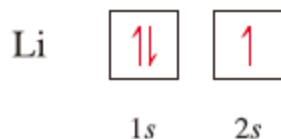


## 6.8 전자 배치

지 상태인  $1s$  오비탈에만 있을 것이다(그림 6.24). 그러나 Pauli 배타 원리는 한 오비탈에 들어가는 전자는 최대 두 개라고 말해 준다. 따라서 각 오비탈은 전자 두 개를 초과하지 않으면서 에너지가 증가하는 순서로 채워진다. 예를 들어, 전자 세 개를 가진 리튬을 생각해 보자(중성 원자의 전자수는 원자 번호  $Z$ 와 같음을 기억하라).  $1s$  오비탈은 전자 두 개를 수용한다. 세 번째 전자는 다음으로 에너지가 낮은 오비탈, 즉  $2s$ 에 들어간다.

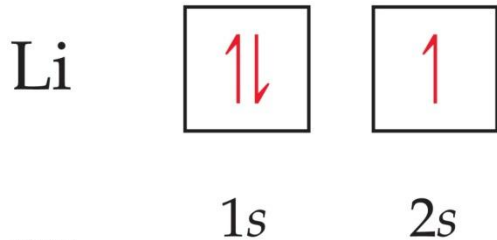
전자 배치는 전자가 있는 부껍질 기호를 쓰고, 존재하는 전자의 개수를 위 첨자로 나타내어 요약할 수 있다. 예를 들어, 리튬은  $1s^2 2s^1$  (“두 개의  $1s$ , 한 개의  $2s$ ”라고 읽는다)이다. 전자 배치는 다음처럼 나타낼 수 있다.



이러한 종류의 표시법을 오비탈 도표 (orbital diagram)라 하고, 각 오비탈은 상자로 나타내고, 각 전자는 반쪽 화살표 (half arrow)로 나타낸다. 위쪽으로 향한 화살표( $\uparrow$ )는 양수의 스핀 양자수 ( $m_s = +\frac{1}{2}$ )를 나타내고, 아래로 향한 화살표( $\downarrow$ )는 음수의 스핀 양자수 ( $m_s = -\frac{1}{2}$ )를 나타낸다. 따라서 이러한 그림 6.25의 자기장 방향을 이용한 전자 스핀 표현법은 대단히 편리하다.

반대 방향 스핀의 전자들이 같은 오비탈에 있으면 짝지었다 (paired)라고 말한다. 홀전자 (unpaired electron)는 반대 방향의 스핀 전자와 짝짓지 않은 전자이며, 리튬 원자 중  $1s$  오비탈의 전자 두 개는 짝짓고,  $2s$  오비탈의 전자는 홀전자이다.

## 오비탈 도표 (Orbital Diagrams)



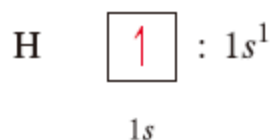
- 도표의 각 상자가 의미하는 것은, 오비탈이다.
- 반쪽 화살표가 나타내는 것은, 전자다
- 화살표의 방향이 나타내는 것은, 상대적인 전자 스핀이다.

## 전자 배치 (Electron Configurations)

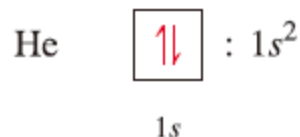


- 이 표기가 나타내는 것은 원자 속 전자들의 분포다.
- 각 성분들을 살펴보자.
  - 숫자 4가 나타내는 것은 에너지 준위이다.
  - 문자 p가 나타내는 것은 오비탈의 형태이다.
  - 위 첨자 5가 나타내는 것은 오비탈에 있는 전자 수이다.

## Hund 규칙



헬륨의 전자 두 개는  $1s$  오비탈에 있다.



리튬 다음의 원소는 베릴륨이며, 그 전자 배치는  $1s^2 2s^2$ 이다 (표 12.3). 원자 번호 5번 붕소의 전자 배치는  $1s^2 2s^2 2p^1$ 이다. 다섯 번째 전자는  $2s$  오비탈이 모두 채워졌기 때문에  $2p$  오비탈에 채워진다. 세 개의  $2p$  오비탈은 에너지가 모두 같으므로, 어떤  $2p$  오비탈을 점유해도 문제가 되지 않는다.

다음의 탄소 원소는 새로운 상황에 직면한다. 여섯 번째 전자는  $2p$  오비탈에 놓여야 한다는 것을 알 수 있다. 새로운 전자는 이미 전자 한 개가 채워진  $2p$  오비탈로 들어가야 할까? 아니면 남아 있는 두 개의 다른 오비탈로 들어가야 할까? 이 질문은 축퇴된 오비탈은 전자들이 최대한 같은 스핀으로 있을 때 가장 낮은 에너지를 가진다는 Hund 규칙 (Hund's rule)으로 답할 수 있다. 이것은 전자들이 가능한 홀전자로 있으려 하며, 같은 부껍질에 있는 홀전자들은 같은 스핀 양자수를 가진다는 것을 의미한다. 이러한 방법으로 배열된 전자는 평행 스핀이라고 한다. 그러므로 가장 낮은 에너지를 갖는 탄소 원자의  $2p$  전자 두 개는 같은 스핀을 갖는다. 이와 같이 되려면 전자들은 표 6.3처럼 서로 다른  $2p$  오비탈을 점유해야 한다. 바닥 상태 탄소 원자는 두 개의 홀전자를 갖는다.

