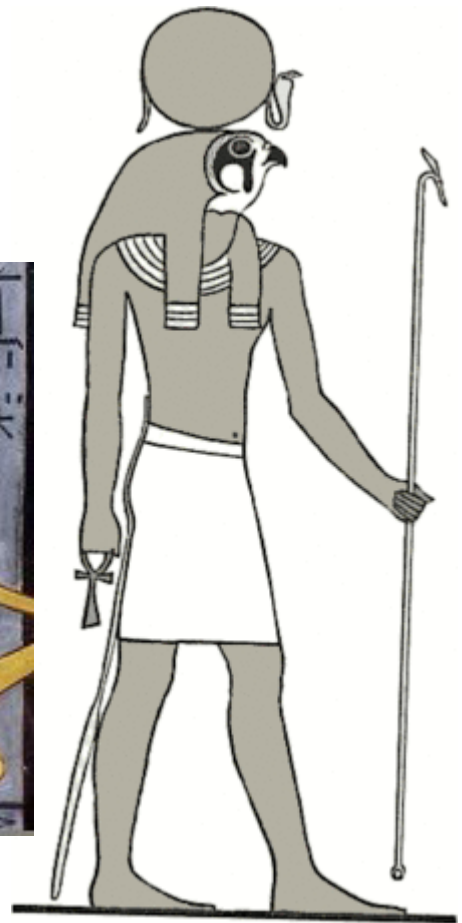




1. 태양과 태양에서의 수소핵융합반응

피라미드, 미이라, 신전, 수많은 신들을 이야기하면 떠오르는 나라가 있을 것이다. 그리고 여러분은 위 그림이 어느 나라의 것이고, 무엇을 나타내고 있는지 아마도 쉽게 알 것이다. 바로 이집트이고, 위 그림은 태양신 <라(Ra)>를 나타내는 것이다.

고대 이집트 사회는 다신교의 사회였다. 고대 이집트인들은 세상만물, 우주 전체를 신(神, god)들이 지배한다고 생각했다.

이집트 신화를 보면, 세상은 창조 전부터 존재했던 신인 <눈(Nun)>으로부터 시작되었다. <눈>은 카오스(chaos) 그 자체였다. <눈>으로부터 태양신(太陽神) <라(Ra)>가 탄생했다. 그리고 <케푸리(Khepri)>라는 신이 태양의 움직임을 관장하였다.

땅은 <게브(Geb)>라는 신이, 하늘은 <누트(Nut)>라는 여신이 지배했다. 하늘과 땅 사이에는 공기를 지배하는 신 <슈(Shou)>와 물을 지배하는 여신 <테프누트(Tefnut)>가 있었다.

사람들이 사는 세계 또한 역시 신들의 장소였다. <파타(Ptah)>라는 신은 기술자와 예술가에게 새로운 지식을 전달해 주었고, <세샤트(Seshat)>라는 신은 인간들에게 상형문자와 측정도구를 가져다 주었다. 정의를 수호하는 신인 <토티(Thoth)>가 있는 반면

세상에 혼돈, 무질서를 가져온 신 <세트(Seth)>도 있었다.

사후세계도 당연히 신의 지배를 받는 곳이었다.

사후세계를 지배하는 신 중의 신은 <오시리스(Osiris)>이다. 사람이 죽게 되면 죽음을 인도하는 신인 <아누비스(Anubis)>에 의해 <오시리스>에게로 인도되었다.

그렇다면 고대 이집트 사회에서 가장 강력한 신은 어떤 신이었을까?
고대 이집트에서 가장 강력한 태양신은 바로 <라(Ra)>이다.

왼쪽 그림을 보면, <라>신은 몸은 인간이지만 머리는 매(hawk)의 모습을 하고 있다. 그리고 머리 위에 붉고 둥근 공 같은 것을 이고 있는데, 바로 태양이다. 그림에서 <라>신은 머리 위에 태양을 이고 배를 타고 어디론가 가고 있다. 어디를 가고 있을까?

고대 이집트인들은 하늘 위에서 태양이 움직이는 것은 <라>신이 배를 타고 이동하기 때문이라고 생각했다. 하늘을 지배하는 여신인 <누트>가 <라>신을 삼키면 밤이 되고, 다시 뱉어내면 아침이 된다고 생각했다. 즉, 하루를 시작하고 하루를 끝내는 신이 <라>신인 것이다. 더 나아가서 공포스러운 어둠의 세계를 구원하고 영원한 생명을 주는 신이 <라>신이기 때문에, 고대 이집트에서는 태양신 <라>를 최고의 신으로 받들었던 것이다.

우리가 <이집트>하면 떠오르는 것이 위의 복잡한 신들 이름만은 아니다. 막막한 사막에 우뚝 서 있는 피라미드가 먼저 떠오른다. 피라미드 속에 담겨진 정교한 과학, 수학적 지식은 더 이상 말하지 않아도 잘 알 것이다.^①

사막 위에 세워진 피라미드를 통해서 볼 때 고대 이집트인들은 결코 원시적인 사람들이 아니다. 오히려 열악한 도구로 수 톤이나 나가는 돌을 자르고 운반하여 거대한 피라미드를 건설하였다는 점에 있어서는 고대 이집트인들은 최첨단인(最尖端人)이다.

다른 고대 문명과 마찬가지로, 고대 이집트인의 신관(神觀)에서 태양신 <라>가 신 중의 신으로 인정받고 있다는 것은 그들도 태양의 존재가 지구와 인간의 생존에 있어서 가장 중요한 것으로 생각하고 있었음을 알려준다. 태양이 없다면, 고대 이집트인도 없고, 현재의 우리도 없을 것이다.

