

# 土壤의 浸蝕과 保存에 관한 理論的 分析

## 1. 土壤의 生成과 浸蝕

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

#### 1. The Soil Renewal and Erosion

Chang, Nam-Kee

Dept. of Biology Education, Seoul National University

#### ABSTRACT

The mathematical expression in the forest and grassland soils to express the general concepts involved in such terms "a soil erosion and soil renewal."

The net addition rate in the forest and grassland soils are represented by an equation of

$$(S_{rb} - S_{ra}) - (S_{eb} - S_{ea}) = \int_a^b R(m, cl, re, b, t) dt - \int_a^b E(w, r, cl, re, ch, b, t) dt \geq 0$$

where  $S_r$  is renewal soil,  $S_e$  is soil erosion, and 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 and conservation, Soil renewal

#### 緒 論

한국의 植被은 참나무群落이 極相林이나 소나무 群落이 방해극상림으로 존재하는 것을 볼 수 있다. 그러나 林地이외에도 草地나 耕作地가 있고 産業의 발달로 도시와 公業용지가 폭증하고 있다. 우리나라의 경우, 1970년대와는 달리 생활에 필요한 연료를 森林과 草地에만 의존하지 않게 되어 山林綠化가 1990년대에 이르러서는 상당히 이루어지고 있다. 그러나 도로공사, 골프장 건설, 신도시 건설, 公業단지 조성 등으로 綠地를 파괴하고 일시적으로 나지가 노출되어 심각한 土壤의 浸蝕이 유발되고 있다.

그러므로 토양의 침식을 정량적으로 조사하고 토양의 생성과정을 연구하여 土壤의 荒廢化와

肥沃化를 평가하고 土壤保存의 合理化를 기하지 않으면 안된다.

本 研究에서는 토양의 생성과 浸蝕要因을 分析하여 앞으로 토양보전의 연구와 사업에 이바지 할 수 있는 基礎概念을 理論化하였다.

### 土壤의 生成과 浸蝕의 一般概念

土壤은 주위의 環境因子에 따라 항상 변화되는 力動的 自然體(dynamic natural body)로서 定義한다. 토양의 생성은 토양을 형성할 수 있는 母物質이 風化作用과 生物作用으로 土壤化하게 된다. 이 결과 생성된 토양은 微生物, 植物, 動物 등의 생물에 의해 物理化學的인 性質이 改良 發展되고 여러가지 氣候條件에 따라 토양의 여러가지 特性이 끊임없이 변화하고 있는 것이다.

土壤의 침식은 주로 바람과 물에 의하여 이루어지며 이에 대한 생물의 作用과 反作用의 영향을 받으며 토양의 성질에 따라 침식량의 차이가 생긴다. 이와 같이 토양의 생성과 침식은 끊임없이 일어나고 있으며 환경인자와의 상호작용에 의하여 肥沃化되거나 荒廢化하게 된다.

### 土壤의 生成과 浸蝕

#### 1. 土壤의 生成

토양을 생성하는 母物質은 장기간 동안 일정한 地形下에서 氣象的인 여러가지 要因과 生物의 作用을 받아 점차로 변화하고 있는 것이다.

Jenny(1941), Major(1951), 김·장(1968), 장(1992), Chang and Yoshida(1973)에 의하면 생성되는 토양은 氣候, 生物, 地勢, 母岩 및 時間과 함수관계에 있다고 하였다.

그러므로 토양의 생성은 다음과 같은 식으로 표시할 수 있다.

$$S_r=R(m, cl, re, b, t) \dots\dots\dots(1)$$

(1)식에서 R은 함수를 나타내며

- $S_r$ ; 토양의 생성(renewal soil)
- $w$ ; 토양을 생성하는 모물질(parent material)
- $cl$ ; 기후(climate)
- $b$ ; 생물(biota)
- $re$ ; 지세(relief or topography)
- $t$ ; 토양의 생성기간

을 나타낸다.