## Hund 규칙 ( Hund's Rule )

TABLE 6.3 • Electron Configurations of Several Lighter Elements

Element	Total Electrons	Orbital Diagram				Electron Configuration
		1s	2s	2p	3s	
Li	3	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow$	$\square$ $\square$ $\square$	$\square$	$1s^2 2s^1$
Be	4	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\square$ $\square$ $\square$	$\square$	$1s^2 2s^2$
B	5	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow$ $\square$ $\square$	$\square$	$1s^2 2s^2 2p^1$
C	6	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow$ $\uparrow$ $\square$	$\square$	$1s^2 2s^2 2p^2$
N	7	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow$ $\uparrow$ $\uparrow$	$\square$	$1s^2 2s^2 2p^3$
Ne	10	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$	$\square$	$1s^2 2s^2 2p^6$
Na	11	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$	$\uparrow$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$

© 2012 Pearson Education, Inc.

“**축퇴된 오비탈**의 경우, **최저 에너지를** 갖는 때는 **동일 스핀**을 갖는 전자의 수가 **최대일 때**이다.”

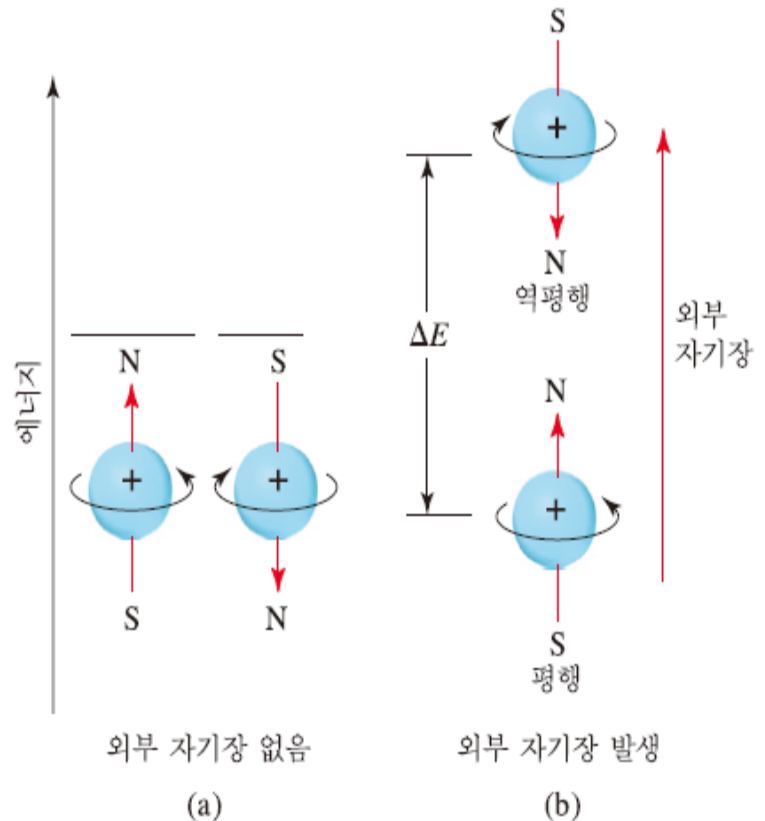
### 예제 6.7 오비탈 도표와 전자 배치

원자 번호 8인 산소의 전자 배치를 오비탈 도표로 나타내시오. 산소의 짝짓지 않은 전자는 몇 개인가?

## 핵 스핀과 자기 공명 영상

질병을 진단하기 위해서는 화상 진찰을 통하여 신체의 내부를 보는 것이 중요한 과제이다. 최근까지 이것은 X선을 통해 뼈와 근육, 장기를 보는 것으로 수행되었다. 그러나 X선을 이용한 방법에는 몇 가지 단점이 있다. 먼저 X선은 물리적으로 겹쳐져서 존재하는 구조는 고분해능으로 형상화하지 못한다. 게다가 대부분의 손상되거나 질병에 걸린 장기는 건강한 장기와 비슷한 영상으로 나타나기 때문에 X선을 통해서도 질병과 부상을 찾아내지 못하는 경우가 많다. 또한 X선은 고에너지의 방사선이므로, 적은 양의 측정으로도 생리적으로 손상을 가져 올 수 있다.

1980년대에 자기 공명 영상 (*Magnetic resonance imaging, MRI*) 기술이 화상 진찰의 새로운 방법으로 떠올랐다. MRI는 1940년대 중반에 발견된 핵자기 공명 (*Nuclear Magnetic Resonance*) 현상을 이용한다. NMR은 요즘의 화학 분야에서 가장 중요한 분광학 방법의 하나가 되었다. 이것은 많은 원자의 핵이 전자와 마찬가지로, 고유의 스핀을 갖는 것에 기초한다. 전자 스핀과 마찬가지로, 핵의 스핀도 양자화되어 있다. 예를 들어, 수소 원자의 핵은  $+\frac{1}{2}$ 와  $-\frac{1}{2}$ 의 두가지 핵 스핀 양자수를 가질 수 있다. 이 수소 원자의 핵 스핀에 대한 분석이 NMR에서는 가장 일반적이다.

