

경사지 발토양에서 강우량과 토성에 따른 물 유출 양상 및 수관피복인자 구명

이현행^{*} · 하상건 · 허승오 · 정강호 · 박찬원 · 김계훈¹

농촌진흥청 농업과학기술원, ¹서울시립대학교

Characteristics of Soil Water Runoff and Canopy Cover Subfactor in Sloped Land with Different Soil Texture

Hyun-Haeng Lee,^{*} Sang-Keon Ha, Seung-Oh Hur, Kang-Ho Jung, Chan-Won Park, and Kye-Hoon Kim¹

National Institute of Agricultural Science & Technology, Suwon 441-707, Korea

¹Dept. of Environmental Horticulture, The University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

This study was performed as an effort to reduce soil loss by investigating the phase of water flow according to soil texture and rainfall pattern and by determining the canopy cover subfactor in the RUSLE (revised universal soil loss equation). Red pepper was planted at the 15% sloped lysimeter of 2 m x 5 m x 0.5 m (width x length x depth) with three different textured soils (loam, clay loam and sandy loam) and the relationship between amount and intensity of rainfall; soil loss and the amount of runoff; and amount of rainfall and runoff at different soil texture were measured at the experiment station of the National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST) during May to October of 2005. The amount of runoff increased with increasing amount of rainfall, showing difference in the relative increase rate of runoff at different soil texture. The increase rate of runoff with unit increase of rainfall for the lysimeter with red pepper was 0.44, 0.41 and 0.13 for loam, clayey loam and sandy loam, respectively. The minimum amount of rainfall for runoff was 23.53 mm for sandy loam, 10.35 mm for loam and 5.46 mm for clayey loam, respectively. The canopy cover subfactors of red pepper were 0.425, 0.459, and 0.478 for sandy loam, loam and clayey loam, respectively.

Key words: Runoff, Lysimeter, RUSLE, Canopy cover subfactor, Soil loss

서 언

우리나라의 발토양은 경사지에 전면적의 70%가 분포되어 있어 강우에 의한 토양유실이 발생할 잠재적 위험성이 상존한다. 경사지 밭은 여름철 집중강우에 의한 침식 위험성이 크고, 이 시기에 연간 토양유실의 80% 이상이 발생하며 특히, 6월과 7월은 대부분 전작물을 수확한 후 작물에 의해 지표면이 피복되지 못한 시기이기 때문에 토양침식에 의해 작토가 유실되기 쉬운 상태이다 (Yun et al., 1996). 따라서 여름철 집중강우 시에 토양유실을 저감시키는 농경적 방법을 개발할 필요성이 있으며, 이를 위해 토양침식 양상을 파악하는 것이 우선시 되어야한다.

Angima 등 (2003)과 Chang과 Yun (1994)은 물에

의한 침식이 우리나라와 전세계적인 토양유실의 주원인으로서 환경보전을 위해서 토양의 침식을 극소화하고 토양을 보존하는 것이 무엇보다 시급히 해결되어야 할 중요한 과제라고 언급하고 있다. 또한 토양 침식에 의한 토양유실이 작물의 생산성 저하를 유발할 뿐만 아니라 유실토의 퇴적으로 하천이나 저수지를 매몰시킬 위험성이 있고, 유실토양과 유거수에 포함되어 있는 양분 및 제초제 성분으로 인해 하천 및 지하수가 오염될 가능성이 있으며, 과다 집적된 인산의 유실로 연근해역의 부영양화 등의 문제가 발생하고 있으므로 (Jung et al., 1985; Lee et al., 1998; Seo et al., 2005) 이에 대한 심각한 인식이 필요한 시점이다. 따라서, 이를 해결하고자 한다면 사후처방보다는 원인을 차단할 수 있는 방법의 개발이 필요하며, 농업에 있어서는 경사 농경지에서의 토양유실을 감소시킬 수 있는 농경방법을 개발하는 것이 최선의 방법이라 할 수 있으나 이러한 방법들로 강우, 토양특성, 지형,

접수 : 2006. 10. 31 수리 : 2007. 2. 10

*연락처 : Phone: +82312900287,

E-mail: soil20@hanmail.net

작물, 관리인자 등의 영향을 고려해야 하기 때문에 (Hur et al., 2005; Wischmeier와 Smith, 1978) 쉬운 일이 아니다.

