

小流域에서 土壤 流失 및 水 流出樣相

李南鍾 · 吳世鎭 · 鄭弼均

Soil Loss and Water Runoff in a Watershed in Yeosu

Nan-Jong Lee, Se-Jin Oh and Pil-Kyun Jung

ABSTRACT

Soil loss and runoff were investigated in a small watershed located in Sangeo-ri, Yeosu-eup, Yeosu-gun, Kyonggi-do. The watershed with the area of 35 ha consists of forest, grassland, uplands and mulberry. V-notch type water tank, flow-meter, automatic water sampler and rain gauge were installed at the main outlet stream. Out of 1,037.9 Mg 35ha⁻¹ of total annual rainfall, 17.9% was lost via run-off. The total amount of soil eroded was 152.2 Mg 35ha⁻¹, of which 78.6 Mg 35ha⁻¹ was suspended load and 73.6 Mg 35ha⁻¹ ha was sediment load. The soil losses under different land uses were 16.02 Mg ha⁻¹ for upland annual crops, 2.69 Mg ha⁻¹ for mulberry field, 0.58 Mg ha⁻¹ for grassland and 0.55 Mg ha⁻¹ for forest. The predicted soil loss by Universal Soil Loss Equation was approximately 20% underestimated in forest, grassland and uplands, and 32% underestimated in mulberry field.

Key words : Soil loss, Runoff, Watershed.

서 언

우리나라는 전 국토면적의 67%가 경사지 7°이상에 분포하고 있어(농기연, 1992) 여름철 집중강우에 의한 막대한 수자원 손실과 토양의 침식을 가져온다(신 등, 1983).

토양침식은 강우타격에 의한 물 유출에 의해 일어나며, 전국 4대 강 유역은 직접유출외에 중간 및 지하유출이 많아 유출율은 60%내외에 이르고(건설부, 1994)

유역이 작을수록 중간유출 및 지하유출이 적어 물 유출은 상대적으로 적게 나타난다. 그러나 동일한 지역이라도 기후, 지형, 토양, 경사 및 식생인자의 상호작용에 따라 다르며(De Wiest 등, 1965), 일반 경작지는 직접 유출외에는 중간유출 및 기저유출이 일어나지 않으므로

초기유실이 심한 편이다.

실제적으로 유역내에는 유실에 관여하는 많은 요인들이 내포되어 있어 토양 유실량 및 물 유출양상을 예측하기란 힘들다. 그러나 유역내 특성을 토지 이용별로 세분하여 누적된 실측자료들을 수식화 할 수 있다면 그 지역 내 최대유출(홍수) 및 토양 유실량을 조절하여 농업생산성을 높일 수 있을 것이다. 국내외에서 토양유실 예측에 대한 연구가 계속적으로 되어 왔으나(Honner, 1936; 이, 1984) 소규모 농업유역이나 산지가 많은 지역에서는 연구가 미흡한 편이다.

본 연구는 산과 목초지가 대부분이고 전, 답 면적이 적은 소규모 산간지역의 유역에서 토지이용에 따른 물 수지와 토양유실 예측공식확립과 종합적인 토양 및 수자원 보전관리의 기초자료를 얻고자 수행한 결과를 보

고하는 바이다.

재료 및 방법

본 연구는 1992年 여주군 여주읍 상거리 소유역내 하부에 기반시설을 설치하여 1993년부터 1997년까지 5년간 폭 500 m, 길이 700 m인 소규모(35 ha)에서 실시하였으며 유역내 토지이용별 특성은 표 1과 같다. 유역의 대부분이 산지로 구성되어 있고 花崗岩 및 花崗片磨岩地帶로 토심이 얇은 사양토이며, 임지는 三角統, 논은 沙村統, 밭은 尙州統으로 이루어졌으며 임지 식생은 대부분 소나무, 참나무 및 관목 등으로 구성되어 있다.

