

# 農業 小流域으로 부터의 土壤浸蝕 및 流砂量 試算을 爲한 電算 摸擬 모델 (Ⅱ)

## Digital simulation model for soil erosion and sediment yield from small agricultural watersheds (Ⅱ)

權 純 國\*  
Soon Kuk Kwun

### 2. 流出量 시뮬레이션 結果

水文浸蝕모델을 實際流域에서 試驗하여 實用性 與 否를 證明하고자 우선 初段階로서 流域의 水文 諸 過程이 再生될 수 있도록 Kentucky 水文모델의 parameter를 補正하는 것이다. 水文모델 parameter는 1976 및 1977水年 데이터를 使用하여 補正하였으며 1970, 1978水年 데이터는 水文浸蝕모델을 評價하기 爲해서 使用되었다.

1976水年の 降水量 및 流出量은 平年値와 비슷하였고 反面에 1977은 降雨量이 매우 적어 乾燥하였으

므로 parameter 補正에는 適當하지 않을 것으로 生 覺되었으나 連續的인 시뮬레이션을 爲하여 1977水 年데이터를 parameter 補正에 포함시켰다. 1978水年 은 降水量 및 流出量의 觀點에서 볼때 平年値를 약 간 上廻하였다. 1970水年데이터를 試驗年度로 選定 한 理由는 1976, 1977水年데이터로 補正된 parameter 를 使用할 境遇 流域外에서 測定된 氣象데이터가 流 出量 및 流砂量 시뮬레이션에 어떤 影響을 미치는 가를 檢討하기 爲해서였다.

Fig. 4는 1976水年 水文 parameter 補正期間中 實 測 日流出量과 試算 日流出量을 比較한 것이며 1976

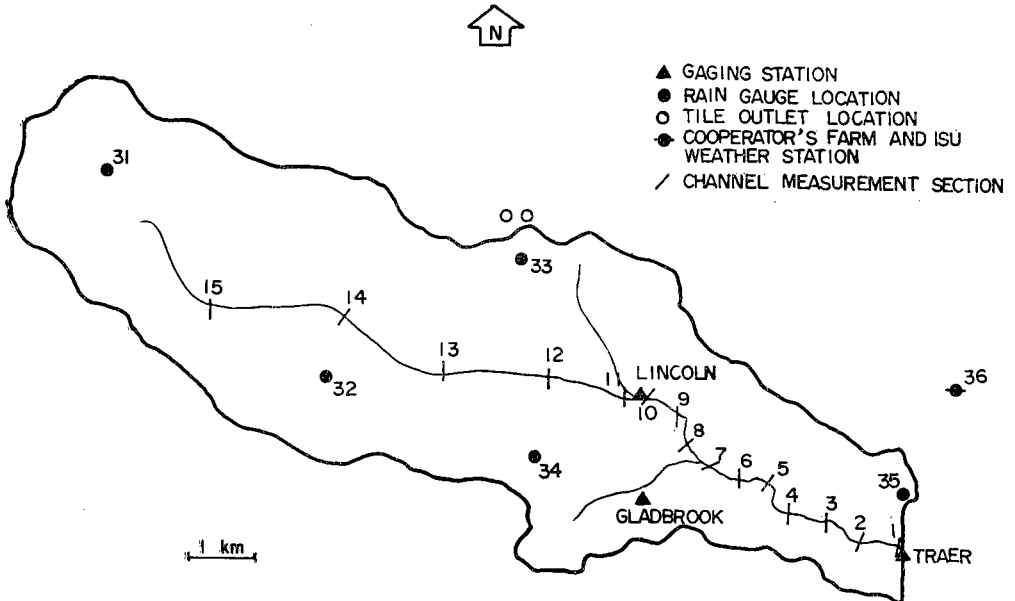


Fig. 3. Four Mile Creek watershed instrumentation.

(學會誌, Vol. 22, No.4 p 114 繼續)

\* 서울대학교 農科大學

및 1977水年 데이터에 의하여 補正된 parameter를 使用하고 1978水年 데이터를 利用하여 流出量을 再生한 結果는 Fig. 5와 같다.

또한 Table-1은 1976, 1977, 1978 및 1970 水年の 月別 流出量比較를 나타낸 것이다.

모델 parameter를 補正하기 爲하여 實測値와 試算値間의 適合度를 判定하는 方法은 여러가지가 있겠으나 本 研究에서는 實測 日流出量과 모델에 의한 試算 日流出量에 대한 相關關係를 利用한 統計的인 方法으로 모델 parameter를 決定하였다.

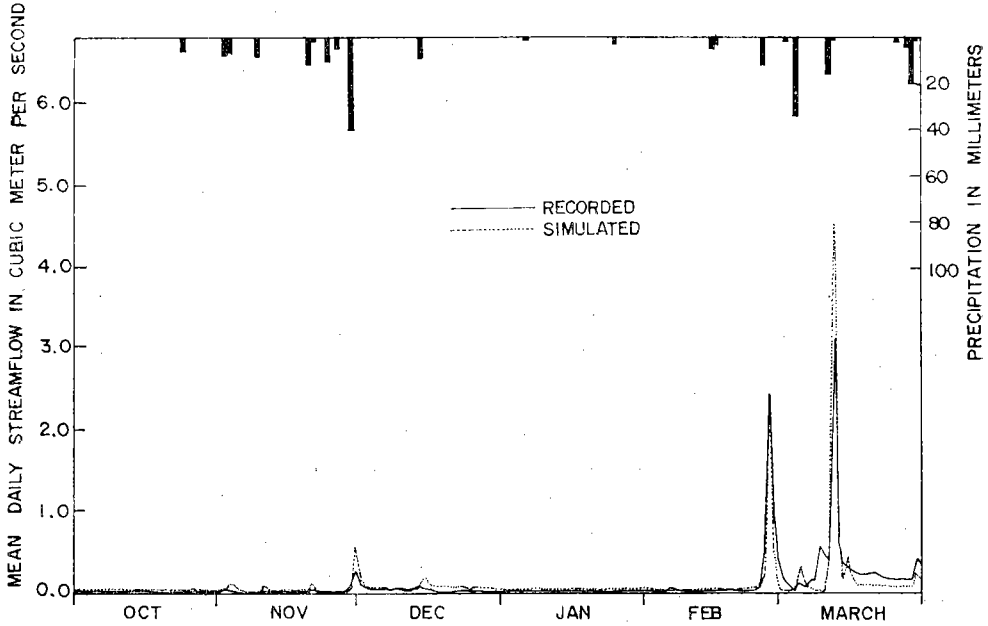


Fig. 4. Mean daily recorded and simulated streamflows for the Four Mile Creek watershed near Traer, Iowa for 1976 water year.