이제  $m, cl, re, b$  및  $t$ 에 의한 토양의 생성인자를 각각  $F_1, F_2, F_3, F_4$  및  $F_5$ 라 하고 만일 이들이 각각  $c \rightarrow d, e \rightarrow f, g \rightarrow h, i \rightarrow j$  및  $k \rightarrow l$ 로 변화할 때 토양이  $S_a$ 로부터  $S_b$ 로 변화하였다고 하면 생성된 토양(renewal soil)은 (1)식을 積分하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta S_r = S_{rb} - S_{ra} = \int_c^d \frac{S_r}{F_1} dF_1 + \int_e^f \frac{S_r}{F_2} dF_2 + \int_g^h \frac{S_r}{F_3} dF_3 + \int_i^r \frac{S_r}{F_4} dF_4 + \int_k^l \frac{S_r}{F_5} dF_5 \dots\dots\dots(2)$$

(2)식에서 만일  $F_1$ 의 환경인자만이 작용하고 나머지는 다른 환경인자의 작용을 무시할 정도라면  $F_1$ 이 토양의 생성에 제한요인(limiting factor)이 되어 토양의 생성은  $F_1$ 에 의하여 결정된다. 꼭 같은 이치에 따라  $F_2$ 가 主要因이라면  $F_2$ 가 지향하는 방향으로 토양은 변화할 것이다.  $F_3, F_4$  및  $F_5$ 도 마찬가지이다.

**2. 土壤의 浸蝕**

토양은 기후요인 중에서 바람과 물의 分散作用과 運搬力에 의하여 침식된다. 바람과 降雨의 성질, 토양의 傾斜度, 토양의 吸水力과 전달력 등의 여러가지 특성과 생물의 작용이 침식의 주요인이 된다.

그러므로 이 환경요인들은 토양의 침식과 함수관계로 나타낼 수 있다.

$$S_e = E(w, r, cl, re, ch, b, t) \dots\dots\dots(3)$$

(3)식에서  $E$ 는 함수를 나타내고,

- $S_e$ ; 토양의 침식(soil erosion)
- $w$ ; 바람(wind)
- $r$ ; 비(rain or water)
- $cl$ ; 바람과 비의 要因을 제외한 氣候
- $re$ ; 지세
- $ch$ ; 토양의 물리화학적 성질
- $b$ ; 식물을 비롯한 生物의 作用因子
- $t$ ; 토양의 침식기간을 나타내는 시간

이제  $w, r, cl, re, ch, b$  및  $t$ 에 대한 토양침식의 요인을  $F^1, F^2, F^3, F^4, F^5, F^6$  및  $F^7$ 이라고 하고 각각  $c \rightarrow d, e \rightarrow f, g \rightarrow h, i \rightarrow j, k \rightarrow l, m \rightarrow n$  및  $o \rightarrow p$ 로 변화할 때 토양은  $S_{ea}$ 로부터  $S_{eb}$ 로 침식되었다면 土壤浸蝕量은

$$\Delta S_e = S_{eb} - S_{ea} = \int_c^d \frac{S_e}{F^1} dF^1 + \int_e^f \frac{S_e}{F^2} dF^2 + \int_g^h \frac{S_e}{F^3} dF^3 + \int_i^j \frac{S_e}{F^4} dF^4 + \int_k^l \frac{S_e}{F^5} dF^5 + \int_m^n \frac{S_e}{F^6} dF^6 + \int_o^p \frac{S_e}{F^7} dF^7 \dots\dots\dots(4)$$

로 표시된다. (4)식에서  $F^1$ 의 환경요인에 의하여 토양침식이 이루어질 때는 (4)식은  $F^1$ 에 따라 결정되며  $F^2$ 가 주환경요인일 때는  $F^2$ 에 의해 토양이 침식된다.