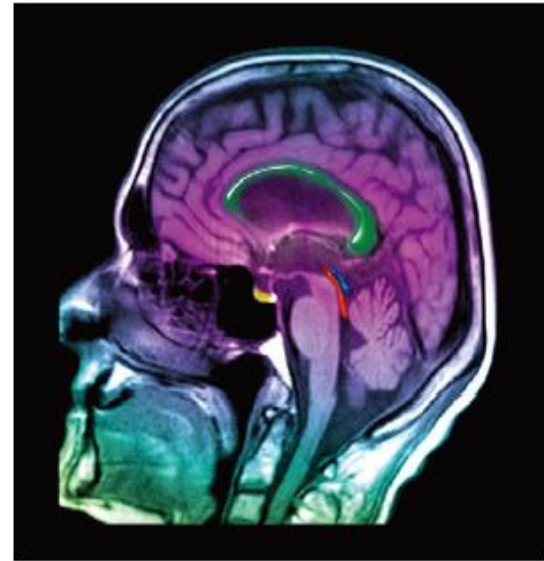


▲ 그림 6.27 핵 스핀. 전자의 스핀과 마찬가지로 핵의 스핀 또한 작은 자기장을 발생시킨다. (a) 외부 자기장이 없을 때에는 두 스핀 상태가 같은 에너지를 가진다. (b) 외부 자기장이 발생하면 외부 자기장과 같은 방향의 스핀 상태는 반대 방향의 스핀 상태보다 낮은 에너지를 가진다. 그 에너지 차이  $\Delta E$ 는 전자기장의 라디오파 영역에 해당한다.

체액과 지방 조직을 이루는 주요한 구성 성분이 수소이기 때문에, 수소 핵은 MRI를 위한 가장 편리한 방법이 된다. MRI를 측정하기 위해 환자는 강한 자기장 안으로 들어간다. 환자의 몸에 라디오파 영역의 복사선을 방사하고 복잡한 검출 과정을 거치면 몸 속 특정 깊이에 있는 조직을 매우 정교하게 영상화 할 수 있다(▶ 그림 6.28). 다른 깊이에서의 측정 또한 가능하므로, 3차원적으로 신체 내부 영상을 얻을 수 있다.

MRI는 X선과 같은 단점을 갖지 않는다. 손상된 장기는 정상적인 장기와 크게 차이를 보이고, 내부의 겹쳐진 장기 또한

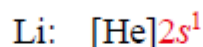
다른 깊이를 측정함으로써 구분할 수 있다. 또한 라디오파 영역의 복사선은 인체에 유해하지 않다. 이 기술은 현대 의학에 엄청난 영향을 주었으므로 화학자인 Paul Lauterbur와 물리학자인 Peter Mansfield가 MRI를 발명한 공로를 인정받아 2003년 노벨 생리의학상을 수상하였다. 이 기술의 가장 큰 단점은 비용이다. 의학적으로 이용되는 MRI 장비는 현재 15억 이상이다.



▲ 그림 6.28 MRI 영상. 자기 공명 영상을 이용하여 얻은 인간의 머리에 대한 이미지는 뇌, 기도, 안면 조직을 보여 준다.

## 전자 배치의 축약

원소의 **축약형 전자 배치** (*condensed electron configuration*)에서는, 낮은 원자 번호를 갖는 가장 가까운 불활성 기체의 전자 배치를, 화학 기호에 괄호를 사용하여 나타낸다. 예를 들어, 리튬의 전자 배치는 다음과 같이 나타낼 수 있다.



괄호로 표현된 부분을 원자의 **불활성 기체 핵심** (*noble gas core*)이라고 한다. 좀 더 보편적으로 이 안쪽 껍질에 있는 전자를 **핵심부 전자** (*core electron*)라고 한다. 불활성 기체의 핵심부 전자 바깥에 채워지며, 원자가전자 (*valence electrons*)라고 하는 최외각 전자 (*outer-shell electrons*)는 화학 결합에 참여한다.

1A
3 <b>Li</b> [He] $2s^1$
11 <b>Na</b> [Ne] $3s^1$
19 <b>K</b> [Ar] $4s^1$
37 <b>Rb</b> [Kr] $5s^1$
55 <b>Cs</b> [Xe] $6s^1$
87 <b>Fr</b> [Rn] $7s^1$

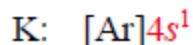
알칼리 금속

▲ 그림 6.29 알칼리 금속(주기율표의 1A족)의 최외각 전자 배치.



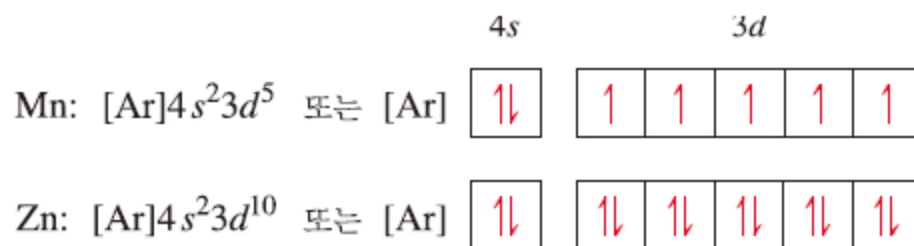
## 전이 금속

불활성 기체 원소인 아르곤은 소듐에서 출발하는 주기의 끝에 있다. 아르곤의 전자 배치는  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ 이다. 주기율표 중 Ar 다음의 원소는 원자 번호 19인 포타슘이다. 모든 화학적 성질로 보아, 포타슘은 분명히 알칼리 금속 원소이다. 포타슘의 성질에 관한 실험적 사실로 보아, 포타슘 원소의 최외각 전자가  $s$  오비탈을 점유하는 것이 틀림없고,  $3d$  오비탈에 채워지지 않음을 알 수 있다. 여기에서 에너지 준위 순서는  $4s$  오비탈이  $3d$ 보다 더 낮다(그림 6.24). 따라서 포타슘의 축약형 전자 배치는 다음과 같다.