앞 단원에서는 우주가 어떻게 탄생하였고 어떤 과정을 통해서 진화되는지를 알아보았다. 그리고 사람들이 살고있는 지구와 태양계, 은하계, 우주를 구성하는 물질이 어떻게 만들어졌는지에 대해서도 알아보았다.

지금부터 우리가 공부하려는 것은 태양(太陽, sun)과 태양계(太陽系, solar system), 즉, 지구를 포함하여 태양계를 구성하고 있는 행성(行星, planet)에 관한 것이다.

태양은 태양계의 중심으로 <태양계의 어머니>라고 불린다. 태양은 태양계 안의 유일한 항성(恒星, fixed star)으로 태양계 내에서 스스로 빛을 내는 유일한 천체이다. 태양은 수소핵융합반응을 통해서 지구에서 생명체가 생명을 유지하는데 필요로 하는 에너지를 공급해준다.



① 모래 위에 세운 집은 무너진다?

<바위 위에 세워진 집이 더 안전한 것 아닐까?> 아니다. 피라미드는 모래 위에 세워졌기 때문에 수천 년이 흐른 지금도 무너지지 않고 서 있는 것이다.

피라미드의 무거운 무게는 한 알 한 알의 모래로 분산된다. 그래서 모래 위에 세워진 피라미드는 그동안 일어난 수많은 지진에도 무너지지 않았던 것이다.

피라미드가 바위 위에 세워졌다면 지금 우리는 무너진 피라미드의 잔해를 보고 있을 것이다.

☞ 용어 돋보기

* 항성(恒星, fixed stars)

항성(恒星, fixed stars)에서 항(恒, fixed)은 고정되어 있는 또는 변하지 않는다는 뜻이다. 따라서 항성은 천구 위에서 거의 위치가 변하지 않는 별을 말하는 것이다.

우리가 속한 은하에는 약 1000억 개 정도의 항성이 있을 것이라고 추정되고 있다. 항성에서는 우주물질의 약 75%를 차지하는 수소를 재료로 하는 핵융합반응이 일어나게 되는데, 그 결과 스스로 밝은 빛을 발생한다.



태양계 안에는 지구를 포함한 8개의 행성이 태양을 중심으로 공전하고 있다. 태양계의 행성들은 태양으로부터 떨어진 거리에 따라서 각각의 고유한 특성을 나타낸다. 대기의 상태가 다르고, 행성을 구성하고 있는 물질들도 다르다.

먼저 태양에 대하여 알아보도록 하자.

1 태양의 물리량

☞ 태양의 크기

지구에서 태양까지의 거리는 약 1억 5천 만km이다. 이 거리를 1AU(1천문단위)라고 한다. 태양의 평균반지름은 지구의 평균반지름의 약 109배로 태양계에서 가장 큰 행성인 목성의 약 10배 정도에 해당된다.

☞ 태양의 부피, 질량, 밀도

태양의 부피는 지구의 부피의 130만 배나 된다. 또한 질량은 지구 질량의 333,000배, 목성 질량($1.90 \times 10^{27} \text{kg}$)의 약 1,047배 정도에 해당한다. 태양은 태양계의 전체 질량의 99.86%를 차지한다. 태양의 평균 밀도는 지구의 평균밀도에 비하여 약 0.24배 밖에 안 된다. 이를 통해서 볼 때 태양은 가벼운 물질로 구성되어 있음을 알 수 있다.



태양계

☞ 태양의 표면중력

태양 표면에서의 중력은 지구의 표면중력에 비해 약 27.96배나 크다. 이것을 쉽게 말한다면, 몸무게가 60kgf인 사람이 태양에 가면 1,578kgf가 된다는 말이다.

태양과 지구의 물리량의 비교

	태양	지구	태양 : 지구
평균반지름	$6.96 \times 10^5 \text{km}$	$6.37 \times 10^3 \text{km}$	109 : 1
부피	$1.41 \times 10^{27} \text{m}^3$	$1.08 \times 10^{21} \text{m}^3$	130만 : 1
질량	$1.99 \times 10^{30} \text{kg}$	$5.97 \times 10^{24} \text{kg}$	33만 : 1
평균밀도	1.4g/cm^3	5.8g/cm^3	0.24 : 1
표면중력	$2.74 \times 10^2 \text{m/sec}^2$	9.8m/sec^2	27.96 : 1

용어 돋보기

* 천문단위(天文單位)

천문단위(天文單位, astronomical unit, AU)란 천문학에서 사용하는 거리의 단위의 하나이다. 천문단위는 <AU>로 나타내며 1AU는 지구에서 태양까지의 거리가 된다.

1천문단위

$1\text{AU} \approx 1.496 \times 10^8 \text{km}$

다음은 태양계 안의 행성들이 태양으로부터 떨어진 거리를 천문단위로 나타낸 것이다.

태양으로부터 행성까지의 거리

수성	0.4AU
금성	0.7AU
지구	1.0AU
화성	1.6AU
목성	5.2AU
토성	10.0AU
천왕성	19.6AU
해왕성	38.8AU

2 태양의 핵융합반응

☞ 태양의 핵

태양은 고온의 가스(주로 수소와 헬륨)로 이루어진 공 모양이다.² 안으로 들어갈수록 중력수축현상 때문에 온도·압력·밀도가 증가하게 된다.

