

# 4

## 주기율표에서 찾을 수 있는 원소의 주기성은 무엇일까?

→ 핵심 개념 유효 핵전하 · 원자 반지름 · 이온화 에너지의 주기성

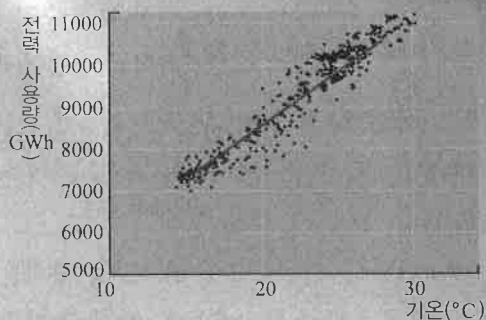
### 생각 열기

여름철에 기온이 올라가면 전력 사용량이 증가하면서 전력 수급에 비상이 걸린다. 해마다 평균 기온이 상승하고 여름이 길어지면서 전력 소비 또한 최고치를 경신하고 있다. 예비 전력이 500만 kW 미만으로 떨어지면 100만 kW 단위로 '준비 → 관심 → 주의 → 경계 → 심각' 단계로 전력 수급 비상경보가 발령된다.

안정적인 전력 공급을 위해서는 사전에 전력 수요를 정확하게 예측해야 한다. 전력 수요는 기상 상황과 밀접한 관계가 있으므로 기상청과 전력거래소는 기상 인자(기온, 습도, 풍속, 강수, 일조 등)와 전력 사용량의 관계를 상세하게 분석하여 전력 수요를 예측하고 있다.



▲ 전력 수급 비상 단계



— 출처: 기상청, 2014.

▲ 2010~2013년(평일 기준) 서울 지역의 기온에 따른 전력 사용량



그래프에서 기온과 전력 사용량에는 어떤 관계가 있는가? 주기율표에서 찾을 수 있는 원소의 주기성은 무엇이며, 각 성질은 서로 어떤 관계가 있을까?



### 학습 목표 세우기



위에 제시한 핵심 개념을 사용하여 학습 목표를 세워 보자.

- 원자의 전자 배치를 이해함으로써 주기율표에서 나타나는 유효 핵전하 · 원자 반지름 · 이온화 에너지의 \_\_\_\_\_ 을 설명할 수 있다.
- 2~3주기 원소들의 유효 핵전하, \_\_\_\_\_ 의 변화를 그래프에 표시함으로 써 그 관계를 이해할 수 있다.

## 유효 핵전하의 주기성

주기율표에서는 족과 주기에 따라 원소들의 성질이 규칙적이고 주기적으로 나타나므로, 이것을 이용하여 원소들의 성질을 예측할 수 있다. 주기율표에서 나타나는 원소들의 물리적·화학적 성질의 주기성은 원자 내의 전자 배치와 관련이 있는데, 각 원자의 전자 배치는 주기율표에서의 위치로 쉽게 알 수 있다. 표 4-1은 2~3주기 원자들의 가장 바깥 전자 껍질의 전자 배치를 나타낸 것이다.

표 4-1 2~3주기 원자들의 가장 바깥 전자 껍질의 전자 배치

주기	족	1	2	13	14	15	16	17	18
2		$2s^1$		$2s^2 2p^1$		$2s^2 2p^3$		$2s^2 2p^5$	
3			$3s^2$		$3s^2 3p^2$		$3s^2 3p^4$		$3s^2 3p^6$

← 기억하기  
알칼리 금속과 할로젠의 반응성을 확인하면 주기적 성질이 나타난다.  
통합과학 (1) 물질의 규칙성과 결합

빈칸을 채워 보자.

전자 배치에서 나타나는 족과 주기에 따른 주기성을 찾아 써 보자.



주기율표에서 찾을 수 있는 또 다른 주기성에는 무엇이 있을까? 같은 주기에서는 원자 번호가 커질수록 양성자수가 증가하는데, 양성자는 (+)전하를 띠기 때문에 원자핵이 갖는 전하인 핵전하도 양성자수에 비례하여 증가한다. 이때 원자에서 전자가 느끼는 핵의 (+)전하는 어떻게 변할까?

### 활동하기 | 추론

과학적 사고력

다음은 수소, 헬륨 원자의 전자 배치를 보어 모형으로 나타낸 것이다. 이와 같이 리튬 원자의 전자 배치를 보어 모형으로 나타내어 보자.



