a}{RT_2} \quad \Rightarrow \quad \ln \frac{k_1}{k_2} = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \text{ 이 됨.}$$

각각의 온도와 반응 속도상수를 대입하여 활성화 에너지를 구하면 됨.

$$\ln \left(\frac{3 \times 10^{-5}}{3 \times 10^{-3}} \right) = \frac{E_a}{8.31} \left(\frac{1}{500} - \frac{1}{400} \right) \quad \text{이것을 계산하면, } E_a = 76,552 \text{ J/mol}$$

127)

$$\textcircled{1} t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{k}, (19.8 \times 60) = \frac{0.693}{k} \text{ 따라서 } k_1 = 5.83 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

$$\textcircled{2} t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{k}, (316.8 \times 60) = \frac{0.693}{k} \text{ 따라서 } k_2 = 3.64 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$

$$\ln \frac{k_1}{k_2} = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\ln \frac{5.83 \times 10^{-4}}{3.64 \times 10^{-5}} = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{343} - \frac{1}{373} \right) \text{을 계산하면 } 9.46 \text{ kJ/mol}$$

128) 3. 평형 상수와 반응 속도는 아무런 관계가 없다. 평형 상수는 반응의 완결정도를 나타냄

129) 4

130) 1

$$131) K_1 = \frac{[SO_3]}{[SO^2][O^2]^{\frac{1}{2}}}, K_2 = \frac{[CO_2]}{[CO][O^2]^{\frac{1}{2}}}, K = \frac{[SO_3][CO]}{[SO^2][CO^2]}$$

$$K = K_1 \times \frac{1}{K_2}$$

$$132) K_{p_1} = \frac{(P_{SO_3}) \cdot (P_{CO})}{(P_{SO_2}) \cdot (P_{CO_2})}, K_{p_2} = \frac{(P_{SO_3})}{(P_{SO_2}) \cdot (P_{O_2})^{\frac{1}{2}}}, K_p = \frac{(P_{CO}) \cdot (P_{O_2})^{\frac{1}{2}}}{(P_{CO_2})}$$

$$\text{따라서 } K_p = K_{p_1} \times \frac{1}{K_{p_2}} = K_c(RT)^{\Delta n} = K_c$$

133) 1번. K의 크기와 평형에 도달하는 시간 사이에는 직접적인 관계없음(속도는 속도론에서 다룸)

134) $Q = K \rightarrow$ 평형

$Q > K \rightarrow$ 반응물의 초기 농도에 대한 생성물의 초기 농도의 비가 너무 크다.

평형에 도달하기 위해 생성물의 일부가 반응물로 변해야 한다. 왼쪽으로 이동

$Q < K \rightarrow Q < K$, 반응물의 초기 농도에 대한 생성물의 초기 농도의 비가 너무 작다.

평형에 도달하기 위해 반응물의 일부가 생성물로 변해야 한다. 오른쪽으로 이동

135)

처음	3/8	0	0
반응	-(2 x 0.58)/8	+(2 x 0.58)/8	+ 0.58/8
평형	1.84/8	1.16/8	0.58/8

$$K = \frac{[SO_2]^2 [O_2]}{[SO_3]^2}$$

$$K = \frac{\left(\frac{1.16}{8}\right)^2 \left(\frac{0.58}{8}\right)}{\left(\frac{1.84}{8}\right)^2} = 2.9 \times 10^{-2}$$

136) 1번. $Q = \frac{(0.1)^2}{(0.1)(0.1)^3} = 100$, $Q > K$ 이므로 반응은 역반응쪽으로 진행된다.

137) 2번.)평형 상수는 온도에 의해서만 그 크기가 변한다.

① 계의 온도를 낮추면 르샤트리에 원리에 의해 온도가 생성되는 반응이 일어난다.

따라서 정반응쪽으로 이동한다. N_2 , H_2 는 감소, NH_3 는 증가하기 때문에 K 값은 증가됨

② $Q > K$: 반응물의 초기 농도에 대한 생성물의 초기 농도의 비가 너무 커서 반응이 평형에 도달하기 위해 생성물의 일부가 반응물로 변한다. 따라서 반응은 역반응~이다.

138) 2번, 압력을 낮추어주면 초기에 모든 반응이 느려진다.

139) 3

140) 4

141) 2

142) 산의 해리 상수 K_a

$$\alpha(\text{이온화도}) = \frac{\text{이온화된산(염기)의몰수}}{\text{산(염기)의몰수}}$$

: 같은 물질의 경우에는 온도가 높을수록, 농도가 묽을수록 해리도가 커짐



처음	C	0	0
반응	-C α	+ C α	+ C α
평형	C(1- α)	C α	C α

$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} = \frac{(C\alpha)(C\alpha)}{C(1-\alpha)} = \frac{C\alpha^2}{(1-\alpha)}$$

$$= \frac{0.2 \times (0.25)^2}{(1-0.25)} = 0.017$$

$$(\alpha = \frac{0.05M}{0.2M} = 0.25)$$

143) 강산이므로 완전해리된다. $[H^+] = 10^{-4} \text{ M}$, $[OH^-] = 10^{-10} \text{ M}$ 이므로 $[H^+]/[OH^-] = 10^6$

144) 4

145) $\text{HNO}_3 \rightarrow \text{H}^+ + \text{NO}_3^-$, $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$

H^+ 이 두 부분으로부터 오지만 H_2O 로부터 오는 H^+ 의 수는 대단히 적어 무시할 수 있다.

따라서 H^+ 이온의 수는 HNO_3 로부터 온다고 가정하고 pH를 계산한다.