$4s$  오비탈을 완전히 채운 다음 (이 경우는 칼슘 원자에서 발생한다)  $3d$  오비탈을 채운다 (이 책의 앞표지 안쪽에 있는 주기율표를 참고하면 도움이 될 것이다). 스칸듐에서 시작하여 아연까지는 다섯 개  $3d$  오비탈을 완전히 채울 때까지 전자가 첨가된다. 그리하여 주기율표의 네 번째 주기는 앞의 두 개 주기보다 10개의 원소가 더 많다. 이러한 원소들을 전이 원소 (transition element) 또는 전이 금속 (transition metal)이라고 한다.

Hund 규칙에 따라, 전이 원소의 전자 배치는, 전자들이 다섯 개의 모든 오비탈이 각각 전자 한 개씩 가질 때까지  $3d$  오비탈에 첨가된다. 그 다음 추가되는 전자에 의해 스핀이 짝지어지며,  $3d$  오비탈이 채워 진다. 두 가지 전이 원소의 오비탈 도표 표시법과 축약형 전자 배치는 다음과 같다.

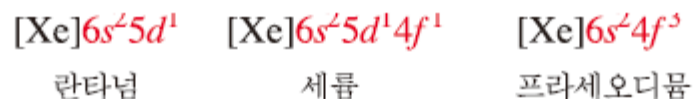


$3d$  오비탈이 짝지은 전자들로 모두 채워지면 원자 번호 36번 크립톤(Kr)의 외부 전자들이 완전히 팔전자( $4s^24p^6$ )를 만족할 때까지  $4p$  오비탈은 채워지기 시작한다. 크립톤은 불활성 기체의 또 다른 원소이다. 루비듐(Rb)은 주기율표에서 5주기 원소의 시작이다.

## 란타넘족과 악티늄족

4f 오비탈에는 -3에서 3까지 허용되는  $m_l$ 값 일곱 개에 해당하는 축퇴된 일곱 개의 오비탈이 있다. 따라서 4f 오비탈을 모두 채우려면 14개의 전자가 필요하다. 4f 오비탈을 채우는 14개 원소들을 란타넘족 원소 (lanthanide element) 또는 희토류 원소 (rare-earth element)라고 한다. 지나친 주기율표의 확장을 피하기 위해, 란타넘족 원소들은 다른 원소들 밑에 별도로 배치한다. 란타넘족 원소의 성질은 모두 비슷하고, 자연계에 함께 존재한다. 란타넘족 원소들을 실제로 오랫동안 분리하지 못했었다.

4f와 5d 오비탈의 에너지는 매우 가깝기 때문에, 란타넘족의 전자 배치는 5d 전자를 포함한다. 예를 들어, 란타넘 (La), 세륨 (Ce), 프라세오디뮴 (Pr) 원소의 전자 배치는 아래와 같다.



La은 하나의 5d 홀전자를 가지므로, 그들의 화학적 성질 때문에 3족 전이 원소의 시작으로 이리듐 (Y) 아래에 놓고, Ce을 란타넘족의 시작에 쓴다. 그러나 그들의 화학적 성질 때문에 La을 란타넘족의 처음 원소로 간주한다. 이러한 방법으로 배열된 란타넘족의 원소들은, 예외가 거의 없이, 일반적인 방법으로 4f 오비탈을 채운다.

주기율표의 마지막 주기는 7s 오비탈을 채우면서 시작하는데, 이것을 악티늄족 원소 (actinide element)라 하고, 가장 잘 알려진 원소는 우라늄 (U, 원자 번호 92)과 플루토늄 (Pu, 원자 번호 94)이고, 5f 오비탈을 채운다. 악티늄족 원소는 방사성 원소이고, 그들의 대부분은 자연계에서 발견되지 않는다.

## 6.9 전자 배치와 주기율표

표 6.4 · 2A 족과 3A 족  
원소의 전자 배치

### 2A 족

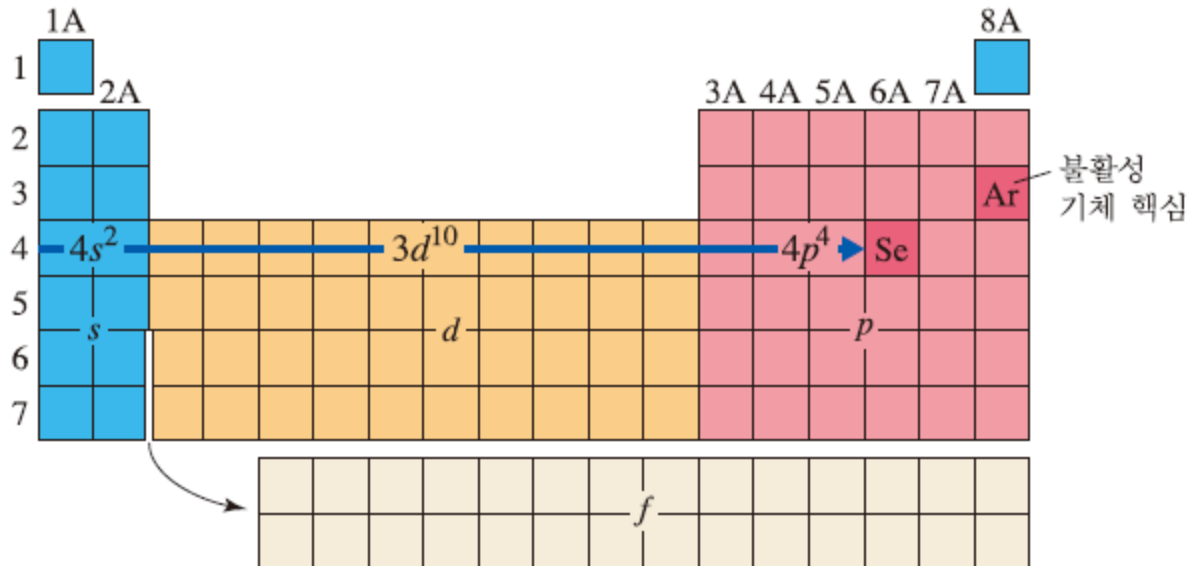
Be	[He] $2s^2$
Mg	[Ne] $3s^2$
Ca	[Ar] $4s^2$
Sr	[Kr] $5s^2$
Ba	[Xe] $6s^2$
Ra	[Rn] $7s^2$

