

화산호에서 화산분출과정에 일어나는 물과 증기변화특성

최광우, 김연호

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《환경보호부문의 과학연구기관들에서는 환경보호사업의 시대적추세에 맞게 과학연구 사업을 강화하여 환경보호사업을 발전시키는데서 나서는 과학기술적문제들을 제때에 풀어야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제22권 322페이지)

화산호에서 화산분출이 일어나는 경우 지상에서 일어나는 일반적인 화산분출보다 더 큰 피해를 줄수 있다.[1, 2] 그러므로 화산분출과정에 화산호에서 일어나는 물과 증기의 변화 특성과 같은 복잡한 물리적과정을 과학적으로 모의하는것은 화산분출에 의한 피해를 미리 막는데서 중요한 의의를 가진다.

론문에서는 끓음흐름모형 즉 물과 증기의 2상층흐름모형과 열전도모형을 결합하여 지구 화산호에서 화산분출에 의한 피해를 예측하기 위한 연구를 진행하였다.

1. 화산호에서 물과 증기변화특성평가를 위한 수학모형

끓음흐름모형에서 상변화를 나타내는 물과 증기의 상태방정식은 다음과 같이 표시할 수 있다.[3]

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + u \cdot \nabla \phi - m \delta \left(\frac{V_{f,V}}{\rho_V} + \frac{V_{f,L}}{\rho_L} \right) = \nabla \cdot \frac{\gamma \lambda}{\varepsilon^2} \nabla \psi \quad (1)$$

$$\psi = -\nabla \cdot \varepsilon^2 \nabla \phi + (\phi^2 - 1) \phi \quad (2)$$

여기서 ϕ 는 $-1 \leq \phi \leq 1$ 인 무차원위상마당변수, u 는 류체의 흐름속도, m 은 류체의 질량, δ 는 물과 증기상경계의 평활정도, $V_{f,L}$ 과 $V_{f,V}$ 는 각각 물과 증기의 체적, λ 는 혼합에너르기 밀도, ε 은 모세관두께, γ 는 이동도, ρ_L 와 ρ_V 는 물과 증기의 밀도이다.

물과 증기의 운동량방정식은 체적힘에 걸면장력을 포함시켜 다음과 같이 표시할수 있다.

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho(u \cdot \nabla)u = \nabla \cdot [-pI + \eta(\nabla u + (\nabla u)^T)] + \rho g + G \nabla \phi \quad (3)$$

여기서 ρ 는 류체의 밀도, η 는 류체의 점성, p 는 압력, g 는 중력가속도, G 는 화학포텐살이다.

물과 증기의 연속방정식은 액체로부터 증기로의 상변화를 고려하면 다음과 같이 표시된다.

$$\nabla \cdot u = m \delta \left(\frac{1}{\rho_V} - \frac{1}{\rho_L} \right) \quad (4)$$

증기상태에서 열전도방정식은 다음과 같다.

$$\rho_V C_p \frac{\partial T_V}{\partial t} + \rho_V C_p (u_V \cdot \nabla) T_V = -\nabla \cdot k_V \nabla T_V \quad (5)$$

여기서 T_V 는 증기의 온도, C_p 는 증기의 비열, u_V 는 증기의 속도, k_V 는 증기의 열전도도이다.

2. 화산호에서의 분출과정모형화

모형실험에서 리용한 2상의 류체는 물과 증기이며 그것들의 물리적상수와 물성파라미터들은 표 1, 2와 같다.

표 1. 모형의 물리적상수

상수	값
물 분자량/($\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$)	0.018
증발잠열/($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$)	2 333 333
끓음점(대기압)/K	373
대기압/Pa	101 325
중력가속도/($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	9.82
겉면장력계수/($\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$)	0.072

표 2. 모형의 물성파라미터

물성파라미터	물	수증기
밀도/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	998.2	0.554 2
정압비열/($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	4 182	1 840
열전도도/($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$)	0.6	0.026 1
점성계수/($\text{K}\cdot\text{ms}^{-1}$)	0.001 003	$1.34\cdot 10^{-5}$
분자량	18.015 2	18.015 34
표준엔탈피/J	$-2.858\ 412\cdot 10^8$	$-2.418\cdot 10^8$

화도중심부분을 확대칭하여 작성한 日지구의 화산호모형은 그림 1과 같다.