$[H^+] = 10^{-2}$, $\text{pH} = 2$, $\text{pOH} = 12$

146) 2번

$\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+$

처음	0.1	0	0
반응	-x	+x	+x
나중	0.1-x	x	x

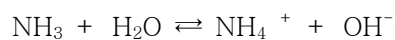
$$K_a = \frac{(x)(x)}{(0.1-x)} \div \frac{(x)(x)}{0.1} = 1.6 \times 10^{-4}$$

$$x = [H^+] = 4 \times 10^{-3}, \text{pH} = 3 - 2\log 2 = 3 - 0.6 = 2.4$$

147) 이 문제는 보통의 약 산 pH를 구할 때와 같은 방법으로 풀든지 혹은 산(염기)의 이온화도(α)를 이용해서 구해도 된다. 이온화도를 이용해서 풀이해보자.

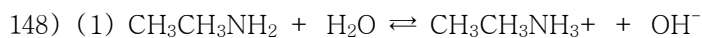
산의 해리 상수 K_a

$$\alpha(\text{이온화도}) = \frac{\text{이온화된산(염기)의몰수}}{\text{산(염기)의몰수}}$$



처음	C	0	0
반응	-C α	+C α	+C α
평형	C(1- α)	C α	C α

$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} = \frac{(C\alpha)(C\alpha)}{C(1-\alpha)} = \frac{C\alpha^2}{(1-\alpha)} \div C\alpha^2 = 0.1 \times (1.34 \times 10^{-2})^2 = 1.8 \times 10^{-5}$$



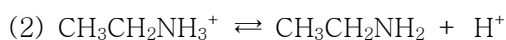
처음	0.1	0	0
반응	-y	+ y	+ y
평형	0.1-y	y	y

$$K_b = \frac{(y)(y)}{0.1-y} \div \frac{y^2}{0.1}$$

pH가 11.80이어서 pOH는 2.2이다. $[\text{OH}^-] = 10^{-2.2}$

여기에서 $[\text{OH}^-] = y$ 를 구하면 $[\text{OH}^-] = y = 6.31 \times 10^{-3}$

$$K_b = \frac{y^2}{0.1} = 3.98 \times 10^{-4}$$



처음	0.1	0	0
반응	-x	+ x	+ x
평형	0.1-x	x	x

$$K_a = \frac{(x)(x)}{0.1-x} \div \frac{x^2}{0.1}$$

$$x^2 = K_a \times 0.1 = (0.25 \times 10^{-10}) \times 0.1 = 2.5 \times 10^{-12}$$

$$x = [\text{H}^+] = 1.58 \times 10^{-6}$$

$$\text{pH} = 5.8$$

$$(K_a \times K_b = K_w, K_a = \frac{K_w}{K_b} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{3.98 \times 10^{-4}} = 0.25 \times 10^{-10})$$

149) 2

150) 2

151) 1번. ① > ② > ③ > ④

산소산의 구조는 H-O-Y-

결합의 극성이 산소산의 상대적 세기를 결정

➔ Y가 전기 음성도가 크면 H-O결합이 상대적으로 극성화된다

HClO > HBrO > HIO 순으로 극성이 커짐

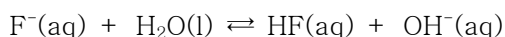
152) 1

153) XX00

154) 이 용액의 주성분은 Na^+ , F^- , H_2O 이다.

Na^+ 은 산이나 염기의 성질을 갖지 않음

F^- 은 양성자에 대한 어느 정도의 친화력을 가질 것임

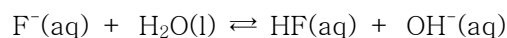


$$K_b = \frac{[\text{HF}][\text{OH}^-]}{[\text{F}^-]}$$

K_b 값은 HF의 K_a 값과 K_w 값으로부터 계산

$$K_a \times K_b = K_w$$

$$K_b = \frac{K_w}{K_a} (\text{HF에 대한}) = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{7.2 \times 10^{-4}} = 1.4 \times 10^{-11}$$



처음	0.03M	0	0
평형	0.03 - x	+x	+x

$$K_b = \frac{[\text{HF}][\text{OH}^-]}{[\text{F}^-]} = \frac{(x)(x)}{(0.03-x)} \div \frac{x^2}{0.03} = 1.4 \times 10^{-11}$$

$$[\text{OH}^-] = 0.65 \times 10^{-6}$$

$$\text{pH} = 7.831$$

155) 이 용액의 주성분은 NH_4^+ , Cl^- , H_2O 이다.

NH_4^+ 과 H_2O 는 모두 H^+ 를 낸다.



$$K_a = \frac{[\text{NH}_3][\text{H}^+]}{[\text{NH}_4^+]}$$

NH_3 에 대한 K_b 값이 주어져 있으므로

$$K_a \times K_b = K_w$$

$$K_a = \frac{K_w}{K_b} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.8 \times 10^{-5}} = 5.6 \times 10^{-10}$$

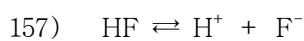
처음	0.10 M	0	0
평형	0.1 - x	+ x	+ x

$$K_a = \frac{[\text{NH}_3][\text{H}^+]}{[\text{NH}_4^+]} = \frac{(x)(x)}{(0.10-x)} \div \frac{x^2}{0.10}$$

$$[\text{H}^+] = 7.5 \times 10^{-10}$$

$$\text{pH} = 5.13$$

156) 3



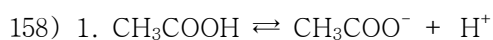
$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{F}^-]}{[\text{HF}]}$$