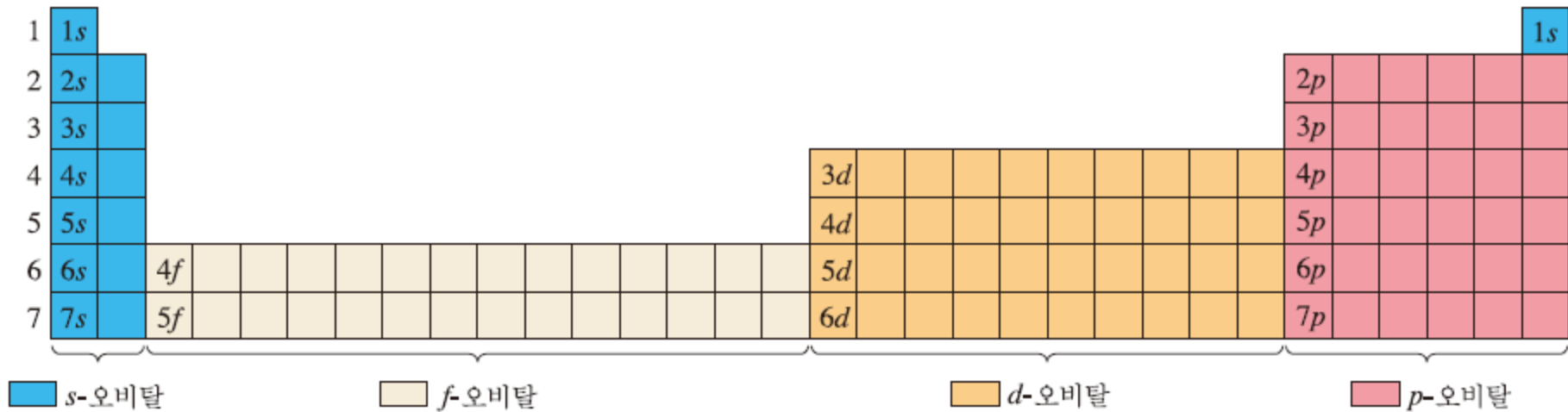
### 3A 족

B	[He] $2s^2 2p^1$
Al	[Ne] $3s^2 3p^1$
Ga	[Ar] $3d^{10} 4s^2 4p^1$
In	[Kr] $4d^{10} 5s^2 5p^1$
Tl	[Xe] $4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^1$

오른쪽에는 분홍색으로 된 여섯 개 족의 구역이 있다. 이들은 최외각의  $p$  오비탈을 채우는 원소들이다. 주기율표 중  $s$  구역 (block) 과  $p$  구역은 대표 원소 (representative element) 또는 주족 원소 (main-group element) 라고 한다.

주황색으로 칠해진 그림 6.30 중간은 전이 원소를 포함하는 10개 족의 구역이고, 이들은  $d$  오비탈을 채우는 원소들이다. 주기율표의 중간 아래에 황갈색으로 칠해진 14족의 두 주기가 있다. 이 원소들은 가끔  $f$  구역 금속 ( $f$ -block metal) 이라고 한다. 이  $f$  구역은 공간을 줄이기 위해 대부분의 주기율표에서 주기율표 아래에 위치한다.





▲ 그림 6.30 주기율표의 여러 영역들. 전자들이 오비탈을 채우는 형태에 따라 원소의 족을 보여 주는 주기율표.

- 오비탈을 채우는 순서는, **에너지가 증가하는 순서**다.
- 아래 표에서 **색이 다른 구역**들은, **다른 형태의 오비탈**에 해당한다.

## 예제 6.8    각 족의 전자 배치

7A족 할로젠 원소의 최외각 전자의 전자 배치의 특성은 무엇인가?

## 예제 6.9 주기율표를 이용한 전자 배치

- (a) 주기율표에서의 위치에 근거하여 원자 번호 83인 비스무트의 축약형 전자 배치를 쓰시오.  
(b) 비스무트의 홀전자는 몇 개인가?

### 해답

(a) 먼저 핵심부 전자를 찾는다. 원자 번호 83의 비스무트를 주기율표에 위치시킨다. 그리고 가장 가까운 불활성 기체를 찾아 거슬러 올라가면 원자 번호 54의 제논(Xe)에 도달한다. 따라서 핵심부 전자는 [Xe]이다.