- 수소 원자에서 K 껍질의 전자가 느끼는 핵전하는 얼마일까?
- 헬륨 원자에서 K 껍질의 전자가 느끼는 핵전하는 원자핵의 전하인 +2일까? 아니면 그 까닭은 무엇일까?
- 리튬 원자에서 K 껍질의 전자와 L 껍질의 전자가 느끼는 핵전하는 어떤 차이가 있을까?

수소 원자는 전자가 1개밖에 없으므로 전자 사이의 반발력은 없고 원자핵과 전자 사이의 인력만 작용한다. 따라서 전자가 느끼는 핵전하는 원자핵의 전하인 +1이다.

전자는 실제로 특정 궤도를 원운동하고 있는 것이 아니라 어떤 공간에 분포하므로 정확한 위치를 알 수 없다.

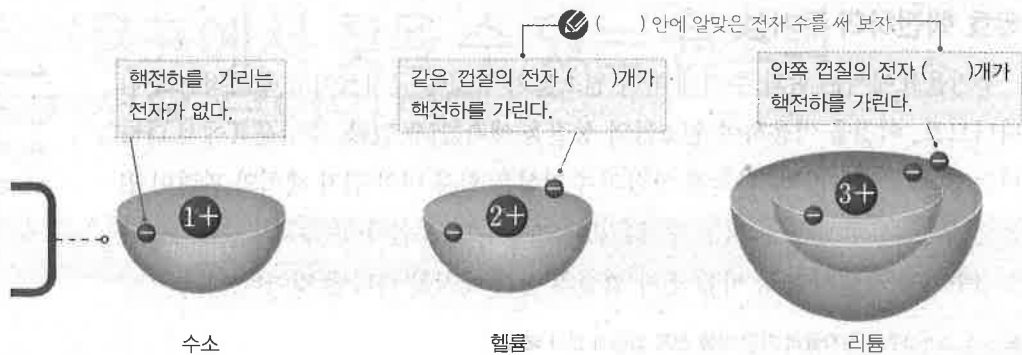


그림 4-1 수소, 헬륨, 리튬 원자의 원자가 전자의 유효 핵전하 비교

헬륨 원자와 같은 다전자 원자에서는 전자 사이의 반발력이 작용하여 핵과 전자 사이의 인력이 약해진다. 즉, 다른 전자들이 원자핵의 전하를 일부 가리므로 전자가 느끼는 핵전하는 양성자수에 따른 핵전하보다 작아진다. 이때 전자가 느끼는 핵전하를 **유효 핵전하**라고 한다.

핵전하를 가리는 효과는 같은 껍질에 있는 전자보다 안쪽 껍질에 있는 전자가 더 크다. 예를 들어, 리튬 원자는 헬륨보다 전자가 1개 많지만 그림 4-1에서 보는 것처럼 전자 껍질이 하나 더 늘어 안쪽 껍질의 전자들이 핵전하를 크게 가리므로, 원자가 전자가 느끼는 유효 핵전하는 헬륨보다 더 감소하게 된다.

그림 4-2는 원자 번호 1~18번 원소의 유효 핵전하를 나타낸 것이다.

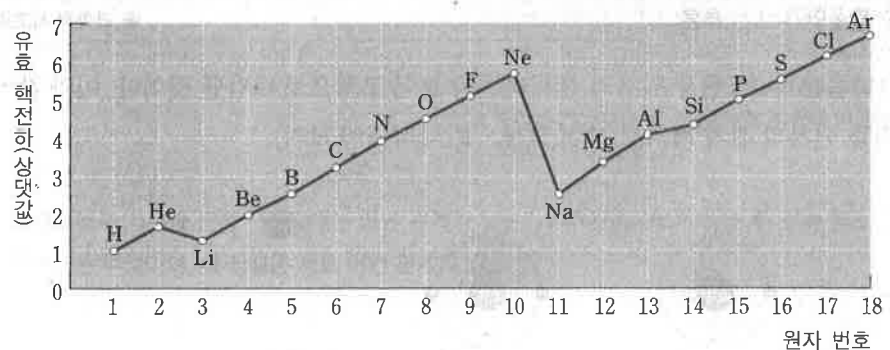


그림 4-2 원자 번호에 따른 원자가 전자의 유효 핵전하

## 2

유효 핵전하는 같은 주기에서는 원자 번호가 클수록 (크다, 작다).

같은 주기에서는 원자 번호가 증가할수록 양성자수가 증가하므로 유효 핵전하가 커져 핵과 전자 사이의 인력이 증가한다. 그러나 주기가 바뀔 때(예를 들면 2주기의 네온과 3주기의 나트륨)는 전자 껍질이 하나 더 늘어나기 때문에 유효 핵전하가 급격히 감소한다.