처음	1	0	1
반응	-x	+ x	+ x
나중	1-x	x	1+x

$$K_a = \frac{(x)(1+x)}{(1-x)} \div \frac{x}{1} = 7.2 \times 10^{-4} \text{M}$$

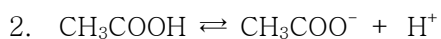
$$\text{pH} = 3.14$$

$$\begin{aligned} \text{HF의 해리 퍼센트} &= \frac{[\text{H}^+]}{[\text{HF}]_0} \times 100 = \frac{7.2 \times 10^{-4} \text{M}}{1.0 \text{M}} \times 100 \\ &= 0.072\% \end{aligned}$$



처음	0.2	0	0
반응	-x	+ x	+ x
나중	0.2-x	x	x

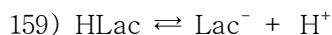
$$K_a = \frac{(x)(x)}{(0.2-x)} \div \frac{x^2}{0.2} = 1.8 \times 10^{-6}, [\text{H}^+] = x = 6 \times 10^{-4}$$



처음	0.2	0.3	0
반응	-x	+ x	+ x
나중	0.2-x	0.3 + x	x

$$K_a = \frac{(0.3+x)(x)}{(0.2-x)} \div \frac{(0.3)(x)}{0.2} = 1.8 \times 10^{-6}$$

$$[\text{H}^+] = x = 1.2 \times 10^{-6}, \text{pH} = 5.921$$



처음	1	1	0
반응	-x	+ x	+ x
나중	1-x	1 + x	x

$$K_a = \frac{(1+x)(x)}{(1-x)} \div \frac{(1)(x)}{1} = 1.4 \times 10^{-4}$$

$$[\text{H}^+] = x = 1.4 \times 10^{-4}, \text{pH} = 3.85$$

160) 2번

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = 3.55$$

161) 이 문제에서 주의할 점은 약 산과 짝염기의 몰 농도를 구하는 것인데, 최종 부피가 200mL이고, 약 산과 짝염기의 몰수는 각각, $0.1 \times 0.1 = 0.01$, $0.1 \times 0.1 = 0.01$ 이다. 여기서는 계산의 편의상 약 산과 짝염기의 몰수와 몰 농도가 같은 데 다를 경우에 특히 주의해서 각각의 몰 농도를 구해야 한다.

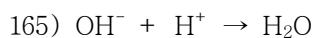
$$\text{그래서, } \text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = \text{p}K_a + \log \frac{\frac{0.01}{200}}{\frac{0.01}{200}} = \text{p}K_a = 5 \text{ 이지만, 산과 짝염기가 같은 비}$$

율로 희석되므로, 몰수 비율만 계산해되 되겠죠?

162) 3

163) ① $\text{pH} = 4.93$

164) 4

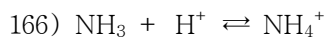


초기	3mmol	2mmol
반응	-2	-2
평형	1	0

$$, 3\text{mmol} = (0.05\text{M}) \times (60\text{mL})$$

$$\text{반응후 } \text{OH}^- \text{ 이온이 } 1 \text{ mmol 남아있으므로, } [\text{OH}^-] = \frac{1\text{mmol}}{100\text{mL}} = 10^{-2}\text{M}$$

$$\text{pOH} = 2, \text{pH} = 12$$



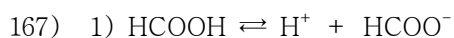
처음	20mmol	15mmol	0
반응	-15	-15	+15
나중	5	0	15



처음	15/100 M	5/100M	0
반응	-x	+x	+x
나중	15/100-x	5/100 + x	+x

$$K_a = \frac{\left(\frac{5}{100} + x\right)(x)}{\left(\frac{15}{100} - x\right)} \div \frac{\left(\frac{5}{100}\right)x}{\frac{15}{100}}$$

$$x = 3 \times K_a, \text{ pH} = \text{p}K_a - \log 3 = 9.24 - 0.4777 = 8.76$$



초기	1	0	0
반응	-x	+x	+x
평형	1-x	+x	+x

$$K_a = \frac{(x)(x)}{(1-x)} \div x^2 = 1.77 \times 10^{-4}$$

$$x = [\text{H}^+] = 1.33 \times 10^{-2}$$

$$\text{pH} = 2 - \log 1.33 = 2 - 0.124 = 1.88$$

$$2) \text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = 3.75 + \log \frac{0.5}{1} = 3.75 - 0.3 = 3.45$$

3) 첨가된 강산 HCl은 다음과 같이 반응한다.



처음	0.5	0.1	1
반응	-0.1	-0.1	+0.1
평형	0.4	0	1.1

반응후 남은 물질은 HCOO^- 0.4 M, HCOOH 1.1 M 이다.

이것은 아래와 같이 반응한다.



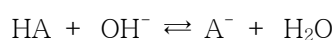
처음	1.1	0	0.4
반응	-x	+ x	+ x
평형	1.1-x	+ x	0.4+x

$$K_a = \frac{[H^+][HCOO^-]}{[HCOOH]} = \frac{(x)(0.4+x)}{(1.1-x)} \doteq \frac{0.4x}{1.1}$$

$$x = [H^+] = 4.87 \times 10^{-4}$$

$$pH = 3.3$$

$$168) \text{ NaOH는 } 0.1000M \times 25.00mL = 2.5mmol$$



처음	2.5 mmol	2.5mol	0
반응	-2.5 mmol	-2.5	+ 2.5
평형	0	0	+ 2.5

적정 후 반응액 속에 남아 있는 것은, A^- 와 H_2O 이다.