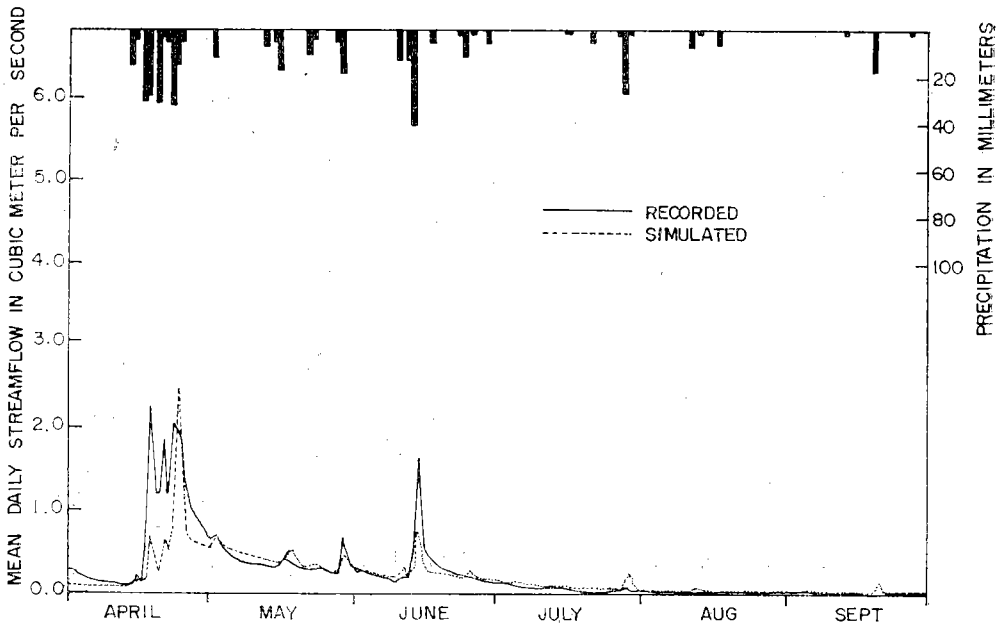


Fig. 4. Continued

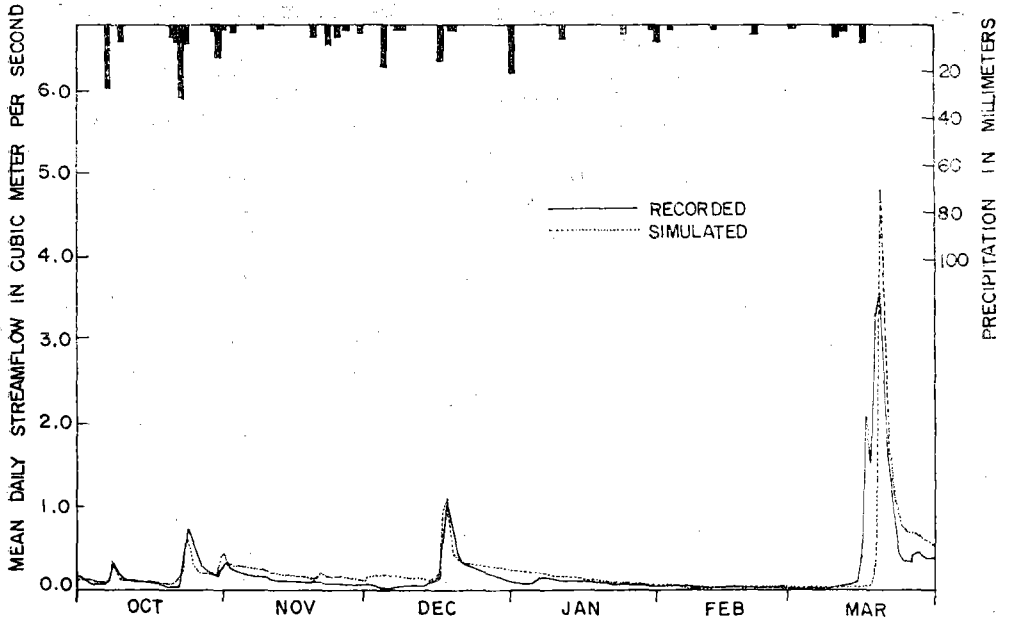


Fig. 5. Mean daily recorded and simulated streamflows for the Four Mile Creek watershed near Traer, Iowa for the 1978 water year.

