

土壤의 浸蝕과 保存에 관한 理論的 分析

4. 森林土壤의 浸蝕과 流失機構

張 楠 基

서울대학교 師範大學 生物教育科

The Theoretical Analyses of the Soil Erosion and Conservation

4. Erosion and Leaching Mechanism of the Forest Soils

Chang, Nam-Kee

Dept. of Biology Education, Seoul National University

ABSTRACT

This report is researched on the cause and mechanism of soil erosion in comparison among Kwangnung, Mt. Kaya, Mt. Chili, and Mt. Soorak by physical and chemical analyses of their forest soils.

Clay, silt, and fine sand of Mt. Soorak are far less than those of Mt. Chili, Mt. Kaya, and Kwangnung area while coarse sand is very high level.

The clay ratio of soil at Mt. Soorak is the most high level in comparison with that of other area. Denudation at Mt. Soorak, therefore, is cause of erosion by the result of transportation of soil particles.

The eroding velocity increase for larger particle size and stronger cohesion between soil particles. Very fine sand, silt, and clay can be present in suspension near the bottom and the size of the particles in suspension depends upon the velocity of the current near the bottom and the roughness of the bottom.

Key words: Theoretical analyses, Soil erosion and conservation, Forest soils.

緒 論

韓國의 森林은 大部分이 松林, 참나무林, 서나무林 및 混合林으로 되어 있으나 地方에 따라서는 잣나무, 낙엽송 및 포플러의 人造林도 存在한다. 草地는 人工的인 草地造成과 森林伐採로 말미암아 形成된 二次草地만을 볼 수 있을 뿐이다. 그중 참나무林을 비롯한 활엽수림과 發達된 草

地에서는 土壤의 황폐현상이 적으나 소나무림이 가장 많은 比率를 차지하고 있는 우리 나라에 있어서는 1970년대 人間에 依한 落葉 採取와 도벌로 소나무가 점차 疎生하고 下草의 발달이 지연되어 雨水에 依한 土壤浸蝕이 極甚하게 되고 차츰 林土는 황폐화 되어 가며 下草의 發達은 더욱 빈약하게 되는 것을 볼 수 있었다. 그러나 지금은 차츰 山林의 綠化가 이루어지고 있으나 심한 솔잎혹파리의 감염으로 대부분의 소나무가 말라 죽고 있다.

Billings(1950)는 美國의 Nevada와 California의 火山土壤에서 소나무(*Pinus ponderosa*, *P. jeffreyi*)가 疎生하는 原因은 置換性 鹽基, 燐 및 窒素의 결핍이라고 하였으며 Yosioka & Saito (1962)는 日本 Sendai의 Mt. Omoshiro와 Mt. Ou의 황폐화 地域은 強酸性에 依한 松林(*Pinus pentaphylla*)土의 podzol化에 그 原因이 있다고 하였다.

本研究에서는 森林이 울창한 光陵, 伽倻山, 智異山 및 浸蝕되어 하얀 모래와 띄엄 띄엄 풀로 덮인 경기도 양주군 장수원의 수락산을 대상으로 하여 土壤의 황폐화의 原因을 밝히고 浸蝕의 mechanism을 研究하였다.

調查地의 概況

調查地域은 광릉, 가야산, 지리산 및 수락산을 중심으로 한 그 一帶의 松林(*Pinus densiflora*)을 대상으로 하였으며 各 地域의 概況은 다음과 같다.

1. 광릉:N 37° 45', E 127° 10'에 위치하고 있으며 高度는 約 해발 180m인 山으로 花崗岩에서 由來한 堆積土로 排水가 良好한 褐色森林土壤이다.
2. 가야산:N 35° 40', E 128° 10'에 위치하고 해발 740m의 高度를 가진 山이다. 土壤은 花崗岩에서 由來한 排水가 잘 되는 褐色의 堆積土이다. 地下層일수록 赤色을 띄며 자갈이 섞여 있다.
3. 지리산:N 35° 10', E 127° 25'에 位置하고 母岩은 花崗岩으로 排水가 좋고 表面層은 赤色の 森林土이나 下層土壤은 赤褐色이다.
4. 수락산一帶:경기도 양주군 장수원에 있는 수락산 부근의 松林土壤은 白色의 모래로 덮여 있으며 下草조차 없이 점차로 浸蝕되어 가는 花崗岩인 山林土이다.