A^- 는 약 산의 짝염기이기 때문에 물속의 H^+ 과 반응하여 새로운 평형에 이르게 된다.
 $A^- + H_2O \rightleftharpoons HA + OH^-$

처음	(2.5mmol/75mL)M	0	0
반응	-x	+ x	+ x
평형	0.033-x	+ x	+ x

$$K_b = \frac{K_w}{K_a} = \frac{(x)(x)}{0.033-x} \doteq \frac{x^2}{0.033}$$

$$(K_b = \frac{K_w}{K_a} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{4.17 \times 10^{-4}} = 0.24 \times 10^{-10}, pK_a=3.38) \text{ 이므로 } K_a = 4.17 \times 10^{-4})$$

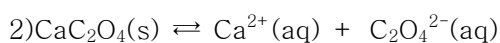
따라서 이 용액의 pOH는 6.05, pH = 7.95

$$169) K_{sp} = [Ag^+][Cl^-], 1.8 \times 10^{-10} = (1.8 \times 10^{-5}) x$$

$$x = 1.0 \times 10^{-5} M$$

170)

$$1) \frac{0.0067}{128} = 5.2 \times 10^{-5}$$



$$3) K_{sp} = [Ca^{2+}][C_2O_4^{2-}] = (5.2 \times 10^{-5})(5.2 \times 10^{-5}) = 2.7 \times 10^{-9}$$

171) 순수한 물에서의 용해도는

$$K_{\text{sp}} = [\text{Ag}^+][\text{IO}_3^-] = x^2 = 3.0 \times 10^{-8}$$

$$x = 1.7 \times 10^{-4}$$

0.15M KIO₃에서의 용해도는

$$K_{\text{sp}} = [\text{Ag}^+][\text{IO}_3^-] = (x)(0.15 + x) \div 0.15x = 3.0 \times 10^{-8}$$

$$x = 2 \times 10^{-7}$$

172) $\text{Ag}_2\text{CrO}_4 \rightleftharpoons 2\text{Ag}^+ + \text{CrO}_4^{2-}$

→ 0.100M AgNO₃ 용액에서

처음	0.1	
반응	+ 2x	+ x
나중	0.1 + 2x	+ x

$$K_{\text{sp}} = 9.0 \times 10^{-12} = [\text{Ag}^+]^2[\text{CrO}_4^{2-}] = (0.1 + 2x)^2(x)$$

$$= (0.1)^2(x)$$

$$x = 9.0 \times 10^{-10} \text{ mol/L}$$

→ 순수한 물에서의 용해도는

처음	0	
반응	+ 2x	+ x
나중	+ 2x	+ x

$$K_{\text{sp}} = (2x)^2(x) = 4x^3 = 9.0 \times 10^{-12}$$

$$x = 1.3 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$$

173) 2번

$$K_{\text{sp}} = [\text{Zn}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] = (0.1\% \times 0.1)(x) = (10^{-4})(x) = 1.0 \times 10^{-10}$$

$$x = 1.0 \times 10^{-6}$$

174) $\text{Zn(OH)}_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$

$$K_{\text{sp}} = [\text{Zn}^{2+}][\text{OH}^-]^2$$

→ 순수한 물에서의 용해도:

$$[\text{Zn}^{2+}] = S, [\text{OH}^-] = 2S$$

$$K_{\text{sp}} = 4.5 \times 10^{-17} = S(2S)^2 = 4S^3$$

$$S = 2.2 \times 10^{-6} \text{ M} = [\text{Zn}^{2+}]$$

$$\text{용해도는 } 2.2 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$$

➡ pH 6.00으로 완충된 용액에서의 용해도

$$[\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-8} \text{ M}$$

$$[\text{Zn}^{2+}] = \frac{K_{sp}}{[\text{OH}^-]^2} = \frac{4.5 \times 10^{-17}}{(1.0 \times 10^{-8})^2} = 0.45 \text{ M}$$

용해도는 0.45 mol/L

175) pH 6 이므로 $[\text{OH}^-] = 10^{-8} \text{ M}$

$$K_{sp} = [\text{Fe}^{2+}][\text{OH}^-]^2$$

$$[\text{Fe}^{2+}] = \frac{1.64 \times 10^{-14}}{(10^{-8})^2} = 1.64 \times 10^2$$

176) 1

177) 1) 전체 volume이 200mL이 된다. 이 속에 $\text{NO}_3^- 0.001 \text{ mol}$ 이 들어 있다.

즉 200mL 속에 0.001mol 이 있을 경우 몇 몰 농도냐 하는 문제이다.

$$\text{따라서 } (0.001 \text{ mol}) \times \left(\frac{1000}{200} \text{ mL} \right) = 0.005 \text{ M}$$

2) ④번. Q 와 K_{sp} 의 크기를 비교하여 혼합 용액의 침전여부를 결정한다

$$\text{AgCl} \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \quad Q = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] = 0.005^2 = 2.5 \times 10^{-5}$$

$Q > K_{sp}$ 보다 크므로 침전이 됨

178) $1.4 \times 10^{-8} = K_{sp} = [\text{Pb}^{2+}][\text{I}^-]^2$

이 용액에서 $[\text{Pb}^{2+}]$ 는 $2.0 \times 10^{-3} \text{ M}$ 이므로 PbI_2 를 침전시키지 않고 녹아 있을 수 있는 최대 I^- 농도는 K_{sp} 식으로부터 구할 수 있다.

$$1.4 \times 10^{-8} = [\text{Pb}^{2+}][\text{I}^-]^2 = (2.0 \times 10^{-3})[\text{I}^-]^2$$

$$[\text{I}^-] = 2.6 \times 10^{-3} \text{ M}$$

이 농도보다 더 많은 I^- 는 고체 PbI_2 를 형성하게 된다.

$$5.3 \times 10^{-12} = K_{sp} = [\text{Cu}^+][\text{I}^-]$$

이 용액에서 $[\text{Cu}^+]$ 는 $1.0 \times 10^{-4} \text{ M}$ 이므로 CuI 를 침전시키지 않고 녹아 있을 수 있는

최대 I^- 농도는 K_{sp} 식으로부터 구할 수 있다.

$$5.3 \times 10^{-12} = [\text{Cu}^+][\text{I}^-] = (1.0 \times 10^{-4})[\text{I}^-]$$

$$[\text{I}^-] = 5.3 \times 10^{-8} \text{ M}$$

이 농도보다 더 많은 I^- 는 고체 CuI 를 형성하게 된다.