그 결과 태양의 중심부에 이르게 되면 온도는 약 1,500만 K, 압력은 약 2,500억

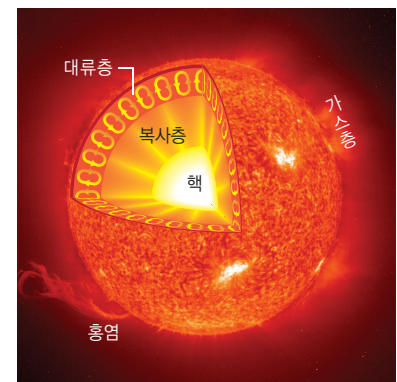


그림1 태양의 내부구조

기압에 이른다.^③ 이렇게 고온·고압이 되면 중심부에서는 수소핵융합반응이 일어난다.

수소핵융합반응이 일어나는 태양의 중심부를 <태양핵>이라고 부른다. 태양핵은 태양반지름의 0.2배, 태양 질량의 약 10% 정도를 차지하고, 핵융합반응에 의해 태양에너지가 발생하는 곳이다. 그림1은 태양의 내부구조를 나타낸 것이다.

☛ 태양의 수소핵융합반응

(1) 태양의 핵에서 발생하는 수소핵융합반응

태양핵에서 일어나는 수소핵융합반응은 122쪽~123쪽에서 이미 다루었다. 여기서 다시 한번 살펴보면 다음과 같다.

태양핵에서 일어나는 핵융합반응은 4개의 수소원자핵(${}^1_1\text{H}^+$)으로부터 1개의 4-헬륨원자핵(${}^4_2\text{He}^{2+}$)이 만들어지는 과정이다.^④

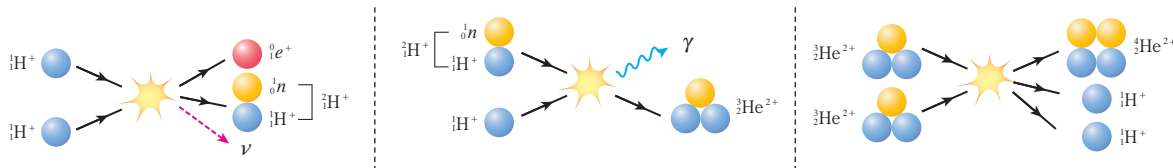
이 과정은 3단계에 걸쳐 일어나게 된다.

- **1단계** : 2개의 수소원자핵(${}^1_1\text{H}^+$)이 결합하여 1개의 중수소원자핵(${}^2_1\text{H}^+$)을 만드는 과정이다. 이 과정은 독립적으로 2회 발생하며, 각각의 과정에서 양전자(${}^0_1e^+$) 1개와 중성미자(ν) 1개가 함께 발생한다.
- **2단계** : 1개의 중수소원자핵(${}^2_1\text{H}^+$)에 1개의 양성자(${}^1_1\text{H}^+$)가 결합하여 3-헬륨원자핵(${}^3_2\text{He}^{2+}$)을 만드는 과정이다. 이 과정도 독립적으로 2회 발생하며, 각각의 과정에서 감마선광자(γ)가 함께 발생한다.
- **3단계** : 2개의 3-헬륨원자핵(${}^3_2\text{He}^{2+}$)이 결합하여 4-헬륨원자핵(${}^4_2\text{He}^{2+}$)을 만드는 과정이다. 이 과정에서 양성자(${}^1_1\text{H}^+$) 2개가 발생한다.

이러한 반응을 <양성자-양성자반응> 또는 <p-p반응(陽性子-陽性子反應, proton-proton reaction)>이라고 한다.

아래 표는 태양의 핵에서 발생하는 양성자-양성자반응을 단계별로 나타낸 것이다.

양성자-양성자반응



1단계	중수소의 생성과정	${}^1_1\text{H}^+ + {}^1_1\text{H}^+ \rightarrow {}^2_1\text{H}^+ + {}^0_1e^+ + \nu \dots\dots ①$
		${}^1_1\text{H}^+ + {}^1_1\text{H}^+ \rightarrow {}^2_1\text{H}^+ + {}^0_1e^+ + \nu \dots\dots ②$
2단계	3-헬륨핵의 생성과정	${}^2_1\text{H}^+ + {}^1_1\text{H}^+ \rightarrow {}^3_2\text{He}^{2+} + \gamma \dots\dots\dots ③$
		${}^2_1\text{H}^+ + {}^1_1\text{H}^+ \rightarrow {}^3_2\text{He}^{2+} + \gamma \dots\dots\dots ④$
3단계	4-헬륨핵의 생성과정	${}^3_2\text{He}^{2+} + {}^3_2\text{He}^{2+} \rightarrow {}^4_2\text{He}^{2+} + 2{}^1_1\text{H}^+ \dots\dots ⑤$

1. 태양과 태양에너지의 수소융합반응



② 태양을 구성하는 원소

태양을 구성하는 원소 중 가장 많은 비율을 차지하는 것은 수소(71%)와 헬륨(28%)이다.

태양의 흡수선스펙트럼을 통해 알아낸 결과, 태양에는 수소와 헬륨 이외에도 약 70여 개의 원소들이 있음이 밝혀졌다.

③ 태양의 온도

태양은 뜨겁고 거대한 가스덩어리로서 중심부의 온도는 1,500만 K로 높지만 표면의 온도는 약 5,800K 정도이다.

중심부와 표면의 온도가 이렇게 다른 이유는 중심핵에서 수소에너지가 헬륨으로 변하며 밖으로 빠져나올 때 식어버리기 때문이다.

태양의 중심부는 고온과 고압이므로 태양에는 고체나 액체는 존재할 수 없고 제4의 상태인 플라스마상태로 존재한다.

