

土壤의 浸蝕과 保存에 관한 理論的 分析

3. 斜面 土壤의 浸蝕에 관한 理論

張 楠 基

서울대학교 師範大學 生物教育科

The Theoretical Analyses of the Soil Erosion and Conservation

3. Analytical Theory of Slope Erosion

Chang, Nam-Kee

Dept. of Biology Education, Seoul National University

ABSTRACT

The theory of slope erosion is developed along similar lines to the theory of heat flow in solid added to the correcting factor. If slope erosion in the forest and grassland proceeds according to the hypothesis, it is

$$\frac{\partial y}{\partial t} = k \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + f(s, b, t)$$

where s is internal properties of slope soil and b is biota on slope.

When the variables of the equation of slope erosion are $x = -\lambda$, the initial elevation = $-f(\lambda)$, $x = \lambda$, $x = a$, the steady value of the initial elevation = Y , and $\frac{dy}{dx} \Big|_{x=0} = 0 (t > 0)$, respectively, the boundary condition due to the solution of the equation of slope erosion is

$$y = \frac{Y}{2\sqrt{\pi kt}} \left[\int_0^a \lambda e^{-\frac{(x-\lambda)^2}{4kt}} d\lambda - \int_0^a \lambda e^{-\frac{(x+\lambda)^2}{4kt}} d\lambda \right] + \int \int \int f(s \cdot b \cdot t) dt db ds$$

Key words: Theoretical analyses, Soil erosion and conservation, Slope erosion

緒 論

한국에 있어서 토양이 침식되는 mechanism에 관한 理論的 연구는 金과 張(1968)에 의하여 시작되었다. 토양성분의 流失과 消失은 주로 물과 바람에 의하여 이루어진다. 이 土壤浸蝕은 山野의 地形을 一定한 方向으로 變化시킨다. 土壤斜面을 無限의 平面으로 수렴시키는 方向으로 浸

蝕되어 간다. 즉, 急傾斜로부터 점차 완만한 경사로 변화되어 平面으로 가까워지는 방향으로 斜面浸蝕은 進行된다. 이것을 斜面浸蝕(slope erosion)이라고 定義한다.

본 연구에서는 토양의 사면침식에 의한 裸地, 耕作地, 草地 및 林地의 斜面變化를 분석하고 斜面浸蝕의 이론을 전개하였다.

斜面浸蝕의 理論

Culling(1960)은 slope erosion의 理論方程式이 Carslaw and Jacger(1959)에 의하여 考察된 固體의 熱傳導方程式과 同一하게 表示된다는 것을 提唱하였다.

이 說은 理想的 地形의 斜面發達過程에 對한 變化를 數式化한 것으로 斜面浸蝕의 立場에서 보면 slope를 構成하고 있는 物質의 內成因子와 植生을 비롯한 여러 生物의 影響을 고려하여 基礎方程式에 補正項을 첨가하지 않으면 안된다는 것을 알 수 있다.

時間을 t 라 하고 山中心으로 부터의 距離를 x 및 高度(elevation)를 y 로 表示하면 slope erosion은 다음과 같은 式으로 주어진다.

$$\frac{\partial y}{\partial t} = k \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \dots\dots\dots(1)$$

여기서 k 는 斜面의 浸蝕係數이다.

(1)式은 三次元인 境遇 다음과 같이 變形된다.

$$\frac{\partial v}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \dots\dots\dots(2)$$

x 方向에서 segment의 移動速度를 u (後退係數)라고 하면 (1)式의 boundary condition은

$$\frac{\partial y}{\partial t} = k \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - u \frac{\partial y}{\partial x} \dots\dots\dots(3)$$

으로 나타낼 수 있다. 이 式은 斷層崖로부터 始作하여 山形이 變化하는 것을 나타내는 式이다.