다음으로 제논에서 비스무트까지 주기율표를 따라 원자 번호를 증가시킨다. 제논의 다음 원자 번호인 원자 번호 55, 세슘은 여섯 번째 주기의  $s$  구역에 위치한다. 이 주기와 구역을 바탕으로

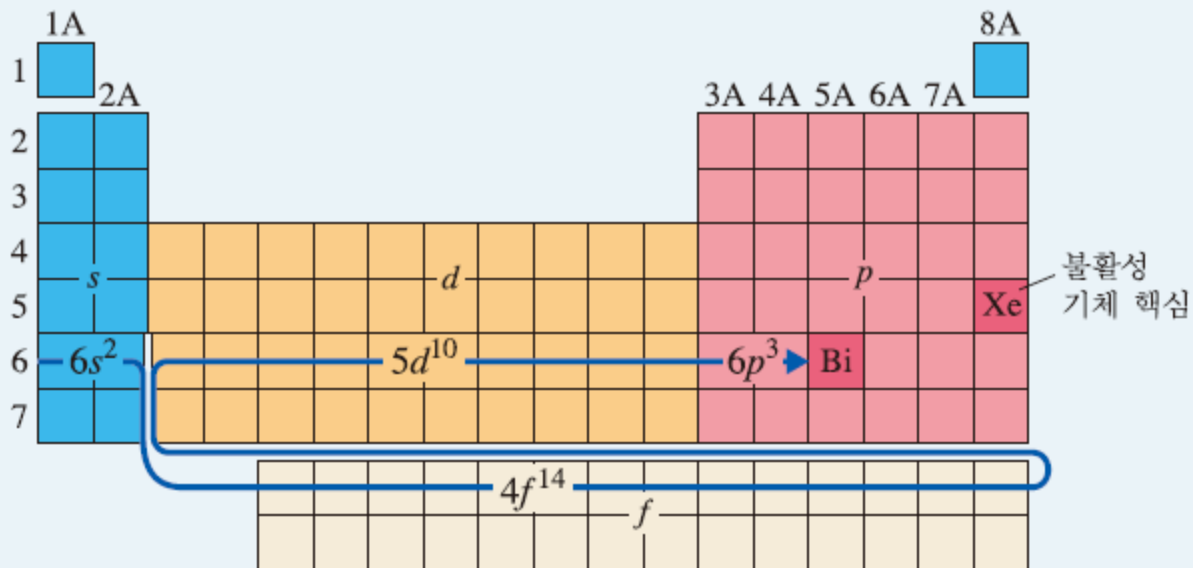
우리가 최외각 전자를 배치할 부껍질은  $6s$ 이다.  $s$  구역을 지나며 두 개의 전자가 채워진다.  $6s^2$ .  $s$  구역을 지나 원자 번호 57로 이동하면 주기율표 아래의  $f$  구역에 위치한다.  $f$  구역의 첫 번째 줄은  $4f$  부껍질에 해당하고, 이 구역을 지나며 14개의 전자가 채워진다.  $4f^{14}$ .

원자 번호 71의 원소는  $d$  구역의 세 번째 줄에 위치한다.  $d$  구역의 첫 번째 줄은  $3d$ 에 해당하므로, 두 번째 줄은  $4d$ , 세 번째 줄은  $5d$ 에 해당한다. 따라서  $d$  구역을 지나며 원자 번호 71에서 80으로 이동하면  $5d$  부껍질에 10개의 전자가 채워진다.  $5d^{10}$ .

원자 번호 80에서 81으로 이동하며  $p$  구역의  $6p$  부껍질에 하나의 전자가 채워진다 ( $p$  구역의 주양자수는  $s$  구역의 주양자수와 같다는 것을 기억하라). 비스무트까지 이동하며 세 개의 전자가 채워진다.  $6p^3$ .

지금까지의 과정을 종합하면, 축약형 전자 배치는  $[\text{Xe}]6s^24f^{14}5d^{10}6p^3$ . 이는 부껍질의 주양자수가 증가하는 순서로 정렬하여 표현할 수도 있다.  $[\text{Xe}]4f^{14}5d^{10}6s^26p^3$ .





마지막으로, 축약형 전자 배치에서의 전자 개수가 비스무트의 원자 번호 83과 같은지 확인한다. 제논은 54개의 전자를 가지므로 (원자 번호), 전자 개수는  $54 + 2 + 14 + 10 + 3 = 83$  (만약 14개의 전자가 부족하다면  $f$  구역을 생략했을 것이다).

(b) 축약형 전자 배치를 살펴보면  $6p$  부껍질만이 불완전하게 채워져 있다. 이 부껍질을 오비탈 도표로 나타내면, 다음과 같다.