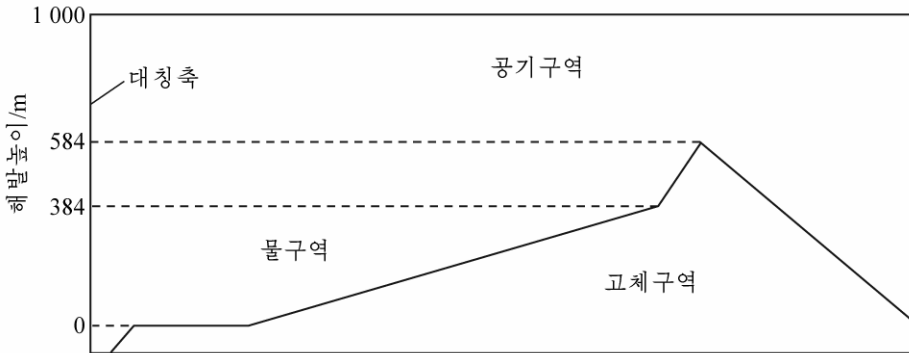


그림 1. 화산호모형

다음 COMSOL Multiphysics에서 류체동력학적특성에 맞게 살창구조를 설계하였다. 이때 조밀한 방식(Finer)을 선택하고 요소살창의 최대크기는 30.8m, 최소크기는 0.44m, 요소3각형의 수는 5 637개로 설정하였다.

모형실험에서는 분출규모에 따라 분출구역에서의 화도반경과 분화구반경을 각이하계 설계하였다. 실험으로 초대규모 2의 경우 화도반경은 50m, 분화구반경은 135m로, 초대규모 1의 경우 화도반경은 43m, 분화구반경은 80m로 수정하였다.

화산호에서 물이 없어지는 시간은 계산시간 t 와 물의 체적 $V_{f,L}$ 사이의 1차회귀식에 의하여 계산하였다.(그림 2)

$$V_{f,L} = 407\ 246.5 - 3\ 392.4t$$

계산결과 $V_{f,L} = 0$ 인 순간은 $t = 120.0\ 461\text{s}$ (약 2min)이다.

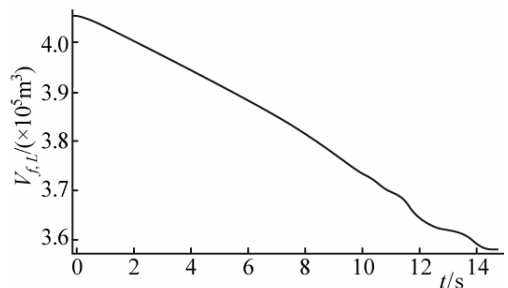


그림 2. 시간에 따르는 물의 체적변화특성

분출규모에 따르는 동력학적특성량과 모의결과는 표 3과 같다.

표 3. 분출규모에 따르는 동력학적특성량과 모의결과

지 표	초대 규모 2	초대 규모 1	대 규모	중 규모
분출압장의 온도/°C	900	900	850	800
초기 분출속도/(m·s ⁻¹)	265	216	156	110
화도직경/m	100	86	52	42
분화구직경/m	270	160	93	50
모의 증기가 호수면에 올라오는 시간/s	12.4	8.2	6.3	4.3
결과 물이 없어지는 시간/s	120.046 1	158.304 9	324.428 8	336.893 9

맺 는 말

- 1) 증기가 호수면에 올라오는 시간은 분출규모가 작을수록 빨라진다.
- 2) 화산호에서 물이 완전히 증발되는 시간은 분출규모가 클수록 빨라진다.
- 3) H지구의 화산호에서 화산분출이 일어날 때 호수물의 범람현상은 일어나지 않는다.

참 고 문 헌

- [1] 박치봉 등; 백두화산, 김일성종합대학출판사, 110~145, 주체101(2012).
 [2] Dmitri Rouwet et al.; Volcanic Lakes, Springer, 125~150, 2015.
 [3] Y. Sun et al.; Physica D., 198, 281, 2004.

주체108(2019)년 1월 5일 원고접수

Water and Steam Variation Characteristics during Volcanic Eruption in Volcanic Lake

Choe Kwang U, Kim Yon Ho

We studied the water-steam variation characteristics during volcanic eruption in volcanic lake by the combination of laminar two-phase model of water and steam and heat transfer model. The research results revealed that the smaller the eruption scale was, the shorter the time required in what water steam came up the surface of the lake got and the flooding of lake water would not occur during the volcanic eruption in the case of the volcanic lake of “H” area.

Key words: volcanic lake, volcanic eruption, lake flooding