유역하부에는 유실량 및 유출수를 측정할 수 있는 두 개의 탱크(5×3.5×0.5 m, 5×3.5×0.3 m)를 설치하여 퇴사량을 측정하고 유속을 조절할 수 있도록 하였으며 탱크 앞면에는 높이 1.2 m인 90°의 칼날 삼각웨어(Triangular weir)를 시설하였다. 퇴사량은 탱크내의 모래 및 자갈함량을 측정하였으며, 유사량은 삼각 언을 통과하는 유출수를 자동유출수채취기((ISCO 3770)를 설치하여 매 강우시 2시간 간격으로 500 cc 채취 여과 후 건토중량법으로 구하였고, 유출량은 자동유량계(ISCO 3230)에 유출 특성자료를 입력하여 아래 식에

(Hand book, 1992) 의하여 계산하였다.

$$Q = KH^{2.5}$$

Q : flow rate(f^3/s), H : 수심(feet),

K : 상수(90° 일때 2.5)

$$\text{Cubic meters} = \text{cubic feet} \times 0.02832$$

임지, 초지, 상전, 밭에 2 m x 5 m 넓이의 간이 라이시메타를 설치하여 토지이용별로 토양 유실량 및 물 유출량을 측정하였다.

결과 및 고찰

시험전 토양의 이화학적 특성은 표 2와 같이 공시토양은 花崗岩 및 花崗片麻岩에 기인된 사양토이며, 밭을 제외하고는 pH가 4.5~4.7인 산성 토양으로 구성되어 있다.

시험기간(4.1일-10월 31일)중 소유역내 연도별 강우 특성, 토양 유실량 및 물 유출량을 표 3에서 보면 년평균강우량은 1,037.9 mm로 여주 평균 1,135 mm에 비해 약간 적었고, 降雨因子(EI30)는 479.9로 여주지역 평균치 345보다(정, 1983) 높았다. '93년도 토양 유실량이 201.9 Mg 35ha⁻¹으로 물 유출량 53,796 Mg 35ha⁻¹에 비하여 월등히 많은 것은 상전조성관계로

Table 1. Land use in the watershed

Land Use	Forest	Pasture	Mulberry	Paddy	Upland	Others
Area(ha)	22.5	4.8	1.1	3.5	2.7	0.4
Texture	SL	SL	SL	SL	SL	SL
Average slope length(m)	2.9	73.2	68.2	86.6	40.3	310.0
Average slope degree(%)	42.1	26.0	7.4	11.6	12.5	11.0

* Others : Farm road and water way

* Average slope length(m) = $1/A \sum aiDi/di$

(A : 전체유역면적, ai : 등고선 대상면적, Di : 등고선간의 표고차, di : 등고선간의 평균거리)

* Average slope degree(%) = $\sum (ai(hi + hi-1)/2) / \sum ai$

(hi : i 지점 등고선의 고도)

Table 2. Physico-chemical properties of the soils in the watershed

Land use	Particle size distribution(%)			pH (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	CEC (cmol ⁺ kg ⁻¹)	Ext.cations(cmol ⁺ kg ⁻¹)		
	Sand	Silt	Clay				Ca	Mg	K
Forest	56.1	34.5	9.4	4.5	24	8.2	2.13	0.40	0.22
Pasture	55.3	31.2	13.5	4.7	8	7.5	0.59	0.10	0.16
Mulberry	51.6	35.0	13.4	4.6	14	5.5	1.77	0.43	0.27
Upland	62.8	27.6	9.6	6.6	15	6.2	3.42	0.59	0.84

Table 3. Yearly distribution of soil loss, runoff and rainfall in different years('93~'97)

Land Use	'93	'94	'95	'96	'97	Average
Rainfall(mm)	910.4	1,031.0	1,314.9	858.5	1,074.5	1,013.9
Erosion index(30)	440.2	317.2	782.0	430.8	429.4	444.9
Soil loss(Mg 35ha ⁻¹)	201.9	88.3	198.1	121.1	151.9	152.2
Runoff(kl 35ha ⁻¹)	53,796.0	49,028.0	108,497.0	48,214.0	65,557.0	65,018.0
Runoff ratio(%)	16.9	13.6	24.6	16.0	17.4	17.9

개간초기 식생피복이 형성되지 않아 강우의 차단 및 流去水의 지하 침투량을 감소시켜 결과적으로 많은 유거수에 의한 이동력의 증대로 토양유실이 많았다. '95년 降雨因子는 782.0으로 매우 높아 물 유출율이 24.6% 이르렀으며 따라서 토양 유실량(198.1 Mg 35ha⁻¹)도 많았다.

