제2장 원자의 구조

2.1 돌턴의 원자설
2.2 원자의 구성요소
2.3 원자번호
2.4 질량수
2.5 동위원소
2.6 전자배치
2.7 원소의 주기율표
2.8 원자가전자

2.1 돌턴의 원자설

- 1803년 영국의 John Dalton에 의해 제안된 원자설
  - 원소는 매우 작고 더 이상 쪼갤 수 없는 원자(atom)로 구성
  - 같은 원소의 원자들은 크기, 모양, 질량 등이 같음
  - 화학반응에서는 원자들이 생성되거나 파괴되지 않음
  - 서로 다른 원소의 원자들은 간단한 정수비로 결합하여 화합물을 만듦
    (예; CO_2에서 C:O=1:2)
  - 서로 다른 원소의 원자들이 서로 다른 비율로 결합하여 다른 화합물을 만들 수 있음 (예; CO와 CO_2)

- 현재 수정한 사항은
  - 원자는 더 작은 입자(전자, 양성자, 중성자)로 나누어 짐
  - 같은 종류의 원자에도 동위원소가 존재

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

2.2 원자의 구성요소

- **원소:** 우주의 생물과 무생물계에 있는 모든 물질의 기본 구성 단위
- **원자:** 원소의 화학적 성질을 그대로 유지하고 있는 가장 작은 원소의 입자
- **분자:** 원자들의 결합
- 돌턴의 원자설



중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

- 원자의 구성: 중성자(neutron), 양성자(proton), 전자(electron)

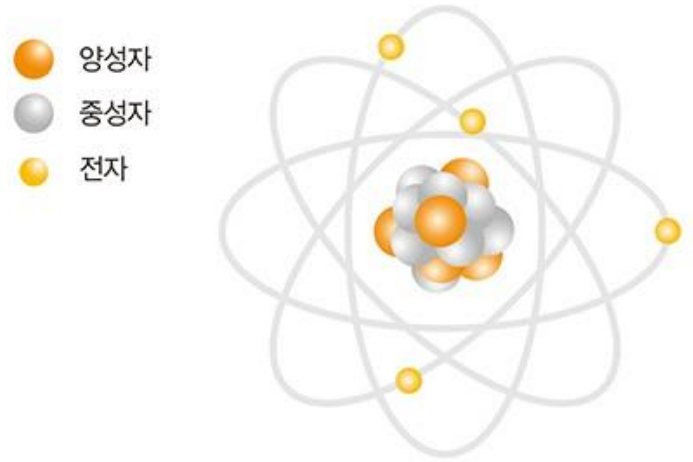


표 2.1 원자를 구성하는 입자들

입 자 명	원자 내 위치	전 하	기 호	상대질량(amu)
양성자	핵	1+	p, ${}_{1}^{1}P$, ${}_{1}^{1}H$	1
전자	핵주위	1−	e, e^{-}, ${}_{-1}^{0}e$	$\frac{1}{1837}$
중성자	핵	0	n, ${}_{0}^{1}n$	1

전하: 전기 현상을 일으키는 물질의 물리적 성질
amu(원자질량단위): atomic mass unit

- 원자 번호: 핵에 있는 양성자 수. 중성원자의 양성자 수는 전자 수와 같음
- 질량수: 한 원자의 핵에 있는 양성자 + 중성자를 합친 수. 전자질량은 무시

${}_{Z}^{M}X$ 〈X 는 원소기호, 위의 숫자 M은 질량수, 아래의 숫자 Z는 원자번호〉

- 동위원소: 같은 수의 양성자와 전자를 갖지만 중성자수가 다른 원소

전자 (electron)

- Thomson은 1898~1903년에 음극선관으로 진공관 내에서 일어나는 전기 방전을 연구
- 진공관에 높은 전압이 가해지면 "광선"이 발생하는 것을 발견
- 이 광선은 음극에서 방출되므로 음극선(cathode ray)로 명명

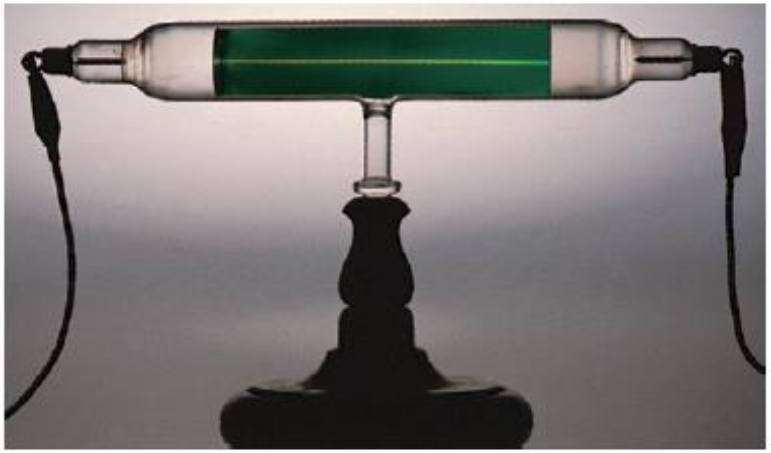
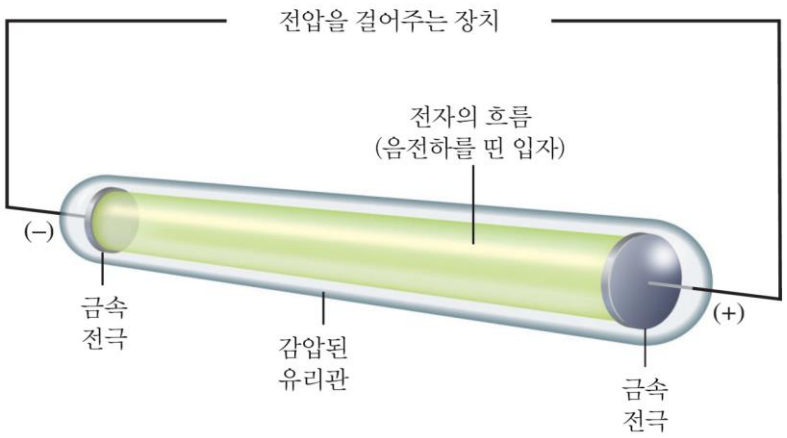
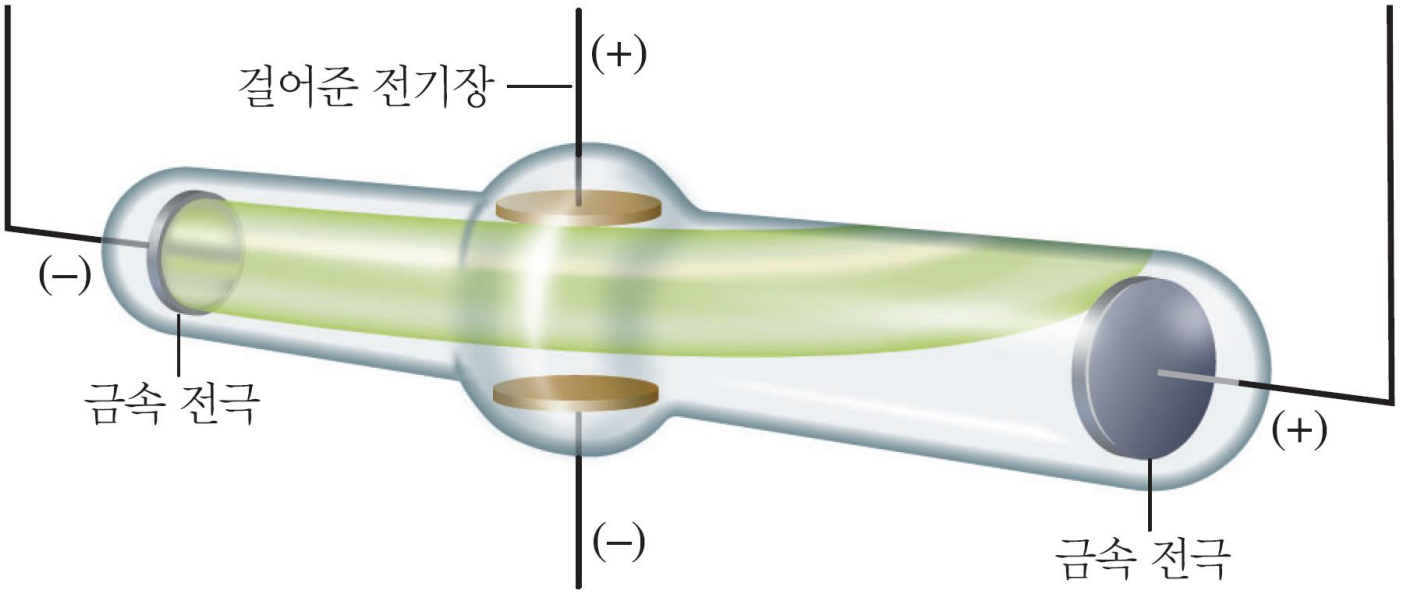


그림. 음극선관
빠르게 움직이는 전자는 진공관 내의 기체를 들뜨게 하여 사이에 발광하게 함
사진의 녹색은 전자의 흐름에 황화아연이 도포된 스크린이 반응하여 나타난 것



중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY



그림

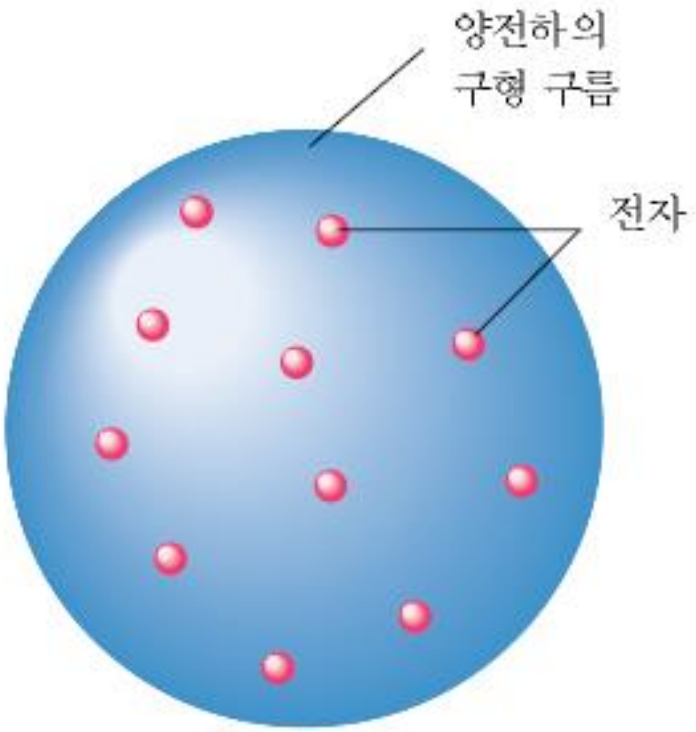
전기장에 의한 음극선의 편향.