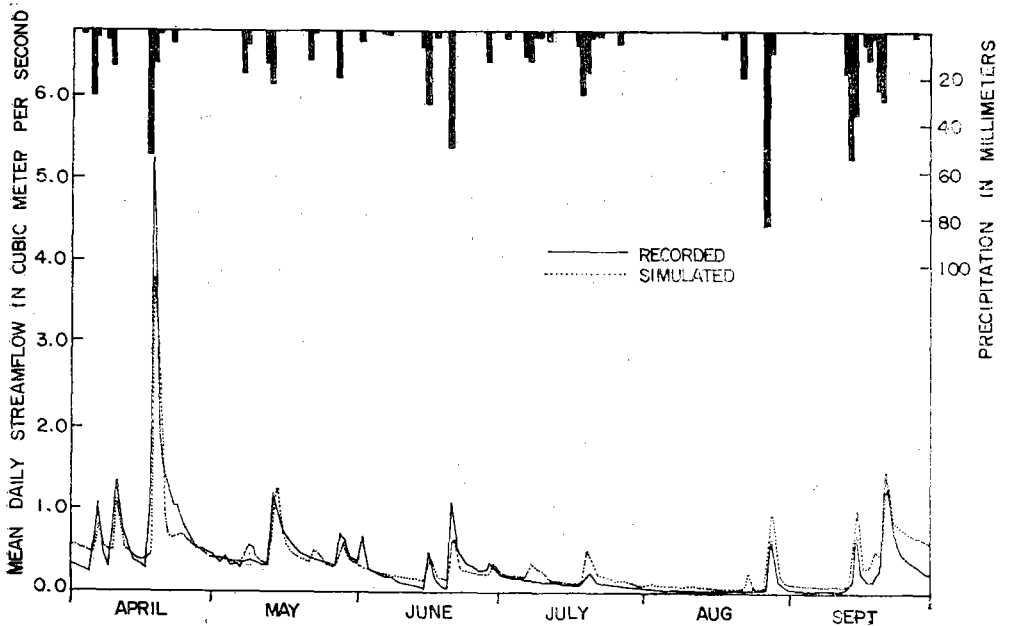


Fig. 5. Continued

1976水年 parameter 補正期間中 實測 日流出量 및 試算值間의 相關關係는 0.85이고 月流出量의 境遇는 0.93으로 몇몇 洪水時의 部分的인 差異를 除外 하고는 Fig. 4에서 보는바와 같이 잘 一致되었다. 그러나 1977水年은 극심한 가뭄으로 因하여 流出量 日相關關係는 0.74로 내려갔다.

parameter 補正期間中 測定 및 試算值가 一致되는 것은 本 補正 parameter가 항상 正確한 시물레이션을 할수있다는 것을 意味하는 것은 아니므로 모델補正에 使用된 데이터 以外의 他年度 데이터를 使用하여 補正 parameter 값을 再確認할 必要가 있다.

1978水年 데이터를 利用하여 모델 및 모델 parameter

Table-1. Monthly and annual recorded and simulated streamflows for the Four Mile Creek Watershed near Traer, Iowa

Month	Water Year 1976 Streamflow, mm		Water Year 1977 Streamflow, mm		Water Year 1978 Streamflow, mm		Water Year 1970 Streamflow, mm	
	Recorded	Simulated	Recorded	Simulated	Recorded	Simulated	Recorded	Simulated
October	1.86	1.75	0.29	0.60	10.09	9.56	5.54	5.15
November	2.54	2.42	0.31	0.10	7.35	11.15	6.04	7.56
December	3.12	4.17	0.00	0.00	11.14	14.98	3.21	3.56
January	1.28	1.63	0.00	0.00	5.86	7.84	2.31	1.20
February	9.36	6.56	0.01	1.28	2.50	2.42	24.92	24.23
March	18.64	16.55	1.39	1.88	34.73	31.15	43.89	54.46
April	35.33	20.11	1.13	3.23	43.16	40.03	10.53	10.09
May	20.36	21.80	0.26	1.09	25.55	25.56	26.55	20.67
June	15.63	12.70	0.04	0.80	14.43	13.83	8.86	15.12
July	3.70	5.92	0.37	2.13	7.44	11.01	2.57	8.93
August	0.66	1.87	1.82	4.00	3.58	6.70	4.46	5.58
September	0.31	0.91	5.77	4.76	14.70	23.34	8.39	6.90
Total	112.79	96.39	11.39	19.87	180.53	197.57	147.27	163.45
Daily correlation coefficient	0.85		0.74		0.82		0.66	

값을 評價하였든바 實測 및 試算流出量値는 아주 잘 一致되어 相關關係는 日流出量 0.83을 나타냈다. 反面에 1970水年에는 流域에서 約 10km 떨어진 Traer 觀測所 降雨記錄値를 利用하였으므로 日流出量 相關關係는 0.68로서 多少 낮은 값을 나타냈다. 이러한 結果는 降水量 테이타의 實い 流出量 시물레이션에 크게 影響을 미치고 있음을 나타내주고 있다. 그러나 全體的으로 볼때 實測値와 試算値 間에 大略 一致하는 傾向을 보였으나 몇몇의 境遇 兩者間 差異를 나타낸 곳도 있으므로 이에 대한 原因을 究明하여 이를 解消하므로써 日流出量 相關關係를 더 높일 수 있을 것으로 生覺되었다.

實測流出量과 試算流出量과의 差異를 나타내는 原因으로서는 Kentucky 水文모델 自體의 缺陷에 起因되는 듯 하며 特히 融雪 期間동안에 그 差異가 컸음을 Fig. 4, 5에서 확인할 수 있었다. 즉 1976水年과 1978水年度 融雪에 대한 日 流出量 시물레이션 結果를 보면 모델은 尖頭流出量을 過剩 產出하며 融雪 時期도 약 3-4日 差異가 나는 傾向을 나타냈다. 融雪의 時期와 流出量 크기에 대한 이러한 差異는 모델內에서 積雪 및 融雪過程을 正確하게 試算치 못하는데 그 原因이 있을 것으로 思料되어 좀더 精細하고 包括的인 融雪시물레이션 技法의 開發이 要求된다.

流出量 試算過程에서 부딪친 두번째 問題點은 水文모델에 入力 테이타로 使用된 降水量 테이타이다.

모델에서 降水量 테이타는 Four Mile 流域內에서 自己記錄計를 使用하여 測定하였으나 水文모델의 테이타 入力型式이 時降雨量으로 되어있으므로 降雨量 自己記錄値를 平均 時間 降雨量으로 變換 使用하였다.

暴雨時 流域內의 降雨分布는 時間에 따라 아주 顯著하게 달라졌으며 그 모양은 暴雨의 形態에 따라 달라진다. 特히 여름철의 雷雨는 짧은 時間 間隔中 降雨強度의 變化가 크게 나타났다. 시물레이션 結果에 依하면 Kentucky 水文모델은 降雨의 平均效果를 勘案하지 못하였으며 暴雨時에는 實際 發生地表面보다 적은량을 計算해내는 것 같았다. 즉 降雨強度가 높으면 높을수록 地表面 試算値와 實際地表面 間에는 큰 差異가 생긴다는 事實을 認識할 수 있었다.

暴雨時의 시물레이션 結果를 좀더 向上시키기 爲해서는 降雨 自己記錄値로 부터 切點(break point) 테이타를 入力 테이타로 使用하여 모델內에서 짧은 時間 間隔을 取하게 하므로써 降雨量을 平均하므로써 생긴 差異를 없애는 方案도 考慮해볼 수 있으나 이 境遇 電算 計算時間이 길어지는 問題點이 있다. 그러나 Kentucky 水文모델의 構造를 改造하여 大暴雨의 境遇에만 시물레이션 時間間隔을 짧게 取할수 있도록 할수있다. 이것은 研究範圍를 넘는 것이므로 試圖 하지는 않았다.