	1A 1																		8A 18
	<b>1</b> <b>H</b> $1s^1$	2A 2																	<b>2</b> <b>He</b> $1s^2$
핵심																			
[He]	<b>3</b> <b>Li</b> $2s^1$	<b>4</b> <b>Be</b> $2s^2$																	
[Ne]	<b>11</b> <b>Na</b> $3s^1$	<b>12</b> <b>Mg</b> $3s^2$																	
[Ar]	<b>19</b> <b>K</b> $4s^1$	<b>20</b> <b>Ca</b> $4s^2$	<b>21</b> <b>Sc</b> $3d^14s^2$	<b>22</b> <b>Ti</b> $3d^24s^2$	<b>23</b> <b>V</b> $3d^34s^2$	<b>24</b> <b>Cr</b> $3d^54s^1$	<b>25</b> <b>Mn</b> $3d^54s^2$	<b>26</b> <b>Fe</b> $3d^64s^2$	<b>27</b> <b>Co</b> $3d^74s^2$	<b>28</b> <b>Ni</b> $3d^84s^2$	<b>29</b> <b>Cu</b> $3d^{10}4s^1$	<b>30</b> <b>Zn</b> $3d^{10}4s^2$	<b>31</b> <b>Ga</b> $3d^{10}4s^2$ $4p^1$	<b>32</b> <b>Ge</b> $3d^{10}4s^2$ $4p^2$	<b>33</b> <b>As</b> $3d^{10}4s^2$ $4p^3$	<b>34</b> <b>Se</b> $3d^{10}4s^2$ $4p^4$	<b>35</b> <b>Br</b> $3d^{10}4s^2$ $4p^5$	<b>36</b> <b>Kr</b> $3d^{10}4s^2$ $4p^6$	
[Kr]	<b>37</b> <b>Rb</b> $5s^1$	<b>38</b> <b>Sr</b> $5s^2$	<b>39</b> <b>Y</b> $4d^15s^2$	<b>40</b> <b>Zr</b> $4d^25s^2$	<b>41</b> <b>Nb</b> $4d^35s^2$	<b>42</b> <b>Mo</b> $4d^55s^1$	<b>43</b> <b>Tc</b> $4d^55s^2$	<b>44</b> <b>Ru</b> $4d^75s^1$	<b>45</b> <b>Rh</b> $4d^85s^1$	<b>46</b> <b>Pd</b> $4d^{10}$	<b>47</b> <b>Ag</b> $4d^{10}5s^1$	<b>48</b> <b>Cd</b> $4d^{10}5s^2$	<b>49</b> <b>In</b> $4d^{10}5s^2$ $5p^1$	<b>50</b> <b>Sn</b> $4d^{10}5s^2$ $5p^2$	<b>51</b> <b>Sb</b> $4d^{10}5s^2$ $5p^3$	<b>52</b> <b>Te</b> $4d^{10}5s^2$ $5p^4$	<b>53</b> <b>I</b> $4d^{10}5s^2$ $5p^5$	<b>54</b> <b>Xe</b> $4d^{10}5s^2$ $5p^6$	
[Xe]	<b>55</b> <b>Cs</b> $6s^1$	<b>56</b> <b>Ba</b> $6s^2$	<b>71</b> <b>Lu</b> $4f^{14}5d^1$ $6s^2$	<b>72</b> <b>Hf</b> $4f^{14}5d^2$ $6s^2$	<b>73</b> <b>Ta</b> $4f^{14}5d^3$ $6s^2$	<b>74</b> <b>W</b> $4f^{14}5d^4$ $6s^2$	<b>75</b> <b>Re</b> $4f^{14}5d^5$ $6s^2$	<b>76</b> <b>Os</b> $4f^{14}5d^6$ $6s^2$	<b>77</b> <b>Ir</b> $4f^{14}5d^7$ $6s^2$	<b>78</b> <b>Pt</b> $4f^{14}5d^9$ $6s^1$	<b>79</b> <b>Au</b> $4f^{14}5d^{10}$ $6s^1$	<b>80</b> <b>Hg</b> $4f^{14}5d^{10}$ $6s^2$	<b>81</b> <b>Tl</b> $4f^{14}5d^{10}$ $6s^26p^1$	<b>82</b> <b>Pb</b> $4f^{14}5d^{10}$ $6s^26p^2$	<b>83</b> <b>Bi</b> $4f^{14}5d^{10}$ $6s^26p^3$	<b>84</b> <b>Po</b> $4f^{14}5d^{10}$ $6s^26p^4$	<b>85</b> <b>At</b> $4f^{14}5d^{10}$ $6s^26p^5$	<b>86</b> <b>Rn</b> $4f^{14}5d^{10}$ $6s^26p^6$	
[Rn]	<b>87</b> <b>Fr</b> $7s^1$	<b>88</b> <b>Ra</b> $7s^2$	<b>103</b> <b>Lr</b> $5f^{14}6d^1$ $7s^2$	<b>104</b> <b>Rf</b> $5f^{14}6d^2$ $7s^2$	<b>105</b> <b>Db</b> $5f^{14}6d^3$ $7s^2$	<b>106</b> <b>Sg</b> $5f^{14}6d^4$ $7s^2$	<b>107</b> <b>Bh</b> $5f^{14}6d^5$ $7s^2$	<b>108</b> <b>Hs</b> $5f^{14}6d^6$ $7s^2$	<b>109</b> <b>Mt</b> $5f^{14}6d^7$ $7s^2$	<b>110</b> <b>Ds</b>	<b>111</b> <b>Rg</b>	<b>112</b> <b>Cn</b>	<b>113</b>	<b>114</b>	<b>115</b>	<b>116</b>	<b>117</b>	<b>118</b>	

라타넘족	<b>57</b> <b>La</b> $5d^16s^2$	<b>58</b> <b>Ce</b> $4f^15d^1$ $6s^2$	<b>59</b> <b>Pr</b> $4f^36s^2$	<b>60</b> <b>Nd</b> $4f^46s^2$	<b>61</b> <b>Pm</b> $4f^56s^2$	<b>62</b> <b>Sm</b> $4f^66s^2$	<b>63</b> <b>Eu</b> $4f^76s^2$	<b>64</b> <b>Gd</b> $4f^75d^1$ $6s^2$	<b>65</b> <b>Tb</b> $4f^96s^2$	<b>66</b> <b>Dy</b> $4f^{10}6s^2$	<b>67</b> <b>Ho</b> $4f^{11}6s^2$	<b>68</b> <b>Er</b> $4f^{12}6s^2$	<b>69</b> <b>Tm</b> $4f^{13}6s^2$	<b>70</b> <b>Yb</b> $4f^{14}6s^2$
악티늄족	<b>89</b> <b>Ac</b> $6d^17s^2$	<b>90</b> <b>Th</b> $6d^27s^2$	<b>91</b> <b>Pa</b> $5f^26d^1$ $7s^2$	<b>92</b> <b>U</b> $5f^36d^1$ $7s^2$	<b>93</b> <b>Np</b> $5f^46d^1$ $7s^2$	<b>94</b> <b>Pu</b> $5f^67s^2$	<b>95</b> <b>Am</b> $5f^77s^2$	<b>96</b> <b>Cm</b> $5f^76d^1$ $7s^2$	<b>97</b> <b>Bk</b> $5f^97s^2$	<b>98</b> <b>Cf</b> $5f^{10}7s^2$	<b>99</b> <b>Es</b> $5f^{11}7s^2$	<b>100</b> <b>Fm</b> $5f^{12}7s^2$	<b>101</b> <b>Md</b> $5f^{13}7s^2$	<b>102</b> <b>No</b> $5f^{14}7s^2$

금속
  준금속
  비금속

▲ 그림 6.31 원소의 원자가전자 배치.