음극선이 음극에서 방출되고 외부에서 가해진 전기장의 음극과 반발한다는 사실에 기초하여 이 광선이 음으로 대전된 입자, 즉 전자의 흐름이라고 생각

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

Thomson의 원자 구조 설명

- 전자가 다양한 종류의 금속 전극으로부터 발생될 수 있으므로 **모든 원자는 전자를 갖고 있어야 한다**고 추론
- 원자들은 모두 전기적으로 중성이라는 사실이 알려졌었기 때문에 **원자는 어떤 형태이든지 양전하를 포함**하고 있을 것으로 가정
- 퍼져있는 양전하 구름에 음전하를 띤 전자가 무질서하게 박힌 모양으로 원자의 구조를 제안

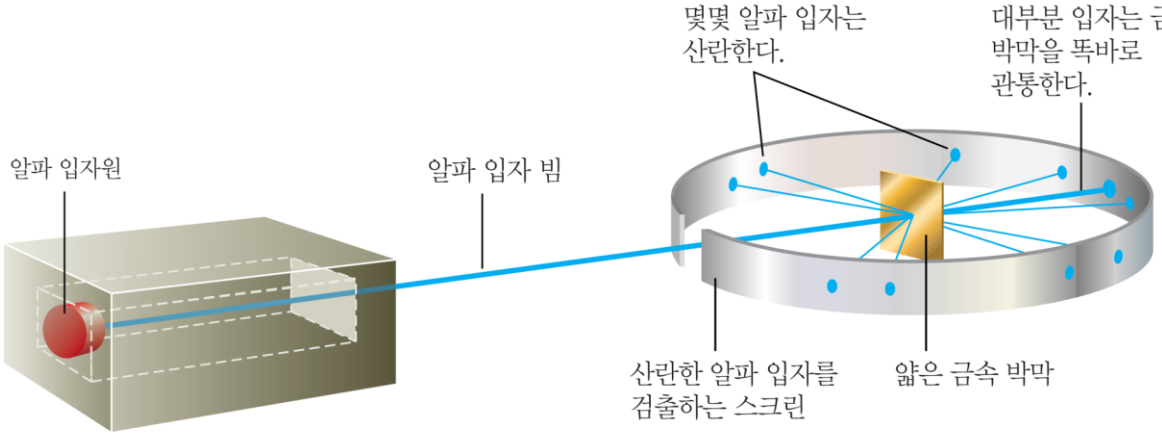


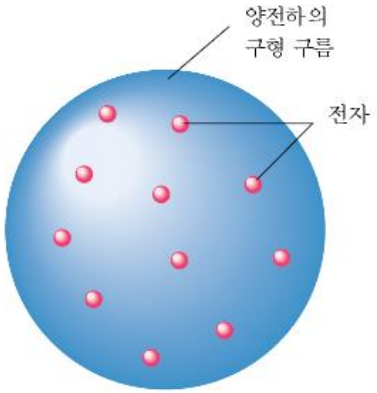
그림

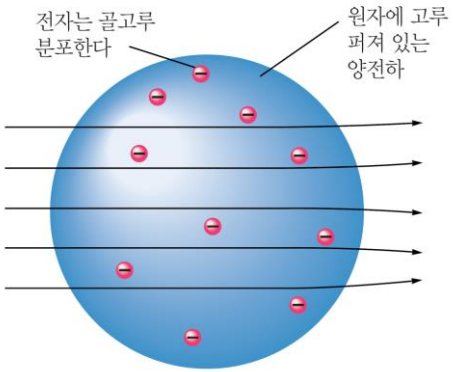
원자의 플럼 푸딩 모형.

원자핵

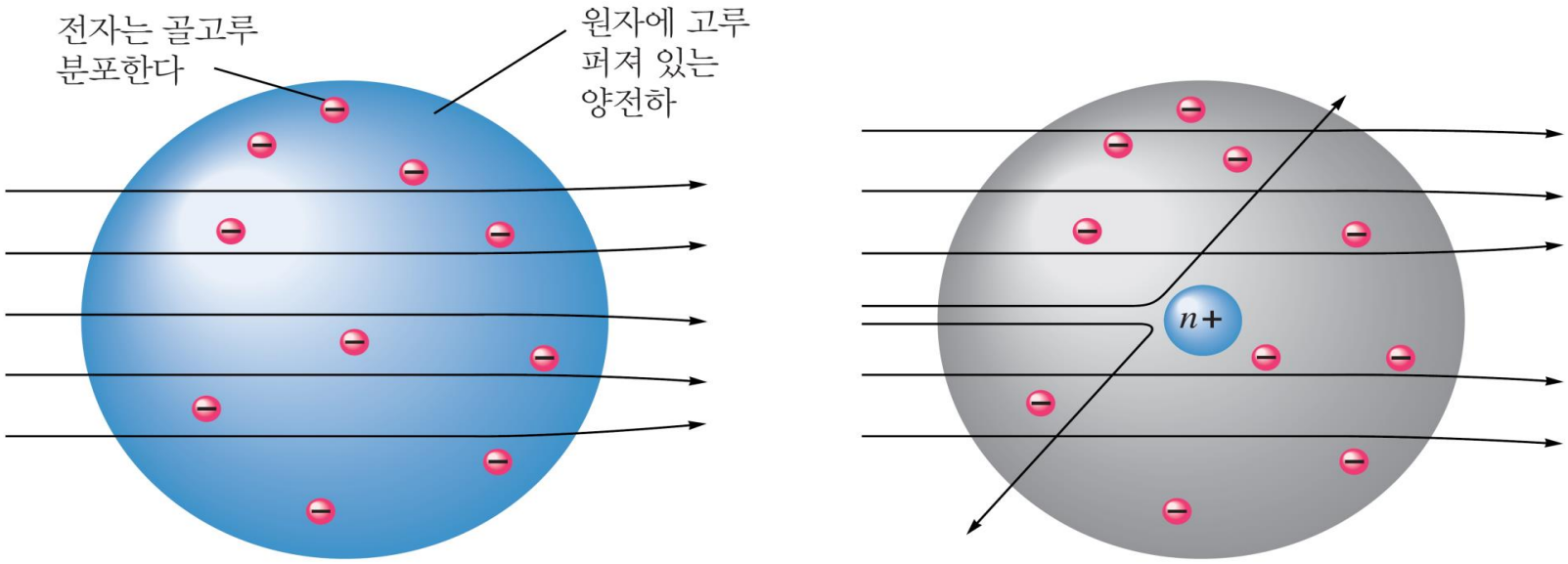
- Rutherford는 Thomson의 모형이 정확하다면 질량이 큰 알파 입자는 마치 대포알이 천 조각을 관통하듯 강력하게 얇은 금속 박막을 관통할 것으로 생각







• 그러나 대부분의 알파 입자는 똑바로 박막을 관통해 지나갔지만, 많은 입자들이 큰 각도로 굴절되거나 검지기에 도달하지 못하고 반사



• Rutherford는 핵 원자 (nuclear atom, 핵이 있는 원자의 뜻) 개념이 필요하다 생각

• 핵 원자란 양전하를 띠고 밀도가 높은 중심부, 즉 핵이 있고, 핵의 지름에 비해 매우 먼 거리를 떨어져 핵 주위를 도는 전자로 구성되어 있는 원자

중원대학교
JUNGWON UNIVERSITY

원자 구조

원자를 단순히 묘사한다면

- 매우 작은 **핵** (반지름이 약 10^{-13} cm 정도)
- 핵으로부터 평균적으로 약 10^{-8} cm 떨어진 거리에서 핵 주위를 돌아다니는 **전자**로 구성
- **핵**은 전자의 전하량과 크기가 동일한 양전하를 띠고 있는 **양성자 (proton)**, 그리고 양성자와 질량이 거의 동일하나 전하를 띠지 않는 **중성자 (neutron)**로 구성



원자핵의 크기가 이 공만하다면, 일반적인 원자는 이 경기장만하다.

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

2.3 원자번호

원자번호 = 양성자의 수 = 전자의 수

- 어느 원소가 원자의 특성을 나타내주게 하는 것은 그 원자의 양성자수
- 어느 원소의 **원자번호(atomic number)**는 그 원소의 **원자핵 내의 양성자의 수**를 나타내는 것
- 소듐(나트륨) 원자의 핵에는 **11개의 양성자와 11개의 전자**를 가짐
- 소듐(나트륨) 원자라면 반드시 **11개의 양성자와 11개의 전자**를 가지고 있어야 하며 이것은 결코 변할 수 없는 사실

표 2.2 1번~20번 원자의 이름과 기호

원자번호	이 름	원자기호	원자번호	이 름	원자기호
1	수소원자	H	11	나트륨원자	Na
2	헬륨원자	He	12	마그네슘원자	Mg
3	리튬원자	Li	13	알루미늄원자	Al
4	베릴륨원자	Be	14	규소원자	Si
5	붕소원자	B	15	인원자	P
6	탄소원자	C	16	황원자	S
7	질소원자	N	17	염소원자	Cl
8	산소원자	O	18	아르곤원자	Ar
9	플루오르원자	F	19	칼륨원자	K
10	네온원자	Ne	20	칼슘원자	Ca

