

## 화산분출때 토석류의 변형과정에 대한 연구

김 영 일

최근 년간에 세계 여러 나라들에서 화산재해방지를 위한 연구가 광범하게 진행되고 있으며 적지 않은 연구성과들이 이룩되고있다.[2-4] 특히 백두산에서의 화산재분출위험성에 대한 논의가 최근시기 적지 않게 제기되면서 이에 대한 연구가 본격적으로 진행되고있으며 주요피해인자인 토석류에 대하여서도 정성적인 연구결과들이 제기[5]되고있다.

우리는 백두화산분출때 중요한 피해요소의 하나인 토석류의 운동과정을 모의하고 토석류에 의한 피해에측도를 작성하였다.

### 1. 토석류운동과정계산원리와 방법

큰물흐름과정에 대한 계산을 하천흐름의 1차원수값풀이방법으로 계산한다.[1]

#### 1) 기본방정식계

토석류운동과정에 대한 기본방정식계는 다음과 같다.[1]

운반물흐름의 연속방정식

$$\frac{\partial(Qx)}{\partial x} + \frac{\partial(AS)}{\partial t} = \alpha\omega B(S - S_*) \quad (1)$$

강바닥변형방정식

$$\rho' \frac{\partial Z_0}{\partial t} = \alpha\omega(S - S_*) \quad (2)$$

여기서  $Q$ 는 물흐름량,  $B$ 는 가로자름면의 물면너비,  $x$ 는 길이자리표,  $t$ 는 시간자리표,  $A$ 는 가로자름면의 면적,  $\rho'$ 는 공극을 포함하고있는 바닥운반물의 체적밀도,  $Z_0$ 은 강바닥높이,  $\omega$ 는 운반물알갱이의 침강속도,  $\alpha$ 는 하천흐름의 실제적인 함사량과 수송능력의 호상관계에 따라 결정되는 지역결수,  $S$ 는 함사량,  $S_*$ 은 물흐름의 수송능력인데 다음과 같다.

$$S_* = K \left( \frac{V^3}{gh\omega} \right)^m \quad (3)$$

여기서  $V$ 는 자름면평균흐름속도,  $g$ 는 중력가속도,  $h$ 는 자름면평균물깊이,  $K, m$ 은 물흐름과 토석류의 운반물특성을 반영하는 결수와 지수이다.

기본방정식계를 계차도식으로 넘겨 토석류의 운동과정을 모의한다.

#### 2) 함사량 및 강바닥변형계산

계차도식은 그림과 같다.

식 (1)의 매개 항을 그림의 자리표와 마디점들에 따라 계차형식으로 넘기면

$$\frac{\partial(AS)}{\partial t} = \frac{A_i^{j+1}S_i^{j+1} - A_i^jS_i^j}{\Delta t}, \quad (4)$$

$$\frac{\partial QS}{\partial x} = \begin{cases} \frac{Q_i^{j+1}S_i^{j+1} - Q_{i-1}^{j+1}S_{i-1}^{j+1}}{\Delta x_{i-1}}, & Q \geq 0 \\ \frac{Q_{i+1}^{j+1}S_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}S_i^{j+1}}{\Delta x_i}, & Q < 0 \end{cases}, \quad (5)$$

$$\alpha B \omega (S - S_*) = [\alpha B \omega (S - S_*)]_i^{j+1}. \quad (6)$$

식 (4)–(6)을 식 (1)에 대입하고 정리하면

$$S_i^{j+1} = \frac{\Delta t \alpha_i^{j+1} B_i^{j+1} \omega_i^{j+1} S_{*i}^{j+1} + A_i^j S_i^j + \frac{\Delta t}{\Delta x_{i-1}} Q_{i-1}^{j+1} S_{i-1}^{j+1}}{A_i^{j+1} + \Delta t \alpha_i^{j+1} B_i^{j+1} \omega_i^{j+1} + \frac{\Delta t}{\Delta x_{i-1}} Q_i^{j+1}}. \quad (7)$$

식 (2)를 계차방정식으로 넘기고 정리하면

$$\Delta Z_{0i}^{j+1} = \frac{\Delta t}{\rho'} [\alpha_i^{j+1} \omega_i^{j+1} (S_i^{j+1} - S_{*i}^{j+1})] \quad (8)$$