材料 및 方法

各 調查地所의 土壤의 여러가지 性質에 對한 相互關係를 究明하기 爲하여 直徑 約 60cm가 되는 구멍을 母岩이 나타날 때까지 파고 各 調查地所間의 正確한 比較를 爲하여 各 地所의 表面에 덮여 있는 humus를 조심스럽게 除去하고 土壤試料은 A₁, A₂ 및 B₁, B₂層에서 約 1,500g씩 各 各 採取하여 分析에 使用하였다. 採取한 各 試料의 여러가지 化學的 特性은 다음과 같은 方法으로 實驗하였다.

1. 土壤의 pH는 1:2.5의 土壤溶液을 Beckman pH meter로 測定하였다.
2. 土壤有機物은 土壤試料을 muffle로에 넣어 590℃로 5~6時間 加熱하여 灼熱消失量으로 評價하였다.
3. 置換性 鹽基와 置換性 水素는 Brown(1943)의 方法으로 測定하였다.
4. 有效磷酸量은 Dickman & Bray(1940)의 方法에 依하여 決定하였다.
5. 置換性 加里는 cobaltinitrite로서 沈澱시켜 容量分析과 원자흡수분광기(A. A. Model 303)

- 로 측정하였다.
- 6. 置換性 石灰는 oxarate형으로 沈澱시켜 滴定法과 灼熱분광기로 分析하였다.
- 7. 置換性 苦土는 pyrophosphate法으로 重量 分析과 원자흡수분광기(A.A. Model 303)로 분석하였다.
- 8. 全窒素는 Kjeldahl法에 依하여 測定하였다.
- 9. 土壤의 物理的 分析은 Kühn法에 依하여 行하였다.

結果 및 考察

光陵, 伽倻山, 智異山 및 수락산 부근의 浸蝕土壤의 土壤層 構成과 soil texture 및 土壤의 여러 가지 化學的 特性을 定量的으로 比較하고 clay ratio(mineral nutrient /clay)를 計算하여 植物의 生長에 必要한 여러가지 無機養料의 洗脫현상을 調査하였다. 그 結果는 Fig. 1, 2 및 Table 1에서 보는 바와 같다.

1. 土壤層 形成의 比較

Fig .1에서 보는 바와 같이 光陵, 伽倻山, 智異山에 存在하는 松林의 土壤層은 litter (L)層, fermentation (F)層, humus (H)層, humus-A₁層, A₁, A₂, B₁, B₂層 등으로 明確히 區別할 수 있으나 수락산의 松林土는 表層에 굵은 모래알이 덮여 있으며 粒子가 微細한 clay나 silt는 거의 없었다.

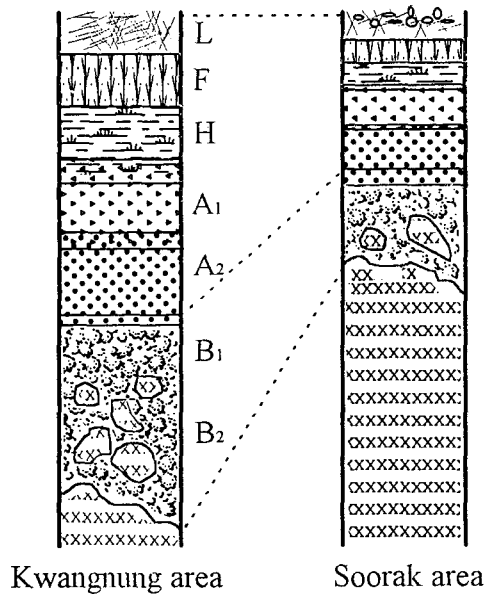


Fig. 1. Profiles of soils in the stands of *Pinus densiflora* at Kwangnung and Soorak area.

낙엽은 極히 드물며 F, H, A₁層의 區別이 애매하고 A₂層과 B₁ 및 B₂層은 比較的 얕은 편 이었다.

이것은 雨水에 依하여 clay, silt, fine sand 와 土壤有機物 등이 洗脫되어 일어나는 結果 라고 생각된다.