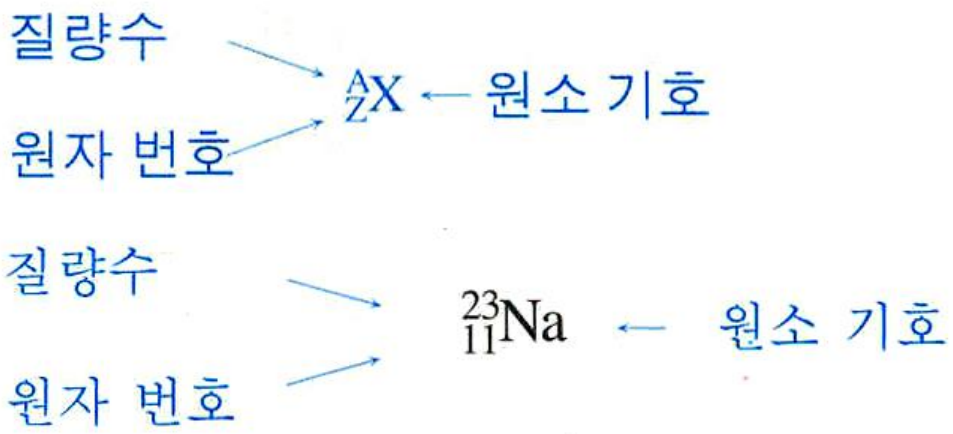
생체 중요 원자의 원자 번호

	원자번호
H (Hydrogen)	1
Na (Sodium)	11
Mg (Magnesium)	12
C (Carbon)	6
N (Nitrogen)	7
O (Oxygen)	8
F (Fluorine)	9
P (Phosphorus)	15
S (Sulfur)	16
Cl (Chlorine)	17

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

2.4 질량수

- **질량수 = 양성자수(원자번호) + 중성자수**



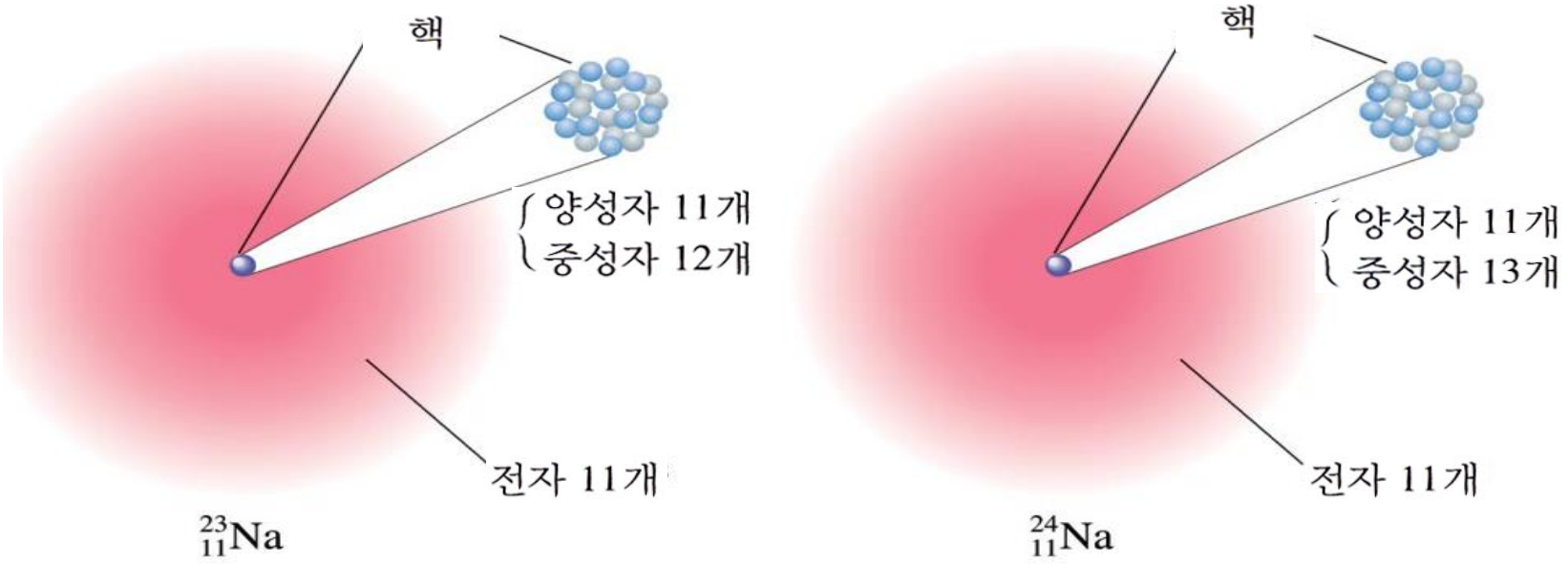
예제 15개의 양성자와 16개의 중성자를 가지는 원자의 원자번호, 질량수, 기호는?

풀이 원자번호 = 15, 질량수 = 31, 기호 = P

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

2.5 동위원소 (isotope)

- 같은 수의 양성자를 가지고 있지만, 다른 수의 중성자를 가지고 있음
- 원자의 화학적 성질은 그 전자에 의하여 결정되기에 동위원소들은 거의 같은 화학적 특성 갖음



소듐의 두 동위원소. 두 종류 모두 11개의 양성자와 전자를 갖지만, 중성자의 수는 서로 다르다.

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

표 2.3 동위원소와 원자량

원소	동위원소 기호	원자핵의 구성		질량수	동위원소의 원자량 ($_6C^{12}$=12)	동위원소의 존재비	평균 원자량
		양성자수	중성자수				
수소	$_1H^1$	1	0	1	1.00783	99.985	1.00797
	$_1H^2$	1	1	2	2.01410	0.015	
탄소	$_6C^{12}$	6	6	12	12	98.892	12.01115
	$_6C^{13}$	6	7	13	12.99856	1.108	
염소	$_{17}Cl^{35}$	17	18	35	34.9888	75.4	35.453
	$_{17}Cl^{37}$	17	20	37	36.9659	24.6	

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

2.6 전자 배치

- 보어의 행성모델 (planetary model): 원자에 대한 첫번째 모델
  - 원자는 행성이 태양주위를 도는 것처럼 전자가 작고 단단한 핵주위를 도는 것
  - 각각의 위치는 어떤 에너지값과 일치함:
    에너지 준위 (energy level) 또는 에너지각 (energy shell) 이라 함
  - 핵에 제일 근접한 전자 (가장 낮은 에너지 준위). 핵에서 멀리 떨어질 수록 더 높은 에너지 상태 가짐

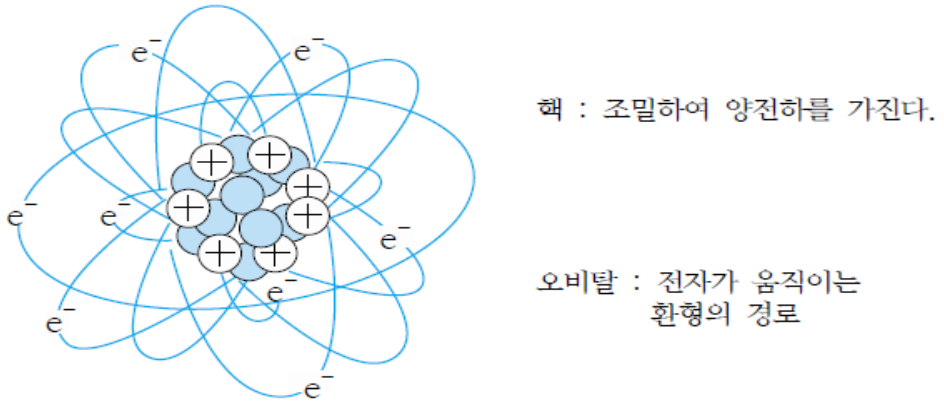
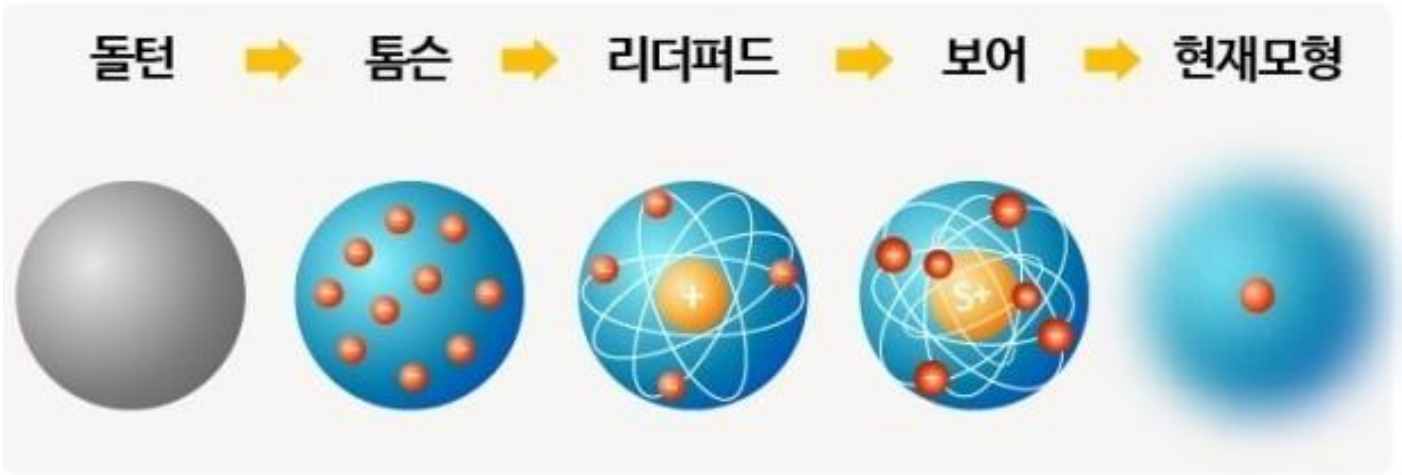


그림 2.3 보어의 원자 모델은 무겁고 양전하를 가지는 핵과 핵주위의 궤도를 도는 전자로 구성되어 있다.

- 현재는 보어가 가정했었던 것과 달리 전자가 핵 주위의 궤도를 돌지 않는다는 것이 명백해짐



1. 단단하고 더 이상 쪼갤 수 없는 작은 공과 같은 모양이다.
2. 원자핵의 개념이 없는 건포도가 든 푸딩 모양이다.
3. 태양주위를 돌고 있는 혹성과 같은 전자혹성모형이다.
4. 전자는 원자핵주위에서 불연속적인 원궤도를 그리면서 운동한다.
5. 핵 주위의 전자를 확률 분포에 따라 나타나게 하는 전자구름모형이다.

