



# 바다의 조성

2013-10905 김현민  
2013-10907 문찬혁  
2013-10910 백관구  
2013-10912 여다은



# 목차 Contents

1. 바다의 기원
2. 바다의 조성 전후 대기 비교
3. 바다 조성 전의 대기 복원
4. 참고문헌 및 질의응답



# 바다의 기원



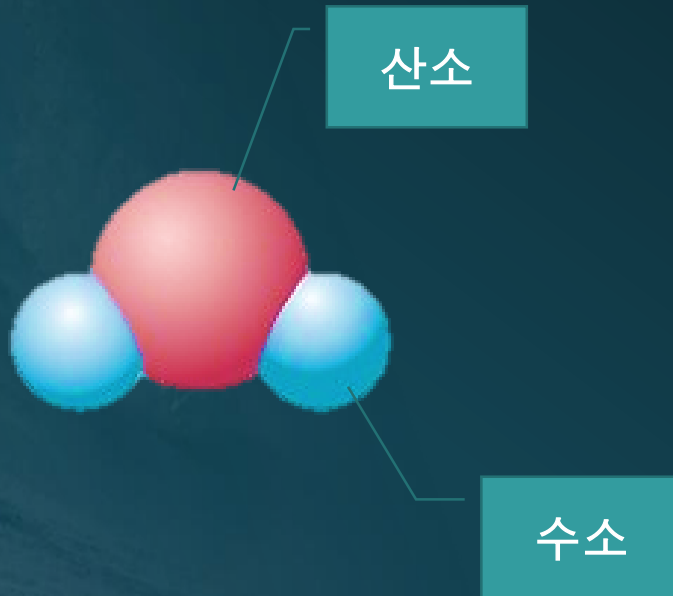
물

바다의 기원

지구



# 물 Water



- 현재 지구상에 얼음(고체), 물(액체), 수증기(기체)로 존재.
- 강한 수소결합
- 바다에 포함된 물  
⇒ 약  $1.4 \times 10^{21}$  L

# 물 Water





물은 어디서 왔을까?



물

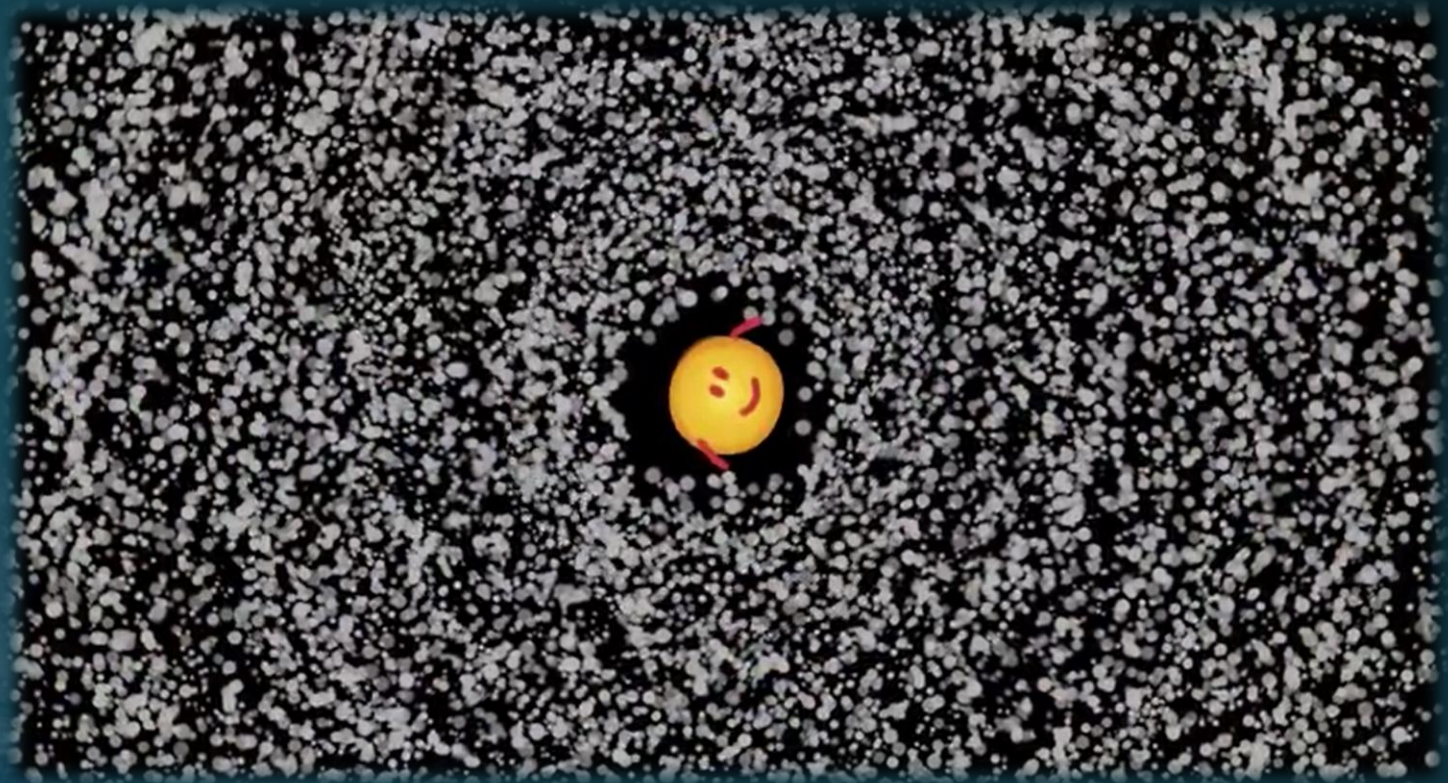
바다의 기원

지구



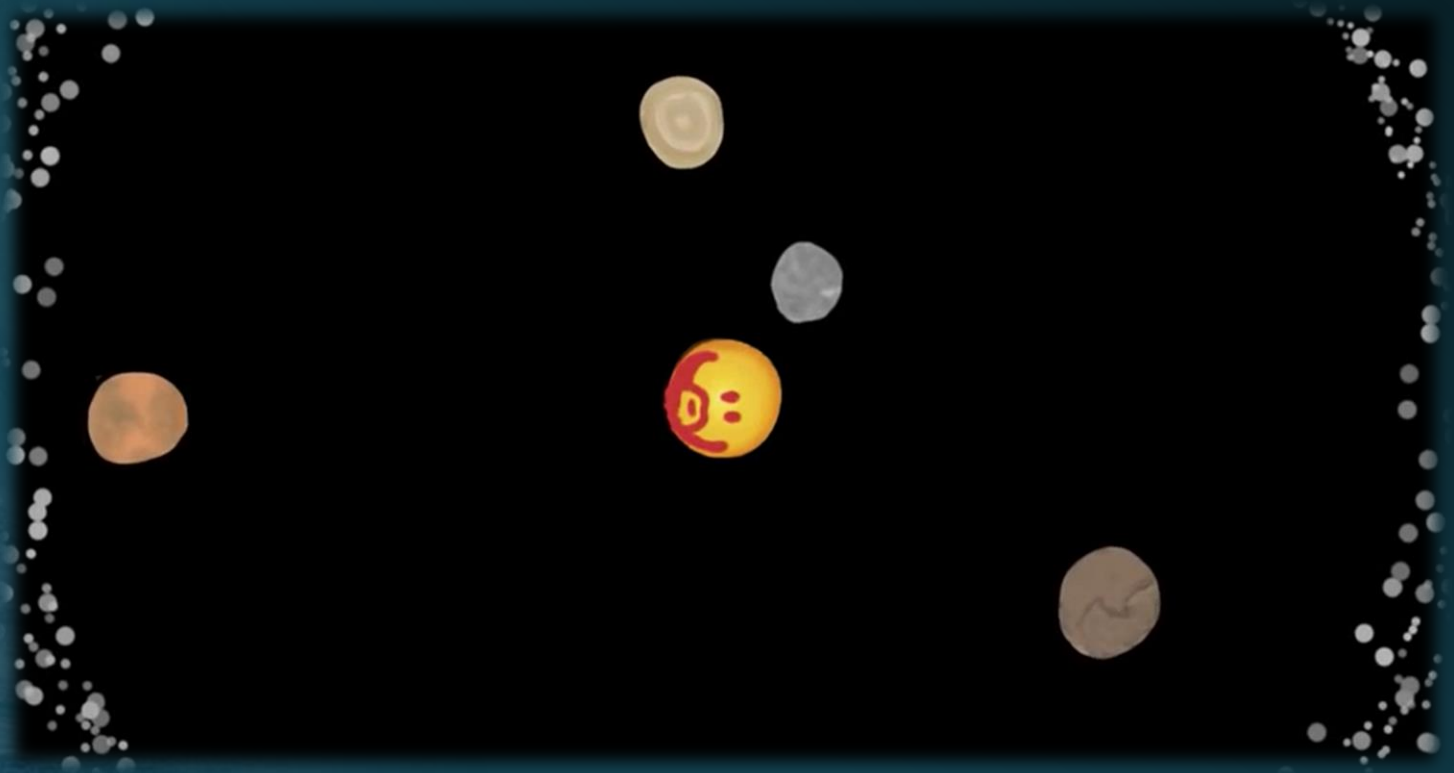
# 지구 Earth

- 원시 태양계: 암석(규소 주성분), 금속성분(철, 니켈)