④ 핵융합반응하는 수소의 양

태양을 구성하는 원소 중에서 71%를 차지하는 수소가 모두 헬륨으로 변하는 것은 아니다.

태양계를 구성하는 수소 중에서 약 15%만 이 수소핵융합반응을 통해서 헬륨으로 변한다.



⑤ 전체 질량에서 에너지전환 비율

본문에서 구한 수소원자핵반응에서 질량결손의 값을 이용하면 수소핵융합반응에 참여하는 수소원자핵의 질량 중에서 약 0.71%만이 에너지로 전환됨을 알 수 있다.

전체 질량에서 에너지로 전환되는 비율

$$\frac{0.0478 \times 10^{-27} \text{ kg}}{6.6944 \times 10^{-27} \text{ kg}} \times 100\% \approx 0.714\%$$

⑥ 1초당 발생한 에너지의 양

발전기 A, B가 있다고 하자. A는 1초에 10J, 2초에 10J만큼 전기에너지를 생산한다. A가 B보다 성능이 2배나 좋다. 발전기의 성능을 나타내려고 하면 일정한 시간 동안 생산한 전기에너지값으로 나타내면 편리하다. 이에 따라서 새로운 단위가 생겨났다. <W(watt, 와트)>라는 단위이다. <W>는 1초 동안 발생(소비)한 전기에너지를 뜻한다. 이를 전력(電力, electric power, P)이라고 부른다.

위에서 예로 들은 발전기 따라서 A, B의 전력을 계산하면 다음과 같다.

A, B의 전력의 계산

전력식	전력 = $\frac{\text{에너지량}}{\text{단위시간}}$	$P = \frac{E}{t}$
A의 전력	$P_A = \frac{10\text{J}}{1\text{sec}} = 10\text{W}$	
B의 전력	$P_B = \frac{10\text{J}}{2\text{sec}} = 5\text{W}$	

한편 태양표면에서 발생하는 1초당 에너지를 전력으로 나타내면 다음과 같다.

$$P = \frac{4 \times 10^{26} \text{ J}}{1\text{sec}} = 4 \times 10^{26} \text{ W}$$

용어 돋보기

* 전자볼트(electron volt)

전자볼트(electron volt)는 에너지 단위의 하나로 <eV>로 나타낸다. 전자볼트는 소립자나 원자, 분자와 같이 매우 작은 입자가 갖는 에너지를 나타낼 때 사용된다. 1eV는 전자 1개가 1V의 전위차(전압)를 받았을 때 나타나는 에너지값이다. 1eV를 J단위로 나타내면 다음과 같다.

1eV와 J의 관계

$$1\text{eV} = 1.60217733 \times 10^{-19} \text{ J}$$

(2) 수소핵반응에서 질량결손

태양핵에서 발생하는 수소핵융합반응의 전후를 비교해보면 처음보다 질량이 작아지는 현상인 질량결손이 발생하게 되는 것을 알 수 있다.

수소원자핵 4개가 핵융합되어 1개의 4-헬륨원자핵을 형성할 때의 질량결손을 나타내면 다음과 같다.

수소핵융합반응에서 질량결손	
수소원자핵 4개의 질량	$1.6736 \times 10^{-27} \text{ kg} \times 4 = 6.6944 \times 10^{-27} \text{ kg}$
4-헬륨원자핵 1개의 질량	$6.6466 \times 10^{-27} \text{ kg}$
수소핵융합반응에서의 질량결손	$\begin{array}{r} 6.6944 \times 10^{-27} \text{ kg} \\ - 6.6466 \times 10^{-27} \text{ kg} \\ \hline 0.0478 \times 10^{-27} \text{ kg} \end{array} \dots\dots \textcircled{5}$

(3) 수소핵반응에서 질량결손에 따른 에너지의 발생

아인슈타인의 질량-에너지 등가원리($E = mc^2$)에 따르면, 에너지와 질량은 상호변환될 수 있다. 따라서 ⑥식에서 구한 감소된 질량이 발생하는 에너지는 다음과 같이 계산할 수 있다. 단, 빛의 속도 $c = 3 \times 10^8 \text{ m/sec}$ 으로 한다.

수소핵융합반응에서 질량결손에 따른 에너지의 발생

$$E = mc^2 = (0.0478 \times 10^{-27} \text{ kg}) \times \left(3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{sec}}\right)^2 = 4.302 \times 10^{-10} \text{ J}$$

만약 사용된 수소원자핵이 1kg이라면 이때 수소핵융합반응에 의해 태양핵이 발생할 수 있는 에너지는 다음과 같다.

수소원자핵 1kg이 발생하는 에너지	
수소원자핵 1kg에서의 질량결손	$1\text{kg} : 6.6944 \times 10^{-27} \text{ kg} = x\text{kg} : 0.0478 \times 10^{-27} \text{ kg}$ $x = \frac{0.0478 \times 10^{-27}}{6.6944 \times 10^{-27}} \approx 0.0071\text{kg} \approx 7.1 \times 10^{-3} \text{ kg}$
발생하는 에너지	$\begin{array}{l} E = mc^2 = (7.1 \times 10^{-3} \text{ kg}) \times \left(3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{sec}}\right)^2 \\ \approx 6.4 \times 10^{14} \text{ J} \approx 4.0 \times 10^{31} \text{ eV} \end{array}$

이렇게 발생한 태양에너지가 태양의 열에너지와 빛에너지인 것이다.