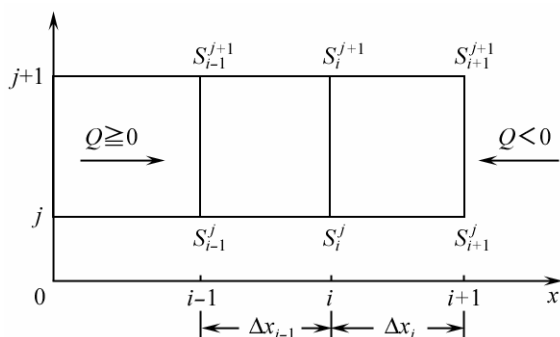


그림. 부유운반물흐름의 계차도식

물흐름과정의 요소값들을 먼저 계산한 다음 그 결과를 리용하여 함수량과 강바닥변형과정을 계산하는 비결합풀이방법은 강바닥변형과정의 수값모형화에서 그 풀이의 안정성을 높일수 있고 따라서 정확도도 높일수 있다.

그러므로 우리는 비결합풀이방법을 리용하여 토석류의 운동과정을 모의분석하였다.

계산과정에 모든 운반물인자들은 토석류에서 대응되는 값들을 리용한다. 강바닥조성

이 부석이 아닌 자연하천강바닥으로 되어있는 위치로부터 시작하여 그 하류부에서는 강바닥에 침식이 생기는 경우 수송능력계산에서 강바닥파라미터값들을 다시 자연하천에 대응되게 수정하여야 한다.

또한 퇴적구역에서는 부석의 퇴적과정과 퇴적되었던 부석의 침식과정이 끝나고 그 밑에 있던 초기상태의 강바닥까지 침식되는 경우에 일반하천의 강바닥파라미터값들을 주고 변형계산을 진행해야 한다.

## 2. 화산분출때의 토석류변형과정모의분석

론문에서는 백두산에서 1 000년전의 대분출과 같은 분출이 있는 경우를 가상하여 압록강, 두만강류역들에서 토석류의 운동과정과 그 퇴적과정을 모의분석하였다.

백두산지구에서 눈이 평균적으로 2m정도 쌓여있는 겨울철에 화산이 폭발하는 경우 토석류의 이동거리는 크며 재해정도가 최대로 된다. 그리고 눈이 없는 여름철에는 최소로 된다. 실제로 이 지구에서 화산쇄설흐름의 영향반경이 30km이고 눈이 2m 높이로 쌓여있을 때 토석류운동 및 퇴적계산결과를 보면 토석류는 상류에서 하류로 가면서 점차적으로 완화되는 경향성을 가지며 그 영향거리는 일정한 차이를 가진다. 토석류형성점으로부터 시작하여 토석류가 영향을 미치는 거리는 압록강에서 여름철에 22.541km, 겨울철에 27.796km로서 제일 크며 두만강지류 1에서는 여름철에 15.882km, 겨울철에 21.097km, 지류 2에서는 여름철에 20.387km, 겨울철에 22.884km이다.

## 맺 는 말

화산분출때 화산쇄설흐름구역에서 형성된 토석류는 류역하류방향으로 20km이상의 먼거리까지 이동하면서 넓은 침수구역에 퇴적된다. 해당한 류역들에서는 토석류에 의한 강하천과 주변토지, 주요대상물들의 침수, 퇴적피해를 막기 위한 방지대책을 미리 세워야 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 50, 5, 177, 주체93(2004).
- [2] F. Lavigne et al.; Geomorphology, 49, 45, 2002.
- [3] F. Lavigne; Journal of Volcanology and Geothermal Research, 100, 423, 2000.
- [4] Keith Beven; Rainfall Runoff Modeliing, Wiley-Blackwell, 79~88, 2012.
- [5] 刘祥; 长春科技大学学报, 30, 1, 14, 2000.

주체104(2015)년 10월 5일 원고접수

## **Transformation Process of Debris Flow when Volcano Erupts**

*Kim Yong Il*

I simulated the movement process of debris flow as one of the important damage factors when volcano erupts.

When volcano erupts, debris flow formed at the volcano clast flowing zone moves more than 20km to accumulate in the large submergence.

Key words: volcano, debris flow