

# 土壤의 浸蝕과 保存에 관한 理論的 分析

## 2. 土壤浸蝕의 耐性에 관한 理論

張 楠 基

서울大學校 師範大學 生物教育科

# The Theoretical Analyses of the Soil Erosion and Conservation

## 2. The Theoretical Expression of Erosion Tolerance for the Soil Conservation

Chang, Nam-Kee

Dept. of Biology Education, Seoul National University

### ABSTRACT

The mechanical expression provides for the use of soil property reserves and permanent protection or improvement of soil resources in accordance with measurable standards.

If the functions  $I$  (initial soil property),  $E$  (soil erosion),  $R$  (soil renewal), and  $M_i$  (minimum allowable value) are assumed to be integrable in region  $A$ , erosion tolerance over a region is leaded to

$$\int_A \int I(m, cl, re, ch, b) dA - \int_A \int \left\{ \int_0^\infty [E(w, r, cl, re, ch, b, t) - R(m, ch, re, b, t)] dt \right\} dA \geq \int_A \int M_i(m, cl, re, ch, b) dA$$

were variable factors are  $m$ =parent material of soil,  $cl$ =climate,  $re$ =relief or topography,  $ch$ =soil characteristics,  $r$ =rain or water,  $w$ =wind,  $b$ =biota, and  $t$ =time.

**Key words:** Theoretical analyses, Soil erosion, Conservation, Erosion tolerance

### 緒 論

우리나라에서 토양의 침식을 防止하여 토양을 保存해야 한다는 것은 시급히 해결되어야 할 국토보존의 중요한 문제의 하나이다. 개인적으로나 국가적으로나 과학적인 조사연구로 토양의 保存策을 세워 토양자원의 流失과 消失을 최대한으로 방지하고 보호하지 않으면 안된다.

그러나 토양의 침식이 어떠한 形態로 일어나며 토양은 어떻게 물과 바람의 침식에 견디고 어

땡게 토양침식이 促進되는가에 관하여는 아직 구명되지 않았다.

본 연구에서는 土壤保存을 위해 침식과 그 내성을 理論的으로 분석하였다.

### 基本 假說

저자는 Stanny and Smith(1960)와 김·장(1965)의 가정을 참고로 하여 토양침식의 내성에 관한 기본가설을 다음과 같이 설정하였다.

(1) 侵蝕의 耐性(erosion tolerance)은 토양 資源의 永久保存과 改良을 위한 方案이 되어야 한다.

(2) 침식의 내성은 토양층(soil layer), 土性(soil texture), 植物養分(plant nutrients) 등과 같은 토양의 여러가지 特性에 대한 침식률(erosion rate)의 토양생성률(renewal rate)에 적용되어야 한다. 침식률과 토양 생성률간의 差는 變化에 대한 純生産率(net rate)이다.

(3) 침식의 내성은 地表面上의 어디에서나 浸蝕과 토양생성률이 같지 않다. 그러므로 이들은 位置에 따른 立地의 函數이다.

(4) 침식의 내성은 침식이나 토양생성의 原因에 관계없이 적용되어야 한다.

(5) 토양이 현재나 미래에 소요될 條件以上으로 有効性を 갖게될 때 그 必要以上の 有効部分이 토양의 耐性이다.

### 一地點의 土壤浸蝕의 耐性

지표면상의 한 地點 P에서는 토양을 形成하는 母物質(m), 바람과 비를 포함하는 氣候(cl), 地勢(re), 토양의 物理化學的 性質(ch) 및 植被 생태계(b)가 다를 것이므로 연구하려고 하는 특별한 토양특성의 純變化(net change)는 함수  $F(m, cl, re, ch, b, t)$ 로 표시할 수 있으며 이 함수는 時間 t에 의존되므로  $t_0 \rightarrow t$ 까지 時間이 경과하였을 때의 토양(soil)의 特性  $C_s$ 는

$$C_s = \int_{t_0}^t F(m, cl, re, ch, b, t) dt \dots\dots\dots(1)$$

로 되며 (1)식은  $m, cl, re, ch, b, t$ 의 함수로 나타난다. 만일  $F(m, cl, re, ch, b, t)$ 가 t의 連續函數라면 분명히  $m, cl, re, ch, b, t$ 의 함수이고 (1)식은 時間  $t_0$ 로부터 t까지의 土壤變化가 P지점에서 일어나는 토양의 總變化量을 표시한다.