☞ 태양이 발생하는 에너지의 양

태양표면에서 발생한 에너지는 1초당 약 $4 \times 10^{26} \text{ J}$ ($4 \times 10^{26} \text{ W}$) 정도가 된다. ⑥ 태양이 이만큼의 에너지를 발생하려면 태양핵에서 1초 당 약 6억 톤 ($6.19 \times 10^{11} \text{ kg}$) 정도의 수소원자핵이 4-헬륨원자핵으로 변환되어야 한다.

수소핵융합반응에 참여하는 수소원자핵 중에서 약 0.71%(1초당 428만 톤)의 질량만이 에너지로 전환된다.



TIPS



태양의 나이와 태양의 미래 >>>

태양은 약 46억 년 정도된 것으로 추정되고 있다. 우주전체의 나이를 137억 년이라고 할 때 태양은 이제 갓 태어난 셈이다.

현재 태양의 질량을 통해서 볼 때 천문학자들은 태양의 남은 수명은 약 100억 년쯤이라고 본다. 100억 년의 과정에서 태양은 적색거성으로 변한 후 다시 백색왜성으로 진화하여 죽게 될 것이라고 한다.

일반적으로 적색거성이 되는 별은 그 중심부에서 수소핵융합반응에 의하여 헬륨을 만들고, 이 헬륨이 별의 중심부에 쌓여서 별의 팽창을 부채질하게 된다.

태양도 지금으로부터 약 40~50억 년 뒤에 이러한 과정을 겪을 것으로 예상하고 있다. 이러한 과정을 통해서 태양의 크기는 현재의 약 50배까지 팽창하여 현재의 금성궤도에까지 이르게 된다. 적색거성단계를 거친 태양은 그로부터 약 60억 년 뒤에는 원래의 크기의 100분의 1로 줄어드는 과정인 백색왜성으로 변하게 된다.

태양이 백색왜성이 되면 죽음을 맞게 된다.

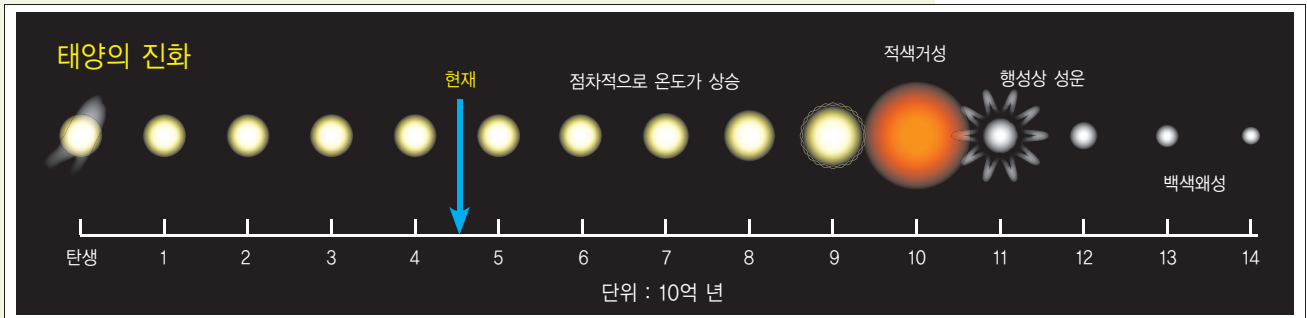


그림2 태양의 진화

실전예제 01

다음은 태양에 관한 설명이다. 옳지 못한 것을 고르시오.

- ① 태양의 질량은 태양계를 구성하는 모든 천체의 질량을 더한 값과 같다.
- ② 태양은 주로 수소와 헬륨과 같은 가벼운 기체로 이루어져 있어서 밀도가 매우 작다.
- ③ 태양의 중력은 지구의 중력의 약 27.96배나 된다.
- ④ 태양핵에서 일어나는 수소핵융합반응의 결과 질량결손이 발생한다. 이때 감소된 질량만큼 빛에너지와 열에너지가 발생한다.
- ⑤ 태양의 남은 수명은 약 100억 년 정도로 태양은 적색거성으로 변한 후 다시 백색왜성으로 진화하여 죽게 될 것이라고 한다.

풀이

태양의 질량은 $1.99 \times 10^{30} \text{kg}$ 으로 태양계의 전체 질량의 99.86%를 차지한다. 이것은 태양계의 행성 중에서 가장 큰 질량을 가지고 있는 목성에 비해 약 1,047배 정도에 더 무거운 것이다.

1. 태양과 태양에너지의 수소융합반응



정답

①



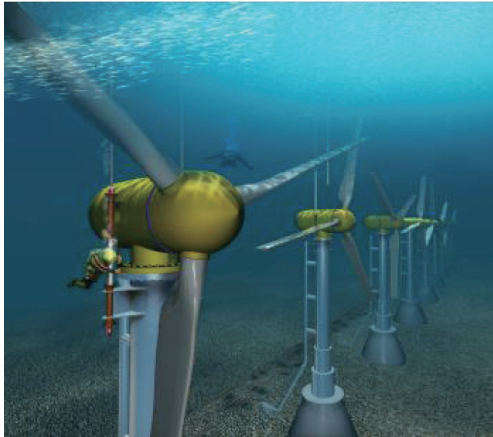
3 지구의 에너지순환

지구의 에너지의 근원

지구 에너지의 근원은 3가지가 있다.

- 태양복사에너지(solar-radiation energy)
- 지구내부에너지(earth-internal energy)
- 달과 태양의 인력에 의한 조력에너지(tidal energy)

조력에너지의 이용



(1) 태양복사에너지

태양으로부터 발생하는 태양복사에너지는 대기권, 수권, 암석권, 생물권에 흡수되어 다양한 형태의 에너지로 전환된다.