이온(ion)의 형성

- 이온: 전자를 잃거나 얻어 전하를 띠는 원자 또는 분자를 말함
- 모든 전자는 가능한 한 낮은 에너지 준위에서 발견:

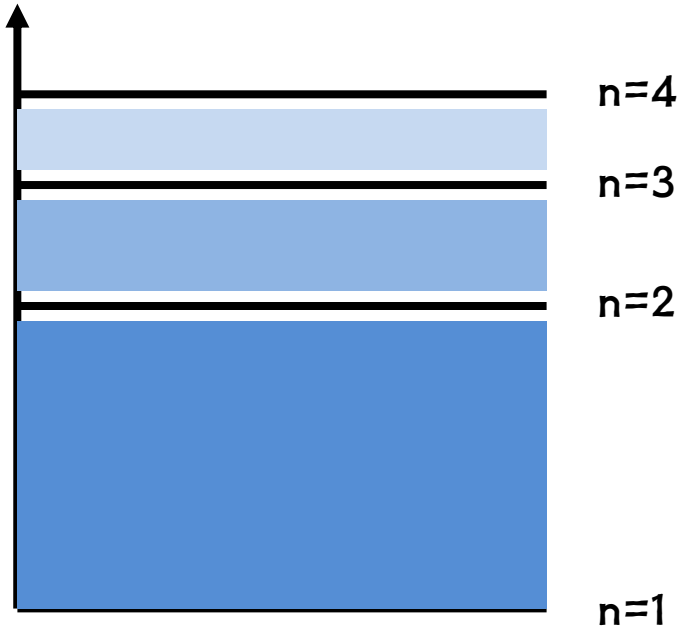
  기저 상태 (ground state)
- 원자가 외부로부터 에너지를 흡수하여 더 높은 에너지를 가지는 원자:

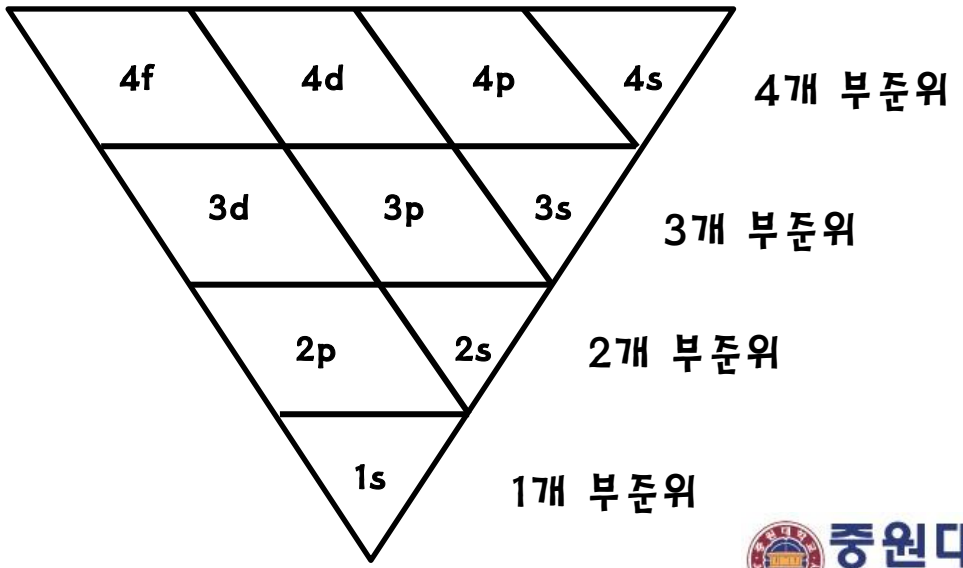
  여기 원자 (excited atom)
- 여기된 원자는 불안정 해서 에너지 방출(광자)을 통해 다시 낮은 에너지 준위로 돌아오려는 경향이 있음
  - 양이온(cation): 전자를 잃은 상태
  - 음이온(anion): 전자를 얻은 상태

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

전자의 에너지 준위

- 전자는 특정한 허용된 에너지만을 갖고 있다 (보어의 개념)
- 원자 내의 불연속 주에너지 준위 (principal energy level)
- 에너지 준위들은 n으로 나타냄. 가장 낮은 주에너지 준위는 n=1,일 때이며 그 다음은 n=2, n=3 등 양의 정수로 나타냄
- 각각의 주에너지 준위는 부준위(sublevel)로 나뉨
- 부준위는 각각 궤도함수라고 부르는 전자가 들어갈 공간을 포함

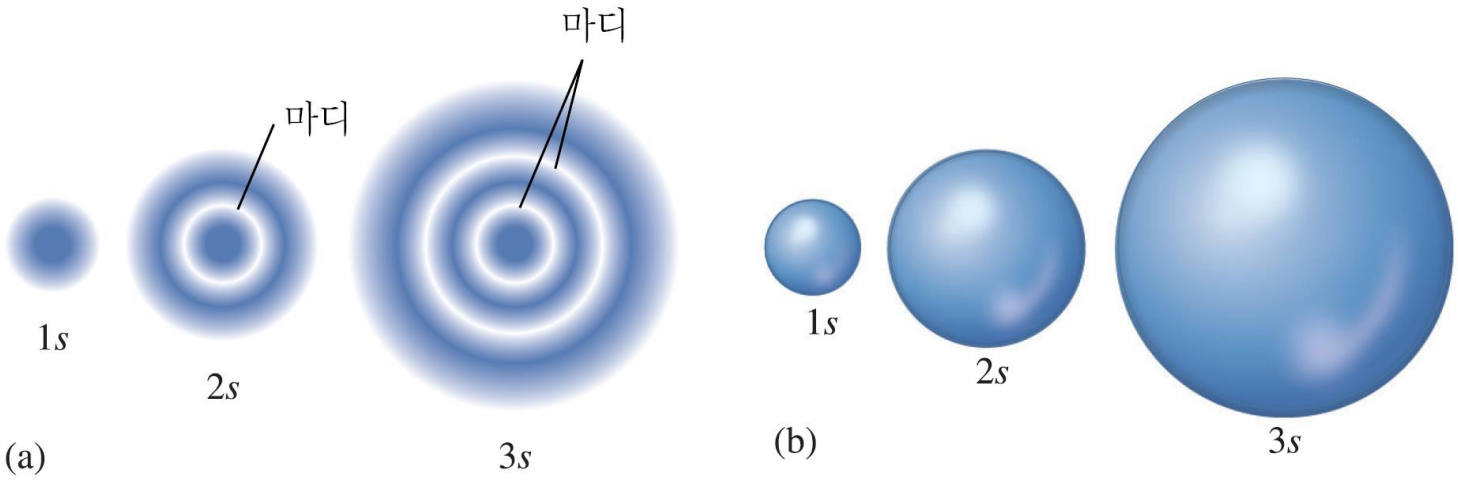




중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

궤도 함수의 모양과 에너지

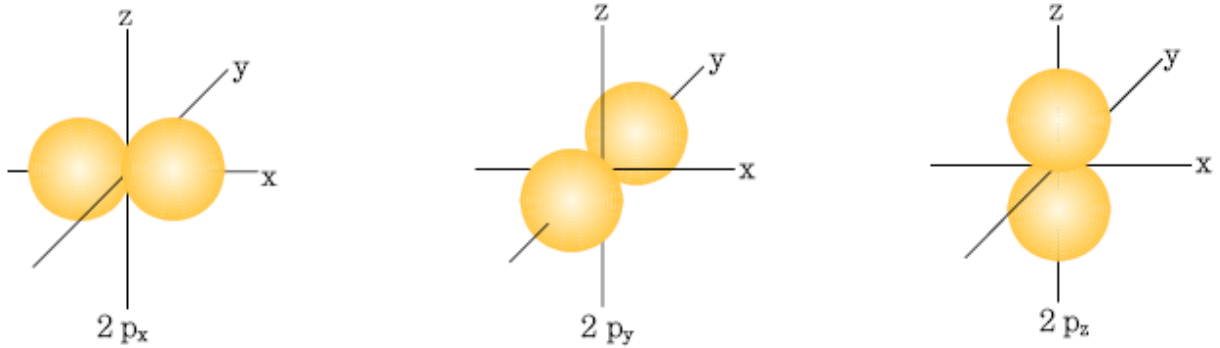
- 전자를 발견할 확률이 90%인 공간을 표면이 에워싸고 있는 것
- 전자가 구형의 표면을 따라 움직인다는 것이 아님
- s 궤도 함수 (s orbital): 구형, 원자핵은 구형의 중심에 위치

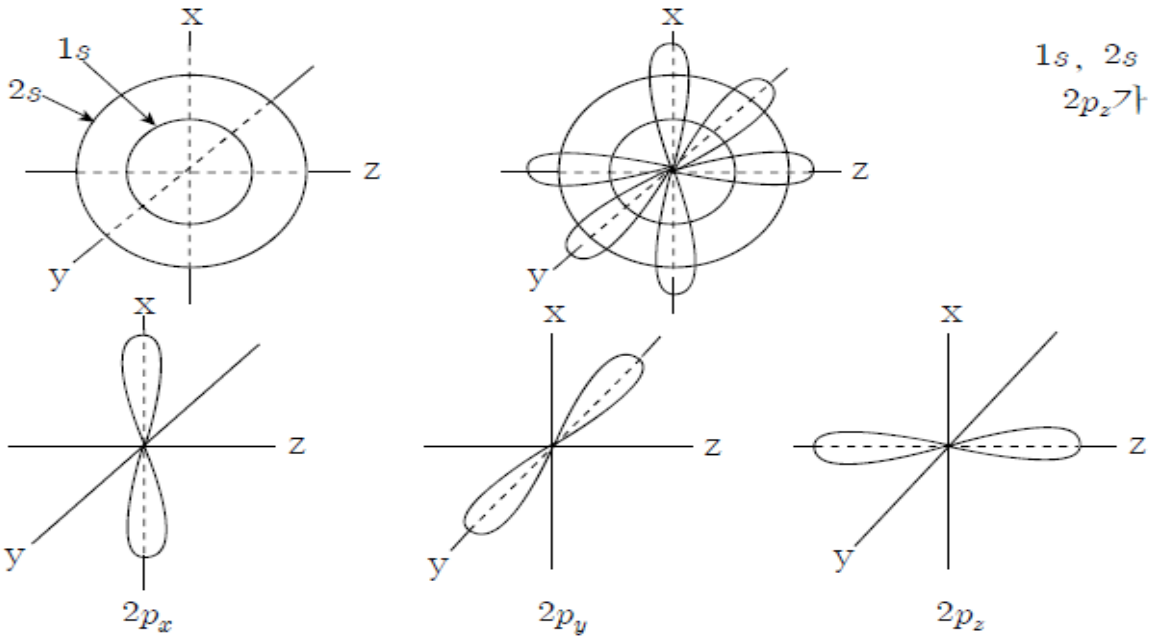


수소 1 *s*, 2 *s*, 3 *s* 궤도함수에 대한 두 가지 표현 방식. (a) 전자 확률 분포. (b) 전체 전자 발견 확률의 90%을 포함하는 표면(궤도함수 크기에 대한 정의).