2. Soil texture의 比較

各 地所의 土壤粒子의 組成을 比較하면 clay와 silt, fine sand의 含量 百分率은 장수 원의 수락산이 가장 낮았으며 coarse sand의 含量은 反對로 光陵, 伽倻山 및 智異山の 松林 土壤에서 아주 낮다는 事實을 Tabel 1의 結果 로써 알 수 있다.

Wilde(1955)에 依하면 fine sand와 coarse sand는 아무런 土壤의 化學的 性質을 保持하 지 못하나 silt와 clay는 化學的 特性을 가지고 있기 때문에 이로부터 土壤의 鹽基置換能 및 有機物의 含量 百分率을 推定할 수 있다고 하였다.

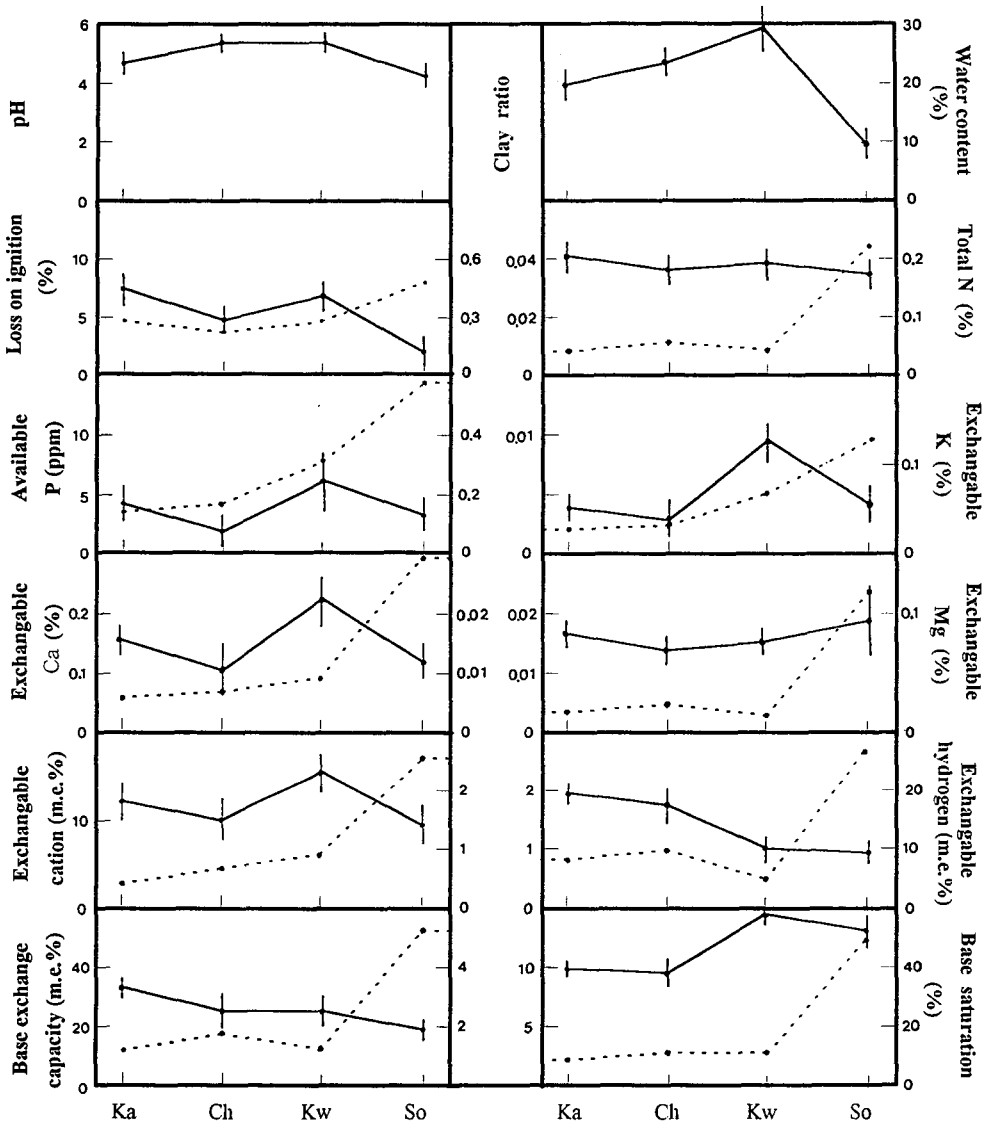


Fig. 2. Chemical compositions and clay ratio of soils in the stands of *Pinus densiflora*.
Ka; Mt. Kaja, Ch; Mt. Chili, Kw; Kwangnung, and So; Mt. Soorak.