위의 基本方程式은 나지에서는 gully가 形成되어 差異가 있는 것같이 보이나 전체적인 斜面에서 관찰하면 잘 一致된다. 草地나 森林에서는 그 速度가 禿裸地에 비하여 늦으나 基本方程式에 잘 一致되는 것을 실제로 觀察할 수 있다. 특히 境界條件(boundary condition)은 岩石의 노출과 같은 지각의 內成狀態와 식물 의 종류에 따른 植被의 變化를 사면침식의 이론에서 無視할 수 없는 因子임에 틀림없다. 이 以外에도 動物과 人間의 影響을 고려하지 않으면 안된다. 특히 人間의 開拓活動은 점점 지대한 影響을 미치고 있다.

그러므로 基本方程式의 補正項을 考慮하면 p 地點에서 지각의 內成因子를 s 라 하고 그 地點에서의 vegetation을 비롯한 生物因子를 b 라고 하면 이들은 時間 t 에 따라 變할 것이므로 補正項 C_0 는

$$C_0 = f(s, b, t) \dots\dots\dots(4)$$

로 된다. 그러므로 山林과 草地에 있어서 slope erosion은

$$\frac{\partial y}{\partial t} = k \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + f(s, b, t) \dots\dots\dots (5)$$

로 되며 (5)式的 boundary condition은

$$\frac{\partial y}{\partial t} = k \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - u \frac{\partial y}{\partial x} + f(s, b, t) \dots\dots\dots (6)$$

로 表示된다. 따라서 三次元的으로는

$$\frac{\partial v}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + \int \int \int mdv \dots\dots\dots (7)$$

로 表示된다.

理論的 分析

1. 斜面浸蝕의 基本 model

Culling(1960)의 基礎方程式에서 $x = -\lambda$ 로 놓으면 最初의 elevation은 $-f(\lambda)$ 이며 $x = \lambda$ 일 때는 $f(\lambda)$ 이므로 面 $x=0$ 는 必然的으로 0이 된다. 이에 依하여 (1)式的 解를 求하면

$$y = \frac{1}{2\sqrt{\pi kt}} \int_0^\infty \lambda f(\lambda) \left[e^{-\frac{(x-\lambda)^2}{4kt}} - e^{-\frac{(x+\lambda)^2}{4kt}} \right] d\lambda \dots\dots\dots (8)$$

로 주어지며 $x=a$ 內의 最初의 elevation이 一定值 Y 인 때에는 (8)式은

$$y = \frac{Y}{2\sqrt{\pi kt}} \left[\int_0^a \lambda e^{-\frac{(x-\lambda)^2}{4kt}} d\lambda - \int_0^a \lambda e^{-\frac{(x+\lambda)^2}{4kt}} d\lambda \right] \dots\dots\dots (9)$$

로 된다. 이 式에서 $0 < x < \infty$ 이다.

(9)式에서 山中心으로 부터의 距離를 100m라 하고 最初의 elevation을 간단히 Y 로 하고 浸蝕 係數 k 의 值를 0.0118이라고 할 때 slope erosion은 Fig. 1과 같이 變化된다.

2. 補正項

(4)식은 한 地點에서 일어나는 사면침식에 있어서의 數學的 基本 model (9)식을 補正함으로써 한 지역의 사면침식을 精確히 modeling하는데 있다.

한 지역에 있어서의 보정치는 (4)式에서

$$\lim_{\Delta A \rightarrow 0} \sum f(s, b, t) \Delta A = \int_A \int f(s, b, t) dA$$

이 식을 變化因子에 의해 積分하면 C_o 의 求積量 C_o 는

$$C_o = \iiint f(s, b, t) dt db ds \dots\dots\dots (10)$$

로 표시된다.

(10)式에서 알 수 있는 바와 같이 補正項은 지각의 內成因子와 植被를 비롯한 生物에 依하여 變하는 것으로 그 범위가 大端히 광범하며 地點과 地域에 따라 다르다.