비록 Kentucky 水文모델을 浸蝕모델의 一部分으

로서 利用하는데 여러가지 問題가 있었으나 4年間 實測 流出量과 試算 流出量間의 一般의인 一致傾向은 Kentucky 水文모델이 土壤浸蝕과 流砂運搬을 試算 하기 위하여 使用될 수 있다는 것을 보여주었다.

### 3. 土壤浸蝕 시뮬레이션 結果

浸蝕모델 parameter는 1976, 1977 水年 데이터를 利用하여 補正하였다. 浸蝕모델 parameter中 一部는 補正過程을 通하지 않고 얻을수 있으나 일단 이들 parameter를 電算機에 入力하여 實測値와 試算値 結果를 比較, parameter 값에 대한 確認을 할 必要가 있었다. 每回 電算操作後 試算 日流砂量과 實測 日流砂量을 圖表化하였으며 이를 利用하여 다음 回 電算操作時의 parameter 값 增減을 決定하여 補正을 實施하였다.

Fig. 6, 7에서 보는바와 같이 日別 試算 流砂量과 實測 流砂量間의 一般의인 一致傾向은 水文모델 流出量의 傾向과 類似하였으며 1976, 1977, 1978, 1970 水年에 있어서 日 試算 流砂量과 日 實測 流砂量사이

의 相關關係는 各各 0.83, 0.74, 0.83, 0.82로서 몇 몇 暴雨 및 融雪時를 除外하고는 잘 一致되는 傾向을 나타냈다.

日 流砂量 시뮬레이션이 不正確하였는 部分을 細部的으로 그 原因을 살펴보면 融雪의 不正確한 計算 特히 融雪時期와 融雪 流出量의 크기를 不正確하게 試算하였는 것이 融雪期間中 流砂量 試算을 不正確하게 하였는 原因이었다.

土壤浸蝕은 地表流가 發生할때 일어나고 土粒子 分離量이 降雨強度의 指數函數임을 勘案한다면 流砂量이 降雨와 地表流의 強度 및 頻度에 敏感한 것은 自明한 것이다. 自然現象의 過程이 그러하므로 地表流 및 降雨要因에 대한 모델의 敏感度를 피하는 方法은 없다. 따라서 流砂量 試算오차는 必然的으로 流出量 試算誤差보다 더 큰 幅을 나타내게 될 것이다.

地表面에서 流失土粒子가 運搬되는데 關係되는 地表流는 두가지의 큰 흐름 領域으로 나누어 生覺할수 있다. 그 첫째는 融雪에 의한 地表流이다. 融雪의

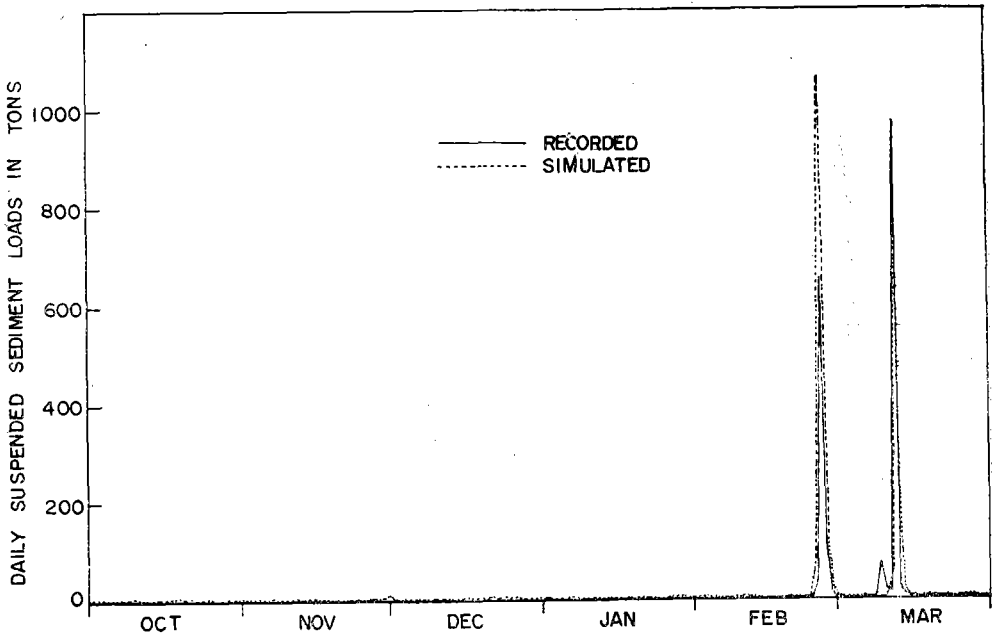


Fig. 6. Daily recorded and simulated suspended sediment loads for the Four Mile Creek watershed near Traer, Iowa for the 1976 water year.