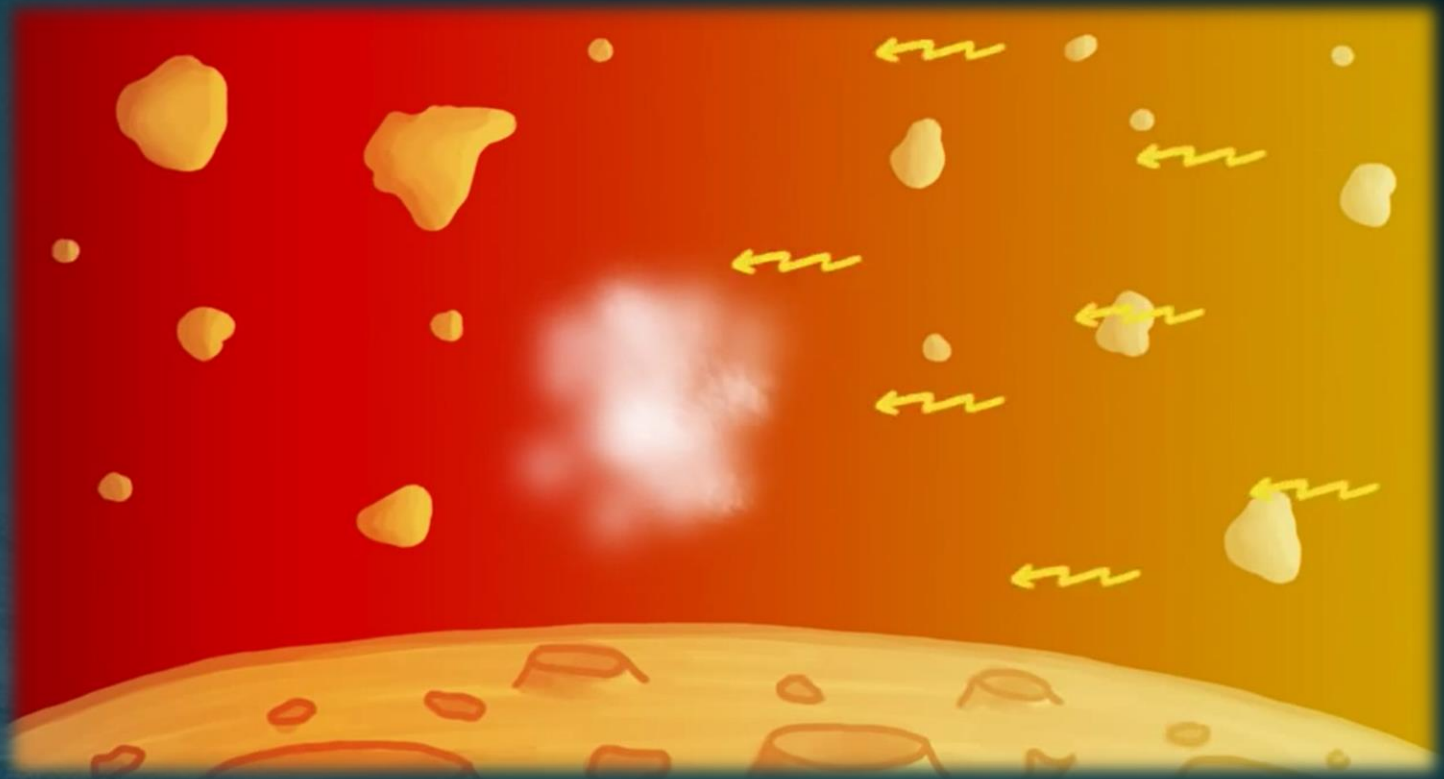
# 지구 Earth

- 미행성의 소행성과의 충돌로 성장



# 지구 Earth

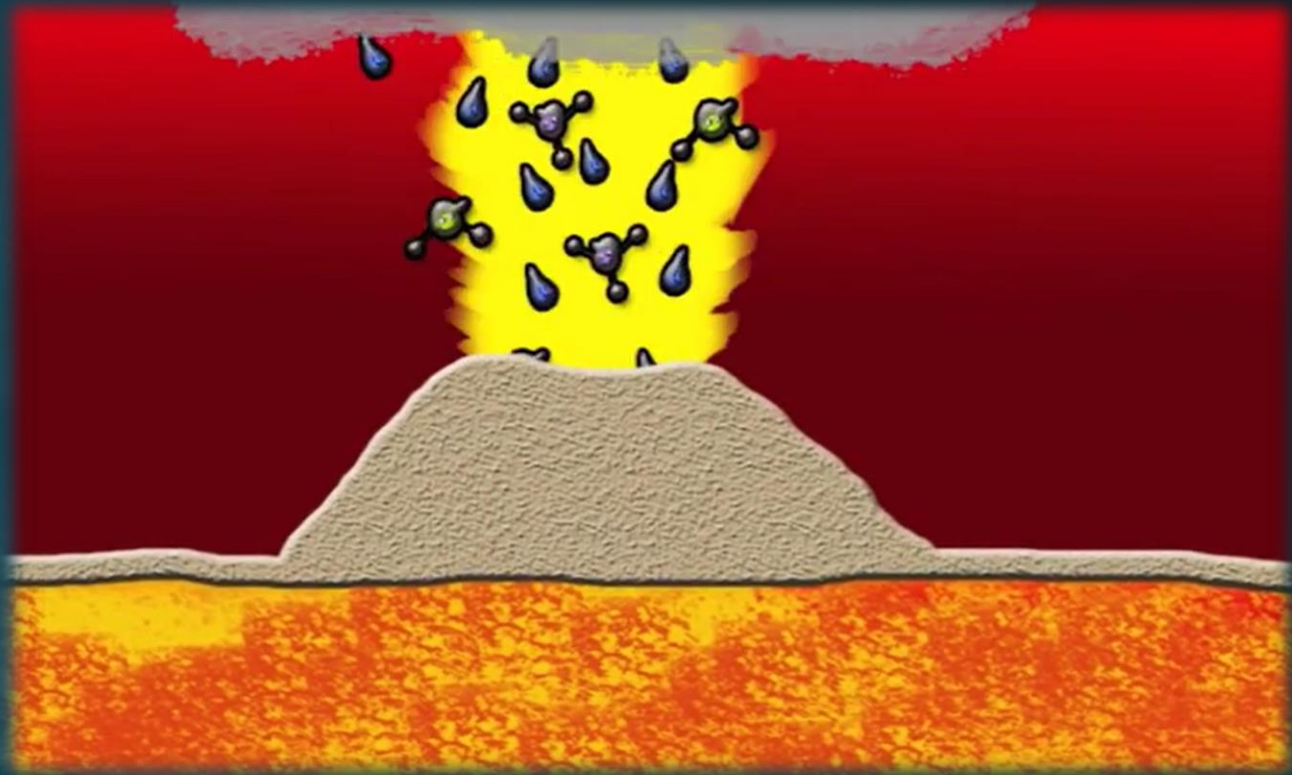
- 태양의 복사열로 1차 대기의 소실





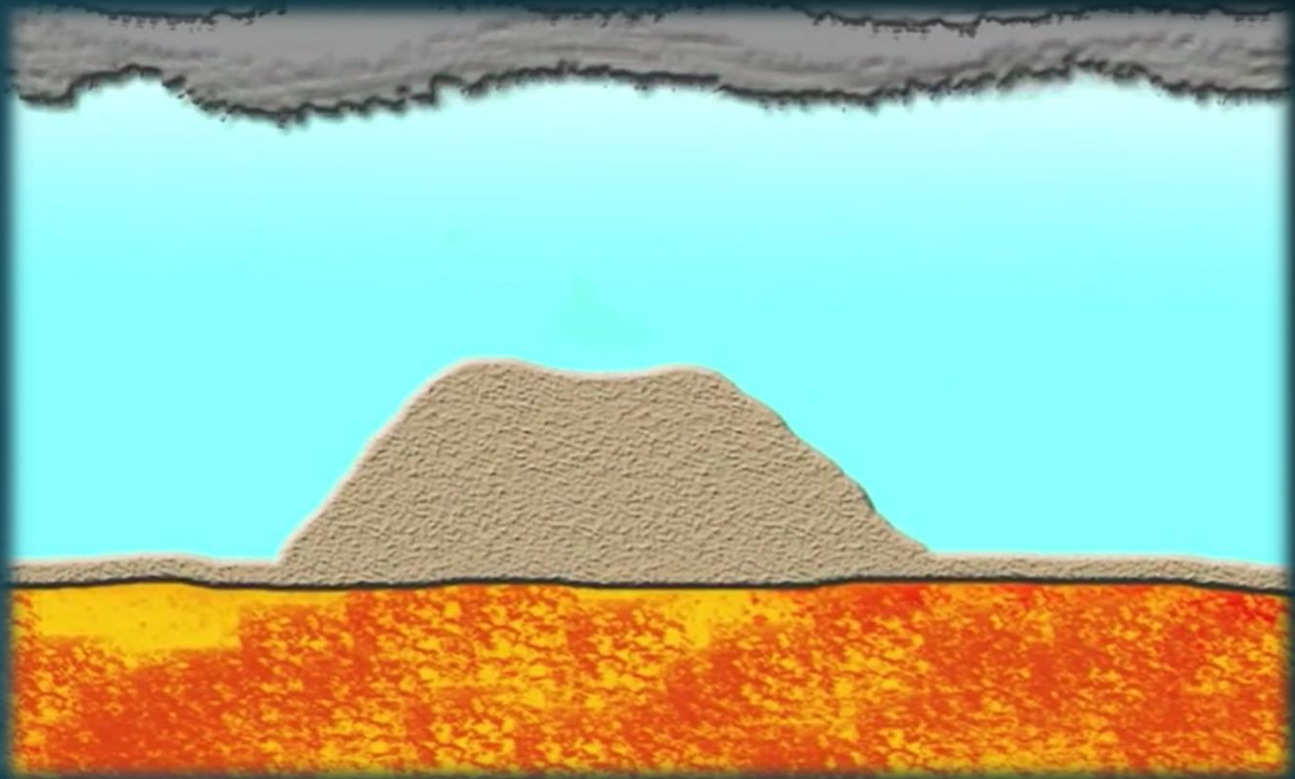
# 지구 Earth

- 지구 내부에 있던 가스가 방출되어 2차 대기 형성



# 지구 Earth

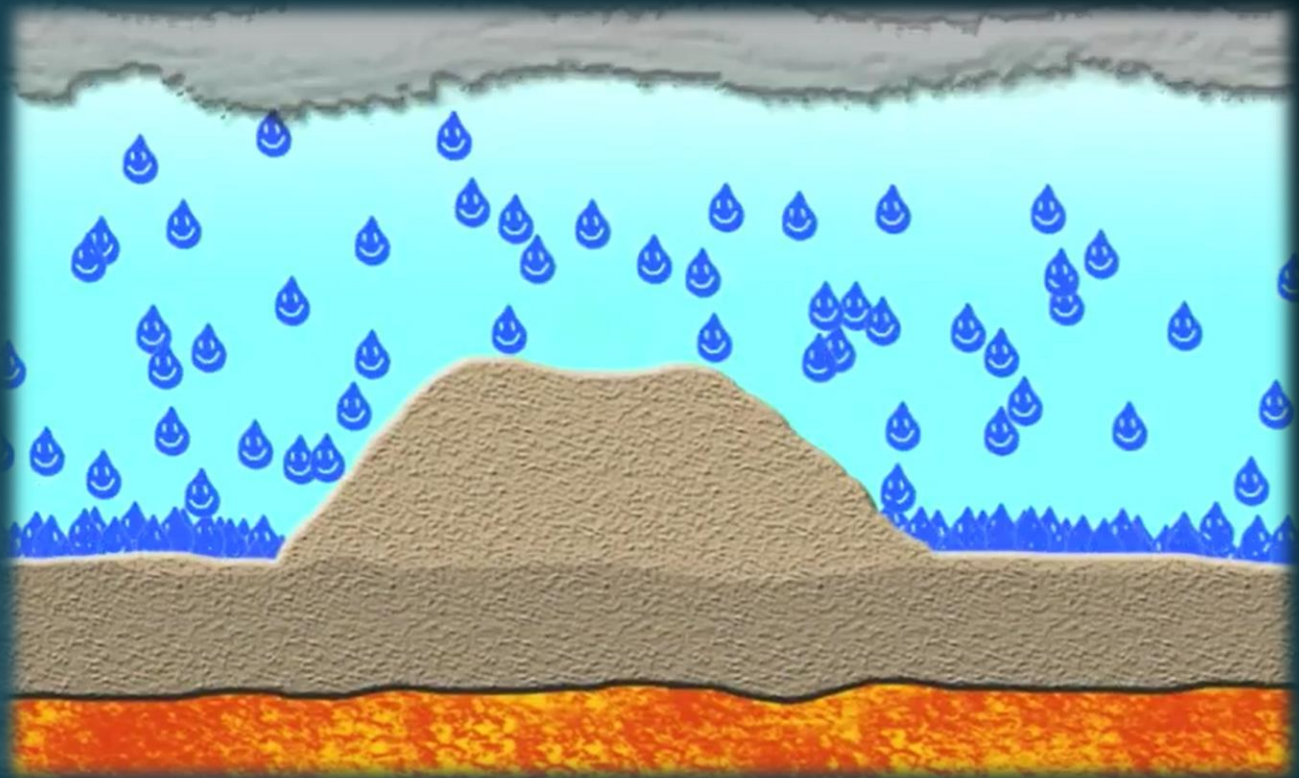
- 충돌에 의해 발생하는 열이 적어져 대기의 온도가 내려감





