Korean J. Environ. Agric.
Vol. 4, No. 2, December 1985

◆ 總 說 ◆

農耕地의 土壤浸蝕과 水質汚染의 豫測 및 抑制

高 在 君*

(1985년 10월 15일 접수)

Prediction and Control of Soil Erosion and Water Pollution in Agricultural Lands

Chae Koon Koh*

緖 論

農耕地로부터 土壤浸蝕과 肥料, 殺虫劑, 제초제등과 같은 農業用 化學物質의 流去는 河川이나 湖水등의 환경과 水質에 큰 영향을 미친다. 特히 農業生産의 提高를 위한 集約的 營農體系와 점진적으로 증가되고 있는 農業物 化學物質의 使用은 自然環境에 대한 심각한 위협으로 評價되고 있다.

土壤浸蝕은 降雨와 流出에 의한 土粒子의 流失을 말한다. 流失되는 土粒子의 대부분은 비옥도가 높은 表土層으로부터 脫離된 것이다. 그러므로, 土壤浸蝕은 農耕地의 表土層의 감소를 일으키며 作物의 수확량 감소를 초래케 한다.

農業化學物質은 農耕地의 灌漑水나 表土에 溶解되어 地表水 혹은 流失土砂와 함께 河川에 流入될 수 있다. 이와같은 化學物質은 그 成分에 따라서 河川水質의 惡化를 초래하게 된다. 또한, 化學成分에 따른 移動經路나 過程이 相異하다.

農耕地로부터의 流失土砂나 農業用 化學物質에 의한 환경피해를 특히 무점원 오염(nonpoint source pollution)이라고 한다. 그것은 工場폐수나 生活下水 등의 오염원이 특정한 地點 또는 出口를 갖는 데 反하여 農耕地의 오염원은 開放的이고 不特定한 까닭이다. 이와같은 무점원 오염에 의한 自然環境과 生態界의 파괴에 대한 위협은 現代的 營農技術의 發達로 어느 때보다 큰 것으로 評價되고 있다. 이와같은 理由로 美國에서는 環境保護處(U.S. Environmental Protection Agency)를 中心으로 무점원 오염의 現況과 이에 관한 基本的 特性의 파악을 위한 집중적인 연구를 수행하여 왔다. 그 結果農耕地로부터 土壤流失의 억제를 주요內容으로 한 강력한 土壤保全에 관한 법규를 推進하고 있는 實情이다.

農耕地로부터의 무점원오염에 의한 환경피해를 줄이기 위하여는 그 주요인자인 土壤浸蝕과 化學物質의 流失에 대하여 定量的 評價가 必要하다. 農耕地로부터 어떠한 過程을 통하여 發生하는가 하는 原因을 살펴보고 이에 대한 방지책을 검토하여야 할 것이다.

따라서, 본 論說에서는 土壤浸蝕의 여러과정을 설명하고 그 定量的 分析方法을 고찰하고, 農業化學物質의 移動과 變化와 豫測方法에 대한 現在의 投術水準을 살펴보도록 하였다. 그리고, 環境保全을 고려한 農地保全의 基本方向에 대하여 考察하도록 한다.

土壤浸蝕 및 移動

1. 土壤流失

土壤의 粒子는 降雨나 地表流出 등에 의하여 地面에서부터 脫離(detachnent)되어 地表越流水에 의하여 河川으로 流入되어 下流로 移動하고 바다로 흘러가게 된다. 이와같은 過程을 流砂의 移動過程(sedimentation)

*서울대학교 농과대학 (*College of Agriculture, Seoul National University, Suwon*)

이라 한다. 그러나, 모든 流砂가 바다로 흘러가는 것이 아니다. 流失되는 도중 沈澱되고 堆積된다. 堆積된 土粒子는 다시 洪水期 등에 下流로 流失되기도 한다.

流砂의 移動過程은 곧 地質의 形成過程으로 自然發生的이다. 문제는 이러한 自然的인 移動現象이 人間의 意圖에 따라 加速되거나 減速하므로서 그 過程의 일부 또는 전체가 均衡을 이루지 못하는데 있겠다. 農耕地와 같이 원래의 草木과 피목을 제거하고 耕作을 위하여 흙을 부수는 등의 耕農에 따라 土壤의 침식잠재능이 월등히 높아져서 침식량이 증가되며, 下流區間의 流砂量의 증가와 필연적으로 堆積量을 急增시키게 된다. 이러한 理由로 農耕地의 土壤流失을 加速浸蝕(accelerated erosion)이라 부르고 그것은 地質的 浸蝕(geological erosion)과 달리 定義된 것이다.

土壤浸蝕은 耕地의 表土層이 流失되는 現象이다. 비옥한 表土層의 流失率이 表土의 生成率를 초과하게 되며 結果的으로 表土層의 深度가 감소된다. 실제로 傾斜地의 表土層의 깊이를 調査하여 보면 相當히 얕은 것을 흔히 관찰하게 된다. 따라서, 土壤保全을 위하여 土壤別로 規定되는 最大許容限界 流失率(tolerance level) 以下로 유지하지 않으면 안된다.

流失된 土砂가 耕地 밖으로 流失되어 河川으로 流入되고 下流로 移送하게 되면 流砂로 因한 여러 가지 被害가 뒤따른다.