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

• p 궤도 함수 (p orbital): 2개의 귓불 (lobe) 사이에 원자핵이 위치한 아령모양, 서로 수직한 3개의 p 궤도 함수 (x, y, z)를 갖는다.



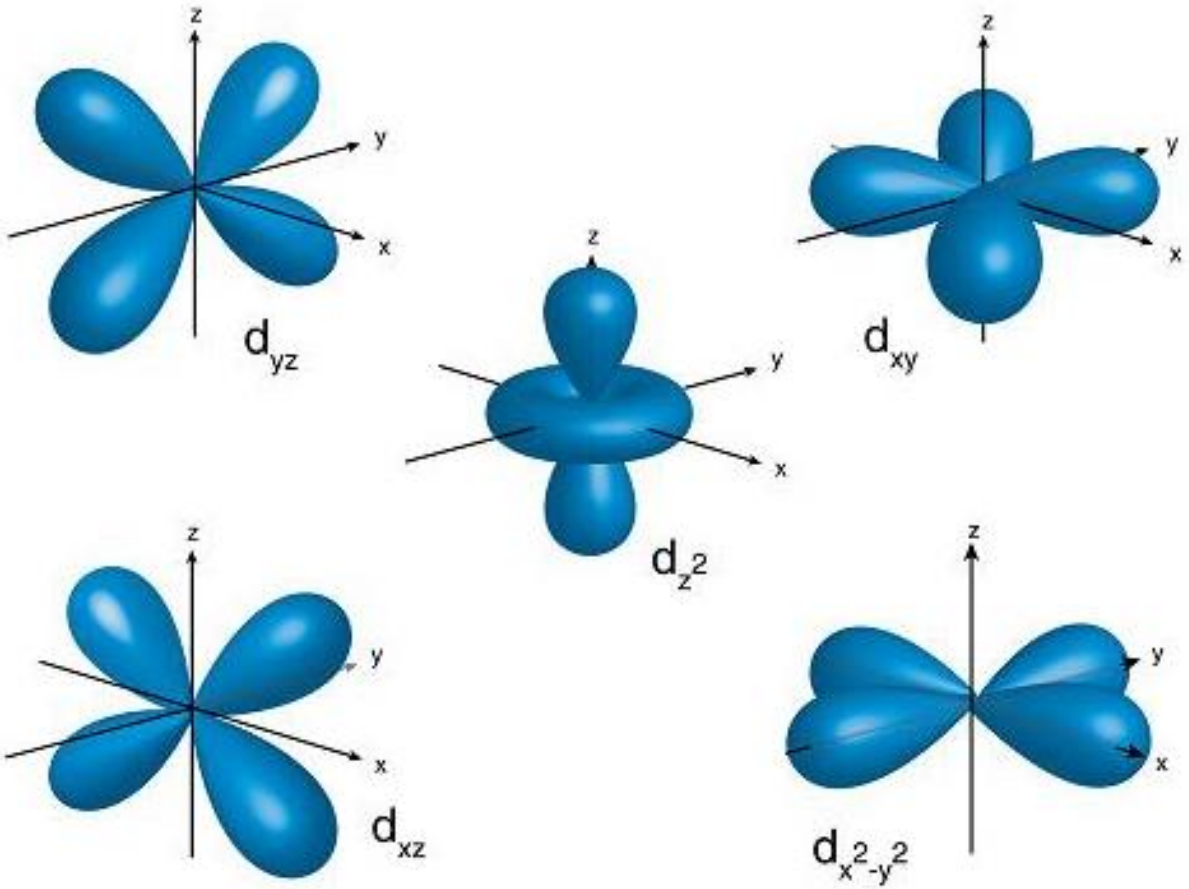


$1s$, $2s$ 및 $2p_x$·$2p_y$·$2p_z$가 겹쳐진 것

s 궤도함수와 p 궤도함수의 입체 모형

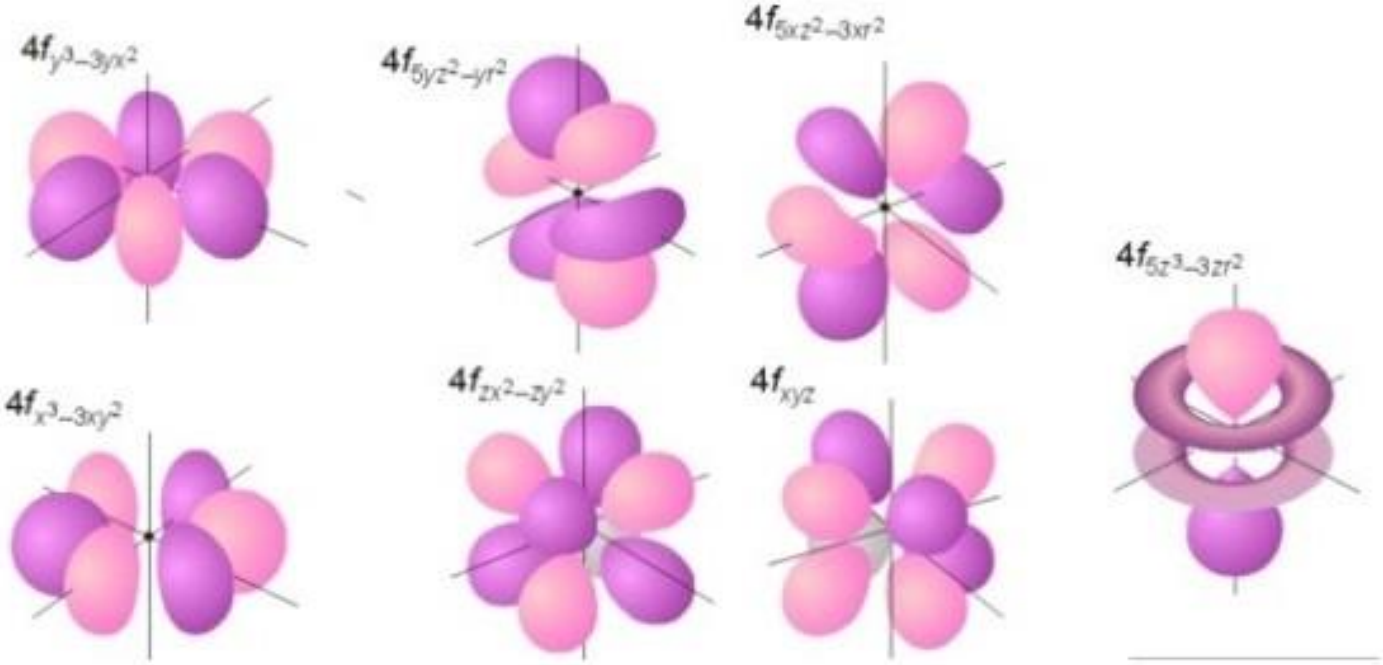
중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

- d 궤도 함수 (d orbital)

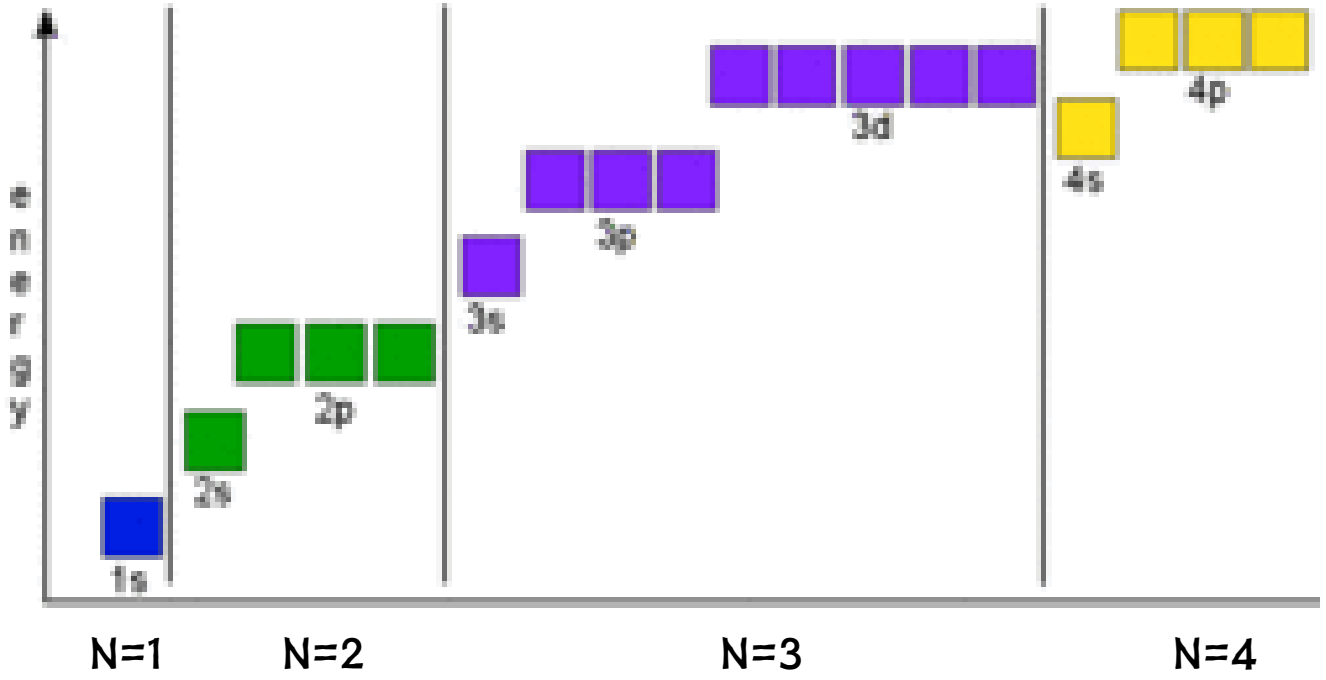


중원대학교
JUNGWON UNIVERSITY

- f 궤도 함수 (f orbital)