### 3. 土壤의 肥沃化와 荒廢化

토양이 비옥화되고 있는가? 황폐화되고 있는가?의 문제는 토양의 생성과 침식의 수지균형에 의한다. 다시 말하면 토양양분이 保存되지 못하고 流失되는 것을 의미한다. 그러므로 (3)식과 (4)식에서 알 수 있는 바와 같이 각 변화인자들의 작용에 의해 일어나는 토양변화가  $S_{ea}$ 로부터  $S_{ob}$ 로 변화할 때까지의 토양의 생성과 침식의 收支均衡은 식 (5)로 표시된다.

$$\Delta S_r - \Delta S_e = (S_{ob} - S_{ra}) - (S_{eb} - S_{ea}) = \int_a^b R(m, cl, re, b, t) dt - \int_a^b E(w, r, cl, re, ch, b, t) dt \geq 0 \dots\dots\dots (5)$$

(5)식에서 陽數로 나타날 때에는 土壤은 비옥화되고 있는 것이며, 0이면 현상유지를 의미하는 것이고, 陰數일 때는 荒廢化하는 것으로 評價할 수 있다. (5)식에 의하여 森林土, 草地土壤, 裸地 등의 肥沃度와 荒廢度를 결정할 수 있으며 土壤保存의 原理와 評價基準이 될 수 있다.

### 森林과 草地土壤의 生成과 發達

森林과 草地土壤의 생성은 森林이나 草지를 형성하고 있는 樹木과 草本이 토양생성의 主因子이다. 풍화작용에 의하여 母岩으로부터 생성되는 토양에 비교하면 대단히 토양의 생성속도가 빠르다. 특히 식물의 無機養分을 고려한다면 모암에 의한 토양의 생성은 무시하여도 된다.

草地에 있어서는 森林보다 토양의 생성과 발달이 미약하나 林地에 비하면 토양의 浸蝕이 현저하게 낮다. 森林과 草地에서 해마다 토양에 떨어져 더해지는 낙엽은 林土와 초지토양의 表層(L)을 만들고 분해하여 점차 무기화하면서  $F, H, A_1$  등의 지층을 형성한다.

그러므로 林地와 草地에 있어서 토양을 생성하고 발달시키는 主因子는  $b$ 와  $t$ 로 볼 수 있으며 (2)식은 (6)식으로 간단하게 변형될 수 있다.

$$\Delta S_r = S_{ob} - S_{ra} = \int_i^r \frac{S_r}{F_4} dF_4 + \int_k^t \frac{S_r}{F_5} dF_5 \dots\dots\dots (6)$$

Jenny, Gessel and Bingham(1949), Olson(1963), Kim and Chang(1965), Chang(1972)과 Chang and Yoshida(1973)에 따르면 落葉의 生産과 分解가 平衡狀態에 도달한 森林과 草地에서 堆積된 낙엽인 L층 토양의 양은 다음과 같은 식으로 (6)식을 구하였다.

$$dS_r = (L - kS_r) dt \dots\dots\dots (7)$$

(7)식에서 L층의 양을 有機物이나 유기탄소로 定量하고 1m<sup>2</sup>내에 퇴적된 낙엽으로 생성되는  $F, H, A_1$ 층의 토양도 有機物이나 유기탄소로 定量분석하면 낙엽으로 생성된 토양량을 측정할 수 있다. 落葉에 의해 생성된 토양은 항상 分解하고 있기 때문에 그 分解常數를  $k$ 로 표시하였고 L은 森林이나 초지로 移入되는 낙엽의 年生産量이다.

낙엽의 연생산과 낙엽으로 퇴적되어 생산된 유기물의 토양이 분해되어 소실되는 양이 같게 되면  $dS_t/dt=0$ 으로 年生産量과 年消失量이 평형상태에 이르게 된다. 즉,