Fig. 1은 流砂移動 및 堆積과 關聯한 여러 構造物 혹은 施設등에서의 問題를 區分하여 表示하고 있다. 流砂濃度로 因한 잠재적인 被害의 범위는 어조류, 發電, 生活用水, 灌漑등이며, 河導나 水路등의 堆積의 피해 범위는 관개, 홍수조절, 공중위생등을 포함한다.

流砂는 또한 耕地에 撒布된 化學物質을 함유하게 되므로 土粒子에 유착된 有機物 成分과 함께 河川에 流入하게 된다. 따라서, 流砂는 잠재적인 오염원의 運搬子가 될 수 있다. 이와같은 理由로서 土壤流失이 無點 오염원의 가장 심각한 문제로 여겨지는 것이다.

2. 土壤浸蝕의 基本概念

그러면 土壤浸蝕은 어떻게 이루어 지는가? 우선 土壤浸蝕이 發生하는 過程을 細分하여 보고, 그 各 過程

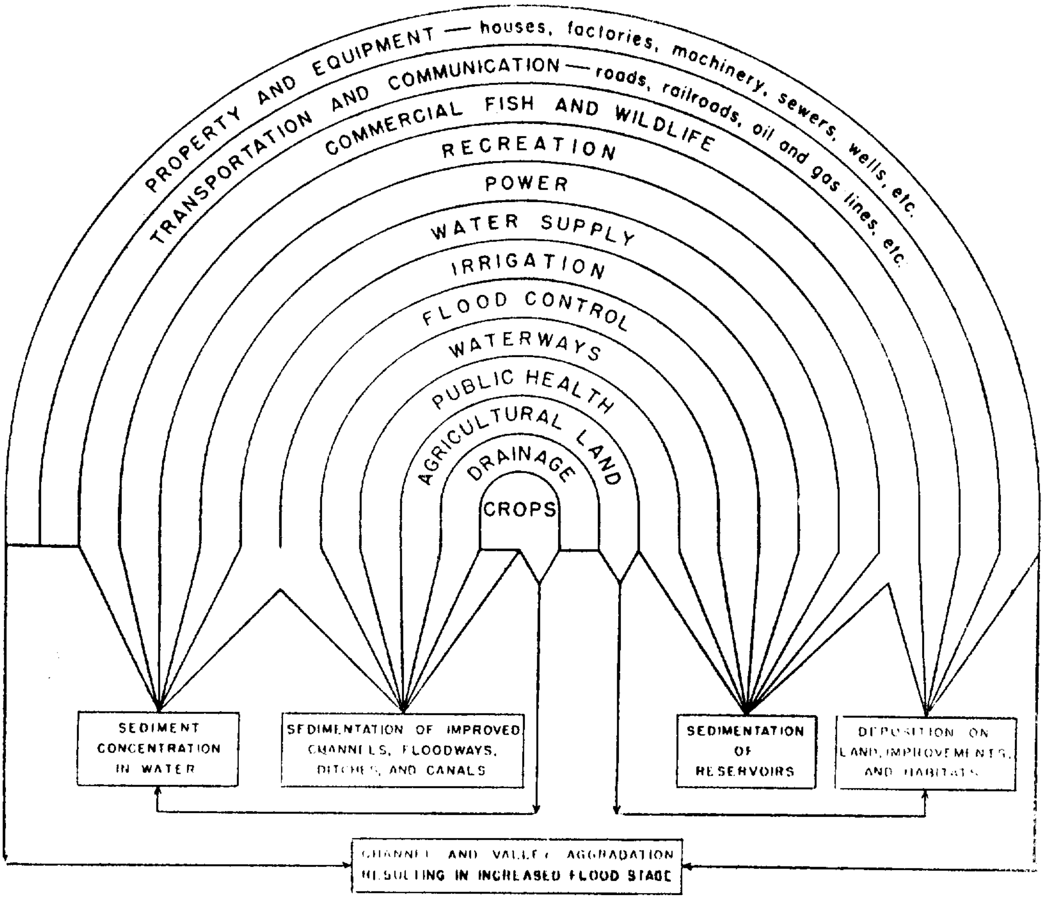

Fig. 1. Effects of sedimentation (after Brown, 1948)

이 發生되는 現象을 어떻게 理解할 수 있는가를 살펴 본다.

傾斜地에서의 浸蝕過程을 한 土粒子에 對하여 살펴보면, 그것이 脫離되고 移動되어 堆積된다. 脫離現象은 빗방울의 타격이나 地表流去水의 침식력(erosive forces)이 그 土粒子의 浸蝕에 對한 抵抗力보다 큰 경우에 發生된다. 脫離된 土粒子의 移動은 빗방울의 튀김(splash)와 地表水에 의하여 일어난다. 만약 土粒子의 移動所要負荷가 流失水의 移動能을 초과하게 되면 土粒子가 堆積된다. 이와같은 3가지의 移動過程을 토양침식의 基本的 過程이라 한다. 基本的 過程의 相對的 重要性은 그 現象이 發生하는 空間, 즉 rill(細流)에서인지 或은 rill 間의 空間에서 인지에 左右되거나, 各 現象을 調節하는 變數등에 따라 決定된다.

Rill 間의 공간(interrill area)에서의 浸蝕現象은 rill에서의 그것과 無關하다. 그러나, rill 內의 土壤浸蝕은 그 外側에서의 流砂流入量에 따라 變化한다. 外側의 流入流砂量이 rill에서의 流砂移動能을 초과하면 堆積이 發生된다. rill에서의 침식력이 土壤蝕浸抵抗力을 초과할 경우는 浸蝕이 發生한다.