### 확인하기

다음 두 원소에서 원자가 전자가 느끼는 유효 핵전하의 크기를 비교해 보자.

(1) B, O

(2) Ne, Na

## 원자 반지름의 주기성

주기율표에서 나타나는 또 다른 주기성은 원자의 크기이다. 원자의 크기는 정확히 구할 수 있을까? 현대의 원자 모형에 따르면 전자가 발견될 확률이 구름처럼 퍼져 있으므로 원자의 경계를 정확하게 정할 수 없다. 따라서 일반적으로 **원자 반지름**은 같은 종류의 두 원자가 서로 결합할 때, 두 원자핵 간 거리의  $\frac{1}{2}$ 로 정의한다. 수소, 염소와 같은 비금속 원자의 경우 단일 결합하고 있는 이원자 분자의 원자핵 간 거리의  $\frac{1}{2}$ 로 정의하고, 알루미늄과 같은 금속 원자의 경우 금속 결정을 이루는 가장 가까운 원자핵 간 거리의  $\frac{1}{2}$ 로 정의한다.

### 미리보기

금속 결정은 금속 원자들이 규칙적으로 배열된 고체이다.

화학 II (1) 물질의 세 가지 상태와 용액

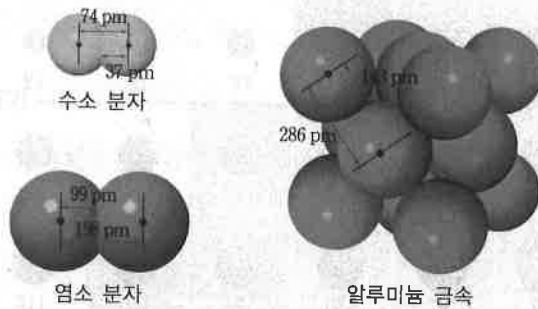


그림 4-3 원자 반지름

원자 반지름에 영향을 주는 요인은 무엇일까? 유효 핵전하와 마찬가지로 원자 반지름도 원자들의 전자 배치로 설명할 수 있다.

### 활동하기 | 추론

### 과학적 사고력

다음은 리튬 원자의 전자 배치를 보어 모형으로 나타낸 것이다. 리튬 원자와 같이 베릴륨, 나트륨 원자의 전자 배치를 보어 모형으로 나타내어 보자.



- 리튬 원자와 베릴륨 원자 중 원자 반지름이 더 큰 것은 무엇일까? 그 까닭을 유효 핵전하와 관련지어 설명해 보자.
- 리튬 원자와 나트륨 원자 중 원자 반지름이 더 큰 것은 무엇일까? 그 까닭을 전자 껍질의 수와 관련지어 설명해 보자.



원자 반지름에 영향을 주는 요인을 두 가지 쓰시오.

원자 반지름은 원자가 전자가 느끼는 유효 핵전하와 전자가 채워진 전자 껍질의 수에 영향을 받는다. 원자가 전자가 느끼는 유효 핵전하가 증가할수록 전자들이 핵 쪽으로 강하게 끌려당겨져 원자 반지름이 감소하며, 전자 껍질의 수가 많아질수록 핵과 원자가 전자 사이의 거리가 멀어져 원자 반지름이 증가한다.

주기율표에서 원자 번호가 증가할수록 원자 반지름은 어떻게 변화할까?

#### 활동하기 | 자료 해석

과학적 문제 해결력

다음은 몇 가지 원소들의 원자 반지름을 조사하여 나타낸 것이다.

18족 원소(비활성 기체)는 결합을 잘 형성하지 않으므로 다른 방법으로 원자 반지름을 정하여 사용한다. 따라서 1~17족 원소들과 원자 반지름의 기준이 달라 나타내지 않았다.

족 주기	1	2	13	14	15	16	17
2	Li 152	Be 112	B 83	C 77	N 75	O 73	F 72
3	Na 186	Mg 160	Al 143	Si 117	P 110	S 104	Cl 99
4	K 227	Ca 197	Ga 135	Ge 122	As 120	Se 116	Br 114
5	Rb 248	Sr 215	In 167	Sn 140	Sb 140	Te 143	I 133

(단위: 피코미터(pm),  $1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$ )

- 같은 주기 원소들의 원자 반지름은 원자 번호가 증가할수록 어떤 주기성을 보이는가? 그 까닭은 무엇인가?
- 같은 족 원소들의 원자 반지름은 원자 번호가 증가할수록 어떤 주기성을 보이는가? 그 까닭은 무엇인가?