特性和 融雪期間中 土壤水分 條件으로 因하여 地表流의 水深이 降水量에 比하여 대단히 크고 洪水를 일으키는 特性을 가진 흐름을 말한다. 이 時期에는

地表面 粗度도 크지 않으므로 土粒子의 運搬能力은 浸蝕에 대한 制限要因이 되지않고 分離 土粒子量이 浸蝕에 대한 制限要素가 된다. 두번째로는 融雪期

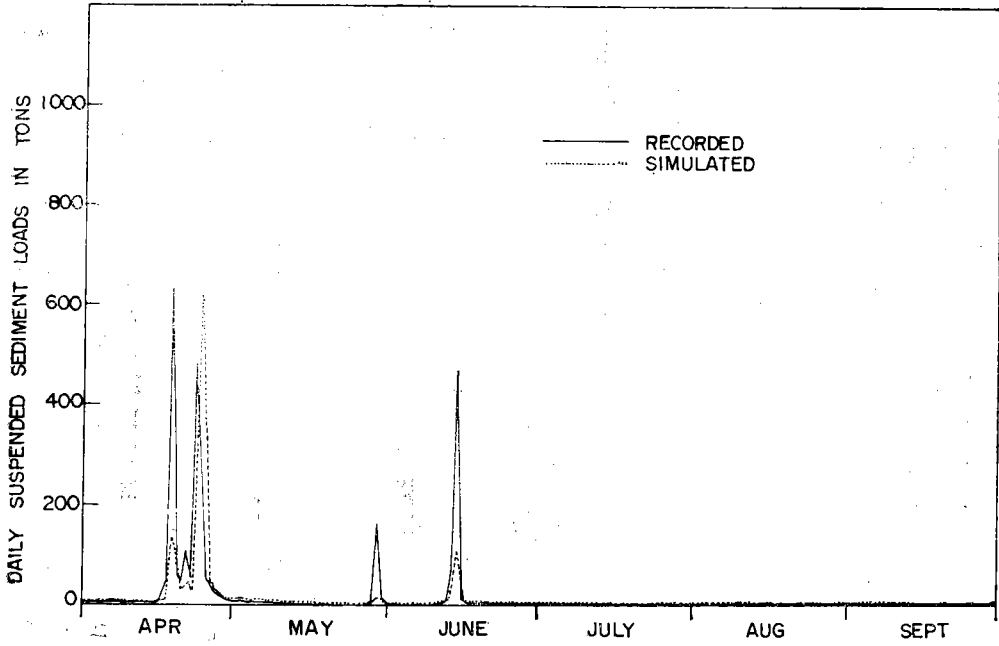


Fig. 6. Continued

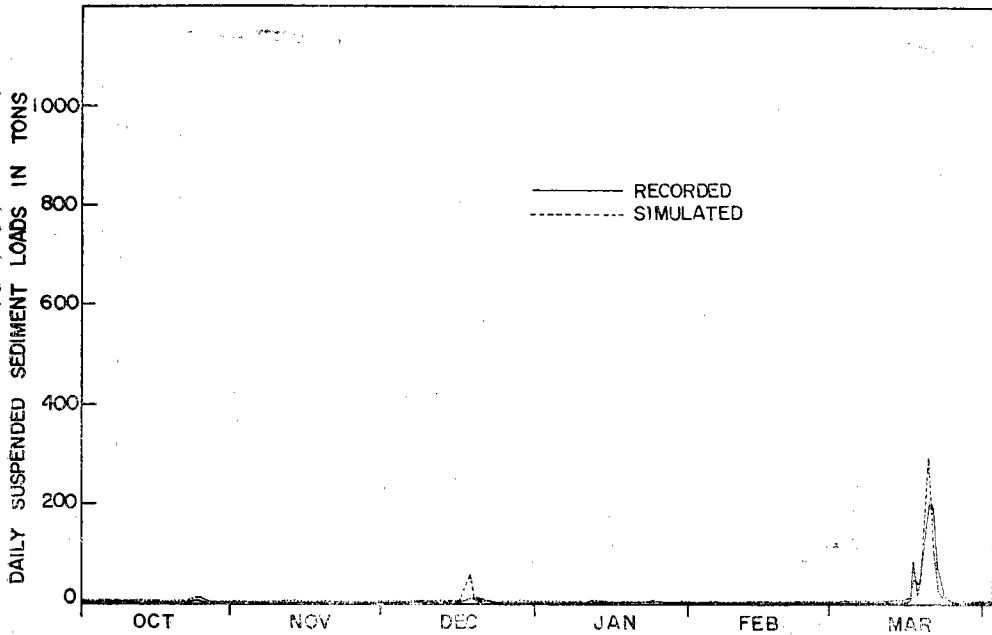


Fig. 7. Daily recorded and simulated suspended sediment loads for the Four Mile Creek watershed near Traer, Iowa for the 1978 water year

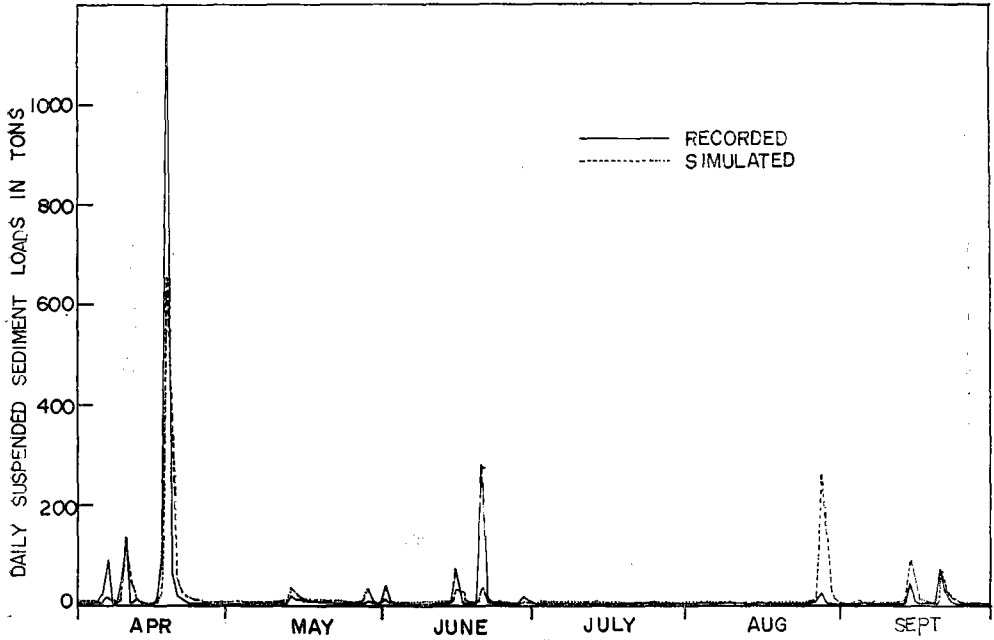


Fig. 7. Continued

Table-2. Monthly and annual recorded and simulated suspended sediment loads for the Four Mile Creek Watershed near Traer, Iowa