유역내 월별 물 유출량 및 토양 유실량을 표 4에서 보면 물 유출량은 6, 7, 8월에 년 유출량 65,018 Mg 35ha⁻¹의 83.6%가 이 기간 중에 발생하였다, 이는 년 평균 강우량의 70.4%가 같은 시기에 발생하여 많은 유출을 시켰다고 본다.

토양 유실량은 7, 8월 두달 동안에 110.9 Mg 35ha⁻¹으로 년 토양 유실량 152.2 Mg 35ha⁻¹의 72.9%가 발생하였으며, ha당 유실량은 3.2 ton이 된다. 이 유역은 대부분이 임지와 초지가 대부분 분포하고 있어 식생에 의한 降雨遮斷, 降雨貯藏 및 土壤水分貯藏容量 증대로 지하침투가 용이하기 때문에 일반 농경지에 비하여 토양 유실량이 매우 적었다.

토양 유실량중 流砂量은 78.6 Mg 35ha⁻¹이고, 堆沙量은 73.6 Mg 35ha⁻¹으로 비슷한 경향을 나타냈다. 이는 유역전체가 토양 구조의 발달이 미약한 사양토로 구성되어 있고 모래 : 微沙+粘土含量이 약 50 : 50이라 강우에 쉽게 분리 이동되기 때문에 모래는 주로 河床土

를 이루고 微沙+粘土는 浮游되기 때문이라 생각한다.

강우량에 따른 물 유출량 및 토양 유실량의 경시적 변화를 그림 1에서 보면 강우량이 20 mm 以上에서 유출 및 유사량의 발생이 시작하였으며, 최고 강우가 있는 후 1시간 30분 후 최고 유출이 이루어졌다. 이는 소유역이 주로 산지와 임지로 구성되어 있어 강우의 차단 및 지하 침투가 용이하고 유거수가 밀집된 식생에 의해 흐름을 방해 받아 최고 유출시간이 늦었기 때문이라고 생각된다.

최고 강우 후 유출량은 완만하게 감소하나 유사량은 급격히 감소하였는데 이는 최고강우까지 土粒의 分離 및 飛散이 많이 일어나 流去水에 의하여 많은 량의 土粒이 운반되지만, 그 이후에는 지면의 細粒質粒子는 유실

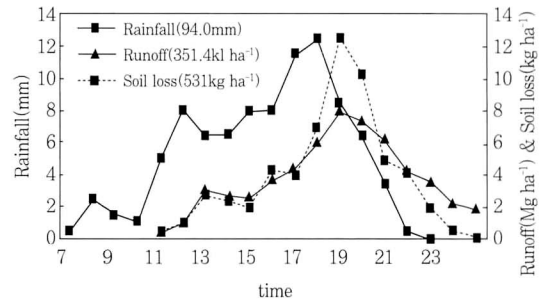


Fig. 1. Rainfall, runoff and suspended soil loss with time in the small watershed(1996. 7. 13).

Table 4. Monthly distribution of rainfall, runoff and soil loss

Land Use	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Total
Rainfall(mm)	58.4	105.2	117.8	273.6	339.3	88.1	55.5	1,037.9
Erosion index(EI ₃₀)	4.2	23.8	34.8	172.2	185.9	15.8	8.2	444.9
Runoff(kl 35ha ⁻¹)	155.0	2,996.0	4,604.0	20,587.0	29,141.0	4,813.0	2,722.0	65,018.0
Runoff ratio(%)	7.4	8.1	11.1	21.5	24.5	18.5	14.0	17.9
Soil loss(Mg 35ha ⁻¹)	0.2	15.1	15.1	53.2	57.7	9.8	1.1	152.2
Suspended load	-	6.1	6.1	27.7	33.3	4.5	0.4	78.6
Sediment load	0.2	9.0	9.0	25.5	24.4	5.3	0.7	73.6

* Runoff rate(%) : Runoff / Rainfall

되고 組立質粒子가 많이 남아있어 강우에 의한 입자분리가 감소되고 유거수의 양도 적어 이동 속도가 급격히 감소하였기 때문이라 생각한다(오 등, 1991).