작게 보면 물의 상태변화를 일으켜서 날씨의 변화를 일으킨다.

그러나 크게 보면 지구 대기와 해류의 대순환의 원동력을 제공함으로써 지구의 평균기온이 일정하도록 도와준다.

(2) 지구내부에너지

지구내부에너지란 지구의 핵이나 지구 내부 물질의 중력수축에 따라 발생하는 열 에너지를 말하는 것이다. 지구내부에너지는 화산, 지진과 같은 지각변동을 일으킨다.

(3) 조력에너지

조력(潮力, tide)이란 밀물과 썰물을 일으키는 힘을 말한다. 밀물과 썰물은 달과 태양의 인력에 의해 발생한다. 조력에너지란 달과 태양의 인력에 의해 발생하는 에너지를 말한다.

위에서 언급된 3가지의 지구 에너지의 근원 중에서 지구 환경에 가장 많이 영향을 주는 것은 태양복사에너지이다.

지구에 도달하는 태양에너지의 양

(1) 지구에 도달하는 태양복사에너지의 총량

태양에서 발생한 복사에너지는 빛과 열의 형태로 드넓은 우주공간으로 퍼져나간다. 태양복사에너지 중에서 빛에너지는 빛의 속도로 진행하여 8분 20초 만에 지구에 도달한다. 열에너지는 450km/sec의 속도로 진행하여 약 92.6일 후에 지구에 도달한다.

이렇게 빛과 열의 형태로 지구에 도달한 태양복사에너지는 태양에서 발생한 총복사에너지 중에서 약 22억 분의 1에 해당하는 양이다.

이것은 1초당 약 $1.82 \times 10^{17} \text{J}$ ($1.82 \times 10^{17} \text{W}$)에 해당되는 값이다.^①

용어 돋보기

* 해류(海流, oceanic current)

해류(海流, oceanic current)란 해파(海波, sea water wave)처럼 해수의 소규모 흐름이 아니라 지구 전체에 나타나는 대규모의 흐름이다.

한편 밀물과 썰물과 같은 해수의 흐름을 조류(潮流, tidal current)라고 한다. 해수가 흘러가는 방향이 하루에도 몇 번씩 바뀌는 조류와는 달리, 해류는 일 년 동안 거의 바뀌지 않는다.

* 복사에너지(radiant energy)

열을 전달하는 방법은 크게 전도(傳導, conduction), 대류(對流, convection), 복사(輻射, radiation)로 구분된다. 이 중에서 복사는 열이 열을 전달하는 매개체가 없이 전자기파의 형태로 전달되는 방식이다.

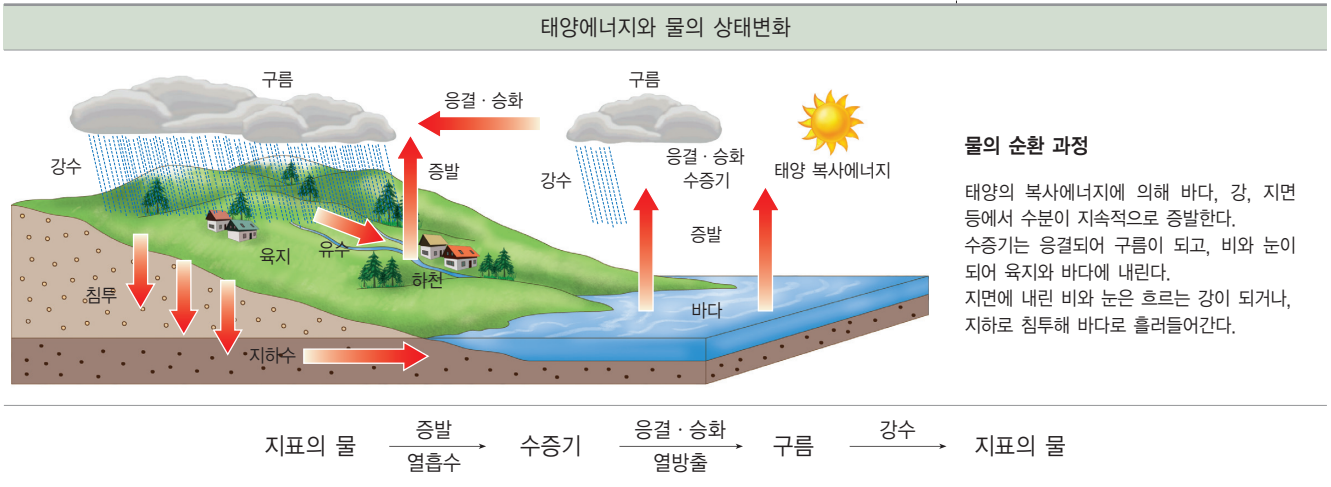
복사에너지(radiant energy)란 복사를 통해서 전달되는 에너지를 뜻한다.

☉ 태양복사에너지와 지구의 에너지순환

(1) 태양복사에너지에 의한 날씨의 변화

태양복사에너지는 물의 상태를 변화시킨다. 그리고 물을 통해서 열이 지표, 지하, 공기 사이를 순환토록 만든다. 그 결과 지구의 날씨변화가 발생한다.

아래 그림은 물의 순환과정을 통하여 태양복사에너지가 어떻게 작용하는지를 나타낸 것이다.