따라서 혼합 용액에서 I^- 가 첨가됨에 따라 I^- 가 적게 소요되는 CuI 가 먼저 침전할 것이다. 따라서 이 시약을 쓰면 Cu^+ 가 Pb^{2+} 로부터 분리된다.

179) 4

180) AgCl의 용해도를 x mol/L라고 하면 화학종들의 평형 농도는 다음과 같다. $[Cl^-] = x \rightarrow x$ M의 AgCl이 녹으면 x M의 Cl^- 와 $[Ag(NH_3)_2^+] = x \rightarrow x$ M의 $Ag(NH_3)_2^+$ 가 생김 $[NH_3] = 10 - 2x \rightarrow$ 각 착 이온에 NH_3 가 둘씩 들어 있으므로

$$K = 2.8 \times 10^{-3} = \frac{[Ag(NH_3)_2^+][Cl^-]}{[NH_3]^2} = \frac{(x)(x)}{(10-2x)^2}$$

$$x = 0.48 \frac{mol}{L}$$

따라서 10.0M NH_3 에서의 AgCl의 용해도는 순수한 물에서의 용해도보다 훨씬 크다.(물에서의 용해도는 1.3×10^{-5} mol/L)

181) 첫번째로, 화학종들의 평형 농도를 생각해야 한다.

 $[Ag(NH_3)_2^+] = 0.1$ M, $[Cl^-] = 0.1$, $[NH_3] = x - 0.2$ 두 번째로, $AgCl(c) + 2NH_3 \rightleftharpoons [Ag(NH_3)_2]^+ + Cl^-$ 에 대한 평형 상수를 구해야 한다.

$$K_{sp} \times K = (1 \times 10^{-10}) \times (1 \times 10^8) = \frac{[Ag(NH_3)_2^+][Cl^-]}{[NH_3]^2} = \frac{(0.1)(0.1)}{(x-0.2)^2}$$

$$(x-0.2)^2 = 1, x^2 - 0.4x + 0.04 = 1, x = 1.2M$$

182) 벤젠 1몰이 80.1°C에서 증발할 때 엔트로피 변화는

$$\Delta S_{vap} = \frac{q_{rev}}{T_b} = \frac{\Delta H_{vap}}{T_b} = \frac{30,800 J mol^{-1}}{353.25 K} = +87.2 \frac{J}{K}$$

3몰이 증발했으므로 엔트로피 변화는 3배가 된다. 따라서 262 J/K 이다.

183) 2

184) 1

$$185) (a) \Delta S = \frac{q_{rev}}{T} = nR \ln \frac{v_2}{v_1}$$

$$\Delta S = (1 mol) \left(8.314 \frac{J}{mol K} \right) \times 2.303 \times \log \frac{10}{1} = 19.147 J/K$$

(b) ΔH 은 영이다.(왜냐, 등온과정이기 때문에)

186) -22.0 J, 0

187) 4

188) 1

189) 4

190) 1

191) 1. 분자가 복잡할수록 보다 큰 엔트로피 값을 가진다.(H₂O분자는 비선형의 삼원자 분자이므로 이원자 분자인 H₂보다 많은 회전 및 진동 운동을 할 수 있다.)

192) 4

193) $\Delta S^\circ_{\text{반응}} = \sum S^\circ_{\text{생성물}} - \sum S^\circ_{\text{반응물}}$ 이므로

$$\begin{aligned}\Delta S^\circ_{\text{반응}} &= 2S^\circ(\text{NO}_2(\text{g})) - [S^\circ(\text{N}_2(\text{g})) + 2S^\circ(\text{O}_2(\text{g}))] \\ &= -121.66 \text{ J/K}\end{aligned}$$

194) 일단 ΔG° 를 계산해야 한다.

$$\begin{aligned}\Delta G^\circ &= [\Delta G^\circ_{\text{f}(\text{NO}_2)} + \Delta G^\circ_{\text{f}(\text{O}_2)}] - [\Delta G^\circ_{\text{f}(\text{NO})} + \Delta G^\circ_{\text{f}(\text{O}_3)}] \\ &= (51.29 + 0)\text{kJ/mol} - (86.55\text{K} + 163.2)\text{kJ/mol} \\ &= -198.46 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K$$

$$\ln K = \frac{\Delta G^\circ}{-RT} = - \frac{(-198460 \frac{\text{J}}{\text{mol}})}{(8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}})(298\text{K})} = 80.10$$

$$K = e^{80.10} = 6.03 \times 10^{34}$$

195) ① $\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$

$$= -18 \text{ kcal/mol} - (293 \text{ K} \times 13 \times 10^{-3} \text{ kcal/mol}\cdot\text{K}) = -21.809 \text{ kcal/mol}$$