강우특성과 토양 유실량과의 관계를 그림 2에서 보면 토양 유실을 일으키는 강우특성인 강우량 및 강우강도, 강우시간 및 강우시기 등을 종합적으로 고려한 강우인자는 강우의 Kinetic energy를 의미하며 유실량과의 고도의 유의성을 보였다.

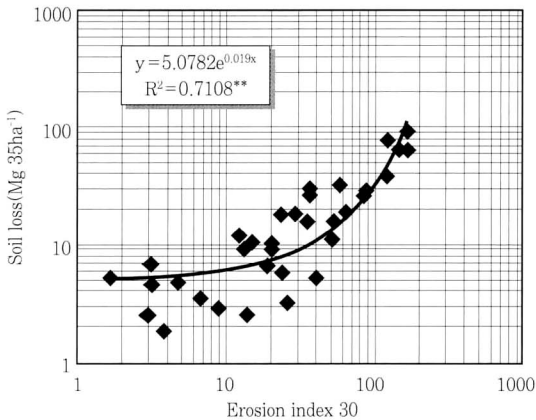


Fig. 2. Relationship between soil loss and rain properties.

토지 이용별 간이 Lysimeter(2 mx5 m)시험에 의해 밝혀진 토양 유실량과 유출량은 표 5와 같이 임지에서 물 유출량은 시험기간 중(4월~10월) 강우량 1,037.9 mm의 1.2%인 97 Mg가 유출되었고, 초지는 1.5%, 밭은 14.9%로서 큰 차이를 보였다.

Table 5. Soil loss and runoff with land use('95~'97)

Factor	Forest	Pasture	Mulberry	Upland
Soil loss(Mg ha ⁻¹)	0.55	0.58	2.69	16.02
Runoff(Mg ha ⁻¹)	97	167	871	1,512
Runoff ratio(%)	1.2	1.5	6.3	14.9

Table 6. Measured and estimated soil loss by USLE('95~'97)

Items	R	K	LS	C	P	E(Mg ha ⁻¹)	M(Mg ha ⁻¹)	E/M×100(%)
Forest	445.3	0.09	24.0	0.001	1	1.48	1.80	82.2
Pasture	445.3	0.09	9.8	0.002	1	1.21	1.50	80.7
Mulberry	684.6	0.08	1.3	0.09	0.5	3.60	5.30	67.9
Upland	445.3	0.12	3.0	0.09	0.5	11.09	13.80	80.4

* E=Estimated soil loss, M=Measured soil loss.

토양 유실량은 임지에서 0.55 Mg ha⁻¹, 초지 0.58 Mg ha⁻¹, 상전 2.69 Mg ha⁻¹ 이었고, 밭은 16.02 Mg ha⁻¹으로 많았다. 이는 임지 및 초지는 강우시 대부분은 지표면에 도달하기 전에 나뭇잎이나 풀잎에 의하여 빗방울의 타격력을 차단하고 식물뿌리 및 낙엽 등으로 토양지면의 보호와 토양구조의 발달로 지하침투를 용이하게 하여 유거량이 감소되어 결과적으로 토양유실을 줄일 수 있다.

강우 예측공식에 의한 토양 유실량은 표 6에서와 같이 강우(R)인자는 매 강우마다 KE=210.3+89 log I에서 30분 최대 강우량을 곱하여 구하였으며, 토양(K) 및 경사(LS)인자는 Agriculture Hand book의 nomograph에 의해 산출하였다.

작물인자(C)는 토양비료확회지를 참고하였으며, 토양관리(P)인자 중 임지 및 草地는 Mu guide를 (Mccarthy, 1993) 참고하였다.

임지, 초지, 상전, 밭은 간이 Lysimeter에 의한 實測値와 예측치와 차이는 17.8%~32.1%였다. 이는 토지 이용별로 USLE 공식적용으로 유사량을 예측하는데 차이가 있음을 보여 주므로서 소유역에 알맞은 토양예측 Model화는 매우 중요하다 생각된다.