⑦ 지구에 도달하는 태양복사에너지량

지구에 도달하는 태양복사에너지량 $1.82 \times 10^{17} \text{ W}$ 은 어느 정도의 양일까? 부산에 고리원자력발전소가 있다. 여기에는 총 4기의 원자력발전시설이 있다. 여기서 생산되는 전력은 총 $3 \times 10^{10} \text{ W}$ 가 된다. 지구에 도달하는 태양복사에너지량 $1.82 \times 10^{17} \text{ W}$ 는 고리원자력발전소를 약 70일 동안 쉬지않고 가동시킬 때 얻어질 수 있는 엄청난 양이다.

물의 순환 과정

태양의 복사에너지에 의해 바다, 강, 지면 등에서 수분이 지속적으로 증발한다. 수증기는 응결되어 구름이 되고, 비와 눈이 되어 육지와 바다에 내린다. 지면에 내린 비와 눈은 흐르는 강이 되거나, 지하로 침투해 바다로 흘러들어간다.

(2) 대기와 해류의 대순환

① 위도에 따른 지구복사에너지와 태양복사에너지

모든 물질은 자기 온도에 해당하는 복사에너지를 방출한다.

태양같은 고온의 물체는 주로 가시광선형태로 복사에너지를 방출한다. 지구같은 저온의 물체는 적외선의 형태로 복사에너지를 방출한다.

지구가 외부로 방출하는 복사에너지를 <지구복사에너지 (earth radiation energy)>라고 부른다.

한편 지구는 구형(球形)이므로 그림3에 나타난 것처럼, 적도지방이 받는 태양복사에너지의 양이 극지방에서 받는 태양복사에너지양보다 많다.

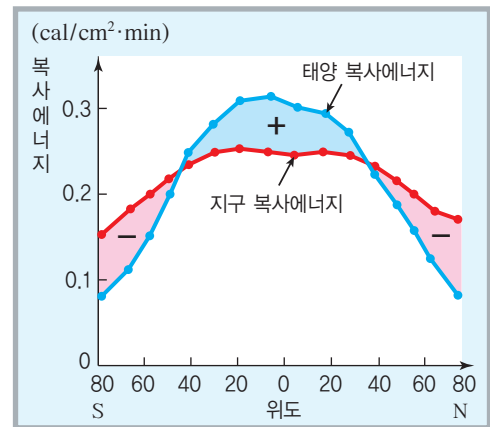


그림3 위도에 따른 태양과 지구의 복사에너지

따라서 그림3에 나타난 것처럼 저위도지방은 태양복사에너지가 지구복사에너지보다 많아서 에너지과잉상태이다. 이에 대하여 고위도지방은 태양복사에너지가 지구복사에너지보다 적어서 에너지부족상태이다.

② 대기와 해류의 대순환

〈대기의 대순환〉이란 그림5처럼 지구 전체에 걸쳐서 발생하는 지구 대기의 흐름을 말하는 것이다. 마찬가지로 그림4에 나타난 〈해류의 대순환〉도 지구 전체에 걸쳐서 발생하는 해수의 흐름을 말한다.

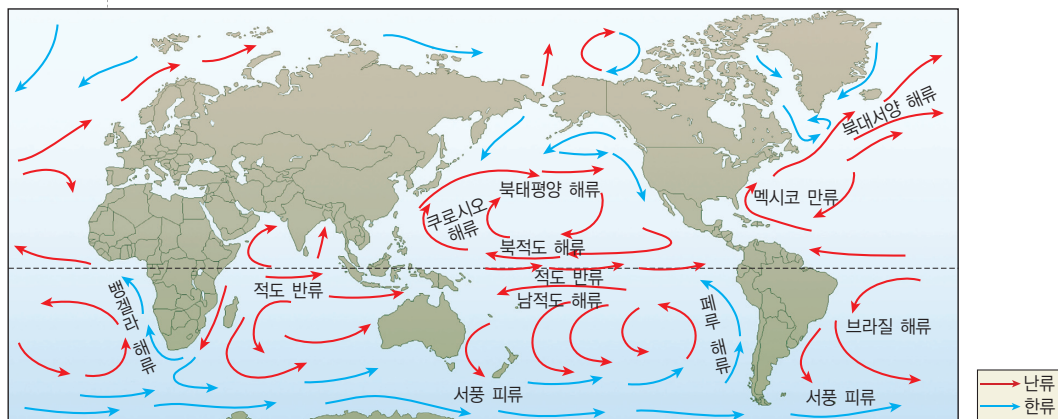


그림4 해류의 대순환

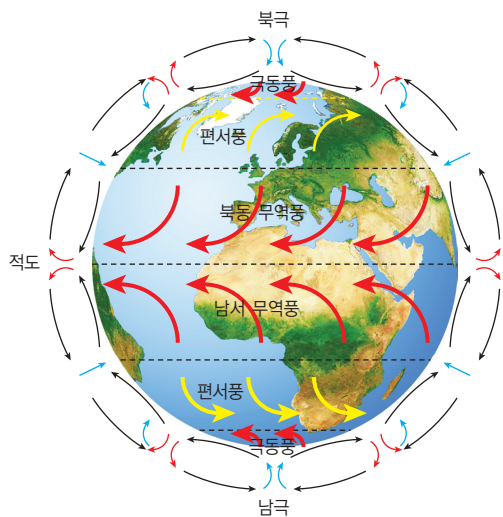


그림5 대기의 대순환

이러한 대기와 해류의 대순환 방향은 모두 일 년 내내 변하지 않는다. 왜 대기와 해류의 대순환은 일정한 방향으로만 일어날까?

앞서서 그림3에서 저위도지방은 에너지과잉상태, 고위도지방은 에너지부족상태라고 하였다. 여기에 비밀이 있다.