② $\Delta G^\circ < 0$ 이므로 발열 반응③ $\Delta G^\circ = -RT \ln K$

$$\begin{aligned}\ln K_{\text{eq}} &= \frac{\Delta G^\circ}{-RT} \\ &= - \frac{(-21809 \frac{\text{cal}}{\text{mol}})}{(1.986 \frac{\text{cal}}{\text{K}\cdot\text{mol}})(298\text{K})} = 36.85\end{aligned}$$

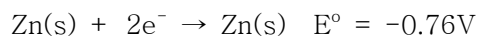
$$K = 1.0 \times 10^{16}$$

196) (1) 산화전극 : $\text{Cd} \rightarrow \text{Cd} + 2\text{e}^-$ 환원전극 : $2\text{Ag}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Ag}(\text{s})$

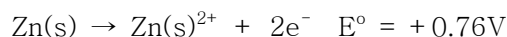
(2) 이온을 이동시켜서 양쪽 전해질을 중성상태로 유지시켜 계속 산화환원반응이 일어나게 해준다.~~

197) ②번 이온화경향순서를 기억하거나, 주어진 표준환원전위의 크기로 환원력의 크기를 알 수 있다.

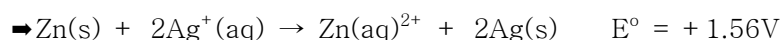
198) 표준환원전위



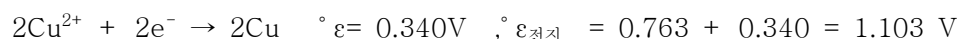
①Zn이 Ag보다 이온화 경향이 크므로 Zn이 음극(산화)이므로 역으로 바꾼다.



②균형반응식을 만들고 두 반쪽 반응을 더하면 구하는 기전력을 얻을 수 있다.



199) 1) $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \quad \epsilon^\circ = 0.763\text{V}$

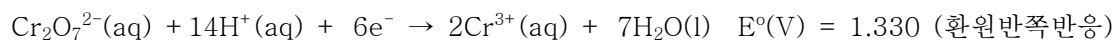


2) $\text{Zn} + 2\text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{Cu}$

200) 산화-환원반응식의 균형을 맞추는 방법

1) 모든 원소의 균형을 맞춤. 전하의 균형을 맞춤.

$$a = 14, \quad b = 6, \quad c = 7, \quad d = 2$$



2) 전체반응식 : $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq}) + 14\text{H}^+(\text{aq}) + 6\text{I}^-(\text{aq}) \rightarrow 2\text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{I}_2(\text{s}) + 7\text{H}_2\text{O(l)}$

$$\text{표준전지 전위} : E^\circ_{\text{전체}} = 1.33 - 0.535 = 0.795\text{V}$$

201) 1) 산화, 환원 전극을 결정해야 한다. $E^\circ = 0.34\text{V} + 0.25\text{V} = 0.59$

2) 단위계산에 주의를 기울려야 한다. (전위(V) = 일(J)/전하(C), $E = -w/q$)

$$\Delta G^\circ = -nFE^\circ = -2(96485\text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}) \times (0.59\text{V}) = -11385.23\text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$202) \quad R = 8.31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

$$F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$$

$$E^\circ = \frac{2.303RT}{nF} \log K$$

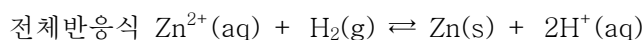
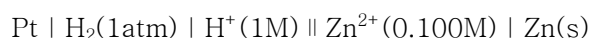
$$1.10 \text{ J/C} = \frac{2.303 \times \left(\frac{8.31 \text{ J}}{\text{mol}\cdot\text{K}} \right) \times 298 \text{ K}}{2 \times \left(9.65 \times 10^4 \frac{\text{C}}{\text{mol}} \right)} \log K$$

$$\log K = 37.2$$

$$K = 2 \times 10^{37}$$

이 평형 상수값을 볼 때 Zn/Cu 전지반응은 거의 완전하게 일어난다

203) 수소 전극의 표준전극전위는 0 이므로 전지의 기전력은 다음과 같이 구할 수 있다.



$$n = 2(\text{이동된 전자의 수}), Q = \frac{[\text{H}^+]^2}{[\text{Zn}^{2+}]P_{\text{H}_2}} = \frac{1^2}{[\text{Zn}^{2+}] \times 1} = \frac{1}{[\text{Zn}^{2+}]}$$

$$E = E^\circ - \frac{0.0592}{2} \log 10 = -0.76 - \frac{0.0592}{2} = -0.79\text{V}$$

$$204) \quad 1.87 \text{ V}$$

205) 구리 1몰을 얻기 위해서는 전자 2몰이 필요하다.

$$0.404\text{g은 } \frac{0.404}{63.6} \text{ 몰,}$$

이만큼의 구리를 얻기 위해서는 $\left(\frac{0.404}{63.6} \right) \times 2$ 몰의 전자가 필요

$$Q = nF \text{ 이므로 } Q = \left(\frac{0.404}{63.6} \right) \times 2 \times 96500 = 1.23 \times 10^3 \text{ C}$$

$$Q = I \times t,$$

$$1.23 \times 10^3 \text{ C} = I \times (5 \times 60 \times 60 \text{ sec}), I = 6.83 \times 10^{-2} \text{ A}$$

206) ① 단계 1

$$Q = I \times t = (8.5 \times 10^{-3} \text{ A}) \times (600\text{s}) = 5.1 \text{ C}$$

② 단계2.

1몰의 전자는 1F의 전하를 운반하기 때문에 5.1C의 전하를 운반하는데 필요한 전자의 몰수를 계산하면, $\frac{5.1}{96500}$ 몰의 전자가 필요

③ 단계3.

I_2 이 되기 위해서는 I^- 이온에 두 개의 전자가 필요하다.