土壤保存은 시간적으로 永久性이 있어야 하므로 (1)식은

$$C_s = \int_{t_0}^{\infty} F(m, cl, re, ch, b, t) dt \dots\dots\dots(2)$$

로 구할 수 있다. P地點에서 토양특성의 最少 허용량을  $M_i(m, cl, re, ch, b, t)$ 의 함수로 나타내고 하면 時間  $t_0$ 에서 測定評價한 함수를  $I(m, cl, re, ch, b)$ 라고 하면 토양특성의 순변화를 표시하는 함수  $F(m, cl, re, ch, b, t)$ 를 측정하면 P지점에서의 토양의 純變化 耐性(net change tolerance)를 定量化할 수 있다.

$$I(m, cl, re, ch, b) - \int_{t_0}^{\infty} F(m, cl, re, ch, b, t) \geq M_i(m, cl, re, ch, b, t) \dots\dots\dots(3)$$

(3)식은 P지점에 있어서의 침식함수(erosion function)을  $E(m, cl, re, ch, b, t)$ 로 나타내고 토양의 생성함수(renewal function)는  $R(m, cl, re, ch, b, t)$ 로 표시하면 E와 R을 만족하는 値는 언제나

- 1.  $E(w, r, cl, re, ch, b, t) \geq 0$
- 2.  $R(m, cl, re, ch, b, t) \geq 0$
- 3.  $E(w, r, cl, re, ch, b, t) - R(m, cl, re, ch, b, t) = F(m, cl, re, ch, b, t)$

로 된다.

裸地의 경우는  $R \leq 0$ 이나 森林과 草地에서는  $E < R$ 로 나타나는 경우도 있지만 경작지와 나지에서는 恒常  $E > R$ 로 측정 評價된다. 따라서 사막, 나지, 山火地, 건설현장, 경지인 때에는  $E > R$ 이라는 것은 비나 바람이 불면 분명히 나타나는 현상이기 때문에 土壤保存策이 강구되어야 하며 山林綠化나 草地造成이나 砂防工事を 시급히 서둘러야 하고 계속 維持토록 하지 않으면 안된다

만일  $\Delta t$  시간동안에 일어나는 침식량은  $\Delta E$ 로 토양의 생성량이  $\Delta R$ 로 변화하였다고 가정하면

$$\lim_{t \rightarrow 0} \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{dE}{dt} = \frac{dE(w, r, cl, re, ch, b, t)}{dt}$$

이고 토양의 생성률은

$$\lim_{t \rightarrow 0} \frac{\Delta R}{\Delta t} = \frac{dR}{dt} = \frac{dR(m, cl, re, b, t)}{dt}$$

로 된다.

그러므로 토양의 純變化率은

$$\frac{dE}{dt} - \frac{dR}{dt} \geq \frac{dM_i}{dt} \dots\dots\dots (4)$$

이다. 그리고 토양의 순변화율의 加速率은

$$\frac{d^2 E}{dt^2} - \frac{d^2 R}{dt^2} \geq \frac{d^2 M_i}{dt^2} \dots\dots\dots (5)$$

로 표시된다.

따라서 P地點에서의 토양침식의 내성을 나타내는 식은

$$I(m, cl, re, ch, b) - \int_b^\infty [E(w, r, cl, re, ch, b, t) - R(m, cl, re, b, t)] dt \geq M_i(m, cl, re, ch, b) \dots\dots\dots (6)$$

으로 표시된다.

### 函數 E와 函數 R의 變化

함수  $E(w, r, cl, re, ch, b, t)$ 의  $R(m, cl, re, b, t)$ 는 환경 變化因자의 범위가 대단히 넓고 多樣하기 때문에 매우 광범한 의미를 갖지 않으면 안된다.

몇가지 사례를 들면 Fig. 1에서 보는 바와 같이 E는 急速히 증가하여 極大에 이르고 서서히 감소하는 과정이 반복되나 R은 서서히 增加가 계속된다. 이 현상은 논, 밭, 공원과 같은 경작지와 공공 관리지역에 있어서는 母岩의 風化作用에 의해 토양층이 형성되지만은 E의 증가에 따라 토양층의 깊이가 차츰 감소한다.