이상의 결과로 보아 우리나라 유역에서 수문반응은 강우량의 약60%가(건설부, 1994) 유출되나 임지와 초지로 구성되어 산간지에서는 17.9%였으며, 경사지(7%이상) 토양 유실량 30 Mg ha⁻¹(농기연, 1985)에 비해서 4.35 Mg ha⁻¹으로 감소하여 연간 토양유실 허용한도 5~12 Mg ha⁻¹에도(USDA, 1981) 미치지 못하기 때문에 산지유역내의 경지에서는 토양 유실 및 물 유출에 의한 피해 없이 안정적으로 농작물을 가꿀 수 있을 것으로 판단된다.

적 요

여주군 여주읍 상거리 내의 임지, 초지, 밭으로 구성되어 있는 소규모 농업지역에서 (35ha) 유출 및 퇴사 탱크를 시설하고 90° V노치를 설치하여 토양 유실 및 물收支를 측정된 결과는 다음과 같다. 유역내 토양 유실량은 152.2 Mg 35ha⁻¹으로 유사량은 78.6 Mg 35ha⁻¹, 퇴사량 73.6 Mg 35ha⁻¹이었다. 유역내 물 유출량은 65,018 Mg 35ha⁻¹로 강우량 1,037.9 mm의 17.9%가 유출되었다 토지 이용별 토양 유실량은 밭 16.02 Mg ha⁻¹, 상전 2.69 Mg ha⁻¹, 초지 0.58 Mg ha⁻¹, 임지 0.55Mg ha⁻¹ 유실되었다. 토양유실 예측공식에 의한 토양 유실량의 예측치는 실측치보다 임지, 초지 및 밭은 약 20%정도 과소 추정, 상전은 32% 정도 과소 추정되었다.

인 용 문 헌

- 건설부 . 1975. 호수량 추정을 위한 합성단위유도량 유도.
 농업기술연구소. 1985. 시험연구보고서(화학부편). p158-165.
 농업기술연구소. 1992. 증보 한국토양총설.
 De Wiest, R.J.M. 1965. Geohadrology(New York : John Wiley & Sons, Inc.
 Duly, F. L. and M.F., Miller. 1923. Erosion and surface run off under different soil condition, Res. Bull. 63. Mo. Agr. Sta. Colmbis, p50.
 Mccarthy, J.R. and D. L. Pfost. 1993. Estimating Soil Erosion for Conservation Palanning. MU Guide Published by university extension, University of Missouri- Columbia. p1 - 6.
 박승우. 1978. 小流域 水門 模型의 發展과 應用(I). 韓國農工學會誌. 26(3) : 125 - 132.
 愼鐮華, 鄭弼均. 1993. 持續的 農業을 위한 土壤保全. 環境 保全型 農業을 위한 土壤管理 심포지엄(土肥). p121 ~ 137.
 愼齊晟, 愼鐮華. 1980. 土壤保全因子가 土壤 流失에 미치는 影響. 농서연보(土肥,作保.), 22 : 36 ~ 41.
 吳世鎭, 鄭弼均, 金永昊. 1991. 傾斜地 土壤의 土壤管理에 따른 土壤流失防止. 農試 論文集(土肥). p68 ~ 72.
 Whipple, William. W.Jr. 1954. "Regional Drought Frequency Significance" Soil Science. p77.
 Wischmeier, W. H and D. D. Smith. 1981. Predicting rainfall erosion losses agquide to conservation planning. Agri. hand book. No 537. U.S.ept. Agr. Washington. D.C
 이순혁. 1984. 小河川 水界의 單位 流量도 誘導 및 比較에 관한 水門學的 考察. 韓國 農工學會地. 20(2) :35 ~ 45.
 Hudson, N. 1971. Soil conservation, Cornell University press Ithaca, New york. p320.
 Horner. W. W. and Flynt. F. L. 1965. "Relation Rainfall and Runoff from Small Urban Areas" Trans. ASCE. 62, No. 101(Oat.):140-205.
 홍종진. 1978. 山間 流域에서의 降雨量 / 流出量에 관한 綜合 Model 解析. 韓國 農工學會地. 20(3) : 18 ~ 25.