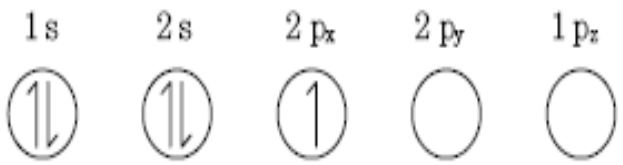


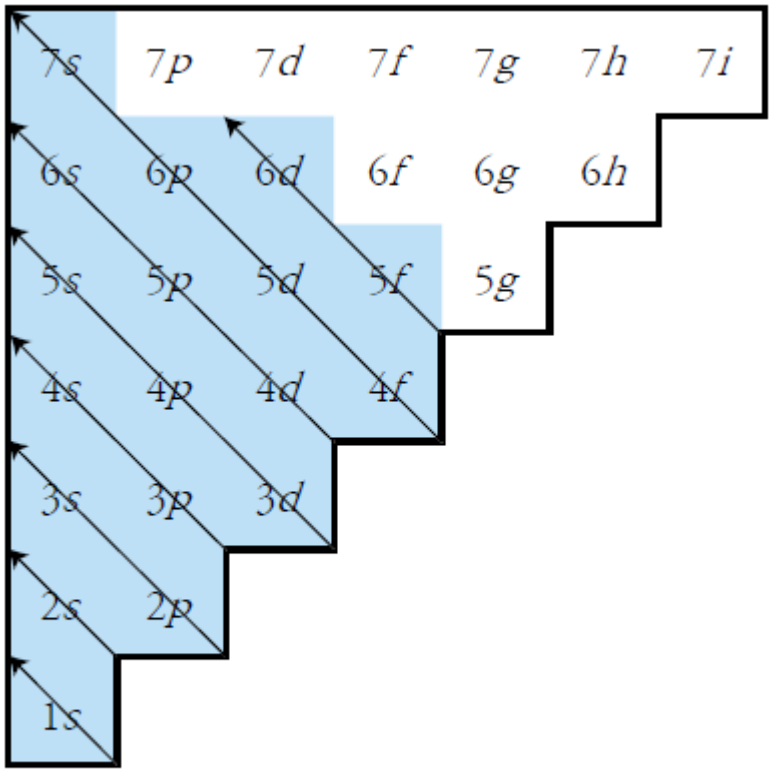
중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY



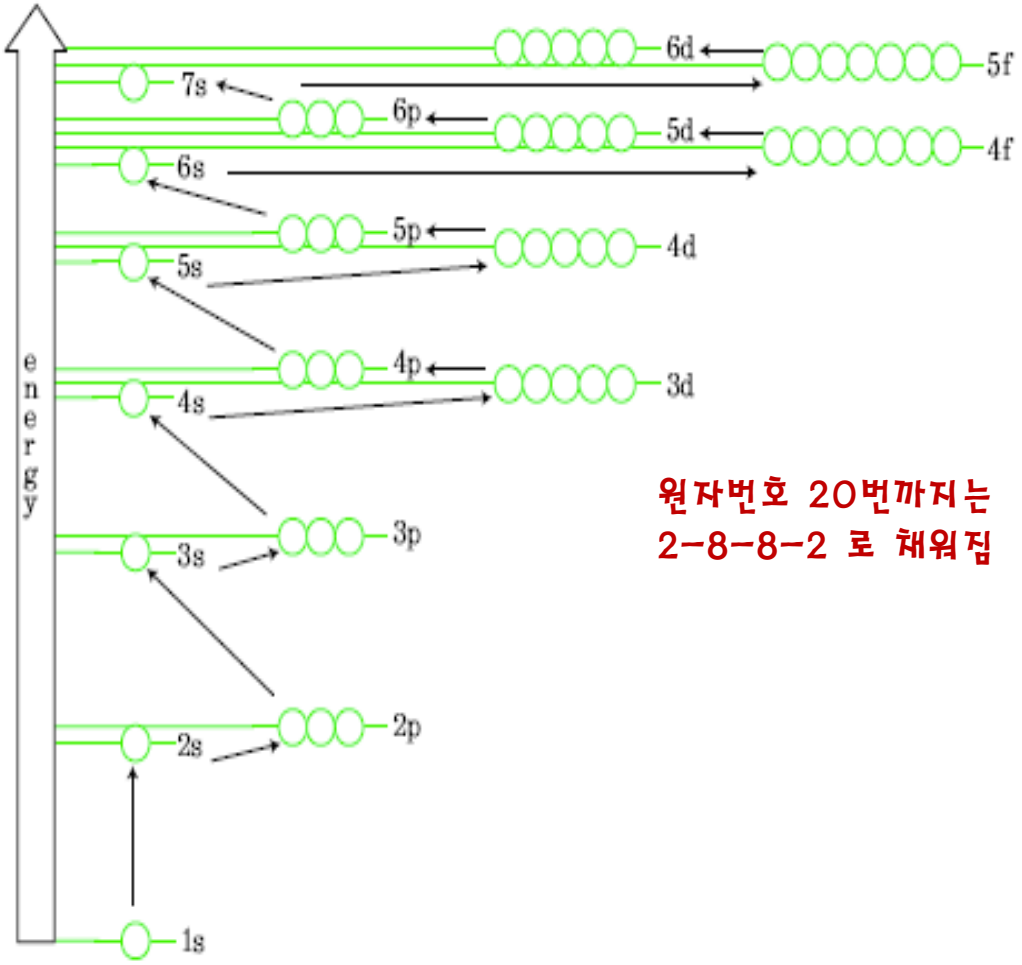
N=1	1S			
N=2	2S	2P 2P 2P		
N=3	3S	3P 3P 3P	3d 3d 3d 3d 3d	
N=4	4S	4P 4P 4P	4d 4d 4d 4d 4d	4f 4f 4f 4f 4f 4f 4f

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY





원자오비탈을 채우는 순서



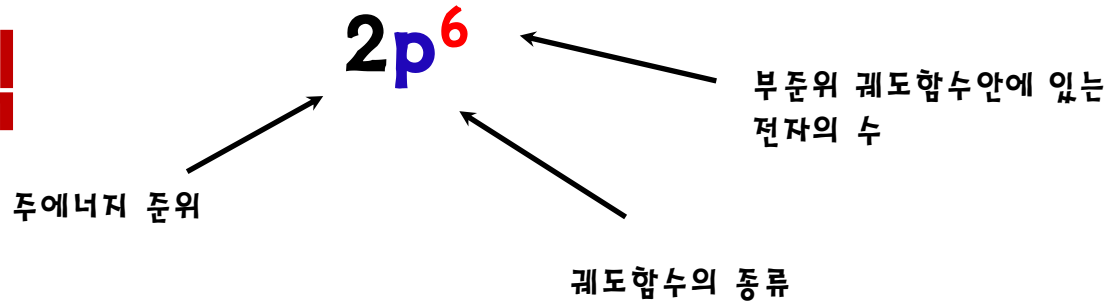
원자번호 20번까지는
2-8-8-2 로 채워짐

1S에서부터 시작해서 전자가 차는 순서 전자 배치(Electron Configuration)

표 2.5 원자 번호 21 이하인 원소들의 전자 배치

원 소	원자번소	에너지 준위 전 자 배 치						
		1	2	3	4	5	6	7
Hydrogen, H	1	1						
Helium, He	2	2						
Lithium, Li	3	2	1					
Berylium, Be	4	2	2					
Boron, B	5	2	3					
Carbon, C	6	2	4					
Nitrogen, N	7	2	5					
Oxygen, O	8	2	6					
Fluorine, F	9	2	7					
Neon, Ne	10	2	8					
Sodium, Na	11	2	8	1				
Magnesium, Mg	12	2	8	2				
Aluminum, Al	13	2	8	3				
Silicon, Si	14	2	8	4				
Phosphorus, P	15	2	8	5				
Sulfur, S	16	2	8	6				
Chlorine, Cl	17	2	8	7				
Argon, Ar	18	2	8	8				
Potassium, K	19	2	8	8	1			
Calcium, Ca	20	2	8	8	2			

전자 배치 규칙



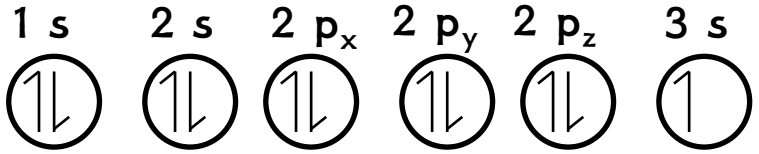
- 가장 낮은 에너지 원자 궤도 함수로부터 가장 큰 에너지 원자 궤도함수로 차례로 채워진다. (축조원리)
- 한 벌의 에너지가 같은 궤도 함수에는 각 궤도 함수의 절반이 채워질 때까지 한번에 1개의 전자만이 채워진다. (Hund's rule)
- 나머지 전자는 반 채운 각 궤도함수에 스핀이 반대가 되도록 채우되 2개 이상의 전자가 채워질 수 없다. (Pauli의 배타의 원리)
- 한 궤도 함수에는 최대 2개의 전자가 채워진다.