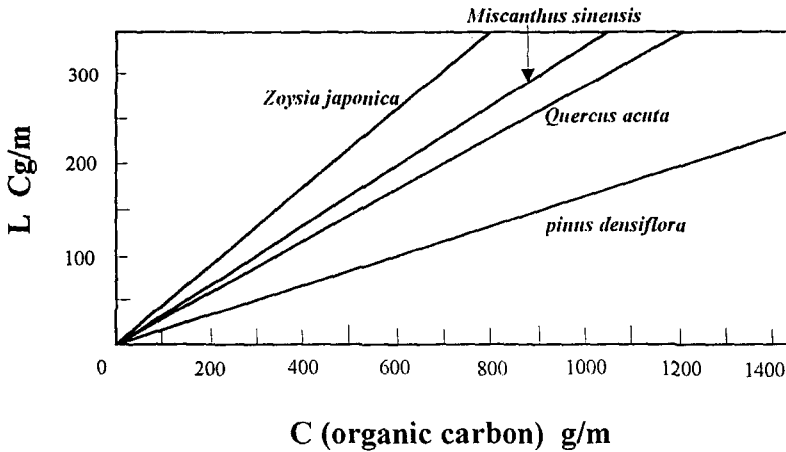
$$L=kS_t$$

그리고

$$k = \frac{L}{S_t} \dots\dots\dots (8)$$

(8)식에 의하여 分解常數  $k$ 는 평형상태에 도달한 森林과 草地에서는 어디에서나 구할 수 있다는 것을 나타낸다.

Kim and Chang(1965)의 연구로 光陵의 참나무林과 松林의 林床土壤에서 측정한 낙엽의 유기탄소의 분해상수  $k$ 는 각각 0.28과 0.13이었고 장 등(1995)에 의해 관악산의 서북사면에 발달한 억새와 잔디群落에 있어서 낙엽의 유기물의 분해상수를 측정한 결과는 각각의 草地에서 0.44와 0.33이었다(Fig. 1).



**Fig. 1.** Decaying constant  $k$  in the *Pinus densiflora* and *Quercus acuta* forest at Kwangnung, and *Miscanthus sinensis* and *Zoysia japonica* grasslands at Mt. Kwanak.

(7)에서 有機物の 堆積量에 의하여 생성되는 토양의 양을 구하려면 最初의 土床에는 낙엽이 없는 裸地였으므로  $t=0$ 일때  $S_t=0$ 이다. 그러므로

$$S_t = \frac{L}{k} (1 - e^{-kt}) \dots\dots\dots (9)$$

(9)식에 의해 새로 생성된 토양의 퇴적량은

$$kS_t = L(1 - e^{-kt}) \dots\dots\dots (10)$$

로 표시된다

실제로 森林과 草地에서 토양이 생성된 量은

$$\begin{aligned}
 \Delta S_r &= S_{rb} - S_{ra} \\
 &= L + kS_r \\
 &= L + L(1 - e^{-kt}) \dots\dots\dots(11)
 \end{aligned}$$

로 된다.

Kim and Chang(1965)에 의한 光陵 삼림토양의 토양생성을 계산하면 참나무林에서는

$$S_{rb} - S_{ra} = 344 + 344(1 - e^{-0.289t})$$

이고, 소나무림에서는

$$S_{rb} - S_{ra} = 306 + 306(1 - e^{-0.131t})$$

이 된다(Fig. 2).