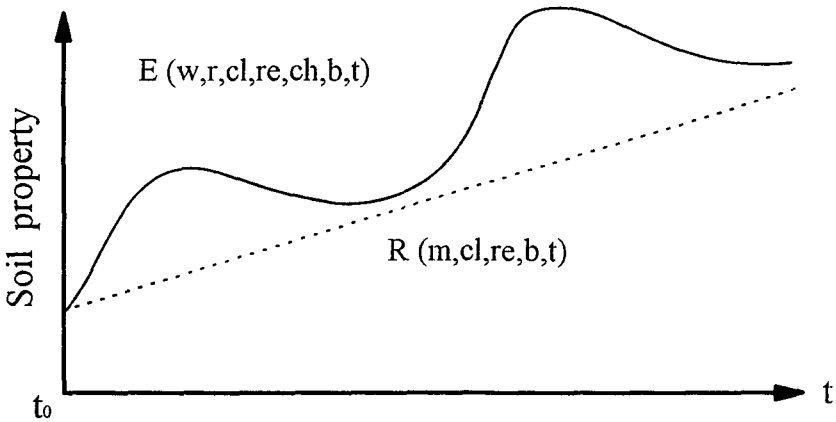


Fig. 1. Graphs of possible functions E and R when  $t_0$  is time of initial cultivation of a deep virgin soil lying over easily weathered rock.

Fig. 2는 논과 밭이고 Fig. 3은 공원이다. 이곳들에서는 Fig. 1에서 보는 바와 같은 型으로 토양이 生成된다.

Fig. 4는 森林과 草地 土壤에 있어서 R과 E를 比較한 것으로  $R-E \geq 0$ 인 경우(Fig. 5)이나 森林이 山火(Fig. 6)나 벌채(Fig. 7)로 파괴되고 낙엽이 제거되면 下草가 빈약하여지고  $R-E < 0$ 으로 되어 森林土壤의 보존문제가 제기된다. 이 경우의 型은 Fig. 1과 같다.

R은 落葉의 침가와 分解에 의하여 堆니모양으로 감소와 急增을 해마다 반복하면서 점차로 上昇하여 平衡狀態로 된다는 것을 나타내며 E는 波動상으로 계절에 따라 變化하면서 植被의 증가에 의하여 점차 감소하고 平衡상태(steady state)로 되는 것을 나타내고 있다(Fig. 4).

Fig. 8의 경우는 바람에 의한 침식(wind erosion)에서 관찰되는 것으로 사막이나 밭을 갈아 놓았을 동안에는 바람에 의하여 土粒이 移動되어 제거되며 이때 E는 크고 R은 극히 작아진다. 作物이 生育하고 殘骸가 덮여 있을 때에는 R이 E보다 크게 된다.

Fig. 9는 우리나라 소청도에서 볼 수 있는 바다가 모래밭이다. 이 사막화된 모래밭의 토양에서 일어나는 침식은 바람에 의해 일어나며 Fig. 8의 型에 따라 토양이 침식된다는 것을 알 수 있다.

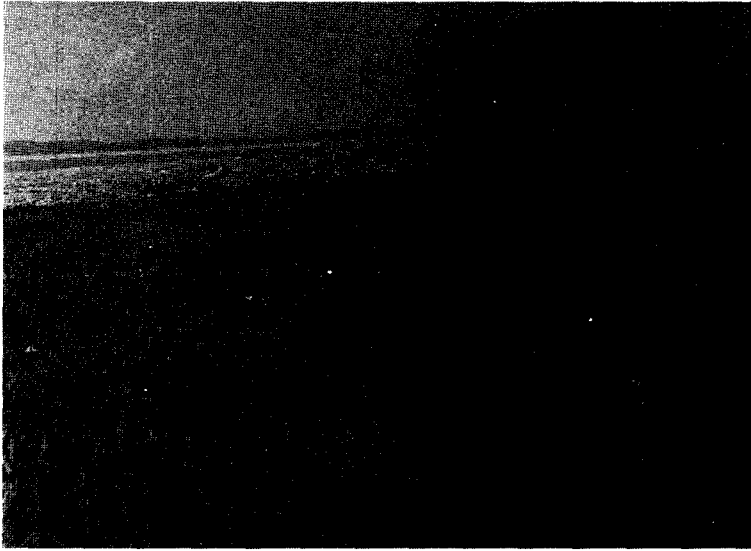


Fig. 2. Rice paddies and dry fields.



Fig. 3. A park in Seoul city.

이상의 결과에서 알 수 있는 바와 같이 土壤은 여러가지 환경조건에 따라 P지점의 토양이 침식과 생성을 時間이 경과함에 따라 그 純變化率은 平衡狀態에 도달하게 된다는 것을 알 수 있다.