따라서 전자 1몰당 $\frac{1}{2} \text{I}_2$ 몰이 생성된다. $(\frac{5.1}{96500} \times \frac{1}{2} \text{ mol I}_2)$

④ 단계4

I_2 의 몰수를 알기 때문에 생성된 I_2 의 질량계산가능

$$(\frac{5.1}{96500} \times \frac{1}{2} \text{ mol I}_2) \times (254 \frac{\text{g}}{\text{mol}}) = 6.7 \times 10^{-3} \text{ g 석출}$$

207) ③번 Cu 1 몰은 2F 전기량을 주었을 때 생성된다. 따라서 0.1F 전기량으로 전기분해 시키면 0.05 몰이 석출된다. 따라서 3×10^{22} 수 만큼 생김

208) ②번

페러데이의 제2법칙은 1F 전기량을 흘려주었을 때 전해되어 나오는 물질의 양은 각물질의 당량에 비례한다 이다. 즉 $1\text{F} = 1\text{당량}$

$$\frac{2.425 \times 10^3}{96486} = 0.025\text{F}$$

$$0.025 \text{ F} : 2.416 \text{ g} = 1 \text{ F} : x \text{ g.}$$

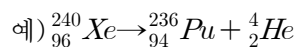
$$x \text{를 계산하면, } x = 96.64 \text{ g}$$

$$209) \Delta G^\circ = -nFE^\circ, -318200 = -2 \cdot 96500 \cdot x, x = 1.65\text{V}$$

210) 1번

211) 3번

212) 질량수 : 질량수 -4 감소 원자 번호 : 원자량 -2감소



213) 3번.

① : 핵분열(하나의 원자가 비슷한 두 개의 부분으로 분열되는 과정)

② : β 입자생성(중성자를 양성자로 바꿈)

③ : 핵융합반응

④ : α 입자생성

214) ${}^{99}_{43}\text{Tc}$

$$\text{반감기 } t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln(2)}{k} = \frac{0.693}{k} = \frac{0.693}{1.16 \times 10^{-1}/h} = 6.0h$$

테크네슘-99 시료에 대해 원래의 핵종 수가 반으로 감소하는데는 6.0시간이 걸림

215) 1. ④. 67h → 134h → 201h → 268h → 335h

1.000 mg → 0.500 mg → 0.25 mg → 0.125 mg → 0.0625 mg → 0.03125 mg

2. 반감기는 8일. 4.0 → 2.0 → 1.0 → 0.5 → 0.25 g .

216) 0 day → 8day → 16day → 24day

320g → 160g → 80g → 40g

217) 상자기성, 상자기성, 상자기성, 반자기성

218) 4번

219) 한자리 ligand : H_2O , CN^- , SCN^- , X^- , NH_3 , NO_2^- , OH^-

두자리 ligand :

세자리 ligand : 디에틸렌트리아민(diethylenetriamine)

네자리 혹은 여섯자리 ligand : EDTA(ethylenediaminetetraacetate)

220) 3

221) 1

222) 3

223) 1번!!! : 정사면체구조와 평면사각형구조의 구별이 가능해야 한다.

$[\text{Pt}(\text{Cl})(\text{NO}_2)(\text{NH}_3)_2]$: square planar

224) ② 평면사각형의 기하학적 구조를 나타내는 전이 금속은 Cu^{2+} , Ni^{2+} , Pt^{2+} 이다.

Cu^{2+} , Ni^{2+} 은 가끔 이 구조를 형성하지만 Pt^{2+} 는 거의 대부분 이 구조를 취한다.

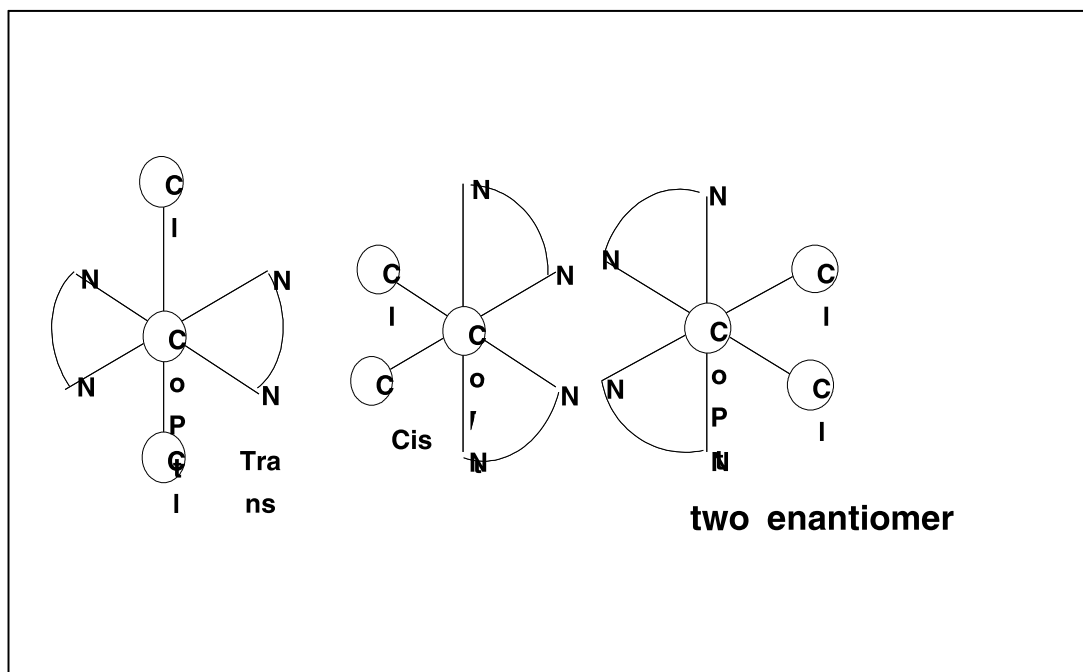
225) 2번. $+1 = x + 0 + (-2)$, 중심 원자의 산화수 x는 +3 임