(10)式에서 b 因子는 다시 氣候, 土壤의 物理化學의 特性, 地勢, 他生物 및 時間等 여러가지 環境 要因의 函數이다(Chang & Yoshida, 1973; 장과 윤, 1994).

그러므로 森林과 草地의 植被가 만드는 境界조건은 (9)식과는 다르며 (10)식의 보정항을 고려한 方程式이어야 한다는 것을 나타낸다.

3. 斜面浸蝕의 一般 model

토양의 사면침식에 의한 裸地, 山林地, 草地의 斜面變化는 (9)식과 (10)식을 적용하여

$$y = \frac{Y}{2\sqrt{\pi kt}} \left[\int_0^x \lambda e^{-\frac{(x-\lambda)^2}{4kt}} d\lambda - \int_0^x \lambda e^{-\frac{(x+\lambda)^2}{4kt}} d\lambda \right] + \iiint f(s, b, t) dt db ds \dots\dots\dots (11)$$

로 誘導할 수 있다. Fig. 1의 경우와 同一한 條件下에서 補正項을 고려하면 Fig. 3과 같이 表示된다.

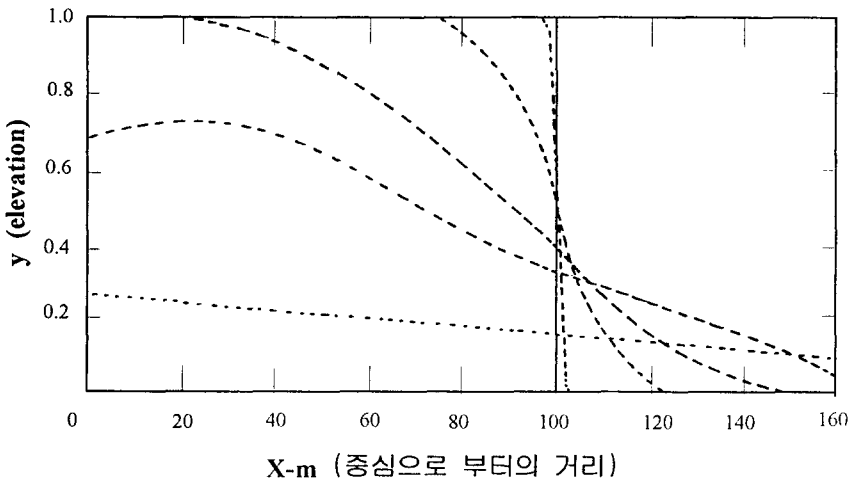


Fig. 1. A series of curves for the equation(9).

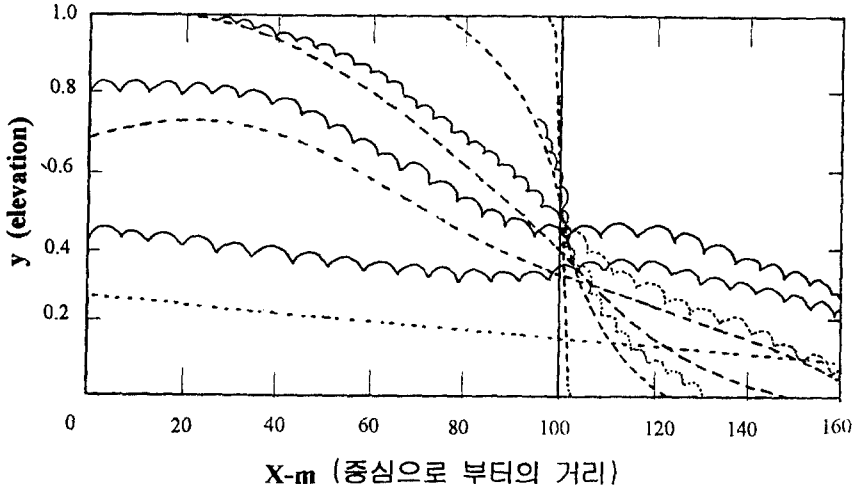


Fig. 2. A series of curves for the equation(11).