耕地로부터 流失되는 流砂量의 대부분은 rill에서부터 비롯된다. rill 外側의 地表越流의 流砂移動能이 초과할 수 있으나 rill과의 水理的 獨立性으로 rill의 移動能과 無關하다. 반대로 rill에서의 移動能과 그 外側의 그것과도 無關하다. 結局, 土壤浸蝕過程은 空間的으로 區分하여 獨立的인 基本的 過程을 解析하여야 한다.

Park 等(1982)는 土壤浸蝕過程을 空間的인 變化의 積分에 따른 어려움을 들어 所謂 浸蝕因子의 相對性을 應用하므로서 數學的으로 같은 結果를 얻을 수 있음을 示唆하였다. rill에서의 浸蝕因子가 地表越流인데 反하여 rill 外側의 因子는 빗방울과 부분적인 地表越流인 것인데 그것은 빗방울에 依한 침식능은 水深과 關係되는 것이다. 이와같은 理由로 앞서 考察한 空間的 變化 槪念이 說明된다는 假定을 밝힌 바 있다. 어떠한 論理에서던지 傾斜地의 土壤浸蝕은 基本的 過程으로서 說明할 수 있다.

3. 土壤浸蝕에 影響을 주는 因子

土壤浸蝕은 土粒子의 脫離, 流砂移動, 그리고 堆積의 基本的 過程의 結果이다. 이들 過程은 많은 因子에 의하여 支配된다. 各 因子의 主要特性을 考察하면 다음과 같다.

가) 水文：浸蝕過程에 必要한 에너지는 降雨와 流出에서부터 비롯된다. 곧 圃場에서의 水文現象은 土壤浸蝕을 調節한다. 다음의 各 因子등은 土壤浸蝕에 직접 영향을 미치는 以外에도 水文現象에 중요하다. 따라서, 各 因子의 종합적 영향의 검토가 必要하다.

나) 地形·地勢：土壤浸蝕은 傾斜長, 傾斜度 그리고 그 形相에 따라 左右된다. 地形·地勢는 또한 水文特性을 조절한다.

다) 土壤의 浸蝕性：어떤 土壤은 다른 土壤에 비하여 浸蝕性이 크다. 土壤의 浸蝕性은 빗방울의 타격에 대한 脫離性과 흐름에 의한 脫離性이 各各 相異하다. 한편 土壤의 浸蝕性은 營農方法에 따라 左右된다. 有機物의 多少에 따라 浸蝕性이 相異하다.

라) 土壤의 流動性：土壤의 流動性이란 流砂移動의 程度를 말한다. 土粒子나 土粒子群이 지면으로부터 脫離된 직후의 粒徑構成比와 流砂移動중 혹은 堆積된 流砂의 構成比가 相異한 경우를 관찰할 수 있다. 이와같은 結果는 土粒子의 流動性과 關係가 있다.

마) 被覆狀態：作物에 의한 被覆狀態는 은폐(canopy), 멀칭, 그리고 작물의 짚등에 의한 效果로 區分할 수 있다. 作物에 의한 은폐는 빗방울을 차단하며, 비록 잎이나 줄기로부터 다시 落下한다 하여도 빗방울의 충격력보다 감소된 물방울이 地面에 떨어지게 되는 效果를 준다. 그러나, 은폐가 되지 않은 空間 사이로 낙하되는 빗방울에 대한 效果는 전혀 없게 된다.

地面에 접촉된 물질은 은폐의 경우보다 더욱 效果的으로 土壤浸蝕을 억제한다. 土壤面이 密生植物이나 멀칭등으로 피복된 상태에서는 빗방울에 의한 脫離現象은 發生되지 않는 데 빗방울이 다시 에너지를 얻을 수 있는 落下距離가 없는 까닭이다. 또한 표면마찰의 증대로 인한 地表越流水의 水深증가를 초래하므로서 강우의 충격에 대한 쿠션역활도 중요하다.

地表面에 접촉된 피복물등은 흐름에 의한 浸蝕力과 移動力의 일부를 흡수하므로서 rill 침식을 감소시킨다. 멀칭이나 잡초등은 堆積을 유발시키고 流出로부터 流砂를 여과하는 機能을 갖는다.

바) 짚 또는 퇴비：作物의 짚이나 퇴비 등은 土壤의 有機物 함량을 유지하여 주는 것으로 土壤浸蝕을 抑制하는데 기여한다. 짚등이 흙과 혼합된 상태는 rill 浸蝕의 억제에 큰 效果를 보인다.

사) 營農履正：현금의 土壤浸蝕은 과거의 영농방법의 이력에 따라 다르다. 즉 草地를 初耕한 직후의 토양은 계속 경작해 온 경우보다 훨씬 浸蝕量이 작다. 그것은 식물의 미세한 근역과 개선된 土壤構造가 삼투율을 높혀주며, 浸蝕因子로부터 土壤을 保護하고 土壤의 浸蝕性을 작게하여 준다. 그러나 이와같은 效果는 以後 2～3年間의 持續的이 경작을 한 후에는 소멸된다.

아) 耕耘(tillage)：경운은 土粒群을 分離하여 주며 곧 脫離를 촉진시킨다. 특히 rill 浸蝕性의 증가효과가

있다. 6年동안 무경운의 포장의 토양유실량은 경운직후의 포장의 그것보다 2.5倍나 작은 것으로 報告되었다.