장 등(1995)에 의해 관악산의 억새와 잔디초지에서 조사한 data를 인용하여 관악산 초지토양의 토양생성을 계산하면 억새초지에서는

$$S_{rb} - S_{ra} = 654 + 654(1 - e^{-0.33t})$$

이고 잔디초지에서는

$$S_{rb} - S_{ra} = 560 + 560(1 - e^{-0.44t})$$

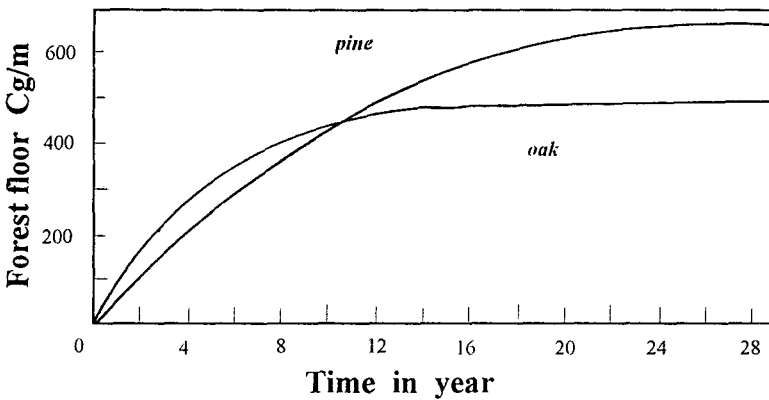
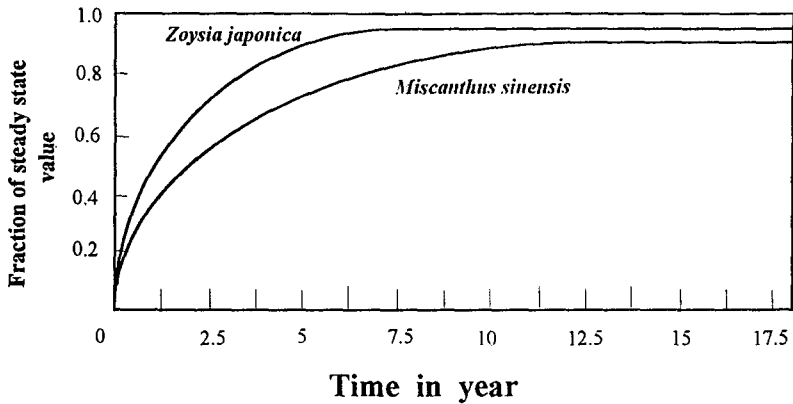


Fig. 2. Accumulation curves of organic matter on the forest floors in the oak and pine forests at Kwangnung.



**Fig. 3.** Accumulation curves of organic matter on the grassland floors in *Miscanthus sinensis* and *Zoysia japonica* communities on Mt. Kwanak.

이다. 단위는 m<sup>2</sup>당 g로 표시된다(Fig. 3).

이상의 결과 토양의 생성과 발달은 그 토양상에 발달하고 있는 林型和 草地型에 따라 변화한다는 것을 입증하여 주고 있다.

### 森林과 草地土壤의 浸蝕과 荒廢

토양의 침식량의 定量은 現地토양의 分析만으로는 完結하지 않으며 Massey and Jackson (1952), Whitaker, Jamison and Thornton(1961), Mannering and Meyer(1961) 및 장과 윤(1994) 등 여러 학자들은 runoff를 定量分析하여 測定하고 있다.

그러나 森林과 草地土壤의 침식은 주로 물에 의하여 이루어지며 사막의 경우는 비가 올 때는 빗물에 의해 침식되고 건기에는 바람에 의해 침식된다. 실제로 사막에는 비가 극히 적기 때문에 바람이 토양 소실의 원인이 된다.

森林과 草地에서 일어나는 침식은 주로 생물의 작용에 의존되므로

$$\Delta S_e = S_{eb} - S_{ea} = \int_m^n \frac{S_e}{F^6} dF^6 + \int_o^p \frac{S_e}{F^7} dF^7 \dots\dots\dots(12)$$

이다. (12)식에서 F<sup>7</sup>'는 시간요인이다. 森林이나 草지를 형성하고 있을 때는 장·윤(1995)의 연구 결과에서도 알 수 있는 바와 같이 土粒이나 토양양분의 流失은 효과적으로 방지된다.

만일 森林과 草地의 L의 叢生産量이 계속하여 제거될 경우의 토양이 척박해져 황폐화되는 土粒과 無機養分의 침식이 이루어진다.

그러므로 (12)식은

$$dS_e = (kS_e)dt$$

$dS_t$  대신에  $dS_t$ 로 바꾸면  $k$ 가 負로 된다.

$$dS_t = (-kS_t) dt \dots\dots\dots (13)$$

(13)식에서  $k$ 는 分解에 의한 消失뿐만 아니라 물에 의한 流失量도 포함된다. 따라서  $k$ 는 分解상수라고 생각하기보다는 流失常數라고 볼 수 있다.  $S_t$ 의 감소하는 量을 구하면

$$S_t = S_0 e^{-kt} \dots\dots\dots (14)$$

(14)식에서  $L$ 층의 낙엽이 제거된 시간을  $t=0$ 라 하고 그때 남아 있던 낙엽의 퇴적으로 생성된 토양을  $S_0$ 라 하고,  $t$ 시간 경과한 후에 잔존하는 생성된 토양을  $S_t$ 이라고 가정하고 유도한 식이다.