그림5을 보면 적도지방의 더운 공기는 고위도지방으로, 극지방의 차가운 공기는 저위도지방으로 이동하는 것을 알 수 있다. 그림4를 보면 적도지방의 더운 해수가 고위도지방으로, 고위도지방의 차가운 해수가 적도지방으로 이동하는 것을 볼 수 있다.

이를 통해서 볼 때 고위도와 저위도 간의 에너지의 차이를 상쇄시키려는 전지구적인 운동이 바로 대기와 해류의 대순환인 것을 알 수 있다.

과잉한 에너지와 부족한 에너지가 타고 이동하는 자동차가 대기와 해류인 것이다. 대기와 해류의 대순환은 에너지의 운반수단이 된다.

지구는 대기와 해류의 대순환을 통하여 열평형상태에 도달하게 된다.

심화학습

지구의 1m^2 면적이 1분 동안 받는 태양복사에너지의 양

태양으로부터 방출되는 복사에너지 중에서 약 $1.82 \times 10^{17}\text{W}$ 가 지구에 도달하는 에너지이다. 그렇다면 지구의 1m^2 인 면적에 1분 동안 받는 태양복사에너지의 양은 얼마나 될까?

☐ 태양상수

오른쪽 그림처럼 지구를 중심으로 지구에서 태양까지의 거리 ($1.5 \times 10^{11}\text{m}$)를 반지름으로 하는 가상의 구(球, sphere)가 있다고 생각해 보자.

가상 구의 반지름은 매우 크기 때문에 가상의 구 표면은 지구 대기권 밖에 있다. 이 가상 구에서 면적이 1m^2 인 A면에 태양광선이 수직으로 비추는다고 하자.

이때 A면이 1분 동안 받는 태양복사에너지의 양을 I 라고 할 때, I 는 다음과 같이 계산된다.

가상 구에서 A면이 1분동안 수직으로 받는 태양복사에너지의 계산	
태양의 총에너지	$P = \frac{4 \times 10^{26}\text{J}}{1\text{sec}} = 4 \times 10^{26}\text{W}$
가상 구의 표면적	$S = 4\pi r^2 = 4 \times 3.14 \times (1.5 \times 10^{11}\text{m})^2 = 28.26 \times 10^{22}\text{m}^2$
I 의 계산	$I = \frac{P}{S} = \frac{4 \times 10^{26}\text{W}}{28.26 \times 10^{22}\text{m}^2} \div 0.1415 \times 10^4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \div 1.4 \times 10^3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

A면처럼 지구 대기권 밖에서 1m^2 인 면적이 1분 동안 수직으로 받는 태양복사에너지의 양 I 를 태양상수(太陽常數, solar constant)라고 한다.

☐ 지구 전체가 받아들이는 태양복사에너지의 양

그림5에서 볼 때 태양복사에너지는 지구의 반쪽면을 비춘다. 따라서 이것은 태양복사에너지가 지구의 단면적 S_{E1} 만 비추는 것과 마찬가지이다.

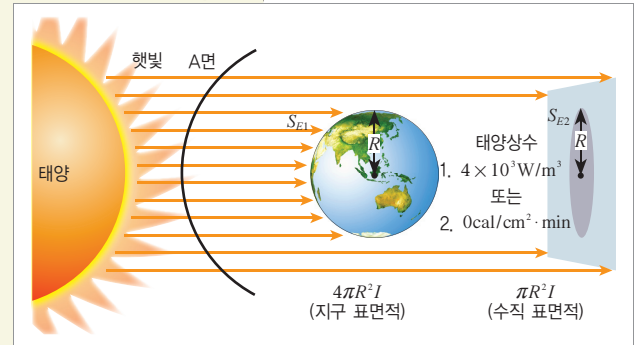
태양상수를 이용하면 지구의 단면적 S_{E1} 이 1분 동안 받아들이는 태양복사에너지 E_{E1} 을 계산할 수 있다. E_{E1} 이 지구가 받아들이는 태양복사에너지의 양, 지구 반지름 $R_E = 6.4 \times 10^6\text{m}$ 이다.

지구 전체가 받아들이는 태양복사에너지의 양	
지구의 단면적	$S_{E1} = \pi R_E^2 = 3.14 \times (6.4 \times 10^6\text{m})^2 \div 1.286 \times 10^{14}\text{m}^2$
E_{E1} 의 계산	$E_{E1} = S_{E1} \cdot I = (1.286 \times 10^{14}\text{m}^2) \times \left(1.4 \times 10^3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right) \div 1.8 \times 10^{17}\text{W}$

☐ 지표면에 평균적으로 구 단면적이 받는 태양복사에너지의 양

E_{E1} 는 지구를 평면이라 생각하고 구한 값이다. 그러나 지구는 구형이다. 따라서 $4\pi R_E^2$ 라는 지구의 표면적으로 E_{E1} 을 나누면 지표면 1m^2 이 1분 동안 받은 평균적인 태양복사에너지값을 구할 수 있다. 단, 지구의 표면적은 S_{E2} , 1분 동안 받아들이는 태양복사에너지는 E_{E2} 이다.

지표면 1m^2 이 1분 동안 받아들이는 평균적인 태양복사에너지의 계산	
지구의 표면적	$S_{E2} = 4\pi R_E^2 = 4 \times 3.14 \times (6.4 \times 10^6\text{m})^2 \div 5.144 \times 10^{14}\text{m}^2$
E_{E2} 의 계산	$E_{E2} = \frac{E_{E1}}{S_{E2}} = \frac{1.8 \times 10^{17}\text{W}}{5.144 \times 10^{14}\text{m}^2} \div 350 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$



지구가 받아들이는
태양복사에너지의 양