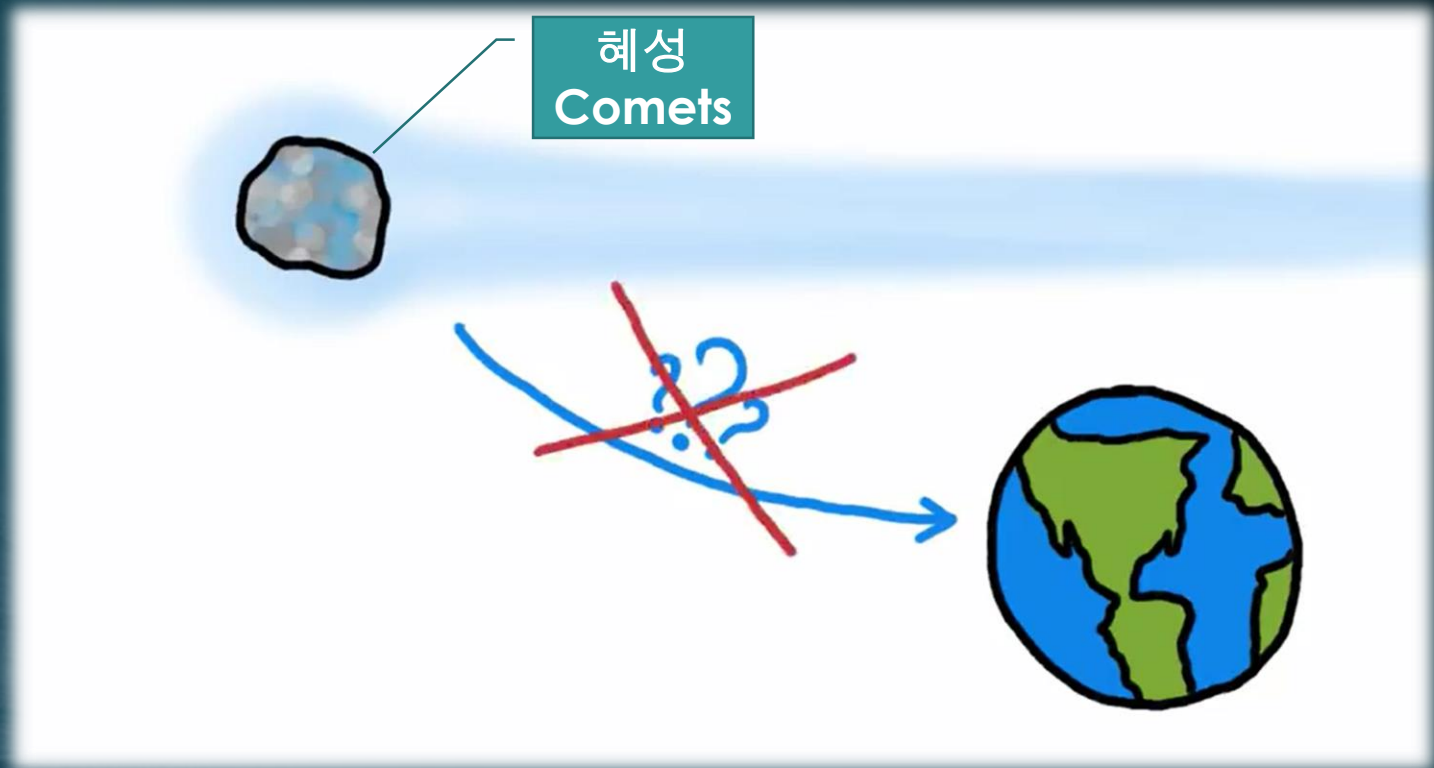
# 지구 Earth

- 약 2,500만 년 간의 강수로 바다의 형성



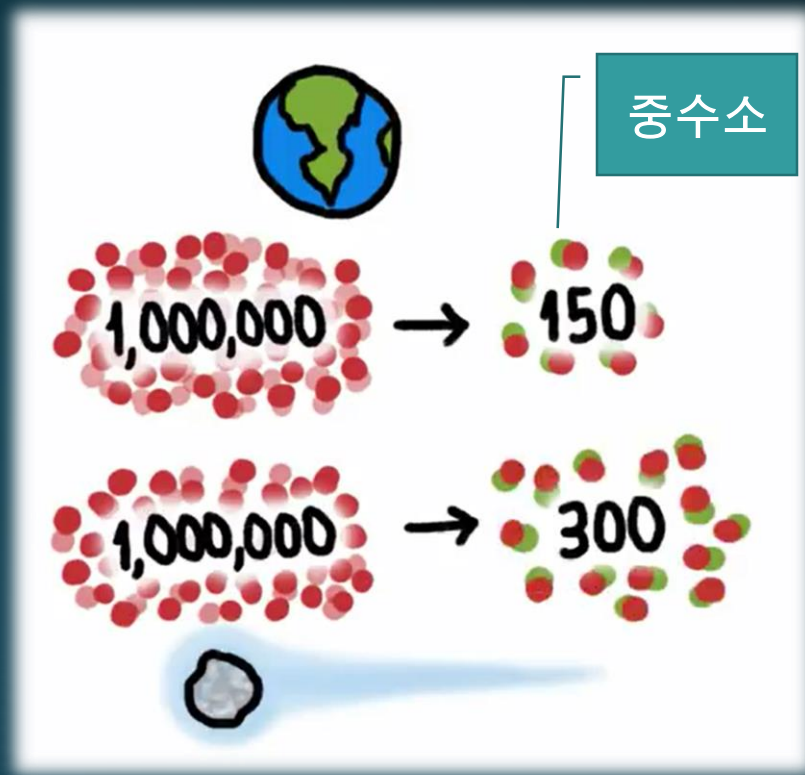
# 바다 Sea

- 혜성에서 지구의 물이 왔을까?



# 바다 Sea

- 지구와 혜성의 D/H 비율이 상이



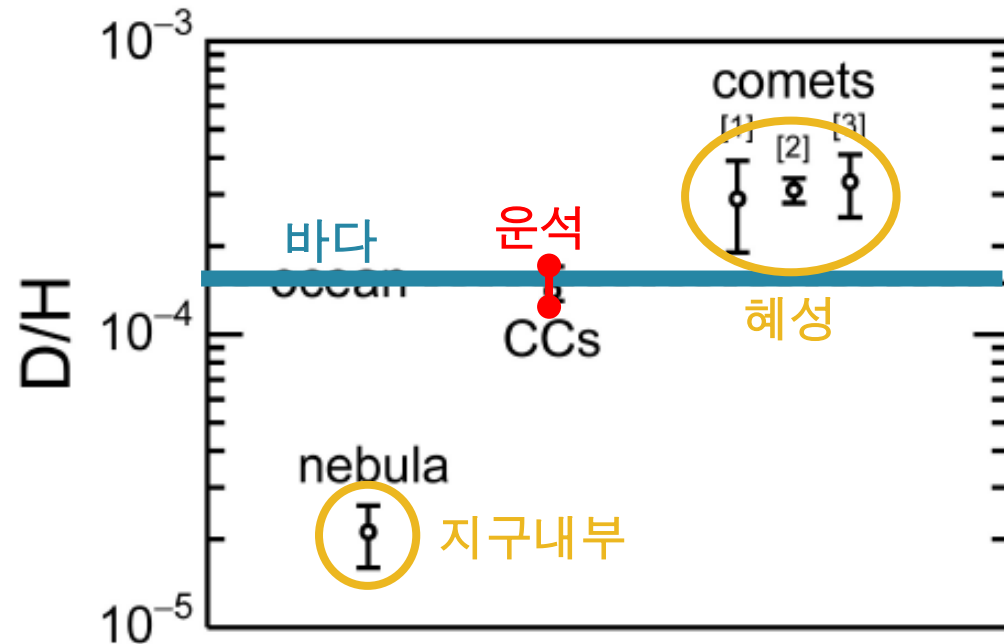
# 바다 Sea

- 운석에서 지구의 물이 왔을까?





# D/H (중수소/수소의 개수비)



**Figure 1.** The D/H ratios in the present Earth's ocean (Lécuyer *et al.* 1998), protosolar H<sub>2</sub> [nebula] (Geiss and Gloeckler 1998), carbonaceous chondrites [CCs] (Robert *et al.* 2000), and three comets; [1] Hyakutake (Bockelée *et al.* 1998), [2] P/Halley (Eberhardt *et al.* 1995), [3] Hale-Bopp (Meier *et al.* 1998).