Kim(1965)은 土壤의 clay가 土壤 micelle을 形成하고 있으므로 雨期和 乾期에 따른 養分保存의 變化度를 測定하여 林土의 養分保有能을 比較 評價하였다.

이와 같은 Wilde(1955)와 Kim(1965)의 研究報告에 依하면 clay와 silt의 流失은 土壤養分의 大量流失을 招來하여 結局 森林土壤의 황폐화를 가져올 수 있다고 생각된다.

3. 土壤의 化學的 特性 比較

各 調査地所에서 採取한 土壤試料를 分析하여 土壤 pH, 土壤含水量, humus, 全窒素, 有效磷

Table 1. Mechanical analysis of mineral soils in pine stands

Pine stand	Soil texture Horizon	Clay	Silt	Fine sand	Coarse sand
		(%)	(%)	(%)	(%)
Kwangnung	A ₁	17.55**	28.16*	35.14*	18.95
	A ₂	23.74	25.61	30.35	20.30
	B	36.05	28.39	28.28	13.64
Kaya	A ₁	18.95**	22.31**	34.95*	23.79
	A ₂	27.01	23.35	29.69	19.95
	B	31.97	22.67	22.46	22.80
Chili	A ₁	13.73**	15.15**	26.85*	43.27
	A ₂	17.64	14.77	21.83	45.76
	B	17.22	12.97	24.35	46.46
Soorak I	A ₁	0.25	0.15	1.00	98.60**
	A ₂	2.80	1.95	22.25	73.00
	B	1.90	0.95	7.15	90.00
Soorak II	A ₁	0.05	0.05	0.30	99.60**
	A ₂	1.90	2.60	20.50	75.00
	B	4.00	1.00	12.50	82.50
Soorak III	A ₁	1.50	0.20	1.15	97.05**
	A ₂	2.65	3.40	13.85	78.20
	B	3.70	1.55	14.50	80.25
Soorak IV	A ₁	0.25	0.20	0.60	98.95**
	A ₂	5.20	5.05	19.55	70.20
	B	4.95	2.50	17.55	75.00
Soorak V	A ₁	2.85	0.50	3.05	94.60**
	A ₂	5.70	5.00	22.85	66.35
	B	4.80	1.65	32.05	61.50
Soorak VI	A ₁	0.95	0.35	1.70	97.00**
	A ₂	5.20	3.55	15.15	76.10
	B	2.90	0.40	8.75	87.95

** Significant at the 1% level.

* Significant at the 5% level.

酸, 置換性加里, 置換性石灰, 置換性苦土, 置換性鹽基, 置換性水素, 鹽基置換能 및 鹽基飽和度等土壤의 여러가지 化學的 特性을 定量하여 그 量을 比較한 結果는 Fig. 2와 같다.

수락산의 山林土와 光陵, 伽倻山 및 智異山의 森林土壤의 化學的 特性을 比較하면 置換性加里, 置換性苦土 및 有效磷酸量에 있어서는 統計學的으로 有意한 差가 存在하지 않았다. 이것은 장수원의 수락산에서는 他地域의 林土보다 clay ratio가 크기 때문에 土壤 micelle의 포화도가 높다는 것을 알 수 있다. 즉 植物에 依한 養分의 利用率이 낮은데 그 原因이 있는 것 같다. 그리고 土壤 pH는 各地所 사이에 有意差를 認定할 수 없었으나 土壤含水量과 有機物含量은 수락산의 土壤이 大端히 낮은 値를 나타내었다. 勿論 이 結果는 統計學的으로 大端히 有意하였다. 그러

므로 장수원의 수락산一帶에서 볼 수 있는 토양침식은 土壤養分の 溶性洗脫에 의한 것이라기 보다는 土壤粒子的 流失때문이라고 생각된다.