226) 2

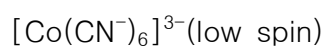
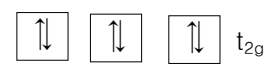
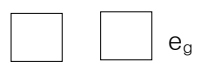
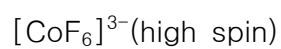
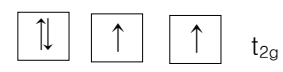
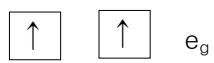
227) 2번 MA_3B_3 의 구조로 기하이성질체가 존재한다.

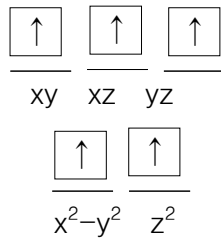
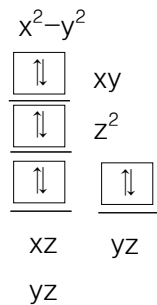
cis 형의 구조가 거울상이성질체를 가지므로 3개의 isomer가 존재함

228)

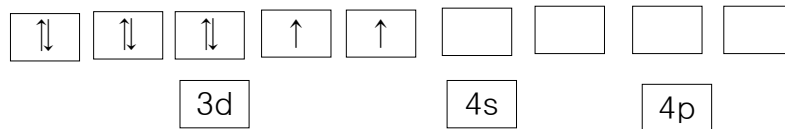


229)

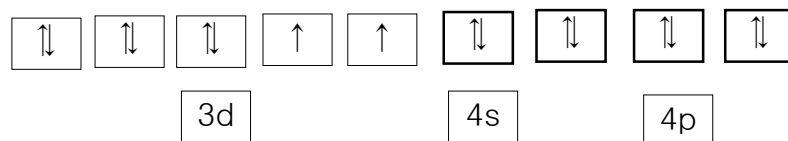
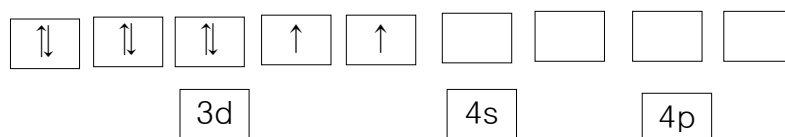


230) 사면체 착물 $[\text{FeCl}_4]^-$ 231) 사각평면 착물 $[\text{PtCl}_4]^{2-}$ 

232) 이 문제는 착물의 결합(원자가 결합이론)과 관계된 문제이다.

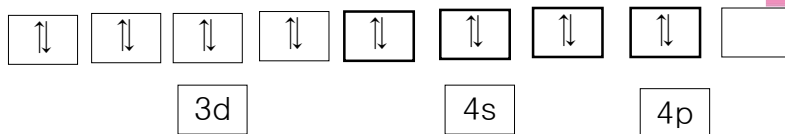
➡ $[\text{NiCl}_4]^{2-}$ 에서 $\text{Ni}^{2+} : [\text{Ar}] 3d^8$ 

위문제에서 상자성이라 해서 3d의 홀전자는 그대로 나두고 s, p 채워지지 않은 궤도 함수와 Cl^- 의 전자상과의 sp^3 로 혼성궤도 함수를 하여 정사면체 구조가 된다.

 $[\text{NiCl}_4]^{2-}$ ➡ $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$ 에서 $\text{Ni}^{2+} : [\text{Ar}] 3d^8$ 

위 문제에서 반자성을 띤다고 했기 때문에 3d 전자 중 하나는 앞의 홀전자와 결합하고 비어 있는 3d 궤도 함수 1개, 4s 1개, 4p 두 개의 궤도 함수가 혼성하여 dsp^2 혼성궤도 함수를 형성하여 평면사각형 착물을 형성한다.

 $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$

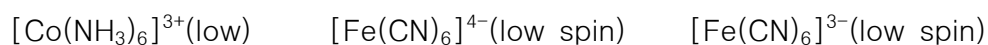
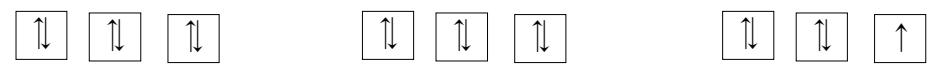
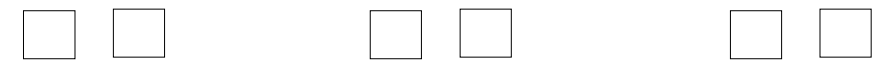
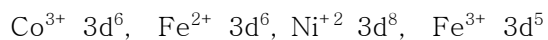


233) 3번

234) 3

235) 결정장 이론으로 설명하면

$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ 은 low spin 즉 낮은 에너지 궤도 함수(xy, xz, yz)에 스핀 쌍을 이론상태로 채워진다. 위의 착물에서 Fe^{+3} 은 $3d^5$ 이므로 5개의 전자가 xy, xz, yz에 채워져 하나의 홀 전자를 가진다. 따라서 상자성이다.



리간드의 서로 다른 기하학적 배열은 d 궤도 함수의 상이한 에너지 갈라짐을 일으키기 때문에 $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$ 는 평면사각형의 기하구조를 가짐. 네 개의 낮은 에너지 궤도 함수 모두는 짝 차고, 높은 에너지의 x^2-y^2 궤도 함수는 비어 있게 된다. 따라서 반자성