자) 경운이랑 : 傾斜方向의 경운은 rill 침식을 증가시키나, 등고선방향의 침식을 감소시킨다. 등고선방향의 경운의 결과는 이랑의 흐름의 유효경사가 작아지게 된다. 결국 고랑 또는 측면경사에서 流失된 土砂의 상당량은 이랑에서 퇴적된다. 그러나 유출량이 초과하여 이랑이 유실되면 고랑을 가로지르는 흐름이 發生하므로서 상당한 rill 침식이 일어난다.

4. 土壤流失量의 推定

土壤浸蝕으로 因하여 特定한 圃場 또는 地面에서부터 流失된 流砂의 總量을 土壤流失量(soil loss)라 한다. 土壤流失量은 따라서 脫離·移動·堆積등에 의한 土粒子의 實際移動量에 該當한다. 만약 많은 土粒子가 脫離되는 浸蝕作用이 생겼다고 하더라도 下流의 任意의 點에 流失되지 못하고 堆積되었다면 土壤流失量은 全無한 것이 된다.

土壤流失量의 正確한 推定은 現在까지의 水準에서 어려운 課題이다. 그 理由는 圃場에서의 浸蝕現象은 앞서 考察한 바와 같이 그 位置의 土壤條件, 作物條件, 그리고 環境條件 등의 복합적 要素에 의하여 支配되기 때문이다. 土壤浸蝕要素인 강우와 流出의 정확한 推定 역시 어려운 과제가 아닐 수 없다. 결과적으로 統計的이고 基本的인 接近方法만이 可能한 段階인 것이다.

土壤流失量의 推定方法중의 代表的인 것을 들면 다음과 같다. ① 萬能土壤流失方程式, ② 위 方程式의 變形이나 修正公式, 그리고 ③ 基本概念에 따른 方程式등이 그것이다. 이들의 特性에 관하여 略述하면 다음과 같다.

가. 萬能土壤流失方程式(universal soil loss equation)

흔히 USLE라 稱하는 이 方程式은 여러 因子들이 圃報實驗資料를 通하여 定義되었다고 하여 資料基礎的 方程式(databased equation)이라 하기도 한다. USLE는 1940年代 美國의 中西部에서 開發된 方程式에서 降雨特性을 고려하여 그 적용한계성을 없앴다고 하는 側面에서 萬能式으로 명명되었다. 그러나, 現今에 이르러서는 世界 어느 곳에서도 적용되는 式으로 오용되는 경우가 있는데 유의하여야 할 것이다.

USLE는 다음과 같은 式으로 表示된다.

$$A = 2.24\ RKSLCP$$

여기서, A=年平均 土壤流失量(T/ha/yr), R=降雨浸蝕因子, K=土壤의 浸蝕性, S=傾斜勾配因子, L=傾斜長因子, C=作物 및 營農因子, P=土壤浸蝕防止工法의 因子 등 이다.

USLE의 各 因子의 推定은 關聯參考文獻등을 通하여 可能하다. 다만 위의 公式 중 降雨浸蝕因子나 浸蝕性 등의 因子에 地域的인 硏究가 活潑한 것을 보게되는데 이는 그 方程式의 원래의 意圖와 다른 경우가 많음을 지적하여 둔다.

나. 修正 USLE

USLE의 制限性의 하나인 年平均流失量의 推定目的을 달리하여 特定 降雨나 特定 年度에 대한 土壤流失量의 決定이 必要한 경우가 있다. 土壤流失로 因한 下流에서의 水質問題 등을 究明하기 위해서는 특정 降雨에 대한 流失量의 推定이 重要하다. 或은 季節的인 特性등으로서 降雨浸蝕因子보다 降雪등의 영향을 고려하여야 할 경우도 可能하다. 이와같은 必要에 따라 USLE 修正式 또는 補正式이 開發되어 왔다.

代表的인 USLE 修正式에는 ① 降雨에 依한 流域에서의 流失量 推定式(Williams, 1975), ② 降雪을 고려한 修正式(McCool et al., 1976), ③ 流域의 流砂量 推定을 위한 修正式(Onstad et al., 1976)등이 있다.

다. 基本概念에 依한 方程式(fundamental-based equations)

土壤浸蝕의 基本的 過程은 脫離·移動 그리고 堆積이다. 곧 이와같은 各 過程을 數式化하고 이와 관련된 因子등의 특성을 定量的으로 評價하므로서 土壤流失量의 推定이 可能하겠다. 이러한 假定에 依하여 試圖된 土壤流失推定式을 앞서 言及한 資料中心的인 接近方式과 區分하여 基本概念에 의한 方程式이라 稱한다.

傾斜地에서의 土壤流失量은 Fig. 2와 같은 過程에 依하여 定義된다. 즉 上流로부터 流入된 流砂量과 그 區間에서 脫離된 流砂量의 合이 곧 總可能한 流砂量이다. 한편 그 區間에서 下流로 流失할 수 있는 流砂移動能은 흐름의 特性에 의하여 支配된다. 만약 流砂移動能과 移動可能流砂量 중 前者가 後者보다 큰 경우는 그 區間에서부터 流失되는 量은 移動可能流砂量이 될 것이다. 反對로 流砂移動能이 작은 경우는 流砂量은 移動能에 依하여 抑制되므로 部分的인 堆積이 發生되며 移動能이 곧 流砂量이 되는 것이다.