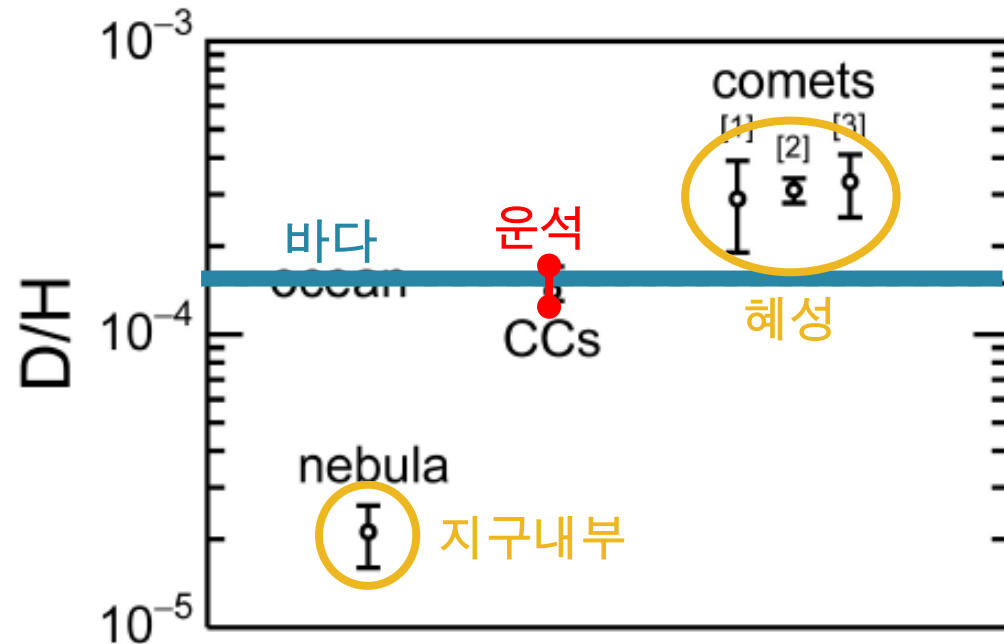


## 두 가지의 가능성

운석

혜성과  
지구내부의  
혼합

# D/H (중수소/수소의 개수비)



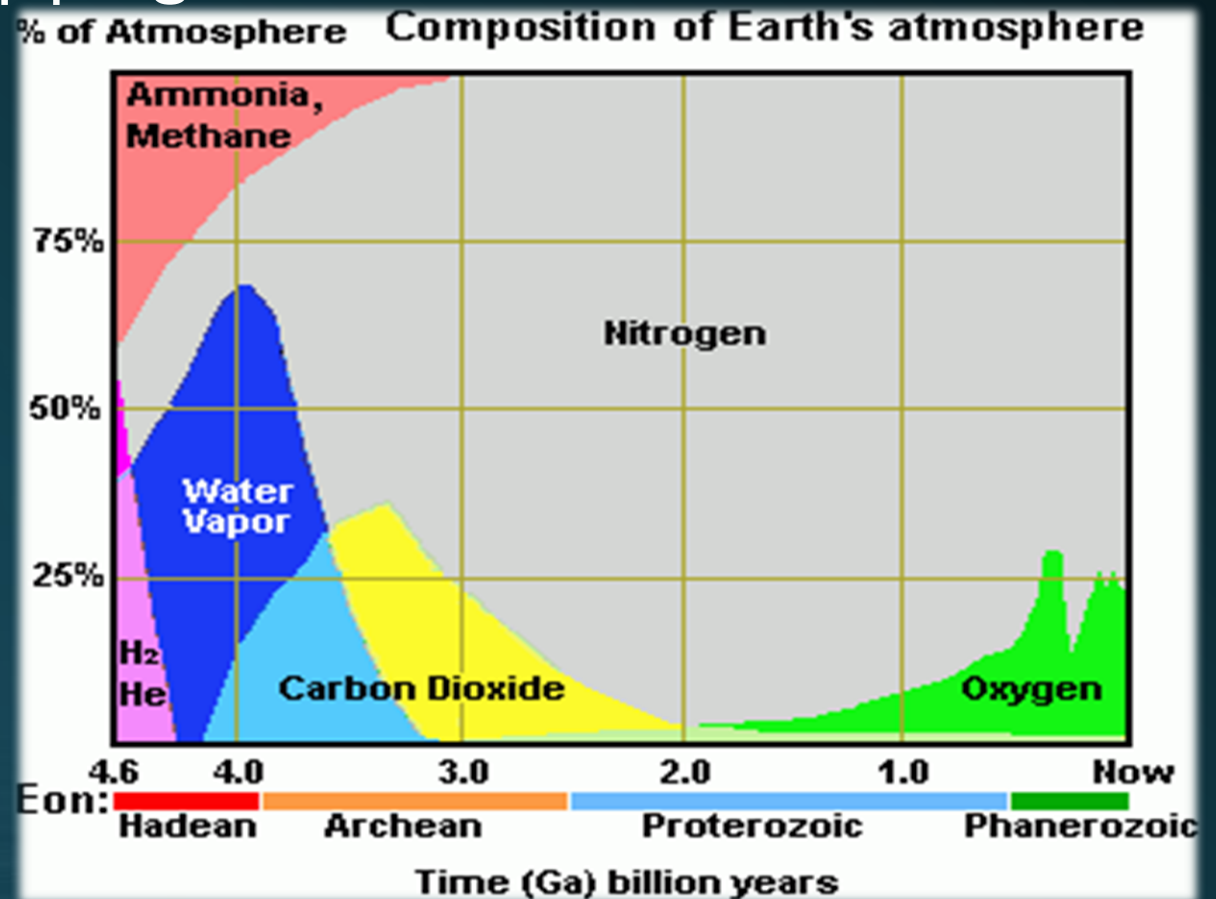
**Figure 1.** The D/H ratios in the present Earth's ocean (Lécuyer *et al.* 1998), protosolar H<sub>2</sub> [nebula] (Geiss and Gloeckler 1998), carbonaceous chondrites [CCs] (Robert *et al.* 2000), and three comets; [1] Hyakutake (Bockelée *et al.* 1998), [2] P/Halley (Eberhardt *et al.* 1995), [3] Hale-Bopp (Meier *et al.* 1998).