土壤流失의 mechanism

물에 의한 土壤 浸蝕은 물에 溶解된 狀態로 洗脫浸蝕(soluble erosion)과 土壤有機物이나 土粒이 suspension狀態로 流失되는 粒性浸蝕(suspension erosion)으로 나누어 考察할 수 있다.

1. 溶性浸蝕(Soluble erosion)

土壤을 構成하고 있는 成分中 溶性物質은 물에 溶解되어 물과 함께 流失된다. 植物에 必要한 土壤養分은 水溶性으로 NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} 등의 形態로 soil solution中에 溶解되어 土壤 micelle에 吸着되어 保存되나 無機養分 自體의 化學的 性質과 clay의 構造的 特性에 依한 capacity의 差異에 따라 遊離되어 水溶態로 洗脫된다는 事實이 여러 學者들의 研究結果로 밝혀졌다.

Massey and Jackson (1952)은 土壤의 runoff를 分析하여 有機物, 有機 및 amino態 窒素, 有效磷酸, 置換性 加里의 順序로 浸蝕됨을 報告하였고 Ino and Monsi(1964)에 依하면 腐植質의 allophane土壤에서 N, P, K의 配分率을 研究하였는데 N은 增分の 38~53%, K는 70~80%가 遊離態로 되나 P는 3~7%가 遊離態로 되고 70% 以上은 부식물이나 鑛物의 colloid에 吸着된다고 하였다. 韓國의 森林土壤에서 Kim(1965)은 窒素中 NH_4^+ 보다는 NO_3^- 態의 holding capacity가 더욱 弱하다는 것을 立證하였다. 이와 같이 水溶性 物質의 浸蝕度는 物質 自體의 物理化學的 性質과 土壤의 性質에 따라 差異가 있다는 것을 알 수 있다.

森林土壤에 있어서 溶性浸蝕은 表面層의 水溶性 物質이 물과 함께 流失도 되지만 大部分 地下로 集積되어 洗脫層과 集積層을 形成하게 된다. Fig. 1에 보는 바와 같이 光陵, 智異山, 伽倻山의 地層에 比하여 수락산一帶에서는 洗脫層이 雨水에 依하여 急速히 流失되고 地下로 물의 浸透가 미약하기 때문에 集積層의 發達이 弱한 것은 樹木과 下草가 적은데 原因이 있는 것으로 思料된다.

溶性浸蝕은 森林과 草地가 發達한 地域에서 심하고 植被가 發達되지 않은 곳이나 砂防工事を 하지 않은 土壤에서는 오히려 弱한 것으로 생각된다. 장과 윤(1994)의 연구에 依하면 식물의 무기양분이 토립의 유실과 유실수에 의해 세탈되는 양은 잔디군락이 가장 낮았고 억새와 흰쪽의 초지군락과 진달래의 관목군락이 소나무림에 비해 대단히 낮았다.

2. 粒性浸蝕(Suspension erosion)

1) Eroding velocity

土壤粒자가 流失되려면 雨水와 함께 土粒이 움직여야 한다. 卽 土粒의 크기와 土粒間에 作用하는 응집력(cohesion)을 파괴하는데 必要한 물의 分散力과 關係가 있다. 于先 土粒이 完全히 水中에 分散되어 土粒間의 응집력이 0이 되고 土壤이 水中에서 움직이지 않고 滯止하고 있다면 이들은 위로부터 Stocks' equation (setting velocity)에 依하여 힘을 받을 것이며 이때 그 土粒을 움직이는데 必要한 最小限의 流體速度를 eroding velocity라고 한다면 이 速度는 settling velocity와 同一하며 다만 方向이 反對일 뿐이다. eroding velocity W_e 는

$$W_c = \frac{2}{9} g \frac{(d_1 - d_2)}{\mu} r^2 \dots\dots\dots (1)$$

로 表示할 수 있다. 이 式에서 g 는 重力加速度, d_1 과 d_2 는 土粒과 溶液의 密度, r 은 土粒의 半徑이며 μ 는 液體의 dynamic velocity이다.