基本概念에 의한 方程式은 正常的 段階에서는 비교적 쉽게 해석이 可能하다. 그러나 流砂移動能과 脫離量등은 강우와 流出量의 時間的 變化로 因하여 큰 變化를 나타낸다. 따라서 流砂量의 計算에 우선하여 流出量의 時間的 空間的 變化에 관한 水文計算이 必要하며, 그 結果로부터 不定流狀態에 대한 流砂移動過程을 推定하지 않으면 안된다. 결국 流出解析이 可能한 電算模型과 接合하여 計算하는 實情이다(Park et al., 1982).

美國農務省 산하의 土壤浸蝕試驗場과 관련 大學硏究

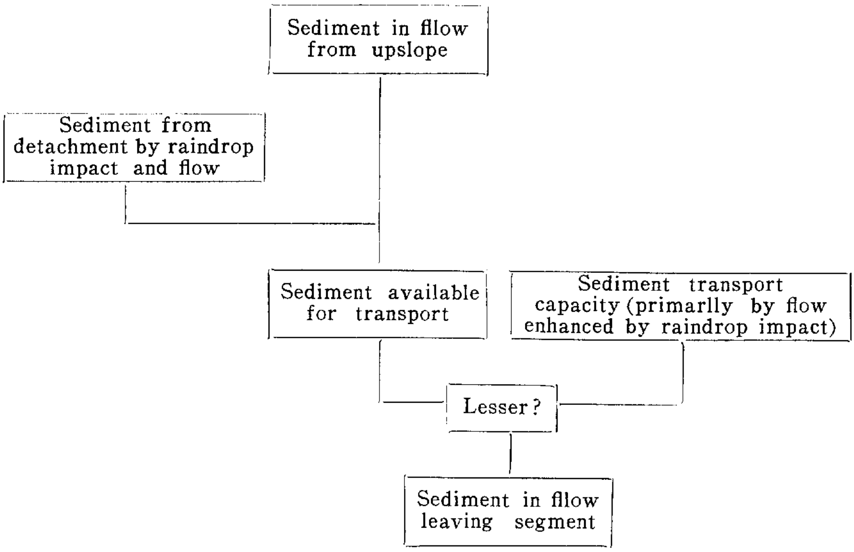

Fig. 2. Interaction of erosion processes at steady state on a segment of a typical land profile (Meyer and Wischmeier, 1969)

室등은 최근 USLE의 結果를 活用할 수 있고, 基本概念을 기초로 하는 土壤流失方程式의 開發에 力點을 두고 硏究를 지속하고 있다. 筆者의 所見으로는 가까운 장래에 비교적 精度가 높은 流失量 推定方法이 定立될 것으로 본다.

化學物質의 移動과 循環

1. 水質의 오염과정

農耕地로부터 流失되는 地表流出水에는 土壤浸蝕의 結果인 流砂이외에도 많은 化學物質을 포함한다. 그것은 빗방울부터 순수한 물이 아닌 化學物質을 포함하는 것으로 圃場의 유기물·무기물이 溶解되어 流失되는 까닭에 이로 인한 下流區間의 水質이 惡化될 위험이 매우 높다.

特히 農業生産性의 提高를 위한 方案으로 화학비료의 使用과, 제초제, 살충·살균제 등 農藥使用量의 증가로 인한 水質 오염의 부담은 어느때보다 높다. 그리고 그 위험성은 보다 심각해질 것으로 豫測할 수 있는 것은 집약적 農業生産體制에 必然的인 과정으로서 化學物質의 利用量이 점차 加速할 것이기 때문이다.

農耕地로부터 化學物質의 移動過程은 매우 複雜하다. 流砂移動過程이 物理的 過程이었다면 化學物質의 移動過程은 物理的 過程 이외에도 化學的 過程과 生物學的 過程등도 重要하다. 한편 이들의 移動過程은 相互 복합적 작용을 갖을 수 있다.

Table 1은 農耕地로부터 流失되는 여러 化學成分의 移動過程에 관한 物理的, 化學的, 그리고 生化學的 過程과 그 內容을 보여 준다. 특히 各 過程의 重要性을 區分하고 있다. 流砂나 BOD 等의 移動過程은 物理的 現象이 重要한 反面에 살충제등의 化學成分에는 物理·化學·生物的 現象이 각각 有意하다. 따라서, 各 現象에 관한 理解와 함께 化學的 變化로 因한 循環過程에 대하여 살펴보지 않으면 안된다.

2. 化學物質의 移動過程

가. 物理的 過程(physical processes)

化學成分의 物理的 移動過程은 대류, 부유 및 퇴적, 분산, 확산作用등으로 區分된다. 각 物理的 過程의 특징은 다음과 같다.

① 대류(convection) : 대류작용는 移動하는 물에 의한 化學成分의 이동과정으로 강우, 지표월류, 그리고 地中水등으로 發生된다.