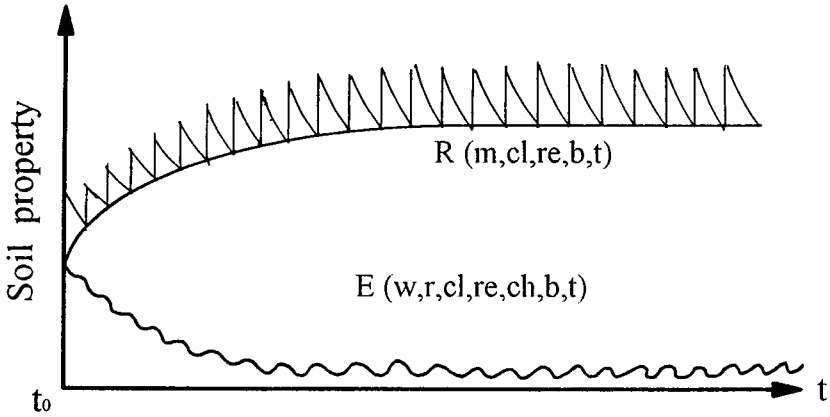


Fig. 4. Illustration of possible relations between functions for erosion and renewal soils in the forests and grasslands.



Fig. 5. A pine forest at Kwangnung.

### 函數 $M_i$ 의 測定

함수  $M_i(m, cl, re, ch, b)$ 는 토양의 物理化學的 性質에 대한 우리의 오랜 실험경험을 통하여 얻어진 最少限의 인정범위를 의미하는 것으로 土壤保存의 지식과 실천에 충분히 반영되어야 한다. 이 値는 可能誤差의 범위를 충분히 포함할 수 있어야 하며 土壤性質의 永久的인 保全의 의미



Fig. 6. A forest fire area.



Fig. 7. A lumbering forest.

에서 불 때에는 不完全한 때도 있을 수 있다.

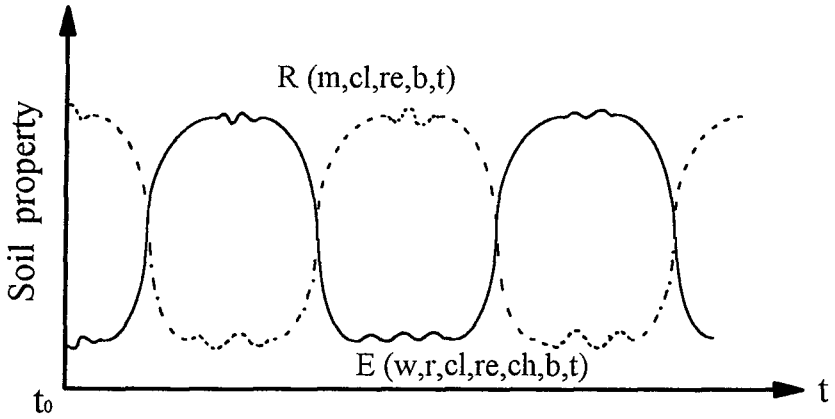


Fig. 8. Illustration of possible relations between functions for erosion and soil renewal with rotation of crops in wind erosion region.

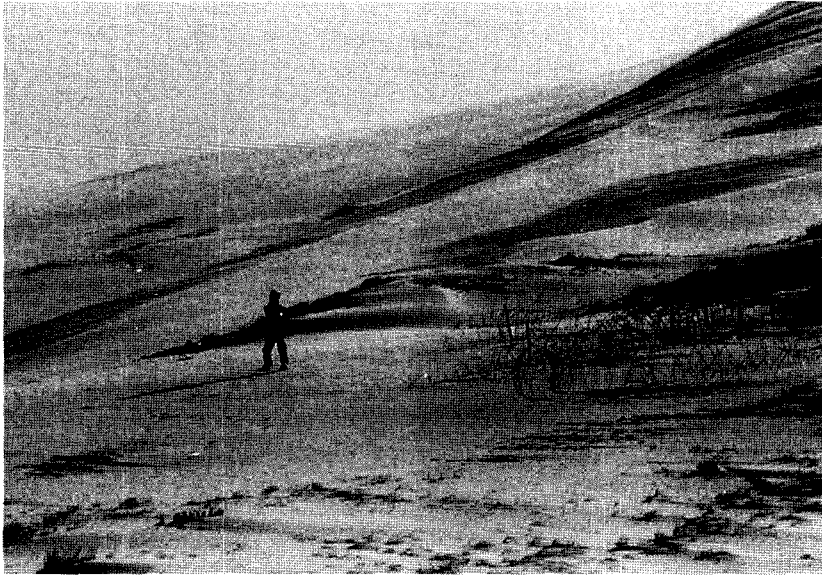


Fig. 9. A desert in a sea side.