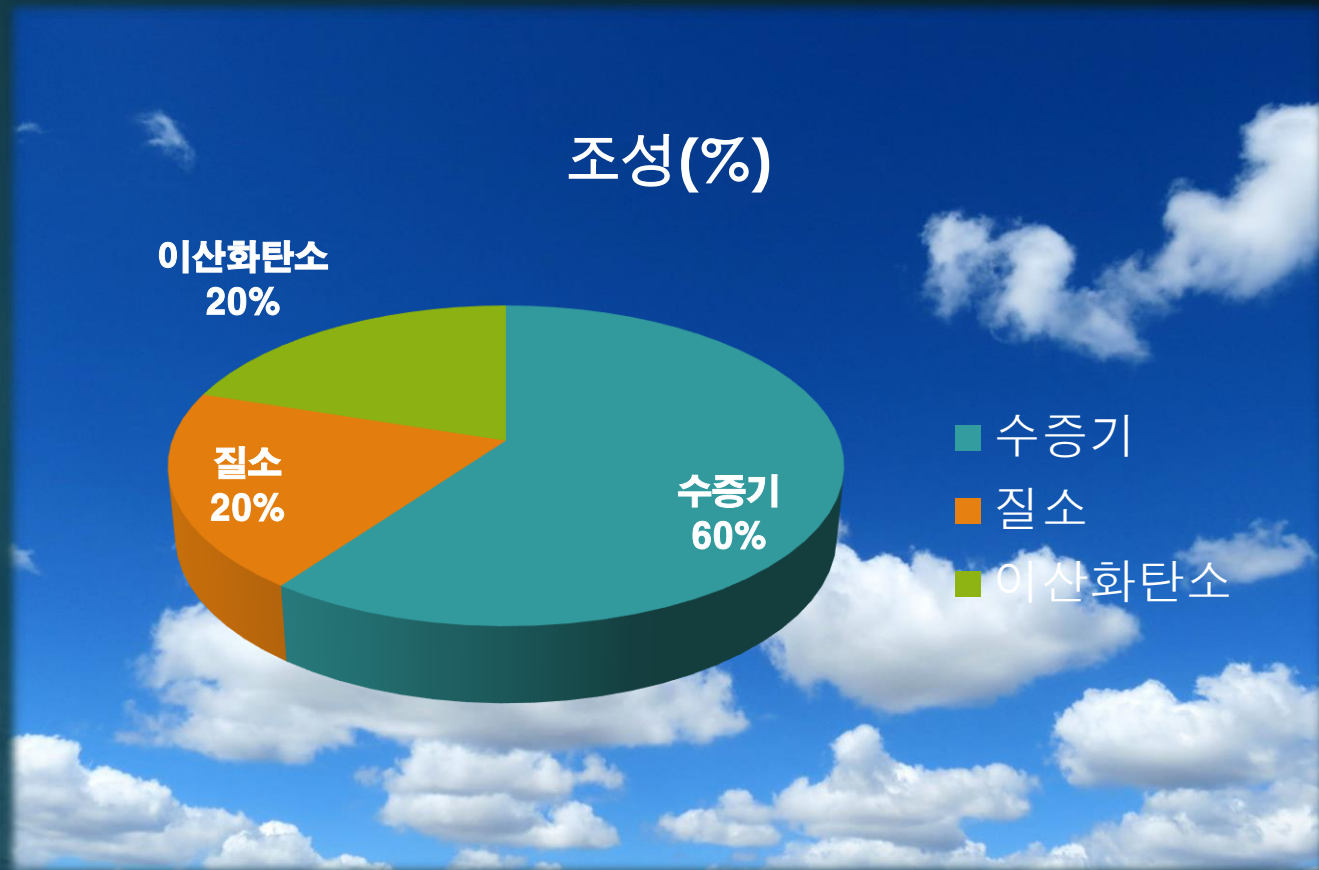
# 바다의 형성 전후 대기 비교

# 전제

- 바다 형성 시기 : 약 40억년 전
- 시기에 따른 대기 조성



## 바다 형성 전(부피비)

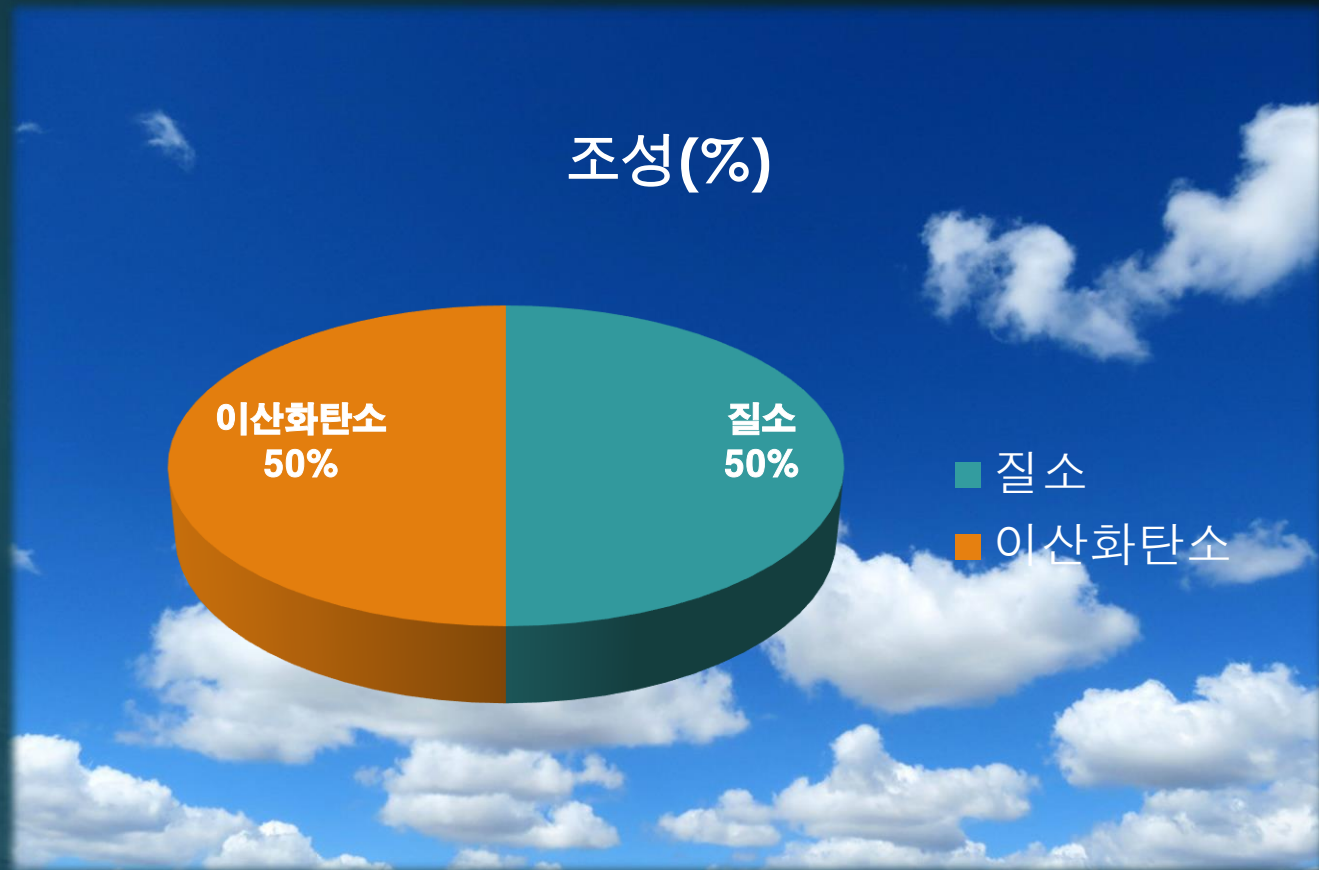




# 수천 년 간의 강수



## 바다 형성 후(부피비)



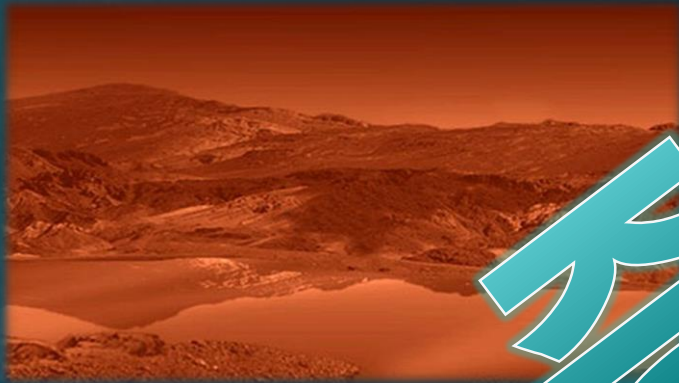
# 바다 형성 전과 후 비교

- 지구로 오는 태양에너지 양

## 일 정

# 바다 형성 전과 후 비교

- 지표 알베도



정가





# 바다 형성 전과 후 비교

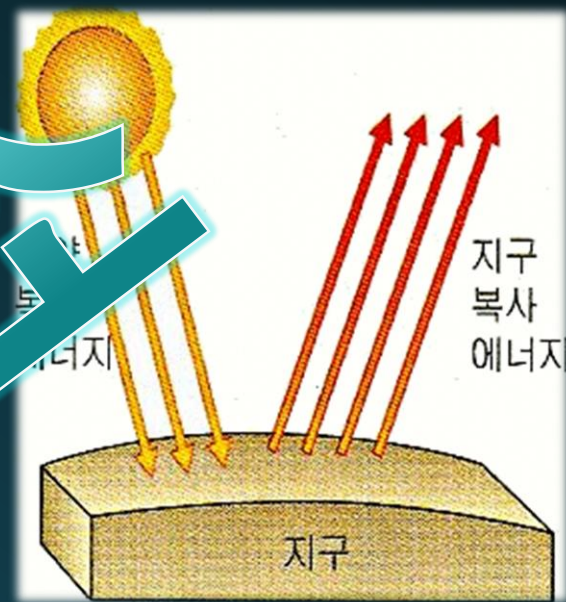
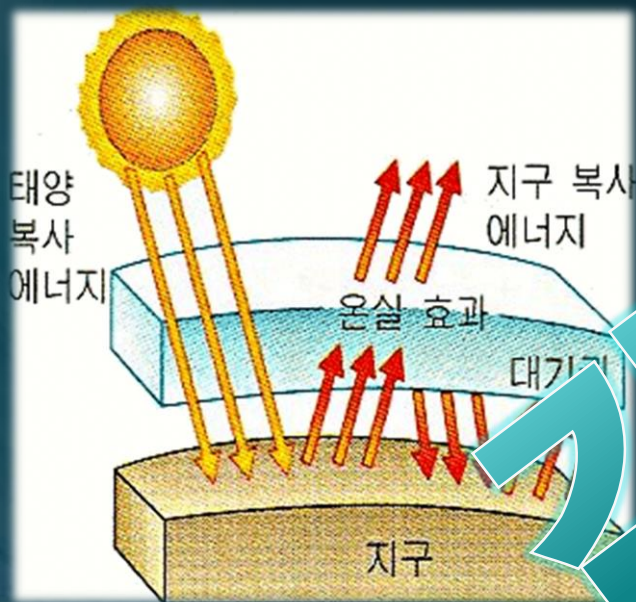
- 대기 알베도





# 바다 형성 전과 후 비교

- 온실 효과



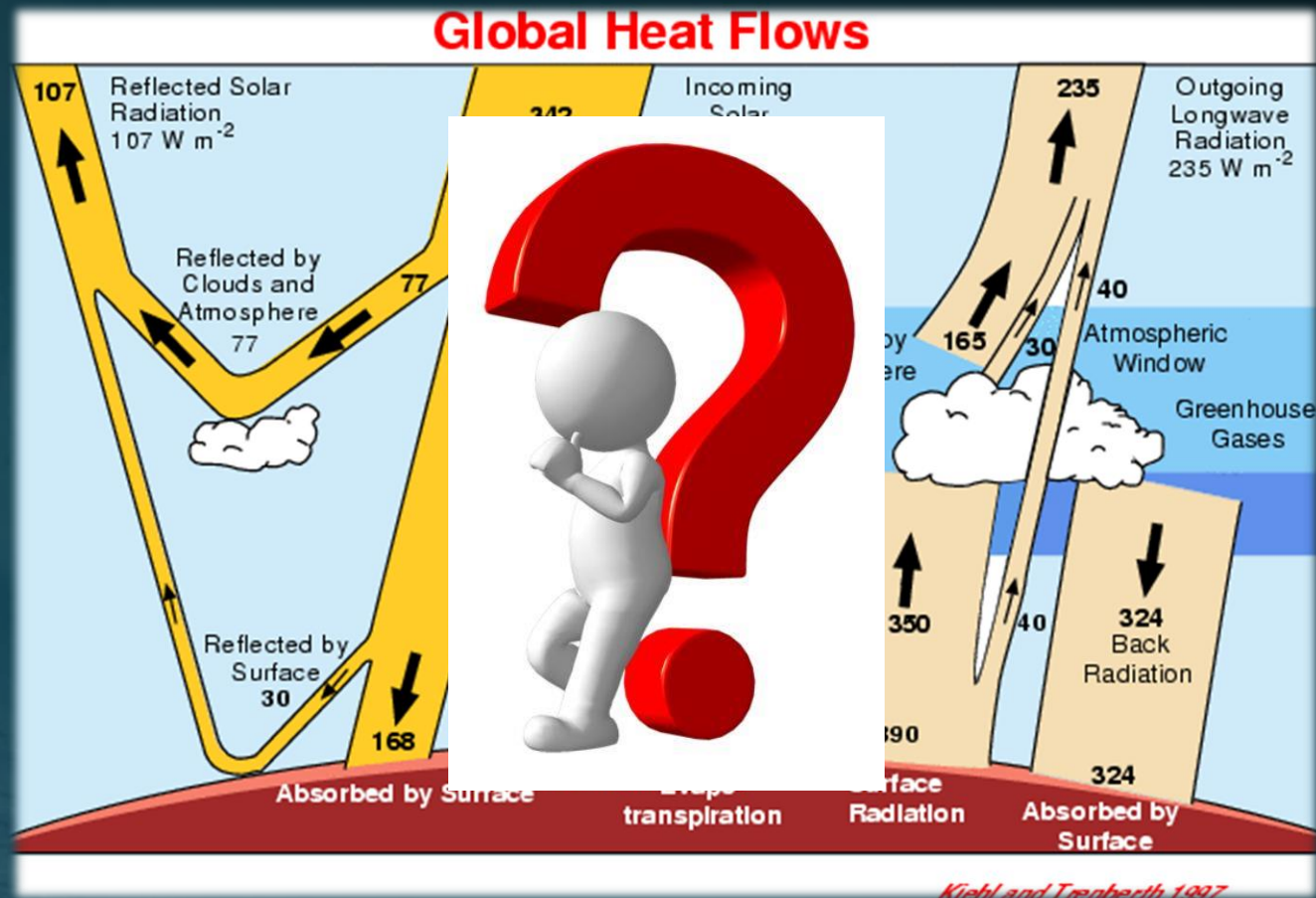
비교

# 바다 형성 전과 후 비교

- 지구로 오는 태양에너지 양
- 총 알베도
- 온실효과
- 잠열

조성 전	조성 후
거의 일정	
>	
>	
-	발생

# 바다 형성 전과 후의 지표 온도!?





바다 형성 전과 후의 지표 온도!?







# 바다 형성 당시 대기의 열역학적 상태 분석

- 당시 대기압  $p = 100\text{기압} = 101325\text{ mb}$

<http://nongae.gsnu.ac.kr/~jbchoi/index/earth/chap1/1-4.htm>

- 부피 비로 질량 비 구하기  $1:1:3 = \frac{m_{N_2}}{28} : \frac{m_{CO_2}}{44} : \frac{m_{H_2O}}{18}$
- $W = 0.75$
- 수증기압 (= 포화수증기압) 구하기  $w = \varepsilon \frac{e}{p - e}$
- $e = 55389\text{ mb}$
- $T = 559\text{K}$   $e_{sw} = 6.11 \exp(53.49 - \frac{6808}{T} - 5.09 \ln T)$
- $q = 0.43$   $q = \frac{m_v}{m}$
- $C_{pd} = \text{현재 건조 대기의 값과 같다고 가정}$

Water Vapor - H <sub>2</sub> O	
Temperature - T - (K)	
175	
200	
225	
250	
275	
300	
325	
350	
375	
400	
450	
500	
550	
600	
650	
700	
750	
800	
850	
900	
950	
1000	
1050	
1100	
1150	
1200	
1250	
1300	
1350	
1400	
1500	
1600	
1700	
1800	
1900	
2000	
2100	
2200	
2300	
2400	
2500	
2600	
2700	
2800	
2900	
3000	
3500	
4000	
4500	
5000	
5500	
6000	

P=0.50 MPa (151.8°C)				
Temp °C	volume v(m <sup>3</sup> /kg)	energy u(kJ/kg)	enthalpy h(kJ/kg)	entropy s(kJ/kg.K)
Sat.	0.3748	2560.7	2748.1	6.821
200	0.4250	2643.3	2895.8	7.061
250	0.4744	2723.8	2961.0	7.272
300	0.5226	2803.2	3054.6	7.461
350	0.5702	2883.0	3168.1	7.635
400	0.6173	2963.7	3272.3	7.796
450	0.6642	3045.6	3377.7	7.947
500	0.7109	3129.0	3484.5	8.089
600	0.8041	3300.4	3702.5	8.354
700	0.8970	3478.5	3927.0	8.598
800	0.9897	3663.6	4158.4	8.824
900	1.0823	3855.4	4396.6	9.036
1000	1.1748	4054.0	4641.4	9.236

P=1.00 MPa (179.9°C)				
Temp °C	volume v(m <sup>3</sup> /kg)	energy u(kJ/kg)	enthalpy h(kJ/kg)	entropy s(kJ/kg.K)

P=0.60 MPa (158.8°C)				
volume v(m <sup>3</sup> /kg)	energy u(kJ/kg)	enthalpy h(kJ/kg)	entropy s(kJ/kg.K)	
0.3156	2566.8	2756.1	6.769	
0.3521	2630.3	2850.6	6.968	
0.3859	2721.2	2957.6	7.183	
0.4344	2881.1	3060.0	7.374	
0.4743	2981.6	3166.1	7.548	
0.5137	2962.5	3270.8	7.710	
0.5530	3044.7	3376.5	7.861	
0.5920	3128.2	3483.4	8.004	
0.6698	3266.8	3701.7	8.270	
0.7473	3478.1	3926.4	8.513	
0.8246	3663.2	4157.9	8.740	
0.9018	3855.1	4396.2	8.952	
0.9789	4053.7	4641.1	9.152	

P=1.20 MPa (188.0°C)				
volume v(m <sup>3</sup> /kg)	energy u(kJ/kg)	enthalpy h(kJ/kg)	entropy s(kJ/kg.K)	

P=0.80 MPa (170.4°C)				
volume v(m <sup>3</sup> /kg)	energy u(kJ/kg)	enthalpy h(kJ/kg)	entropy s(kJ/kg.K)	
0.2403	2576.0	2768.3	6.662	
0.2609	2631.0	2836.7	6.818	
0.2932	2715.9	2950.4	7.040	
0.3342	2797.5	3066.9	7.235	
0.3544	2878.6	3162.2	7.411	
0.3943	2960.2	3267.6	7.573	
0.4139	3042.8	3373.9	7.726	
0.4433	3126.8	3481.3	7.869	
0.5019	3298.7	3700.1	8.135	
0.5801	3477.2	3925.3	8.399	
0.6182	3662.4	4157.0	8.606	
0.6762	3854.5	4395.5	8.819	
0.7341	4053.2	4640.5	9.019	

P=1.40 MPa (195.0°C)				
volume v(m <sup>3</sup> /kg)	energy u(kJ/kg)	enthalpy h(kJ/kg)	entropy s(kJ/kg.K)	

Temperature - T - (°C)	Absolute pressure - p - (kN/m <sup>2</sup> )	Density - ρ - (kg/m <sup>3</sup> )	Specific volume - v - (m <sup>3</sup> /kg)	Specific Heat - c <sub>p</sub> - (kJ/kg.K)	Specific entropy - e - (kJ/kg.K)
0 (ice)		916.8			
0.01	0.6	999.8	1.00	4.210	0
4 (maximum density)	0.9	1000.0			
5	0.9	1000.0	1.00	4.204	0.075
10	1.2	999.8	1.00	4.193	0.150
15	1.7	999.2	1.00	4.185 <sup>1)</sup>	0.223
20	2.3	998.3	1.00	4.183	0.296
25	3.2	997.1	1.00	4.181	0.367
30	4.3	995.7	1.00	4.179	0.438
35	5.6	994.1	1.01	4.178	0.505
40	7.7	992.3	1.01	4.179	0.581
45	9.6	990.2	1.01	4.181	0.637
50	12.5	988	1.01	4.182	0.707
55	15.7	986	1.01	4.183	0.767
60	20.0	983	1.02	4.185	0.832
65	25.0	980	1.02	4.188	0.893
70	31.3	978	1.02	4.191	0.966
75	38.6	975	1.03	4.194	1.016
80	47.5	972	1.03	4.198	1.076
85	57.8	968	1.03	4.203	1.134
90	70.0	965	1.04	4.208	1.192
95	84.5	962	1.04	4.213	1.250
100	101.33	958	1.04	4.219	1.307
105	121	954	1.05	4.226	1.362
110	143	951	1.05	4.233	1.418
115	169	947	1.06	4.240	1.473
120	199	943	1.06	4.248	1.527
125	228	939	1.06	4.26	1.565
130	270	935	1.07	4.27	1.635
135	313	931	1.07	4.28	1.691
140	360	926	1.08	4.30	1.790
145	412	922	1.08	4.32	1.842
150	477	918	1.09	4.34	1.892
155	543	912	1.10	4.35	1.942
160	618	907	1.10	4.36	1.992
165	701	902	1.11	4.38	2.041
170	792	897	1.11	4.39	2.090
175	891	891	1.12	4.42	2.136
180	1000	887	1.13	4.45	2.187
185	1120	882	1.14	4.46	2.236
190	1260	876	1.15	4.47	2.282
195	1400	870	1.16	4.51	2.329
200	1550	864		4.63	
220		840		4.78	
225	2550	834	1.20	4.87	2.569
240		814		4.98	
250	3990	799	125	5.20	3.022
260		784		5.65	3.256
275	5950	756	1.32	6.86	3.501
300	8600	714	1.40	10.1	3.781
325	12130	654	1.53	14.6	3.921
350	16540	575	1.74		
360	18680	528	1.90		

[http://www.engineeringtoolbox.com/water-vapor-d\\_979.html](http://www.engineeringtoolbox.com/water-vapor-d_979.html)

[http://www.ohio.edu/mechanical/thermo/property\\_tables/H2O/](http://www.ohio.edu/mechanical/thermo/property_tables/H2O/)

- 잠열

$$\begin{aligned}100\text{기압에서 } h_v &= 2725\text{kJ/kg} \\ h_w &= 1408\text{kJ/kg}\end{aligned}$$

$$l_v = h_v - h_w = 1317\text{kJ/kg} = 1.317 \times 10^6\text{J/kg} = 317\text{cal/g}$$

1기압에서의 539cal/g보다 작다. 왜 그럴까?



- 대기 중의 수증기가 모두 응결 할 때 발생하는 잠열

대기 중의 수증기 총량 (= 현재 바다의 총량)  
=  $1.5 \times 10^{21}$  kg

$$l_v = h_v - h_w = 1317 \text{ kJ/kg} = 1.317 \times 10^6 \text{ J/kg} = 317 \text{ cal/g}$$

$$Q = 317 \text{ cal/g} \times 10^3 \text{ g/kg} \times 1.5 \times 10^{21} \text{ kg} = 4.8 \times 10^{26} \text{ cal}$$

## • 발생하는 잠열 크기 비교

$$\text{태양상수} = 1.946 \text{ cal/cm}^2 \text{ min} \times 0.7 = 1.3622 \text{ cal/cm}^2 \text{ min}$$

$$\begin{aligned} \text{지구가 1분간 받는 에너지} &= \text{태양상수} \times \text{지구표면적} \\ &= 1.3622 \text{ cal/cm}^2 \text{ min} \times 4\pi (6400 \text{ km})^2 \times (10^5 \text{ cm/km})^2 \\ &= 7.014 \times 10^{18} \text{ cal/min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q/E &\simeq 6.8 \times 10^7 = 1.18 \times 10^6 \text{ min} \times \frac{1 \text{ hour}}{60 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ day}}{24 \text{ hour}} \times \frac{1 \text{ year}}{365 \text{ day}} \\ &= 129 \text{ year} \end{aligned}$$

- 건조 단열 감률

$$\Gamma_d = -\frac{dT}{dz} = \frac{\gamma-1}{\gamma} \frac{g}{R_d} = \frac{g}{c_{pd}} = 9.8^\circ \text{Ckm}^{-1}$$

- 습윤 단열 감률

교과서 식 7.68 이용

$$\left[1 - \frac{w_{sw}(c_w - c_{pv})}{c_p}\right] \frac{dT}{dz} = -\frac{g}{c_p} - \frac{l_v}{c_p} \frac{dw_{sw}}{dz}$$

$$c_w = 1945 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$c_{pv} = 4697 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$w_{sw} = 0.75$$



- 습윤 단열 감률

$$w_{sw}(c_w - c_{pv}) \frac{dT}{dz} = -1.98 \approx -2$$

$$3 \frac{dT}{dz} = - \frac{g}{c_p} - \frac{l_v}{c_p} \frac{dw_{sw}}{dz}$$

$$\begin{aligned} c_p &= c_{pd} [1 + (c_{pv}/c_{pd} - 1)q] \\ &= 1005 \times [1 + (1.48 - 1) \times 0.43] \\ &= 1212 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \end{aligned}$$

## • 습윤 단열 감률

교과서 식 7.70 이용

$$\frac{1}{w_{sw}} \frac{dw_{sw}}{dz} = \frac{g}{RT} + \frac{l_v}{R_v T^2} \frac{dT}{dz}$$

두 식을 연립

$$\Gamma_s = - \frac{dT}{dz} = \frac{g}{c_p} \frac{1 + l_v w_{sw} / RT}{3 + l_v^2 w_{sw} / c_p R_v T^2}$$

- 습윤 단열 감률

$$\Gamma_s = 3.1^{\circ} \text{C km}^{-1}$$

- 현재 습윤단열감률보다 매우 적은 값이 나온 이유  
: 현재와 달리 대기 중에 수증기의 양이 굉장히 많다  
즉,  $W_{sw}$  가 현재의 값(0.01)과 달리 매우 크므로,  
고도가 증가함에 따라 응결되는 물의 양이 더 많을 것이고,  
이에 따라 더 많은 응결열을 많이 방출하기 때문이라고 추측


# 참고문헌

- Anastasios A. Tsonis(2007). Atmospheric Thermodynamics.
- 해양과학. 양성기. 1994.03.25. 문운당. 7-9.
- Essentials of Oceanography 3rd Edition. Tom S.Garrison. 시그마프레스. 8-9
- Campbell, I. H., & O'Neill, H. S. C. (2012). Evidence against a chondritic Earth. Nature, 483(7391), 553-558.
- Drake, M. J. (2005). Origin of water in the terrestrial planets. Meteoritics & Planetary Science, 40(4), 519-527.
- Greenwood, J. P., Itoh, S., Sakamoto, N., Warren, P., Taylor, L., & Yurimoto, H. (2011). Hydrogen isotope ratios in lunar rocks indicate delivery of cometary water to the Moon. Nature Geoscience, 4(2), 79-82.
- Hauri, E. H. (2013). Planetary science: Traces of ancient lunar water. Nature Geoscience, 6(3), 159-160.
- Marty, B. (2012). The origins and concentrations of water, carbon, nitrogen and noble gases on Earth. Earth and Planetary Science Letters, 313, 56-66.
- Pepin, R. O. (2006). Atmospheres on the terrestrial planets: Clues to origin and evolution. Earth and Planetary Science Letters, 252(1), 1-14.
- Robert, F. (2001). The origin of water on Earth. Science, 293(5532), 1056-1058.
- Robert, F. (2011). Planetary science: A distinct source for lunar water?. Nature Geoscience, 4(2), 74-75.
- Saal, A. E., Hauri, E. H., Van Orman, J. A., & Rutherford, M. J. (2013). Hydrogen Isotopes in Lunar Volcanic Glasses and Melt Inclusions Reveal a Carbonaceous Chondrite Heritage. Science, 340(6138), 1317-1320.



# 참고문헌

- <http://nongae.gsnu.ac.kr/~jbchoi/index/earth/chap1/1-4.htm>
- [http://www.ohio.edu/mechanical/thermo/property\\_tables/H2O](http://www.ohio.edu/mechanical/thermo/property_tables/H2O)
- [http://www.engineeringtoolbox.com/water-thermal-properties-d\\_162.html](http://www.engineeringtoolbox.com/water-thermal-properties-d_162.html)
- <http://www.youtube.com/watch?v=DcWrD46z24M>
- <http://news.nationalgeographic.com/news/2014/10/141030-starstruck-earth-water-origin-vesta-science/>
- [http://www.engsoft.co.kr/ES\\_StableIF97\\_AddIn\\_k/Steam\\_Table\\_pdf\\_k.htm](http://www.engsoft.co.kr/ES_StableIF97_AddIn_k/Steam_Table_pdf_k.htm)
- <http://www.livescience.com/33391-where-did-water-come-from.html>
- <http://www.nature.com/news/common-source-for-earth-and-moon-water-1.12963>  
(네이처 논문 2013.5.9)
- [http://www.youtube.com/watch?v=\\_LpgBvEPozk](http://www.youtube.com/watch?v=_LpgBvEPozk)
- <http://min.kores.or.kr/views/cms/hmine/eh/eh01/eh0103.jsp>
- <http://hellodd.tistory.com/1785>

A black silhouette of a person is shown from the waist up, facing right. The person's right arm is raised, with the index finger pointing towards a speech bubble. The left arm is extended downwards and slightly to the right, holding a pointer. The background is a dark teal color with a subtle wave pattern. On the far left, there is a vertical strip showing a close-up of a blue and white ocean wave.

**Q&A**



**Thank you !**