Month	Water Year 1976 Sediment loads, tons		Water Year 1977 Sediment loads, tons		Water Year 1978 Sediment loads, tons		Water Year 1970 Sediment loads, tons	
	Recorded	Simulated	Recorded	Simulated	Recorded	Simulated	Recorded	Simulated
October	9.2	6.2	1.1	0.3	43.7	67.7	40.9	28.7
November	15.7	21.9	0.8	0.0	27.1	42.2	27.5	30.2
December	16.9	18.8	0.0	0.0	64.3	154.5	15.2	13.7
January	5.1	4.1	0.0	0.0	45.9	28.5	10.8	8.9
February	845.1	1437.0	0.2	0.0	16.2	9.5	172.0	1167.0
March	1199.2	1290.0	12.4	9.4	753.2	604.6	2223.9	3434.4
April	1866.2	1459.5	7.4	12.8	1999.0	1481.0	29.1	79.6
May	265.8	166.7	1.8	5.5	150.2	274.0	2101.0	1218.0
June	590.8	245.2	0.1	34.3	511.5	177.1	53.2	97.5
July	14.8	78.3	8.9	152.2	63.5	54.4	10.0	23.2
August	2.9	2.3	28.6	208.5	53.2	423.3	108.8	52.6
September	2.2	0.5	69.9	222.1	250.8	279.1	179.6	120.8
Total	4833.9	4767.4	131.2	645.1	3978.6	3595.9	4972.0	6274.6
Daily correlation coefficient	0.83		0.74		0.83		0.82	

間 以後 4月에서 부터 9月까지의 期間中 暴雨로 因하여 發生되는 地表流의 境遇이다.

이 期間中의 暴雨에 依한 地表流發生은 降雨遮斷, 侵入, 蒸發이 크므로 地表流水深이 降水量에 比하여

적어지는 傾向을 나타낸다. 따라서 이 境遇는 地表流의 運搬能力이 流砂量發生에 對한 制限要素가 된다.

Fig. 8, 9는 1976年, 1978水年동안에 尖頭流出量

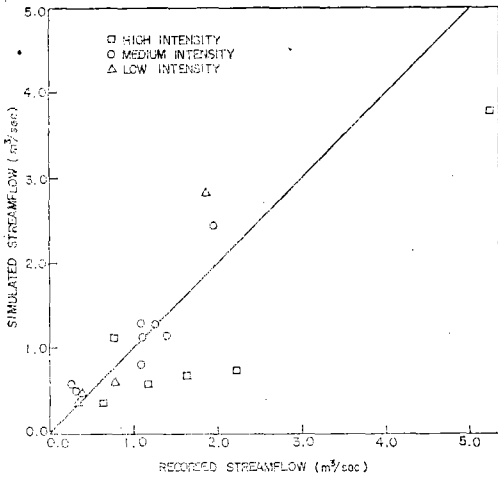


Fig. 8. Comparison of simulated and recorded flow in different rainfall intensities.

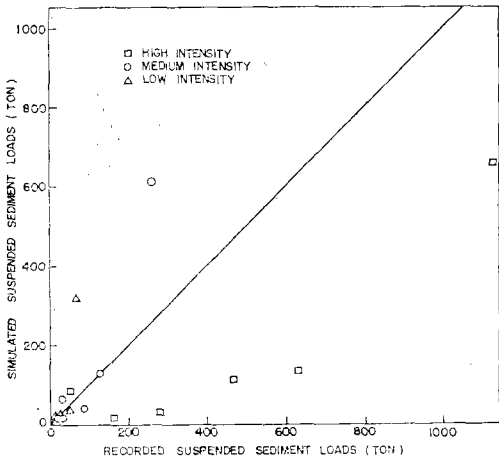


Fig. 9. Comparison of simulated and recorded sediment loads in different rainfall intensities.

을 나타낸 18개 主要 暴雨에 대한 實測 流出 및 流砂量과 試算 流出 및 流砂量에 대한 降雨強度의 影響을 나타낸 것이다. 여기서 降雨強度는 어떤 暴雨 期間中의 最大 降雨強度를 取한 것이다. Fig. 8,9에서 보는바와 같이 流出量 시뮬레이션은 降雨強度가 높을수록 實測值과 많은 差異를 나타냈으며 이러한 差異는 直接 土壤浸蝕과 流砂量發生에 影響을 미치고 있다. 또한 流出量의 實測 및 試算值間의 差異보다 流砂量의 差異가 더 큰을 보여주고 있다. 降雨強度가 높을때는 降雨 平均效果때문에 試算 地表流量은 實際 地表流量보다 적어지는 傾向이고 따라서 地表流 運搬能力도 實際 發生量보다 적은 값을 算出

하므로써 浸蝕量이 적어지는 傾向을 보였다.

이러한 效果는 Fig. 4, 5, 6, 7에서 各年度의 日流出量 및 日流砂量을 比較하여도 確認될 수 있다. 그러나 降雨 데이터로 부터 直接 地表流를 評價하는 方法이 없으므로 降雨強度가 地表流水深 決定에 어떤 影響을 미치는가에 대한 明確한 結論을 얻기는 어려운 實情이다.

低水位時의 流砂量 試算值는 實測值과 아주 잘 一致되는 傾向이었다. 本 結果는 浸蝕모델의 水路浸蝕成分이 實測 流出量의 指數函數로 되어있으므로 그러하며 앞으로 이 方向의 適切한 데이터와 理論이 얻어지면 試算流出量의 函數로 變更되어야 할 것이다.

流域內의 作物管理, 耕運作業等은 農業流域에서 土壤浸蝕 시뮬레이션에 큰 影響을 미치는 要因이다. 이러한 作物管理要因에 대한 季節別 變動狀況을 正確히 모델화 하므로써 正確한 土壤流失 및 流砂量 豫測을 可能케 할것으로 生覺된다. 보다 精密한 CROP모델을 爲해서는 土壤浸蝕의 作物效果에 대한 組織적이고 繼續적인 研究가 必要하다. 모델內에서 作物要因은 土壤分離에 影響을 미치고 耕運作業은 細流發生에 關係되는 것으로 生覺되며 따라서 이 두 要因은 流砂量發生에 큰 影響을 미친다. 浸蝕모델을 試驗하는 過程에서 作物管理 및 耕運要因의 流砂量 시뮬레이션에 미치는 效果는 流出量의 流砂量에 미치는 效果와 거의 同等하게 나타남을 認識할 수 있었다. 그러나 作物管理 및 耕運作業의 土壤浸蝕에 대한 效果를 모델화하는데 最大의 難點은 그러한 過程이 自然界의 어떤 變化過程으로 進行되는 것이 아니라 人爲적인 活動에 依하여 急激히 變化되는 性質을 가지고 있다는 것이며 이러한 點이 概念的인 모델에서 모델化에 必須不可缺한 假定에 依한 system 單純化 作業을 妨害하는 原因이 되고있다.