### 地域의 土壤侵蝕의 耐性

토양침식의 내성을 地域적으로 조사하려면 函數  $I(m, cl, re, ch, b)$ 와  $M_i(m, cl, re, ch, b)$ 는 모든 地點에서 평가되는 値으로 결정되지 않으면 안된다.



調査分析하고자 하는 地域을 A로 표시하면 한 P지점에서의 函數 I, E, R 및  $M_i$ 를 구하여 A의 全地域에 대해 적분하여 풀면 (6)식은

$$\int_A \int I(m, cl, re, ch, b) dA - \int_A \int \left\{ \int_{t_0}^{\infty} [E(w, r, cl, re, ch, b, t) - R(m, ch, re, b, t)] dt \right\} dA \geq \int_A \int M_i(m, cl, re, ch, b) dA \dots\dots\dots (7)$$

로 된다. 그리고 (7)식을 각 환경의 變化因子로 積分하면

$$\begin{aligned} & \iiint \iiint I(m, cl, re, ch, b) dbdchdredcldm \\ & - \left[ \iiint \iiint \int_{t_0}^{\infty} E(w, r, cl, re, ch, b, t) dt dbdchdredcldrdw \right. \\ & \left. - \iiint \iiint \int_{t_0}^{\infty} R(m, cl, re, b, t) dt dbdredcldm \right] \\ & \geq \iiint \iiint \int_{t_0}^{\infty} M_i(m, cl, re, ch, b) dbdchdredcldm \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

로 주어진다.

그러므로 (8)식은 조사한 全地域에 있어서 土壤의 耐性(erosion tolerance)을 나타낸다. 장과 윤(1994)에 의하면 억새, 흰쑥, 진달래, 잔디 및 소나무가 우점종인 식물군락에서 가장 토양의 유실이 적은 것은 잔디군락이었다고 보고한 바 있다.

### 摘 要

본 연구는 토양의 浸蝕과 生成에 대한 原理를 理論化하여 토양의 침식에 대한 耐性(erosion tolerance)를 數學的으로 定義하고 土壤保存의 原理를 구명하였다.

- 1. 한 地點에서의 土壤의 浸蝕耐性은

$$I(m, cl, re, ch, b) - \int_{t_0}^{\infty} [E(w, r, cl, re, ch, b, t) - R(m, ch, re, b, t)] dt \geq M_i(m, cl, re, ch, b)$$

로 表示된다. 여기서  $I=t_0$  時의 土壤特性的 最少허용량,  $E$ =erosion,  $R$ =renewal soil,  $M_i$ =土壤特性的 最少허용량,  $m$ =母物質,  $cl$ =氣候,  $re$ =地勢,  $b$ =biota,  $w$ =바람,  $r$ =비 혹은 물,  $ch$ =土壤의 物理化學的 性質,  $t$ =時間을 意味하는 變數因子이다.

- 2. 한 地域에서의 erosion tolerance는

$$\int_A \int I(m, cl, re, ch, b) dA - \int_A \int \left\{ \int_{t_0}^{\infty} [E(w, r, cl, re, ch, b, t) - R(m, ch, re, b, t)] dt \right\} dA \geq \int_A \int M_i(m, cl, re, ch, b) dA$$

로 表示된다.

3. 土壤資源의 새로운 개척을 위한 個人的 國家的 施策이 講究됨으로써 土壤生成으로 인한 土壤特性的 改良과 永久保存이 可能하게 된다.

### 引用文獻

1. 張楠基. 1996. 토양의 浸蝕과 保存에 관한 理論的 分析 1. 토양의 生成과 浸蝕. 한국잔디학회지(인쇄중).
2. 장남기, 윤성모. 1994. 식피에 따른 토양과 무기양분의 유실. 한국잔디학회지 8(3):149-166.
3. 金遵敏, 張楠基. 1975. 토양의 浸蝕에 관한 理論的 分析 Ⅲ. 토양침식의 耐性에 관한 理論. 夏潭 金遵敏 博士 回甲紀念論文集. 서울대학교 사범대학 생물과 동창회 pp. 139-144.
4. Stanney, W.L. and R.M. Smith. 1960. A conservation definition of erosion tolerance. Soil Sci. 93:183-187.