② 浮遊(suspension)와 堆積(deposition) : 이 作用은 固形粒子등이 물속으로 混入되거나 밖으로 離脫하는 過程이다. 앞에서 考察한 바와 같이 降雨와 地表越流水에 의하여 土粒子 혹은 有機物이 흙덩이로부터 분리되어 浮遊移動하게 된다. 浮遊物의 일부는 運搬 도중 堆積되는데 이에 관해서는 앞에서 고찰하였다. 浮遊物에는 여러가지 化學物質이 있을 수 있으므로 化學的過程에서 浮遊와 堆積過程은 매우 重要하다,

③ 分散(dispersion) : 分散作用은 물의 流動으로 因한 化學成分의 不規則的이고 異質的인 移動狀態를 말한다. 渦流나 亂流등에 의하여 흐름보다 앞서거나 뒤처짐등의 현상이 發生된다. 그 결과 特定한 物質의 濃

Table 1. The importance of various chemical constituents and transport processes in water quality from small watersheds (after Free et al., 1982)

	Chemical constituents							
	Sediment	Salinity	Nutrients N	Nutrients P	Pesticides	Oxygen deficit DO & BOD	Heavy metals	Micro-organisms
Convection	×	×	×	×	×	×	×	×
Suspension	×		×	×	×	×	×	×
Deposition	×		×	×	×	×	×	×
Dispersion	?	?	?	?	×	×	×	×
Diffusion		?	×	?	×		?	
Tillage	×		×	×	×		?	?
Sorption			×	×	×		×	?
Ion exchange		×	×				?	
Crystalization		×		×			×	
Hydrolysis					×		×	
Oxidation-reduction			×		×	×	×	
Photochemical					×			
Biochemical			×	×	×	×	?	×

□ process not important in explaining transport of constituents
? process of uncertain importance
× process is important

度가 증가되거나 그 첨예농도의 감소를 보이는 것이다.

④ 擴散(diffusion) : 확산作用은 濃度의 差나 그 기울기에 따른 移動狀態를 말한다. 확산작용은 다른 物理的 移動過程보다 그 기여도가 낮다.

나. 化學的 過程(chemical process)

化學物質은 物理的 過程중이나 或은 정지상태에서 化學的 과정을 할 수 있다. 化學的 過程은 收着(sorption), 이온交換(ion exchange), 結晶(crystallization), 加水分解(hydrolysis), 산화환원(oxidation-reduction) 그리고 光化學反應(photochemical reactions) 등이 있다. 農耕地에서의 化學成分別 化學的 過程의 重要度는 앞서 考察한 Table 1과 같다.

다. 生化學的 過程(biochemical processes)

여러 微生物의 효소작용에 따라 化學物質의 反應速度를 크게 가속할 수 있다. 많은 有機化合物등이 산화, 환원, 가수분해등의 화학반응을 通하여 다른 成分으로 변환할 수 있게 된다.

3. 化學物質의 循環

自然狀態의 물은 빗방울이라 할지라도 순수하지 않고 여러 成分을 포함한다. 결국 水質問題와 관련한 化學成分別 基準値는 그 量의 用途에 따라 다르다. 食水에 관한 허용치는 灌漑用水등과 같은 他目的에 사용되는 허용치보다 더욱 엄격한 것이다, 따라서 水質과 관련하여 農耕地로부터 流失되는 流出水의 保全을 위해서는 그 各 成分別로 基準을 考慮하지 않으면 안된다.

化學物質이 農耕地로부터 流失되는 과정은 成分別로 다르고 또한 그 경로나 時期別로도 다르다. 따라서 特定 化學成分別로 앞에서 살펴본 移動 과정중의 變化를 고려하므로서 基準値에 적합한 保全方案이 검토될 수 있을 것이다.

Fig. 3은 農耕地를 中心으로 한 질소成分의 循環過程을 圖示한 것이다. 空氣중의 N_2 혹은 NH_3등은 비나 생물학적 과정을 통하여 農耕地로, 그리고 식물과 동물의 연쇄과정을 통하여 순환되며 토양중에서도 여러 形態로서 변환하게 된다. 이와 같은 과정중 流出이 發生하고 土壤流失에 따라 農耕地의 밖으로 移動되는 것이다.

Fig. 3의 질소순환과정에서 동일한 降雨一流出과 土壤流失量이 發生된다 할지라도 그 時期에 따라 질소화합물의 流失量이 다를 수 있음을 유의해야 한다. 화학비료의 살포 직후의 유출은 그 以前보다 질소화합물의 濃度가 훨씬 높을 것이기 때문이다. 마찬가지로 土壤중에 溶解된 成分에서도 差異를 보일 수 있는 것이다.

4. 水質豫測模型

農耕地로부터 流失되는 化學成分의 主要 매개체는 流出水와 流失土壤이다. 따라서 水質豫測을 위해서는 이

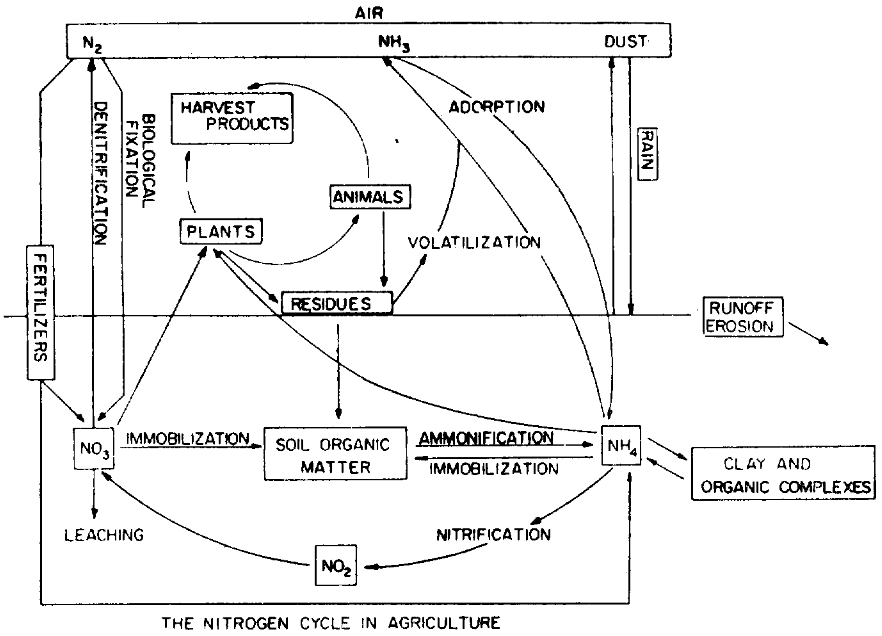

Fig. 3. The interrelation of the various nitrogen forms and processes as related to agriculture (after Frere et al., 1982)