實測值과 試算值間의 差異는 觀測 데이터의 誤差에 基因되기도 한다. 특히 冬季의 流出量記錄은 여름때문에 正確한 測定이 不可能하며 實測 流砂量은 實測 流砂量濃度와 平均 流出量의 積으로 求했으므로 流出量 誤差는 實測 流砂量 誤差에 바로 反映되어진다는 것이다.

數學的 浸蝕모델을 實用化 시키기 爲하여 한가지 注意해야 할點은 모델의 正確性을 反覆 證明하는것보다 모델을 여러가지 條件의 流域에 反覆使用하여 모델의 缺陷을 發見 이를 是正하므로써 모델을 改善시키는 作業이 先行되어야 한다는 것이다. 이러한 理由때문에 本 研究에서도 모델 parameter 算定에 正確性을 期하여 parameter를 檢討할 수있는 方



法을 提供하는데 努力을 集中하였다.

## V. 結論 및 摘要

農耕地에서 雨滴의 打擊力과 地表流의 洗掘力에 依하여 發生되는 土壤浸蝕을 豫測하고자 土壤粒子의 分離, 運搬, 堆積 등의 諸 土壤流失過程을 考慮하여 河道에서의 流砂量을 試算할 수 있는 概念的 決定 모델을 開發하였다. 따라서 本 모델은 耕地에서의 土壤流失 뿐만 아니라 이로 因하여 生진 河道에서의 流砂量 移動, 產出過程도 포함하고 있으며 各種條件의 農業流域에 모델을 適用시킬 수 있도록 土地 및 作物管理要因의 效果까지도 考慮하였다. 土壤浸蝕 및 流砂運搬에 대한 算法(Algorithm)은 土壤浸蝕에 對 各種文獻으로 부터 拔萃, 組立하였으며 計數型 電算機로 이를 處理할 수 있도록 하였다.

浸蝕모델은 流域 데이터를 利用 流域의 水文特性을 試算할 수 있는 水文모델과 반드시 並用되어야 하므로 本 研究에서는 Kentucky 水文모델을 使用하였다. 水文모델과 浸蝕모델은 適切한 電算 code 를 使用하여 서로 連結하였다.

水文 및 浸蝕모델 parameter는 美國, Iowa州, Traer 近處에 位置한 Four Mile Creek 流域(50km<sup>2</sup>)에서 1976水年 및 1977水年에 蒐集한 實際 野外測定 值과 本 電算모델에서 計算한 結果를 比較 檢討하여 補正하였으며 1978, 1970 2個年間の 水年 데이터를 使用하여 모델의 實用性을 立證하였다.

Four Mile Creek 流域에서의 日 平均流出量 및 流砂量 測定值과 水文浸蝕모델로 부터 試算된 日 平均流出量 및 日 流砂量을 比較하였으나 數個所의 部分的 差異를 除外하고는 大體로 一致되는 傾向이 있으며 모델試算 結果로 부터 다음과 같은 結論을 誘導할 수 있었다.

1. 水文浸蝕모델은 構造特性上 決定的 全體parameter 모델이며 適切한 水文 및 浸蝕 parameter가 算定되면 河川에서의 日 平均流出量 및 日 平均流砂量을 20%以內의 誤差로 시뮬레이션 할 수 있다.
2. 土壤浸蝕모델은 降雨와 地表流의 強度 및 頻度의 試算 誤差에 大端히 敏感하게 反應하였으며 土壤水分, 地表流를 精密하게 試算할수있는 水文모델은 土壤浸蝕 및 後續 流砂運搬 豫測의 正確한 시뮬레이션을 爲하여 必須不可缺하다.
3. 融雪과 凍土過程을 正確하게 試算하지 못한것이 融雪期間中 모델로 부터의 流出量 및 流砂量 시뮬레이션을 貧弱하게 하였는 主原因이 였으며 더욱

더 精巧한 融雪 副프로그램의 開發이 要求된다.

4. 모델로 부터의 流出量 및 流砂量 시뮬레이션 結果가 나뉘든 他 理由는 水文모델의 缺陷 以外에도 浸蝕過程, 土粒子 運搬過程, 水路浸蝕 過程等 浸蝕 모델 自體의 缺陷과 流砂量, 流出量等 實測데이터 誤差에도 그 原因이 있음을 指摘할 수 있다.

5. 作物管理 및 耕運作業은 流域 土壤浸蝕 시뮬레이션에 큰 影響을 미치는 要因이며 本 浸蝕모델에서는 이 두 要因의 季節의인 變化를 모델화하였다. 모델試驗過程에서 本 要因들의 流砂量發生에 對한 影響은 地表流의 그것에 대한 影響과 거의 同等하게 나타났다.

6. 本研究를 通하여 開發된 浸蝕모델은 繼續 各種條件의 流域에 適用 試驗하여 補完되어야 하며 餘分의 데이터만 利用可能하다면 앞으로 더욱 擴大改良하여 流域管理 및 農業 無地點公害(Non-point pollution)를 解析할 수 있는 道具로 發展시켜야 할 것이다.