## 변칙적인 전자 배치

그림 6.31을 자세히 살펴보면, 어떤 원소의 전자 배치는 방금 설명한 규칙에서 벗어나는 것을 볼 수 있다. 예를 들어, 원자 번호 24인 크로뮴의 전자 배치는 우리가 예상하는  $[\text{Ar}]4s^23d^4$ 가 아니고,  $[\text{Ar}]4s^13d^5$ 이다. 마찬가지로, 원자 번호 29인 구리의 전자 배치는  $[\text{Ar}]4s^23d^9$ 가 아니고,  $[\text{Ar}]4s^13d^{10}$ 이다.

이러한 예외적인 현상은  $3d$ 와  $4s$  오비탈 에너지 준위가 서로 가깝게 배열되기 때문에 나타난다. 크로뮴처럼 축퇴된 오비탈을 정확하게 반을 채울 정도로 충분한 전자를 가질 때나, 구리처럼  $d$  부껍질을 모두 채울 때 가끔 이러한 현상이 나타난다. 이와 같은 현상은 무거운 전이 금속이  $4d$  오비탈이나  $5d$  오비탈을 부분적으로 채울 때나,  $f$  구역의 금속 ( $f$ -block metals)에서도 가끔 발생한다. 예상에서 벗어나는 이러한 차이가 흥미는 있지만, 화학적으로 크게 중요하지는 않다.



원자 번호 5인 붕소는 두 가지 핵종으로 자연에 존재한다.  $^{10}\text{B}$ 과  $^{11}\text{B}$ 는 각기 존재비값이 19.9%와 80.1%이다. (a) 두 가지 핵종은 어떻게 다른가?  $^{10}\text{B}$ 과  $^{11}\text{B}$ 의 전자 배치는 어떻게 다른가? (b)  $^{11}\text{B}$  원자의 오비탈 전자 배치 도표를 그리시오. 어떤 것이 원자가전자인가? (c) 붕소의  $1s$ 와  $2s$  전자들이 다른 중요한 이유 세 가지를 지적하시오. (d) 붕소 원소는 플루오린과 반응하여  $\text{BF}_3$  기체를 만든다. 고체 붕소와 플루오린 반응의 표준 엔탈피 변화를 계산하시오. (e)  $\text{BF}_3(\text{g})$ 의  $\Delta H_f^\circ$ 은  $-1135.6 \text{ kJ/mol}$ 이다. 붕소와 플루오린의 반응에서 표준 엔탈피 변화를 계산하시오. (f) 실온에서 마찬가지로 기체인  $\text{BCl}_3$ 가 물과 접촉하면 염산과 붕산( $\text{H}_3\text{BO}_3$ )을 만든다. 붕산은 물에서 약산이다. 이 반응의 균형 맞춘 알짜 이온 반응식을 쓰시오.

**해답:** (a) 붕소의 두 가지 핵종은 그 핵종의 중성자수가 다르다 (2.3과 2.4절). 두 가지 핵종은 다섯 개의 양성자를 갖는다.  $^{10}\text{B}$ 은 다섯 개의 중성자,  $^{11}\text{B}$ 은 여섯 개의 중성자를 갖는다. 두 개의 붕소 동위원소는 동일한  $2s^2 2s^2 2p^5$  전자 배치를 갖는다. 왜냐하면 두 가지 동위원소는 다섯 개의 전자를 갖기 때문이다.

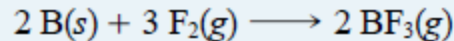
(b) 완성된 오비탈의 전자 배치는 다음과 같다.



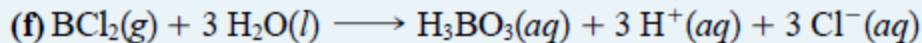
원자가전자는 최외각 껍질의  $2s^2$ 와  $2p^1$  전자이다.  $1s^2$  전자는  $[\text{He}]$ 라고 표현되는 핵심 전자로 축약형 전자 배치를 나타내면,  $[\text{He}]2s^2 2p^1$ 이라고도 쓴다.

(c)  $1s$ 와  $2s$  오비탈은 모두 구형이다. 그러나 중요한 세 가지 차이점이 있다. 첫째,  $1s$  오비탈은  $2s$ 보다 에너지가 더 낮다. 둘째, 핵으로부터  $2s$  두 전자의 평균 거리는  $1s$  전자보다 더 크므로  $1s$  오비탈은  $2s$ 보다 작다. 셋째,  $2s$  오비탈은 한 개의 마디를 갖고,  $1s$  오비탈은 마디가 없다(그림 6.18).

(d) 균형 맞춘 화학 반응식은 다음과 같다.



(e)  $\Delta H^\circ = 2(-1135.6) - [0 + 0] = -2271.2 \text{ kJ}$ 이고, 반응은 발열 반응이다.



$\text{H}_3\text{BO}_3$ 는 매우 약한 산이므로, 4.3절에서 설명한 대로, 화학식은 분자 형태임에 유의하라.