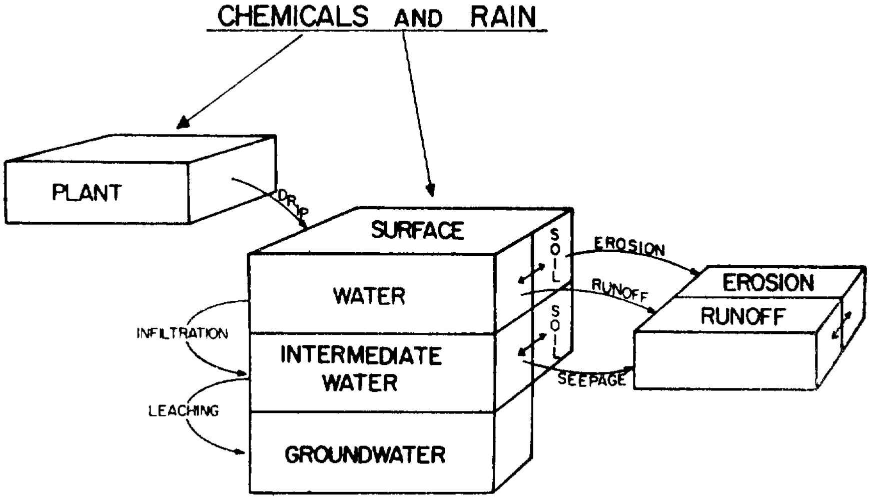

Fig. 4. The compartments and processes of a model for chemical movement in watersheds (after Frere et al., 1982)

들 매개체의 量을 正確히 추정하는 것이 必要하다. 그밖에는 農耕地의 환경조건으로 化學的·生化學的 反應에 영향을 줄 수 있는 要因등도 고려하여야 할 것이다. 그중 土壤水分의 變化, 地中溫度의 變化등을 포함하게 된다.

Fig. 4 는 農耕地로부터의 化學物質의 이동을 豫測하기 위한 模型의 주요 內容을 概念化한 것이다. 化學物質과 비가 作物과 土壤面에 살포되면 작물로부터 떨어져 흙이나 물에 混入되고 이것이 다시 滲透되어 地中에 들어가거나 리칭(leaching)이 되는 것이다. 결국 降雨로 인한 流出과 流失로부터 化學成分의 移動이 可能한 것을 보여준다.

대부분의 水質豫測模型은 各 化學成分別로 流出과 土壤流失量의 函數關係를 利用하여 豫測을 試圖한다.

따라서 電算模型으로서 發展을 거듭하고 있으며, 河川에서의 流動過程을 豫測할 수 있는 模型의 試圖가 文獻에 소개되기도 한다. 그러나 豫測模型은 아직 初期段階로서 發展의 여지가 많은 狀態이다.

農業環境의 保全

1. 環境保全으로서의 轉換

農耕地로부터의 土壤과 물의 流失은 전통적으로 영농관리의 課題의 하나이다. 그것은 土壤保全을 通한 表土流失의 抑制를 目的으로 하는 것인 바, 作物의 生育과 수확량의 확보의 次元에서 고찰되어 온 것이다. 또한 傾斜地등의 流出을 조절하므로서 土壤水分의 공급을 期하는 것도 그러한 理由인 까닭이다. 그러나 農耕地로부터 流出되는 土砂와 化學物로 因한 환경피해에 관한 國民的 認識의 괄목할만한 增加는 종래까지의 영농관리의 目的으로부터 환경보진의 目的으로 전환을 強要할 時期가 멀지 않은 것이다.

美國은 現在 法規에 의한 土壤流失量의 基準을 定하여 이를 規制할 움직임을 보이고 있다. 일부 州에서는 大規模의 農耕地 流出水의 水質觀測網을 확보하여 基底化學物質濃度의 樹立을 위한 努力이 推進되고 있는 것이다. 이와같은 試圖는 農耕地로부터의 土壤流失 및 流出을 일정수준이하로 억제하도록 의무화함으로서 水質오염을 막고 환경을 보전하겠다는 의도인 것이다.

결국 今明간에 農耕地로부터의 土壤流失의 억제에 관한 목적이 表土의 保全의 次元에서 환경보전의 目的으로 전환할 수 있는 것이다.

2. 環境保全의 方案

農耕地로부터 土壤 및 물의 流失을 조절하기 위한 方案은 무엇보다도 土壤浸蝕過程과 水文過程에 影響을 주는 因子를 적절히 조절하는 것이 效率的이다. 이와 같은 方案은 農業土木工學的 方法과 耕種的 方法으로 區分할 수 있다.