다시 土壤의 性質에 따른 土粒間의 응집력을 考慮한다면 (1)式은 다음과 같이 變形된다.

$$W_c = \frac{2}{9} g \frac{(d_1 - d_2)}{\mu} r^2 + C \dots\dots\dots (2)$$

여기서 C 는 土壤粒子間의 응집력을 파괴하여 分散시키는데 必要한 流體의 速度를 表示한다. C 는 물과 土壤의 物理化學的 性質에 따라 달라진다. (2)式에 依하면 土粒이 半徑 즉 粒子의 크기 에 比例하여 eroding velocity는 커야 하며 土粒과 液體의 性質에 따라 變化한다는 것을 알 수 있다. 土壤이 雨水에 依하여 浸蝕되려면 流體의 速度가 eroding velocity보다는 恒常 커야 한다는 것을 意味한다.

2) 降雨(Rainfall)

浸蝕은 降雨로부터 始作한다. 빗방울이 地面에 떨어질 時의 edding velocity가 eroding velocity 以上이 되면 빗물과 함께 流失된다. 비가 落下할 時의 速度(Symon, 1953) V_s 는

$$V_s = - \frac{mg}{b} (1 - e^{-bt/m}) \dots\dots\dots (3)$$

로 表示되며 여기서 m 은 빗방울의 mass를 나타내며, b 는 空氣의 viscosity에 따른 落下體의 크기와 모양에 依存되는 constant이다. (3)式에서 $t \ll m/b$ (short time)인 경우는 $v = -gt$ 로 空氣의 저항을 無視할 수 있으나 降雨은 $t \gg m/b$ (long time)인 경우로

$$V_s = - \frac{mg}{b} \dots\dots\dots (4)$$

로 나타낼 수 있다.

빗방울의 落下速度가 빗방울의 무게에 依하여 커지나 空氣의 저항때문에 等速運動이나 거의 다름 없지만 이슬비와 소낙비는 裸地에서 土粒의 流失量에 實際로 差異를 가져온다. 森林이나 草地에서는 일단 樹冠과 草冠에 부딪치고 減速되어 二次的으로 林床의 落葉위에 떨어지게 되며 다시 三次的으로 減速되어 地面에 到達하게 되므로 土粒의 流失이 적어지는 反面에 溶性浸蝕이 많이 된다. 소나무가 疎生하는 장수원 수락산의 A₁層에서 coarse sand의 含量이 94%나 되는 것은 clay, silt 및 fine sand가 粒性浸蝕에 依하여 雨水와 함께 流失되었기 때문이다.

3) 流水(Natural stream)

流水에 依한 土粒의 移動은 流水의 速度에 依存된다.

流水의 速度는 Manning(1930)의 式

$$V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} \tan \theta^{1/2} \dots \dots \dots (5)$$

로 表示된다. 이 式에서 V 는 流水의 平均速度, n 은 Kutter's(1869) constant(roughness factor), R 은 hydrolic radius($A/W \cdot P$: A 는 流水의 斷面積, $W \cdot P$ 는 wetted perimeter) 및 $\tan \theta$ 는 水表面의 기울기이다.

流速 V 가 eroding velocity 以上이 되면 土粒의 流失이 일어나며 $\tan \theta$ 는 山의 傾斜도에 相當하는 것으로 傾斜가 急할수록 流速이 커지고 浸蝕이 심하여져 마침내는 gully를 形成하게 된다. gully는 森林이나 草地보다는 裸地에서 더욱 심하게 發達한다.

4) 土粒의 移動(Transportation of soil particles)

Natural stream에서 Rouse(1938)에 依한 土粒의 水中下向 移動은 settling velocity를 W 라고 하고 浮遊粒子의 濃度를 S 라고 하면 WS 로 表示할 수 있으며 eddy diffusion에 依한 上向移動은 $-D \times \frac{ds}{dz}$ 로 表示된다. 이 式에서 D 는 eddy diffusion의 계수이고, $\frac{ds}{dz}$ 는 濃度의 gradient이다. 그러므로 浮遊粒子의 濃度는 다음 式으로 決定된다.

$$WS = -D \frac{ds}{dz} \dots \dots \dots (6)$$

接觸面 가까이에서 水層의 區別이 거의 無視된다면

$$D = \frac{A}{\rho}$$

여기서 A 는 dynamic eddy velocity를 나타내며 ρ 는 밀도이다. 境界面의 마찰에 依한 stress를 ν 라고 하면

$$\nu = A \frac{dV}{dz} = \text{constant}$$

그러므로

$$D = \frac{\nu}{\rho} \frac{dV}{dz} \dots \dots \dots (7)$$

(7)式을 (6)式에 代入하면

$$\frac{dS}{S} = -\rho \frac{W}{v} dV$$

이 式을 0→Z까지 積分하면

$$\log \frac{S_z}{S_0} = -\frac{1}{2.303} \rho \frac{W}{v} (V_z - V_0) \dots\dots\dots(8)$$