원자 반지름은 같은 주기에서는 원자 번호가 클수록 (커지고, 작아지고), 같은 족에서는 원자 번호가 클수록 (커진다, 작아진다).

같은 주기에서는 원자 번호가 증가할수록 유효 핵전하가 증가하기 때문에 원자 반지름이 작아진다. 같은 족에서는 원자 번호가 증가할수록 전자 껍질의 수가 증가하여 원자 반지름이 커진다.

그러면 원자가 전자를 잃거나 얻어서 만들어지는 이온 반지름은 어떻게 될까?

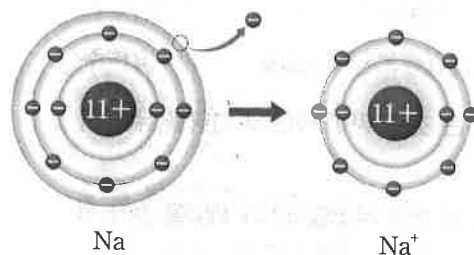


그림 4-4 나트륨과 나트륨 이온의 전자 배치

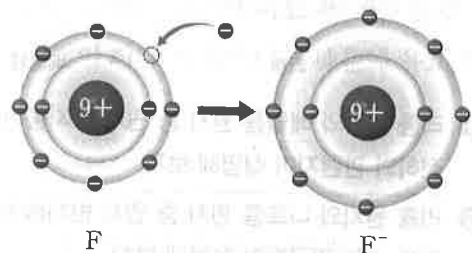


그림 4-5 플루오린과 플루오린화 이온의 전자 배치

나트륨과 같이 중성인 금속 원자가 전자를 잃고 양이온이 되면, 전자 껍질의 수가 감소함에 따라 유효 핵전하가 증가한다. 따라서 원자핵이 전자를 더 강하게 끌어당기므로 양이온은 원자보다 크기가 작아진다.

플루오린과 같이 중성인 비금속 원자가 전자를 얻어 음이온이 되면, 전자 수가 증가함에 따라 전자 사이의 반발력이 증가한다. 따라서 유효 핵전하가 감소하여 원자핵이 전자를 더 약하게 끌어당기므로 음이온은 원자보다 크기가 커진다.

### 확인하기

다음 두 원소의 원자 반지름의 크기를 비교해 보자.

- (1) C, F                      (2) O, S                      (3) Cl, K

### 생각 넓히기

바닥상태 전자 배치가 같은  $O^{2-}$ ,  $F^{-}$ ,  $Na^{+}$ ,  $Mg^{2+}$ 의 이온 반지름의 크기를 비교하고, 그 까닭을 친구들과 토의해 보자.

그림 4-4를 참고하여 빈칸을 채워 보자.

	Na	Na <sup>+</sup>
개수	양성자	
	전자	
	전자 껍질	

	F	F <sup>-</sup>
개수	양성자	
	전자	
	전자 껍질	

그림 4-5를 참고하여 빈칸을 채워 보자.

## 이온화 에너지의 주기성

금속 원자들은 반응하면 원자가 전자를 잃고 양이온이 되는데, 원자가 전자를 쉽게 내줄수록 반응성이 크다. 이때 원자에서 전자를 떼어 내기 위해서는 원자핵과 전자 사이의 인력을 끊을 만큼의 에너지를 외부에서 가해 주어야 한다. 이처럼 기체 상태의 원자 1몰에서 전자 1몰을 떼어 내는 데 필요한 최소 에너지를 **이온화 에너지**라고 한다.

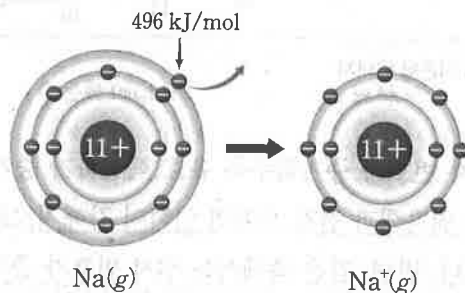
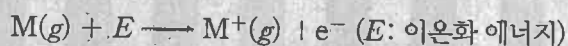


그림 4-6 나트륨 원자의 이온화 에너지 기체 상태의 나트륨 원자 1몰에서 전자 1몰을 떼어 내는 데 필요한 에너지는 496 kJ이다.