## 參 考 文 獻

1. Beasley, D.B. (1977) ANSWERS: A mathematical model for simulating the effects of land use and management on water quality. Ph.D Dissertation, Purdue University, West Lafayette, IN.
2. Beasley, R.P. (1972) Erosion and Sediment Pollution Control, Iowa State University Press, Ames, IA.
3. Bennett, J.P.(1974) Concepts of mathematical modeling of sediment yield, Water Resources Research 10(3):485-492.
4. Browning, G.N., C.L. Parish, and J. Glass(1947) A method for determining the use and limitations of rotation and conservation practices in the control of soil erosion in Iowa. J. Am. Soc. Agron. 39:65-73.
5. Bruce, R.R., L.A. Harper, R.A. Leonard, W. M. Snyder, and A.W. Thomas(1975) A model for runoff of pesticides from small upland watersheds. J. of Environ. Qual. 4(4):541-548.
6. Cook, H.L. (1936) The nature and controlling variables of the water erosion process. Soil Sci. Soc. Am., Proc., 1:487-494.
7. Crawford, N.H., and A.S. Donigian, Jr. (1973) Pesticide transport and runoff model for

- agricultural lands. EPA 660/2-74-013. Environ. Protection Agency, Washington D.C.
8. Crawford, N.H., and R.K. Linseley (1966) Digital simulation in hydrology: Stanford Watershed Model IV. Stanford University, Dept. of Civil Engr., Technical Report No.39.
  9. Curtis, D.C.(1976)A deterministic urban storm water and sediment discharge model. National Symposium on Urban Hydrology, Hydraulics and Sediment Control, University of Kentucky, Bull. 111.
  10. David, W.P.(1972)Digital simulation of Sheet erosion. Ph. D Dissertation. Iowa State University, Ames, IA.
  11. David, W.P., and C.E. Beer (1975) Simulation of soil erosion. Part I. Development of a mathematical erosion model. Am. Soc. Agr. Engr., Trans. 8(1);126-129.
  12. Donigian, A.S., Jr., D.C. Beyerlem, H.H. Davis, Jr., and N.H. Crawford (1977) Agricultural runoff management (ARM) model, Version II; refinement and testing. EPA 600/3-77/098, U.S. Environ. Protection Agency, Washington D.C.
  13. Donigian, A.S., Jr., and N.H. Crawford(1976 a) Modeling non-point source pollution from land surface. EPA 600/3-76-083. U.S. Environ. Protection Agency, Washington D.C.
  14. Donigian, A.S., Jr., and N.H. Crawford (1976 b) Simulation of agricultural runoff, EPA 600 /9-76-016, U.S. Environ. Protection Agency, Washington D.C.
  15. Ellison, W.D.(1947) Soil erosion studies-Part I. Agr. Engr. 28(4): 145-146.
  16. Foster, G.R. (1978) Modeling the erosion process. To be published as a Purdue Agr. Exp. Sta., J. Paper, Purdue University, West Lafayette, IN.
  17. Foster, G.R., and L.D. Meyer (1972) A closed form soil erosion equation for upland areas. In; H.W.Shen, ed. Sedimentation: Symposium to Honor Professor H.A. Einstein, H.W.Shen, Publisher, Colorado State University, Fort Collins, Co.
  18. Foster, G.R., and L.D. Meyer (1975) Mathematical simulation of upland erosion using fundamental erosion mechanics, U.S. Dept. Agr., Agr. Res. Serv., ARS-S-40: 190-207.
  19. Foster, G.R., and W.H. Wischmeier (1974) Evaluating irregular slopes from soil loss prediction. Am. Soc. Agr. Engr., Trans. 7(2): 305-309.
  20. Huang, Y.H., and R.K. Gaynor (1977) Effect of stream channel improvements on downstream floods. Water resources Research Inst., University of Kentucky, Lexington, KY. Research Report No 102.
  21. James, L.D. (1970) An evaluation of the relationships between streamflow patterns and watershed characteristics through the use of OPSET: A self-calibrating version of the Stanford Watershed Model. Water Resources Research Inst., University of Kentucky, Lexington, KY, Research Report No.36.
  22. Kwun, S.K. (1980) A mathematical erosion model to simulate soil losses in agricultural watersheds. Ph.D Dissertation, Iowa State University, Ames, IA.
  23. Leythem, K.M., and R.C. Johanson (1979) Watershed erosion and sediment transport model. EPA 600/3-79-028, U.S. Environ. Protection Agency, Washington D.C.
  24. Li, L.M. (1977) Water and sediment routing from watershed. River Mechanics Inst., Colorado State University, Fort Collins, Co.
  25. Low, A.J. (1978) Accelerated soil erosion. Nature 274 (5666):13.
  26. Magette, W.L., V.O. Shanholtz, and J.C. Carr (1976) Estimating selected parameters for the Kentucky Watershed Model from watershed characteristics. Water Resources Research 12(3): 472-476.
  27. Meyer, L.D., and W.H. Wischmeier (1969) Mathematical simulation of the process of soil erosion by water. Am. Soc. Agr. Engr., Trans. 12(6): 754-750.
  28. Musgrave, G.W. (1947) The quantitative evaluation of factors in water erosion-a first approximation. J.Soil Water Conser. 2(3): 133-138.

29. Negev, M. (1967) A sediment model on a digital computer. Stanford University, Dept. of Civil Engr., Tech. Report No. 76.
30. Pimentel, D.F., E.C. Terhune, R.D. Hudson, S.Rochereau, R.Samis, E.A.Smith, D.Denman, D.Reifschneider, and M. Shepard. (1976) Land degradation: Effect of food and energy resources. Science 194 (4261): 149-155.
31. Rowlison, D.L., and G.L. Martin (1971) Rational model describing slope erosion. Am. Soc. Civil. Engr., J. Irri. and Drainage Div., Proc. 97 (IR 1): 39-50.
32. Smith, R.E. (1977) Field test of a distributed watershed erosion-sedimentation model. Soil Cons. Soc. Am., Ankeny, IA. Special publ. No. 21.
33. Wischmeier, W. H. (1976) Use and misuse of the Universal Soil Loss Equation. J. Soil Water Cons. 31(1): 5-9.
34. Wischmeier, W.H., and D.D. Smith (1958) Rainfall energy and its relationship to soil loss. Am. Geophys. Union, Trans. 39(2): 285-291.
35. Wischmerier, W.H., and D.D. Smith (1965) Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains U.S. Dept. Agr., Agr. Handbook 282.
36. Wischmeier, W.H., and D.D. Smith (1978) Predicting rainfall erosion losses. U.S. Dept. Agr. Agr. Handbook 537.
37. Yalin, Y.S. (1963) An expression for bed-load transportation. J. Hydraul. Div., Am. Soc. Civil. Engr., Proc. 89 (HY 3): 221-250.
38. Yoo, K.H. (1979) Soil erosion simulation model for the Palouse Prairie of Pacific Northwest. Ph. D. Dissertation, University of Idaho., Moscow, ID.
39. Zingg, A.W. (1940) Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. Agr. Engr. 2(12): 59-64.

[接受 : 1980. 8. 13]