표 2.4 원자의 에너지 준위

에너지 준위 수(주양자수)	1	2	3	4	5	6	7
이론상 존재할 수 있는 전자의 최대수($2n^2$)	2	8	18	32	50	72	98
자연에 실제 존재하는 전자의 최대수	2	8	18	32	32	18	8

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

궤도함수 도표 (orbital diagram)



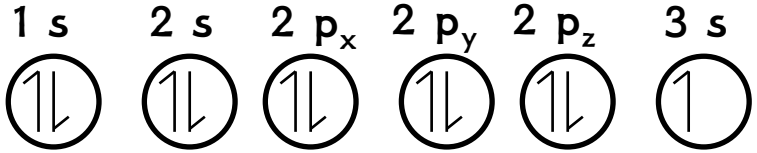
- 동그라미 또는 상자는 궤도함수를 나타냄
- 궤도함수가 한 개의 전자를 포함할 때는 위로 향한 (↑)화살표를 상자 속에 그려 넣음
- 아래로 향한 (↓) 두 번째 화살표는 궤도함수에 두 번째 전자가 채워진 것을 나타냄

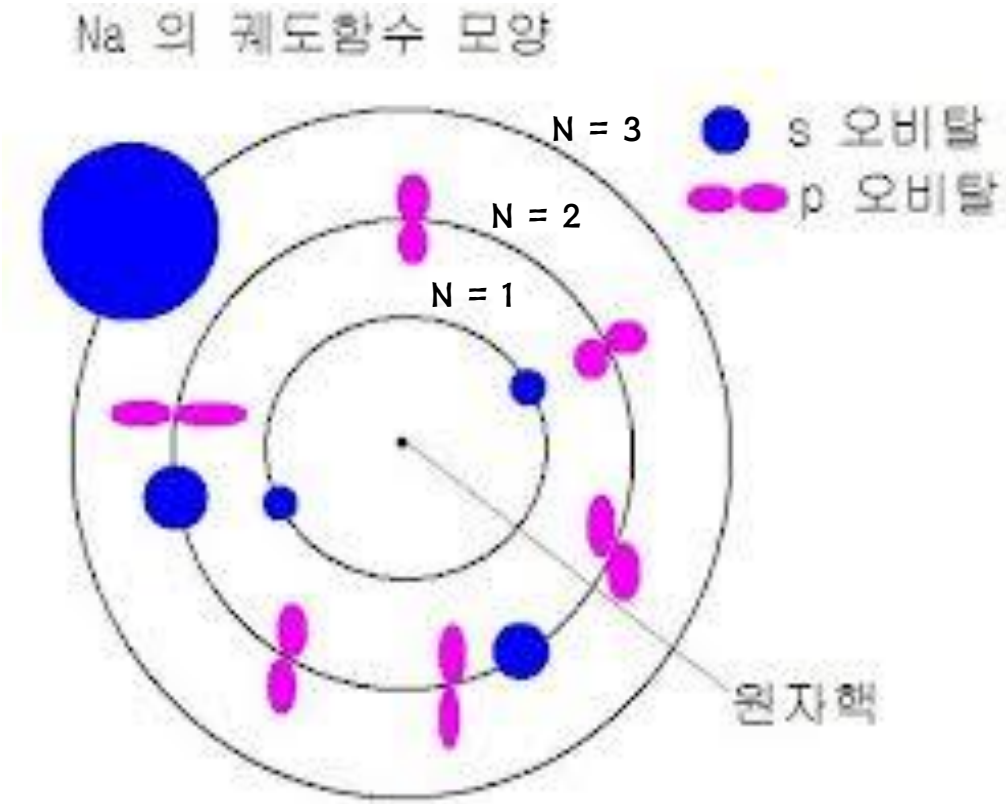
중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

원자번호 11, Na(Sodium) = 양성자수 = 전자수, 즉 전자수가 11

전자배치: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$

궤도 그림:





중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

표 2.8 원자의 전자 배치(바닥 상태에서)

주기	원자 번호	원소 기호	1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	전자배치
1	1	H	↑							$1s^1$
	2	He	↑↓							$1s^2$
2	3	Li	↑↓	↑						$1s^2 2s^1$
	4	Be	↑↓	↑↓						$1s^2 2s^2$
	5	B	↑↓	↑↓	↑ □ □					$1s^2 2s^2 2p^1$
	6	C	↑↓	↑↓	↑ ↑ □					$1s^2 2s^2 2p^2$
	7	N	↑↓	↑↓	↑ ↑ ↑					$1s^2 2s^2 2p^3$
	8	O	↑↓	↑↓	↑↓ ↑ ↑					$1s^2 2s^2 2p^4$
	9	F	↑↓	↑↓	↑↓ ↑↓ ↑					$1s^2 2s^2 2p^5$
	10	Ne	↑↓	↑↓	↑↓ ↑↓ ↑↓					$1s^2 2s^2 2p^6$
3	11	Na	↑↓	↑↓	↑↓ ↑↓ ↑↓	↑				$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$
	12	Mg	↑↓	↑↓	↑↓ ↑↓ ↑↓	↑↓				$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$
	13	Al	↑↓	↑↓	↑↓ ↑↓ ↑↓	↑↓	↑ □ □			$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$
	14	Si	↑↓	↑↓	↑↓ ↑↓ ↑↓	↑↓	↑ ↑ □			$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$
	15	P	↑↓	↑↓	↑↓ ↑↓ ↑↓	↑↓	↑ ↑ ↑			$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$
	16	S	↑↓	↑↓	↑↓ ↑↓ ↑↓	↑↓	↑↓ ↑ ↑			$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$
	17	Cl	↑↓	↑↓	↑↓ ↑↓ ↑↓	↑↓	↑↓ ↑↓ ↑			$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$
	18	Ar	↑↓	↑↓	↑↓ ↑↓ ↑↓	↑↓	↑↓ ↑↓ ↑↓			$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$
4	19	K	↑↓	↑↓	↑↓ ↑↓ ↑↓	↑↓	↑↓ ↑↓ ↑↓		↑	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$
	20	Ca	↑↓	↑↓	↑↓ ↑↓ ↑↓	↑↓	↑↓ ↑↓ ↑↓		↑↓	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$
	21	Sc	↑↓	↑↓	↑↓ ↑↓ ↑↓	↑↓	↑↓ ↑↓ ↑↓	↑ ····· □ 5개	↑↓	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^1 4s^2$
전자껍질			K	L		M			N	

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

2.7 원소의 주기율표



참조) 표준 원자량은 2011년 IUPAC에서 결정한 새로운 형식을 따른 것으로 [ ] 안에 표시된 숫자는 2 종류 이상의 안정한 동위원소가 존재하는 경우에 지각 시료에서 발견되는 자연 존재비의 분포를 고려한 표준 원자량의 범위를 나타낸 것임. 자세한 내용은 *Pure Appl. Chem.* 83, 359-396(2011); doi:10.1351/PAC-REP-10-09-14을 참조하기 바람.

© 대한화학회, 2016

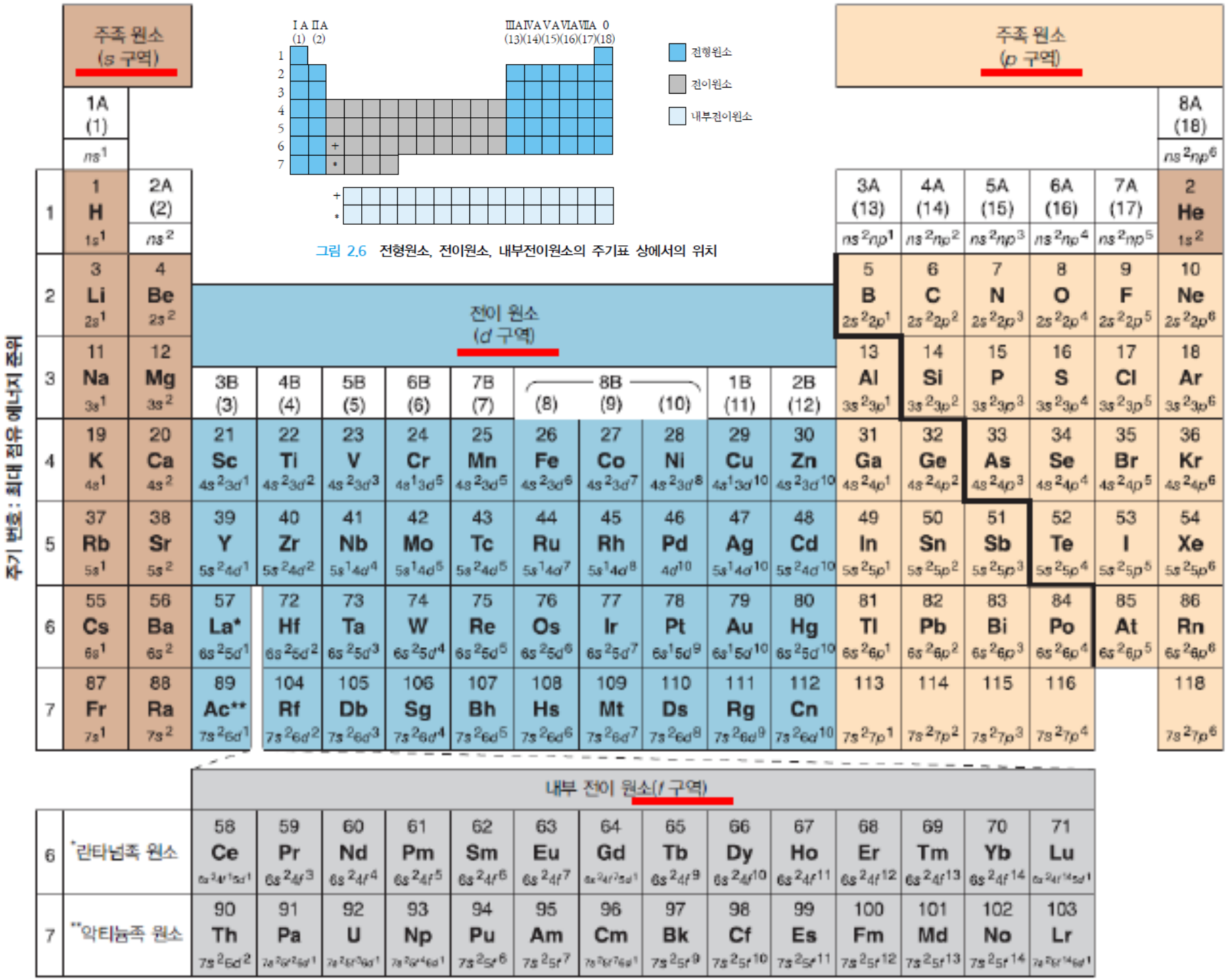


그림 2.6 전형원소, 전이원소, 내부전이원소의 주기표 상에서의 위치

주기와 군 (Periods and groups)

주기: 주기율표에서 각 수평선, 전자를 함유할 수 있는 원자의 일곱가지 에너지 준위에 따라 1~7까지 채워짐. 주기 4는 최외각 전자가 4 에너지 준위를 가짐