農業土木工學的 方法은 잘 알려진 테라스工法이나 地均등을 利用하여 흐름의 浸蝕力을 抑制하고 水分을 保全하는 것이 된다. 우리나라의 논은 테라스 형식중 토양보전에 가장 효율적인 것으로 토양유실 방지에 큰 기여를 하고 있는 것이다. 그 밖에도 초생수로나 水理構造物등의 設置를 通하여 완전히 잉여 地表水를 배제하는 것이다. 관개배수의 方法도 效率的일 수 있다.

耕種的 方法은 作目體系에서 耕耘方法 및 時期의 선택, 傾斜地의 경우 경작방법, 토양보전을 위한 경운방법등의 여러가지가 있겠다. 아울러 퇴비와 유기질의 사용량을 늘이고 地力保全을 꾀하는 것도 農耕地로부터의 土壤과 水分의 流失을 억제할 수 있는 길이 된다. 특히 水質問題의 근원이 되는 토양과 수분의 유실억제는 곧 化學物質에 의한 河川이나 저수지의 水質汚染을 최소화할 수 있는 지름길이 될 것이다.

結 論

農業物理環境의 效率的인 保全對策을 제시한 目的으로 農耕地로부터 土壤, 물, 그리고 化學物質이 어떻게 流失되고 移動하는가를 考察하였다. 또 이러한 移動過程에 영향을 미치는 諸因子의 특성을 살펴보고 그 各各을 豫測評價하는 技法을 소개하였다.

土地生產性의 提高를 위한 集約的 營農體系의 結果로 降雨, 流出로 인하여 빚어지는 土壤과 물, 化學物質의 移動過程은 自然發生的 水準에서 크게 加速되어 人爲的인 努力이 없이는 회복이 불가능한 狀態에까지 農業生產環境의 惡化가 이루어진 것으로 評價되고 있다. 農業環境의 保全策으로는 工學的 手段과 영농적 방법이 있으며 이를 通하여 農耕地로부터 土壤流失의 억제와 化學物質의 流出로 인한 下流에서의 환경피해를 감소할 수 있는 것이다.

우리나라는 農耕地 중 상당한 비율을 차지하는 面積이 논으로서 테라스에 의한 土壤浸蝕防止에 기여하고 있는 것이 事實이다. 그러나 工業化와 都市化로 인하여 耕地面積이 해마다 잠식되고 있으며 이의 보충을 위한 노력으로 신농경지의 造成을 위하여 개간과 간척사업을 추진하고 있다. 이와같은 過程에서 우리는 農業物理環境의 保全을 위한 長期的인 努力이 持續的으로 이루어질 때 환경적으로 安全한 영농체계의 수립이 可能할 수 있을 것이다.

參 考 文 獻

1. Beckers, C. V., Parker, P. E., Marshall, R. N. & Chamberlain, S. G. (1976) : RECEIV-II, a generalized dynamic planning model for water quality management, In *Environmental Modeling and Simulation*, Edited by W.R. Ott. Env. Protection Agency Technol. Ser. EPA-600/9-76-016, pp. 344~349.
2. Brown, C. B. (1948) : Prospective on sedimentation-purpose of conference. *Proc. of Fed. Int. Sed. Conf. Bureau of Reclamatron*, USDI pp. 3~7.
3. Donigian, A. S. Jr. & Crawford, N. H. (1975) :

Modeling pesticides and nutrients on agricultural land, *EPA Technol. Ser. EPA*-600/2-76-043.

4. Foster, G. R. (1982) : Modeling the erosion process. In C.T. Haan et al. (ed.), *Hydrologic Modeling of Small Watersheds*, ASAE. Chapt. 8.
5. Frere, M. H., Seely, E. H. & Leonard, R. A. (1982) : Modeling the quality of water from agricultural land, In C. T. Haan et al. (ed.), *Hydrologic Modeling of Small Watersheds*, ASAE. Chapt. 9.
6. McCool, D. K., Papendick, R. I. & Brooks, F. L. (1976) : The universal soil loss equation as adapted to the Pacific Northwest. *Proc. of the 3rd Fed. Int. Sed. Conf. PB*-245-100. Wat. Res. Council., Washington D.C., pp. 2-135～2-147.
7. Meyer, L. D. & Wischmeier, W. H. (1969) : Mathematical simulation of the process of soil erosion by water. *Trans. ASAE*, **12**, 754.
8. Murdoch, W. W. (1975) : *Environment-Resources Pollution and Society*, Sinauer Assoc. Inc., Sunderland Mass., 488 p.
9. Onstad, C. A. and Foster, G. R. (1975) : Erosion modeling on a watershed, *Trans. ASAE*, **18**, 288.
10. Park, S. W., Mitchell, J. K. and Scarborough, J. N. (1982) : Soil erosion simulation on small watersheds, A modified ANSWERS model, *Trans. ASAE*, **25**(6), 1581.
11. Park, S. W., Mitchell, J. K. and Bubenzer, G. D. (1982) : Splash erosion modeling: Physical analyses, *Trans. ASAE*, **25**(2), 357.
12. Williams, J. R. (1975) : Sedimentyield prediction with universal equation using runoff energy factor. In: *Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources*, ARS-5-40. Agricultural Research service, USDA, Washington D.C., pp. 244～252.
13. Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. (1965) : Predicting rainfall-eroston losses from cropland east of the Rocky Mountains, *Agr. Handbook* No. 282 USDA, Washington D.C.