Kim and Chang(1965)의 참나무와 소나무림에서 측정 한 결과와 장 등(1995)이 조사한 억새와 잔디군락의 결과를 (14)식에 의해 표시하면 각각 다음과 같다.

- 참나무림은  $S_t = 344t^{-0.29t}$
- 소나무림은  $S_t = 306e^{-0.13t}$
- 억새초지에서는  $S_t = 654e^{-0.33t}$
- 잔디초지에서는  $S_t = 560e^{-0.44t}$

우리나라에서 森林과 草地土壤의 침식에 관한 비교연구는 장과 윤(1995)에 의해 조사되었으며 아직 미흡한 상태이다. 앞으로 土壤保存을 위해 계속하여 연구되어야 할 중요한 과제의 하나라고 생각된다.

토양의 생성과 침식의 수지균형은 대부분이 陽數로 肥沃化되어 가고 있다. 1970년대까지는 낙엽의 과도한 採取와 난벌로 陰數로 나타나 황폐화 一路에 있었으나 山林綠化의 성공으로 이제는 산불을 조심하고 植木으로 樹木의 질을 개선하고 잘 育木해야 한다.

### 摘 要

본 연구에서는 토양의 生成과 浸蝕에 관한 一般原理를 數學的으로 理論化하고 여러가지 토양 생성 因子와 침식요인은 끊임없이 作用하여 토양의 생성과 침식의 收支均衡을 항상 변화시킨다. 그 値가 0보다 클 때에는 그 토양은 비옥화하고 0보다 작을 때에는 황폐화하며 0일 때는 현상 유지를 나타낸다.

森林과 草地에서는 토양의 중요한 生成因子는 植物로서 落葉의 분해와 퇴적으로 토양을 생성하며 침식의 주요인자는 물, 바람, 기후, 지세, 토양의 특성 및 시간과 함수관계에 있다. 토양의 생성과 침식의 수지균형은 森林과 草地의 立地에서는 一般的으로 자연상태에서 0보다 크나 인간에 의하여 낙엽이 제거될 때에는 0보다 작으며 점차 황폐화하게 된다.



## 引用文獻

1. 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.
2. 장남기, 윤성모. 1994. 식피에 따른 토양과 무기양분의 유실. 한국잔디학회지. 8(3):149-166.
3. Chang, N.K., Kim, J.S., Shim, K.C. and K.M. Kang. 1995. The energy flow and mineral cycles in a *Zoysia japonica* and *Miscanthus sinensis* ecosystem on Mt. Kwanak 2. Organic matter synthesis and decomposition balance. Kor. Turfgrass Sci. 9(2):109-117.
4. Jenny, H. 1941. Factors of soil formation. McGraw-Hill, New York.
5. Jenny H., S.P. Gessel and F.T. Bingham. 1949. Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. Soil Sci. 68:419-432.
6. Kim, C.M. and N.K. Chang. 1965. The decomposition rate of litters affecting the amount of mineral nutrients of forest soil in Korea. Bulletin of The Ecological Society of America, Sep. 14, 1965.
7. Kim, C.M. and N.K. Chang. 1975. The theoretical analysis of the soil erosion. I. Studies on the forest soil erosion (in press).
8. Major, J. 1951. A functional, factorial approach to plant ecology. Ecology 32(3):392-412.
9. Mannering, J.V. and L.D. Meyer. 1961. The effects of different methods of corustalk residue management on runoff and erosion as evaluated by simulated rainfall. Soil Science Society proceeding. 16:353-356.
10. Massey, H.F. and M.L. Jackson. 1952. Selective erosion of soil fertility constituents. Soil Science Society preceding. 16:353-356.
11. Olson, J.S. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. Ecology. 44:322-330.
12. Whitaker, F.D., V.C. Jamison and J.F. Thornton. 1961. Runoff and erosion losses from Mexico silt loam in relation to fertilization and other mangement practices. Soil Science Society proceeding. 25:41-404.