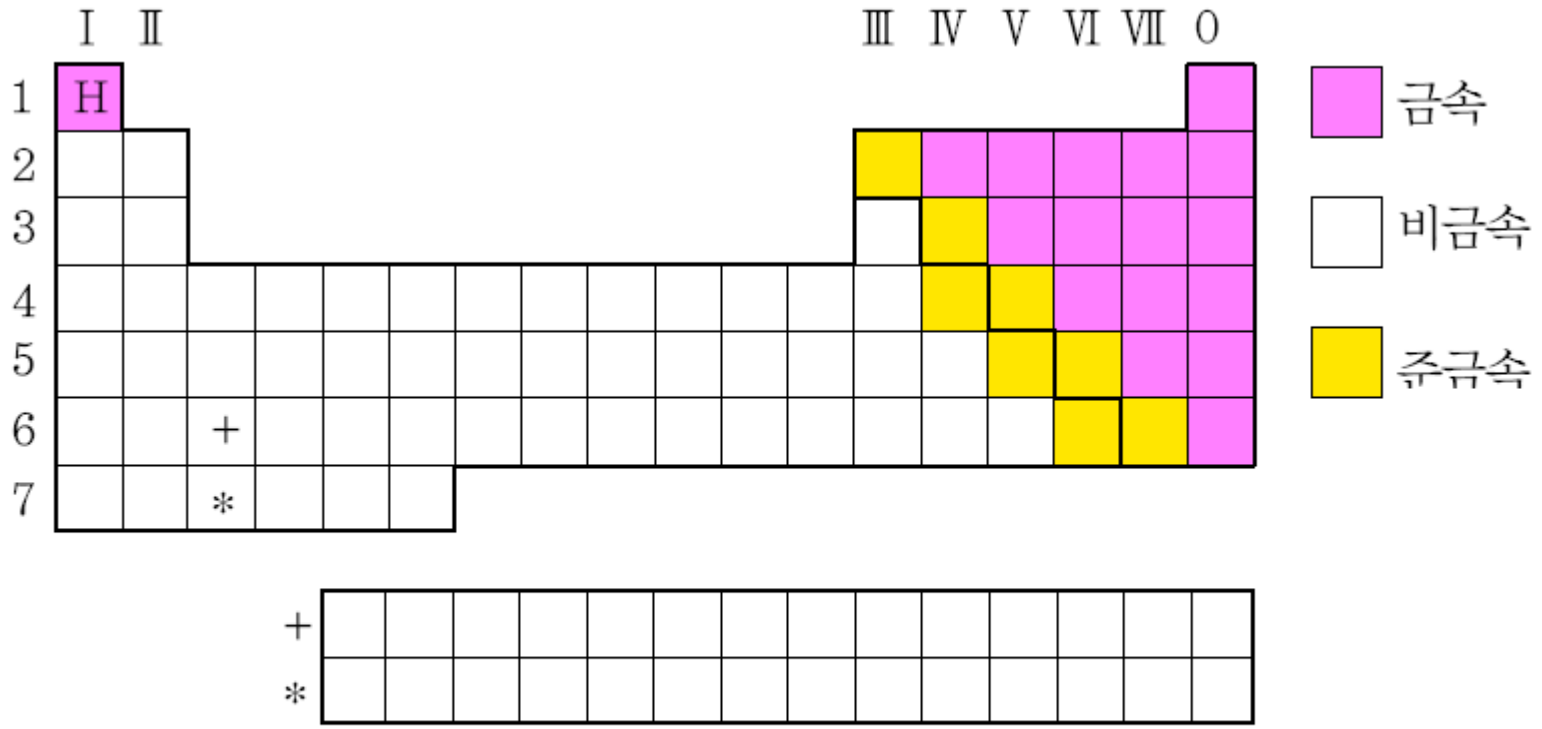
(Na의 경우 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$)



군 또는 족

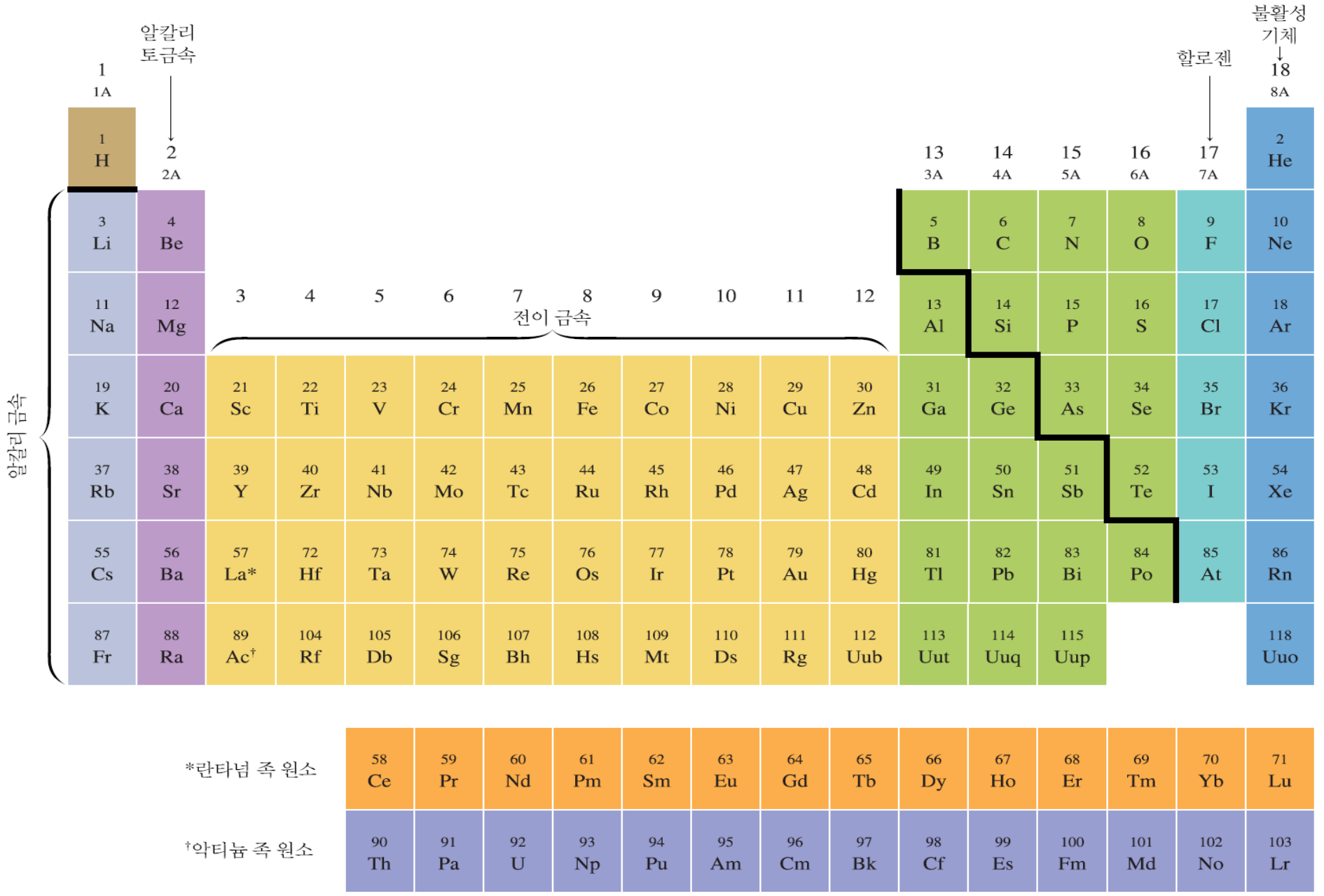
최외각 전자의 개수, Na의 경우 최외각에 1개의 전자를 가지므로 1족 원소임

1A							8A
1 H $1s^1$	2A	3A	4A	5A	6A	7A	1 He $1s^1$
3 Li $2s^1$	4 Be $2s^2$	5 B $2s^2 2p^1$	6 C $2s^2 2p^2$	7 N $2s^2 2p^3$	8 O $2s^2 2p^4$	9 F $2s^2 2p^5$	10 Ne $2s^2 2p^6$
11 Na $3s^1$	12 Mg $3s^2$	13 Al $3s^2 3p^1$	14 Si $3s^2 3p^2$	15 P $3s^2 3p^3$	16 S $3s^2 3p^4$	17 Cl $3s^2 3p^5$	18 Ar $3s^2 3p^6$



금속, 비금속, 준금속의 주기율표 상에서의 위치

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY



중원대학교
JUNGWON UNIVERSITY

유사한 화학적 성질을 갖는 원소들은 동일한 수직 열 [그룹(group) 또는 족(family)]

- **알카리 금속들** [1A족: 리튬(Li), 소듐(Na), 포타슘(K), 루비듐(Rb), 세슘(Cs), 프랑슘(Fr)]은 매우 높은 반응성. 다른 금속과 반응하여 쉽게 1+의 전하 띠는 이온 형성

- **알카리 토금속들** [2A족: 베릴륨(Be), 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca), 스트론튬(Sr), 바륨(Ba), 라듐(Ra)]은 비금속 원소와 반응할 때, 모두 2+의 전하를 띠는 이온 형성

- **할로젠** [7A족: 플루오린(F), 염소(Cl), 브로민(Br), 아이오딘(I), 아스타틴(At)]은 **이원자 분자를 형성**하며, 금속과 반응하여 염을 이룰 때는 1−의 전하를 띠는 음이온 형성

- **불활성기체** [8A족: 헬륨(He), 네온(Ne), 아르곤(Ar), 크립톤(Kr), 제논(Xe), 라돈(Rn)]은 일반적인 조건에서 **단원자 기체**로 존재. 화학적 반응성 거의 없음

염: 산의 음이온과 염기의 양이온이 정전기적 인력으로 결합하고 있는 이온성 물질

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

2.8 원자가 전자

- 원자가전자 = 최외각전자(가장 바깥 껍질 전자)
- s전자와 p전자로 구성 : 전자 1개에서 최대 8개 전자
- 화학 반응에 관여하여 원자의 화학적 성질을 결정
- 원소기호의 상하좌우에 원자가전자를 점으로 찍어 낸 것으로, 전자점식(Lewis식)이라고도 하는데 화학반응 및 결합을 설명할 때에 편리함

문제 2.4 다음 원자들 중 원자가전자가 가장 많은 것은?

(a) $_{9}F$ (b) $_{10}Ne$ (c) $_{11}Na$ (d) $_{12}Mg$

1	2	13	14	15	16	17	18
H·							He:
Li·	Be:	B:	·C:	·N:	·O:	:F:	:Ne:
Na·	Mg:	Al:	·Si:	·P:	·S:	:Cl:	:Ar:
K·	Ca:						

그림 2.7 원자의 전자점식

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY