

화산 활동에서의 대기열역학적 구름 형성

4조 김정희 신동민 신승아 JAMBAJAMTS LKHAMJAV



CONTENT

- **INTRO**

- **MAIN**

- **CONCLUSION**

INTRO

연구 동기 및 목적

기본 가정

연구 동기 및 목적

- 화산에서 분출된 가스가 이루는 화산 구름은 일반 구름과는 다른 방식으로 설명될 것이다. 이를 직접 식을 세우고 적용하여 설명해봄으로써 배운 내용을 응용하고 발전시킬 수 있을 것이다.
- 수업 시간에 배운 기본 식들을 이용하여 화산 구름에 대한 새로운 모델을 세워보고 이를 실제와 비교하여 본다.

기본 가정

- 화산 가스가 대기 중으로 분출될 때 단열 과정을 거치며 주변 공기와 섞이지 않고 열 교환도 일어나지 않는다.
- NON-EXPLOSIVE 화산이라고 할 때 분출되는 화산 가스의 초기 온도는 주어진 화산 높이에서의 기압에서 물이 끓는 온도로 가정한다.

MAIN

상승응결고도에서의 기체 온도 구하기

상승응결고도의 높이 구하기

계산 내용을 실제 화산에 적용하기

상승응결고도에서의 기체 온도 구하기

$$\frac{T - T_{dew}}{T T_{dew}} = A \ln \frac{T_{LCL}}{T} + \left(\frac{1}{T_{LCL}} - \frac{1}{T} \right)$$
$$A = \frac{\left(\frac{\gamma}{\gamma - 1} \right)}{\left(\frac{l_v}{R_v} \right)}$$

상승응결고도에서의 기체 온도 구하기

• T 구하기

- 기본 가정에서처럼 화산 높이에서의 기압 하에서 물이 끓는 온도를 T로 결정
- 특정 고도에서의 기압과 그 기압 하에서의 물이 끓는 온도는 인터넷 검색을 통해 구함
- 특정 고도에서의 기압은 hypsometric 식을 통해서도 구할 수 있음

상승응결고도에서의 기체 온도 구하기

- T_{dew} 구하기

- $T - T_{dew} = -R_v T T_{dew} \ln r / l_v$

상승응결고도에서의 기체 온도 구하기

- r 구하기

- $r = \frac{e}{e_{sw}}$

- $e = P \times \frac{n_v}{n_{total}}$

- $e_{sw} = 6.11 \exp(53.49 - \frac{6808}{T} - 5.09 \ln T)$

상승응결고도에서의 기체 온도 구하기

- γ 구하기

- $\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{c_{pd} (1+0.87q)}{c_{vd} (1+0.97q)}$

- $q = \frac{m_v}{m_{total}}$

상승응결고도에서의 기체 온도 구하기

- l_v 구하기

- $\frac{dl_v}{dT} = c_{pv} - c_{pw}$

- $l_v - l_{v_0} = 0.0000653935X^4 - 0.0851954X^3 + 42.2282X^2 - 11667X \quad (X = T - T_0)$

상승응결고도에서의 기체 온도 구하기

Input interpretation:

fit	data	{(273.2, 1882), (293.2, 1903), (313.2, 1927), (333.2, 1958), (353.2, 2003), (373.2, 2066)}
	model	polynomial of degree 3 or less

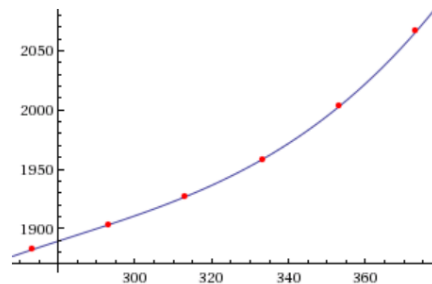
Least-squares best fit:

$$0.000111111x^3 - 0.0946083x^2 + 27.8981x - 944.074$$

Fit diagnostics:

AIC	BIC	R^2	adjusted R^2
4.60124	3.56004	0.999994	0.999985

Plot of the least-squares fit:



Enable interactivity

Input interpretation:

fit	data	{(273.2, 4219), (293.2, 4184), (313.2, 4179), (333.2, 4185), (353.2, 4197), (373.2, 4216)}
	model	polynomial of degree 3 or less

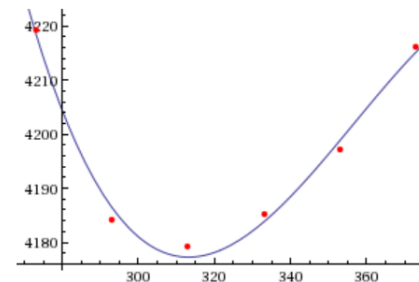
Least-squares best fit:

$$-0.000150463x^3 + 0.160978x^2 - 56.5582x + 10722.9$$

Fit diagnostics:

AIC	BIC	R^2	adjusted R^2
32.338	31.2968	0.990185	0.975462

Plot of the least-squares fit:



Enable interactivity

상승응결고도의 높이 구하기

- 상승응결고도의 높이는 기온감률을 이용하여 구한다.
- 상승응결고도에서의 온도(T_{LCL})와 분출 당시의 온도(T) 차에 기온감률(Γ)을 나눠주면 상승응결고도의 높이를 구할 수 있다.
- $z_{LCL} = z_0 + (T - T_{LCL}) \div \underline{\Gamma}$

상승응결고도의 높이 구하기

- 기온감률 구하기

- $\Gamma = \frac{g}{c_p} = \frac{g}{c_{pd}(1+0.87q)}$

- $c_{pd} = \frac{7}{2} R_d = \frac{7}{2} \frac{R^*}{M_d}$

계산 내용을 실제 화산에 적용하기

- **마우나 로아(Mauna Loa) 화산**

- 하와이 섬의 활화산
- 산의 부피와 면적 면에서 세계에서 가장 큰 화산
- 높이 : 약 4200m



계산 내용을 실제 화산에 적용하기

● 마우나 로아(Mauna Loa) 화산

- $z_0=4200\text{m}$, $P_0=601\text{mb}$, $T=86^\circ\text{C}=359\text{K}$
- 화산기체 구성: 수증기 85.2%, 이산화탄소 3.16%, 이산화황 9.612%, 수소 0.85%, 황화수소 0.53%, 염화수소 0.32%, 불화수소 0.26%, 일산화탄소 0.068%
- $\overline{M_d}=47.11$
- $q=0.66$
- $\gamma=1.34$

계산 내용을 실제 화산에 적용하기



The screenshot shows the WolframAlpha interface. At the top is the logo "WolframAlpha" with the tagline "computational... knowledge engine". Below the logo is a search bar containing the text "boiling point at 601mbar". To the right of the search bar are icons for saving (star) and sharing (square). Below the search bar are icons for keyboard, camera, list, and share. To the right of these icons are links for "Examples" and "Random". Below the search bar is a section titled "Input interpretation:" which shows the input broken down into four parts: "water", "boiling point", "pressure", and "601 mbar (millibars)". Below this is a section titled "Result:" which shows the output: "86.22 °C (degrees Celsius)".

WolframAlpha computational... knowledge engine

boiling point at 601mbar

Examples Random

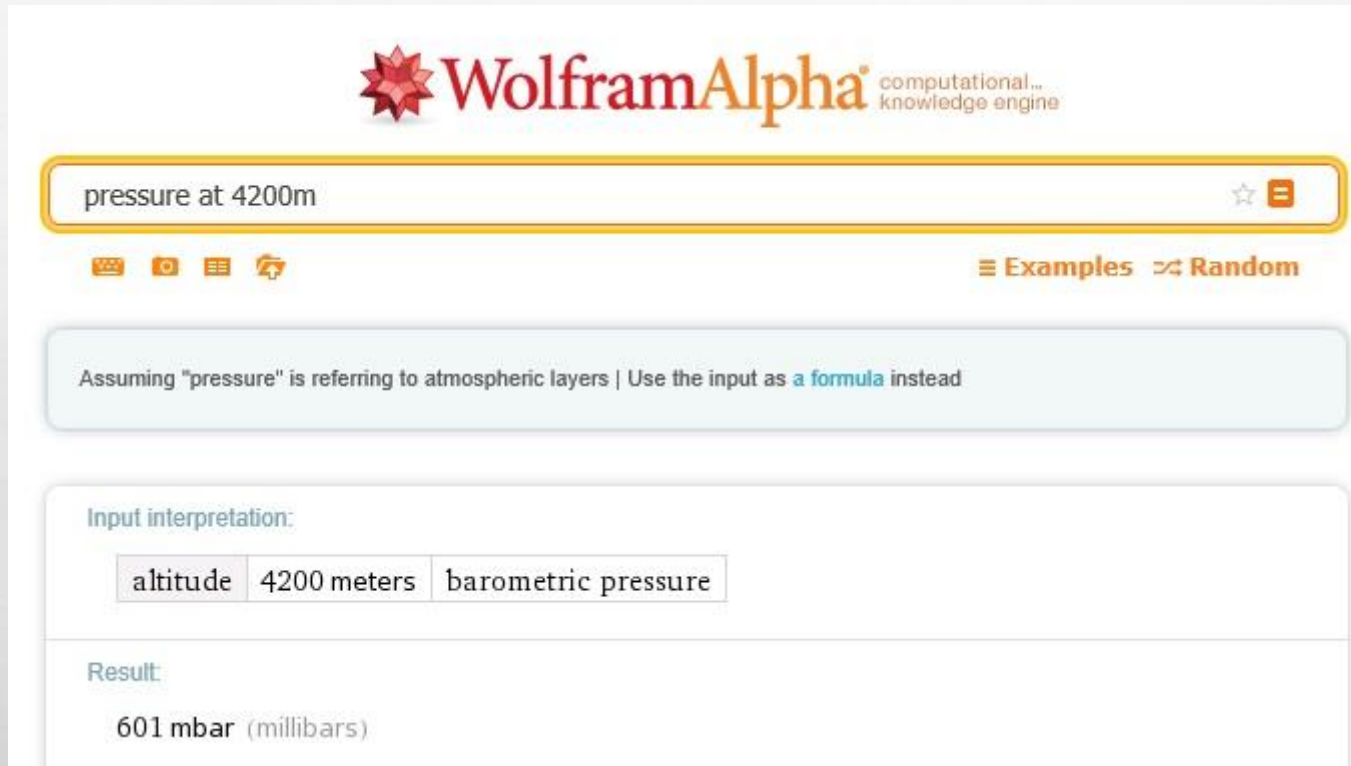
Input interpretation:

water	boiling point	pressure	601 mbar (millibars)
-------	---------------	----------	----------------------

Result:

86.22 °C (degrees Celsius)

계산 내용을 실제 화산에 적용하기



The screenshot shows the WolframAlpha interface. At the top is the logo with the text "WolframAlpha computational knowledge engine". Below it is a search bar containing the text "pressure at 4200m". To the right of the search bar are icons for a star and a menu. Below the search bar are several small icons (calculator, camera, list, etc.) and links for "Examples" and "Random". A light blue box contains the text: "Assuming 'pressure' is referring to atmospheric layers | Use the input as [a formula](#) instead". Below this is a section titled "Input interpretation:" which shows a table with three columns: "altitude", "4200 meters", and "barometric pressure". At the bottom is a section titled "Result:" which shows the answer "601 mbar (millibars)".

WolframAlpha computational knowledge engine

pressure at 4200m

Assuming "pressure" is referring to atmospheric layers | Use the input as [a formula](#) instead

Input interpretation:

altitude	4200 meters	barometric pressure
----------	-------------	---------------------

Result:

601 mbar (millibars)

계산 내용을 실제 화산에 적용하기

$$q = \frac{m_v}{m} = \frac{15.336}{23.25} \approx 0.66$$

$$\overline{M_d} = \sum_{\text{except } H_2O} \alpha m \approx 47.11$$

$$\gamma = \frac{c_p}{c_V} = \frac{c_{pd} (1 + 0.87q)}{c_{Vd} (1 + 0.97q)} = \frac{7 (1 + 0.87 \times 0.66)}{5 (1 + 0.97 \times 0.66)} \approx 1.34$$

계산 내용을 실제 화산에 적용하기

- **마우나로아 화산(하와이)**

- $e_{sw}=595.873\text{mb}$, $e=512.052\text{mb}$, $r=0.8593$

- $T_{dew}=353.947\text{K}$

- $T_{LCL}=351.083\text{K}$

- $\Gamma=10.36\text{ }^{\circ}\text{C /km}$

- 구름 높이 = 4.964km

계산 내용을 실제 화산에 적용하기

$$\begin{aligned} e_{sw} &= 6.11 \exp\left(53.49 - \frac{6808}{T} - 5.09 \ln T\right) \\ &= 6.11 \exp\left(53.49 - \frac{6808}{359} - 5.09 \ln 359\right) = 595.873 \end{aligned}$$

$$e = P_0 \times \frac{n_v}{n} = 601 \times 0.82 = 512.052$$

$$\begin{aligned} l_v &= 2.5 \times 10^6 + 0.0000653935(86)^4 - 0.0851954(86)^3 \\ &\quad + 42.2282(86)^2 - 11667(86) = 1.76 \times 10^6 \end{aligned}$$

$$r = \frac{e}{e_{sw}} = \frac{512.052}{595.873}$$

계산 내용을 실제 화산에 적용하기

$$\Gamma = \frac{g}{c_p} = \frac{g}{c_{pd}(1 + 0.87q)} = \frac{g}{(\frac{7}{2})(\frac{R^*}{M_d})(1 + 0.87q)} \approx 10.36$$

$$\begin{aligned} T - T_{dew} &= -R_v T T_{dew} \ln r / l_v \\ 359 - T_{dew} &= -461.51 \times 359 \times T_{dew} \ln 0.893 / 1.76 \times 10^6 \\ \therefore T_{dew} &= 353.947 \end{aligned}$$

계산 내용을 실제 화산에 적용하기

$$\frac{T - T_{dew}}{T T_{dew}} = A \ln \frac{T_{LCL}}{T} + \left(\frac{1}{T_{LCL}} - \frac{1}{T} \right), A = \frac{\left(\frac{\gamma}{\gamma - 1} \right)}{\left(\frac{l_v}{R_v} \right)}$$

$$\frac{359 - 353.947}{359 \times 353.947} = A \ln \frac{T_{LCL}}{359} + \left(\frac{1}{T_{LCL}} - \frac{1}{359} \right), A = \frac{\left(\frac{1.34}{1.34 - 1} \right)}{\left(\frac{1.76 \times 10^6}{461.51} \right)}$$

$$\therefore T_{LCL} \approx 351.083$$

$$z_{LCL} = z_0 + (T - T_{LCL}) \div \Gamma = 4.2 + \frac{359 - 351.083}{10.36} = 4.964$$

계산 내용을 실제 화산에 적용하기

●운젠 화산

- 일본 규슈에 위치한 활화산
- 성층화산과 종상화산이 합쳐진 복합화산
- 높이 : 약 1800m



계산 내용을 실제 화산에 적용하기

●운젠 화산

- $z_0=1800\text{m}$, $P_0=815\text{mb}$, $T=94.26^\circ\text{C}=367.4\text{K}$
- 화산 기체 구성 : 수증기 64.3%, 이산화탄소 21.86%, 이산화황 7.72%, 염화수소 6.11%
- $\overline{M_d}=46.943$
- $q=0.41$
- $\gamma=1.36$

계산 내용을 실제 화산에 적용하기

• 운젠 화산

- $e_{sw}=817.195\text{mb}$, $e=514.045\text{mb}$, $r=0.6412$
- $T_{\text{dew}}=351.89\text{K}$
- $T_{\text{LCL}}=343.62\text{K}$
- $\Gamma=10.1498^{\circ}\text{C}/\text{km}$
- $z_{\text{LCL}}=4.14\text{km}$

CONCLUSION

최종 고찰

최종 고찰

- T_{dew} , T_{LCL} 값

- T_{dew} , T_{LCL} 값이 일반적인 상황에 비해 무척이나 큼
- 화산 폭발과 화산 기체라는 특수한 상황
- 기온과 상대 습도가 무척이나 높음

	마우나 로아 화산	운젠 화산
T_{dew}	353.947	351.89
T_{LCL}	351.083	343.62

최종 고찰

- z_{LCL} 값

- 두 화산의 고도는 차이가 많이 나지만 z_{LCL} 값은 거의 비슷하게 나타남
- 두 화산 사이의 상대 습도 차이로 인해 이슬점 온도에서 차이가 생겨서 나타나는 결과로 보임

	마우나 로아 화산	운젠 화산
z_0	4.2	1.8
z_{LCL}	4.964	4.14

최종 고찰

●한계점

- 분출된 화산 기체가 단열 과정을 거친다고 가정했으나 실제로는 주변과의 열 교환 및 기체 교환이 있을 것으로 생각된다.
- Non-explosive gas release를 가정하여 분출하는 화산 기체의 온도를 주어진 기압 하에서의 물의 끓는 점으로 두었으나 실제로는 마그마와 같은 열원으로부터 공급되는 열에 인해 초기 화산 가스의 온도가 이보다 높게 나타날 것이다.
- 본 연구에서는 화산재와 같은 화산 입자들의 영향을 무시했으나 실제로는 화산 입자들이 응결핵 역할을 하여 구름 형성에 영향을 끼칠 것이다.

REFERENCE

- 참고문헌

L.P.Greenland, *Gas composition of the January 1983 eruption of Kilauea Volcano, Hawaii*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol 48, pp.193-195.

Shogo Komori 외 2인, *Possibility of effective magma degassing into groundwater flow systems beneath Unzen volcanic area, SW Japan, inferred from the evaluation of volcanic gas fluxes using electrical conductivity structures*, *Journal of Volcanology and Geothermal research*, vol 283, pp.73-81.

Francis Peeter, *Volcanoes: a planetary perspective*, 1993.

Modeling volcanic processes: the physics and mathematics of volcanism, 2013.

Anastasios A. Tsonis, *An introduction to Atmospheric Thermodynamics*, Cambridge University Press, 2007.

REFERENCE

참고사이트

www.wolframalpha.com

https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%A7%88%EC%9A%B0%EB%82%98%EB%A1%9C%EC%95%84_%EC%82%B0

https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%9A%B4%EC%A0%A0_%EC%82%B0

https://en.wikipedia.org/wiki/Volcanic_gas

사진자료

<http://www.agaholiday.com/public/gallery/volcanoes1.jpg>

http://assets2.japan-guide.com/page_files/shimabara_peninsula_mount_unzen_4452_08.jpg?1368686118

THANK YOU