만일 접촉면이 고르고 물이 直流한다면 土粒은 上向移動을 하지 않으나 roughness때문에 일어난 攪流는 다만 接觸면으로 확장되며 混化범위는 그 面에 限定值를 갖는다고 가정한다면 V₀=0이고

$$A = K_0 \rho \sqrt{\frac{v}{\rho}} (Z + Z_0)$$

이 式에서 K₀=0.4(Von Karman constant)이고 Z는 粒子에 依한 接觸면의 roughness length이다.

더욱이

$$v = \rho \left(\frac{K_0}{2.303 \log \frac{Z+Z_0}{Z_0}} \right)^2 V_z^2 \dots\dots\dots(9)$$

(9)式에 (8)式을 代入하면

$$\log \frac{S_z}{S_0} = -2.303 \left(\frac{\log \frac{Z+Z_0}{Z_0}}{K_0} \right)^2 \frac{W}{V_z} \dots\dots\dots(10)$$

다시 流速을 고려하면

$$\log \frac{S_z}{S_0} = -2.303 \left(\frac{\log \frac{Z+Z_0}{Z_0}}{K_0} \right)^2 \frac{nW}{1.49R^{2/3} \tan \theta^{1/2}} \dots\dots\dots(11)$$

Fig. 3은 接觸면으로 부터 2m上에서 물이 10cm/sec의 流速으로 흐르고 Z₀가 2cm와 0.2cm인 경우 粒徑이 다른 부유입자의 分散相을 나타내는 것이다.

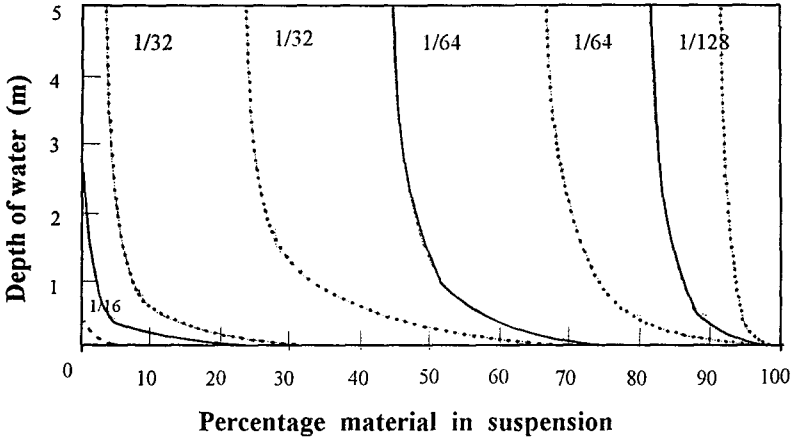


Fig. 3. Theoretical distribution of particles of indicated diameters:
 $\mu_{200}=10\text{cm/sec}$, $Z_0=0.2\text{cm}$ and $Z_0=2.0\text{cm}$.

그러므로 clay, silt, fine sand는 접촉면 가까이에서 suspension으로 존재하며 그 粒子의 크기와 量은 流速과 roughness에 依한 eroding velocity에 따라 定하여진다는 것을 알 수 있다. 장과윤(1994)에 의하면 빗물로 인해 유실되는 토양은 잔디균락, 진달래균락, 억새균락, 흰쭈균락, 소나무림, 나지의 순으로 크게 침식되었다.

5) 有機固形體의 移動

落葉, 落枝, 死根 등과 같은 有機固形體는 浮力에 依하여 용이하게 流失되며 流失되는 有機固形體의 크기와 무게는 水量에 依存한다. 比較的 작고 浮流되지 않은 有機物 方面에 對하여 Ostwald가 제안한 sinking velocity W_s 에 적용하면

$$W_s = \frac{m_e}{\mu \cdot f_r} \dots\dots\dots(12)$$

이다. 이 式에서 m_e 는 有機固形體의 過重量이고, μ 는 물의 粘度를 나타내며, f_r 은 形態로 인한 抵抗을 나타낸다. (Sverdrup *et. al*, 1942).