浸蝕係數 k 는 森林과 草地에서 vegetation에 依하여 變化하지만 Midleton(1930)에 依하여 밝혀진 erosion ratio와는 正相關關係가 있다.

우리의 肉眼으로 觀察되는 森林과 草地의 boundary condition은 山林의 方位別이나 산록 및 山頂에서 植被의 發達에 差異가 存在하기 때문에 林床의 slope보다 더욱 그 경사가 완만하게 나타난다.

Fig. 4는 (11)식으로 해석되는 森林과 草地에서 일어나는 사면침식의 경계조건을 나타내주고 있으며 대단히 늦은 속도로 진행되고 있다는 것을 나타낸다.



Fig. 3. A grassland aspect of a slope erosion for the equation(9) with the equation(10).



Fig. 4. An oak forest aspect of a boundary condition of slope erosion for the equation(11).

4. 浸蝕係數 k

(5)式에서 알 수 있는 바와 같이 斜面浸蝕은 浸蝕係數의 變化에 따라 斜面의 多樣的 變化가 생기며 浸蝕係數의 實測은 실제로 森林과 草地에서는 補正項의 變化因子의 影響으로 土壤浸蝕이 비교적 均一하고 gully의 形成이 없기 때문에 浸蝕에 對한 均一性을 고려하여 그 地域의 平均値로 評價할 수 있다. 그러나 裸地의 境遇에는 浸蝕係數의 測定이 그 誤差범위가 너무나 크기 때문에 平均値로 評價하기 곤란한 경우도 存在한다.

摘 要

本 論文은 erosion에 依하여 森林과 草地의 slope의 變化하는 狀態를 分析하고 slope erosion의 理論을 展開하였다.

1. 森林과 草地에 있어서의 slope erosion은

$$\frac{\partial v}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) + f(s, b, t)$$

로 表示된다. 이 式에서 y =elevation, t =time, x =山中心으로 부터의 거리, s =slope의 內成因子, b =biota이다.

2. $x=\lambda$ 라 하고 最初의 elevation $f(\lambda)$ 를 Y 라고 假定하면 $x=a$ 內에서 上記式의 解를 求할 수 있으며,

$$y = \frac{Y}{2\sqrt{\pi kt}} \left[\int_0^a \lambda e^{-\frac{(x-\lambda)^2}{4kt}} d\lambda - \int_0^a \lambda e^{-\frac{(x+\lambda)^2}{4kt}} d\lambda \right] + \int \int \int f(s, b, t) dt db ds$$

로 주어진다.

引用文獻

1. Carslaw, H.S. and J.C. Jacger. 1959. Conduction of heat in solids: 2d ed., Oxford, Oxford University Press.
2. Chang, N.K. and S. Yoshida. 1973. Studies on the gross metabolism in a *Sasa paniculata* type grassland. I. The theoretical analysis applied to the estimation of the gross assimilation. Japan. Grassl. Sci. 19(1):107-134.
3. 장남기, 윤성모. 1994. 식피에 따른 토양과 무기양분의 유실. 한국잔디학회지 8(3):149-166.
4. Chang, N.K. 1996. The theoretical analyses of the soil erosion and conservation. 1. The Soil renewal and erosion. (in press).
5. Chang, N.K. 1996. The theoretical analyses of the soil erosion and conservation. 2. The theoretical expression of erosion tolerance for the soil conservation. (in press).
6. Culling, W.E.H. 1960. Analytical theory of erosion. The Journal of Geology 68(3):336-344.
7. Kim, C.M. and N.K. Chang. 1968. The theoretical analyses of the soil erosion. The College of Education Review. 10(1):133-158.
8. Midleton, H.E. 1970. Properties of soil which influence soil erosion. Technical Bulletin 178. March 1930, U.S. Dept. of Agriculture.