有機物의 方面은 거의 응집력은 무시할 수 있으므로 eroding velocity는 sinking velocity와 同一하며 方向만이 反對이다. 그러므로 土粒의 流失을 비교하면 大端히 빨리 流失된다. 有機固形體가 fragment의 形態를 잃고 無機化되면 土粒과 같이 取扱할 수 있다.

摘 要

光陵, 智異山, 伽倻山의 松林土와 수락산一帶의 浸蝕土壤을 物理化學的으로 分析比較하여 荒廢化의 原因을 究明하고 土壤浸蝕의 mechanism을 研究하였다.

1. 수락산一帶의 山林土는 洗脫層의 流失로 L, F, H, A₁ 등의 土壤層을 識別하기 곤란하며 集積層의 發達도 미약하였다.
2. 수락산 土壤의 P, K, 및 Mg의 含量은 다른 調査地域의 土壤에 比하여 統計學的 有意差가 存在하지 않으나 含水量과 有機物의 含量은 大端히 낮았다.
3. 수락산 土壤의 clay, silt, fine sand의 含量은 光陵, 智異山, 伽倻山의 그것보다 훨씬 적었으며 coarse sand의 含量은 大端히 높았다. A₁層에서 94% 이상이었다.
4. 그러나 수락산 土壤의 clay ratio가 他地域의 것에 比하여 가장 높았다.
5. 따라서 수락산一帶의 荒廢化는 土粒의 移動에 依한 粒性侵蝕에 그 原因이 있다.
6. Eroding velocity는 粒子의 크기와 응집력에 따라 增加하며 降雨와 流水로 因하여 土粒이 eroding velocity 以上の 流速을 받으면 浸蝕된다.
7. Clay, silt, fine sand는 물의 接觸面附近에서 分散相으로 存在하여 그 粒子의 크기와 量은 流速과 roughness에 依한 eroding velocity에 依해 限定된다.

引用文獻

1. Billings, W. D. 1950. Vegetation and plant growth as affected by chemically altered rocks in the Western Great Basin. Ecology 31(1):62-74.
2. Brown, I. C. 1943. A rapid method of determining exchangeable hydrogen and total exchangeable bases in soil. Sci. 56:353-357.
3. 장남기, 윤성모. 1994. 식피에 따른 토양과 무기양분의 유실. 한국잔디학회지. 8(3):149-166.
4. Dickman, S. and R. H. Bray. 1940. Colorimetric determination of phosphates. Industr. Engng. Chem, 12:665-668.
5. Ino, Y. and M. Monsi. 1964. Distribution of the increment element in humic allophane soil of Mt. Kirigamine, Bot. Mag. Tokyo. 77:216-221.
6. Kim, C. M. 1965. The nutrient holding capacity of wood land soils of different forest types in Korea. Seoul University Journal 16:148-172.
7. Kutter, Ganguillet. 1869. Flow of water in rivers and other channels. Translation by Herring and Trantwine, 2nd Ed., John Wiley and Sons, Inc., 1901.
8. Massey, H. F. and M. L. Jackson. 1952. Selective erosion of soil fertility constituents. Soil Science Society Preceeding 16:353-356.
9. Manning, Robert. 1930. On the flow of water in open channels and pipes. Trans. Inst. of civil Engrs. of Ireland V. 20.
10. Rouse, Hunter. 1938. Fluid mechanics for hydraulic engineers. New York, McGraw-Hill Book Co. p.422, 1938.
11. Sverdrup, H., U. Marctin W. Johnson, and Richard H. Fleming. 1942. The Ocean, Prentice Hall INC. New York p.965, 1942.
12. Symon, R. K. 1953. Mechanics. Addison Wesley Publishing Co. p.33-37. 1953.
13. Wilde, S. A., and G. K. Voigt. 1955. Analysis of soils and plants for foresters and horticulturists. pp.70-71.
14. Yoshioka, K., and K. Saito. 1962. Differences in the distribution of forest communities due to topography of the habitats in Okunikkawa, Miyagi Prefecture. Ecological Review. 15(4):216-220.