그동안 토양침식 양상을 파악해 유실량을 줄이기 위한 연구는 주로 일정한 면적과 경사도를 갖춘 라이시미터를 이용하거나 (Jung et al., 1989; Oh et al., 1992; Park et al., 2005; Seo et al., 2005; Yun et al., 1996) 유역단위 연구를 통해 토양관리방안을 제시하였다 (Chang and Yun, 1994; Myers and Wagger, 1996; Oh et al., 1989; Smolikowski et al., 2001). 이런 대부분의 연구들은 개별 강우가 아닌 연평균 토양유실량을 산정하는 USLE (Universal soil loss equation)를 이용해 장기적 토양침식 위험성을 산정했다. USLE에서 식생피복인자 (Cover management factor, C)는 토양의 침식에 대한 식생피복인자로 무피복 상태에서의 토양 유실량에 대한 피복상태의 토양 유실량의 비를 다음과 같은 식을 이용하여 표현할 수 있다 (Wischmeier and Smith; 1965, 1978).

$$C = \frac{\sum (\sum A_{ci} / \sum A_i)}{N}$$

여기에서 A_c 는 피복상태에서 토양유실량이고, A 는 무피복상태에서 토양유실량이다. i 는 측정연도를 나타내고 N 은 측정기간을 나타낸다. 그러나, USLE의 경우 식생피복인자는 세분화되고 있는 현대의 농업형태에 적용의 어려움이 있다. Renard 등 (1997)은 이러한 USLE를 수정 보완하여 RUSLE(Revised universal soil loss equation) 모형을 선정하였다.

RUSLE 인자 중 식생피복인자(C)를 산출하는 공식은 다음과 같다.

$$\text{Cover management factor} = \frac{(SLR_1 \cdot EI_1 + SLR_2 \cdot EI_2 + \dots + SLR_N \cdot EI_N)}{EI_T}$$

여기에서 식생피복인자는 15일 간격으로 측정된 토양유실률 (Soil loss ratio, SLR)과 EI (Kinetic energy times intensity)를 이용해 구할 수 있고 SLR의 요인으로는 토양수분인자 (Soil moisture subfactor, SM), 지표피복인자 (Surface cover subfactor, SC), 이전토지이용인자 (Prior land use subfactor, PLU), 수관피복인자 (Canopy cover subfactor, CC), 지표거칠기인자 (Surface roughness subfactor, SR)가 있다.

RUSLE 모형은 강우에 의해 발생하는 토양유실량을 산정하는 통합형 모형으로 개별 강우에 의한 토양유실량을 산출하기는 어려우나 장기적인 토양침식 위험성을 평가하는데 있어서는 매우 효과적이다.

따라서, 본 연구에서는 USLE 대신에 식생피복인자를 다섯 개의 인자로 다양하게 세분화시킨 RUSLE를 활용해 그 중의 수관피복인자 (Canopy cover subfactor, CC)를 산출하고자 하였으며, 작물 식재기

간에 강우량에 의한 유출 특성을 평가하고 토성에 따른 유출 강우량을 산정하였다.

재료 및 방법

경사도 15%인 라이시미터(2 m × 5 m × 0.5 m)에 양토, 식양토, 사양토를 채운 후 고추(*Capsicum annuum* L.), 배추(*Brassica campestris* L. ssp), 감자(*Solanum tuberosum* L.), 콩(*Glycine max*)을 식재하여 본 시험은 농업과학기술원에서 2005년 5월부터 10월까지 수행되었다. 강우량은 방재기상정보 시스템을 이용하여 월별로 측정하였고 강우인자는 RUSLE 공식에 따라 다음과 같은 식을 이용하여 계산하였다 (Renard et al., 1997).

$$KE = 0.119 + 0.0873 \times \log(I) \quad (\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}, I = \text{mm hr}^{-1})$$

$$EI^{30} = (\sum (KE \cdot R) / 100) \times \text{Maximum 30 minute rainfall intensity} \quad (\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ hr}^{-1})$$

여기에서 KE(Kinetic energy)는 운동에너지이고 I는 시간당 강우강도(mm hr⁻¹)이며 R은 강우량(mm), EI₃₀ (Kinetic energy times maximum 30-min intensity)는 강우를 강도별로 분류하여 강도에 따른 운동 에너지를 구한 것에 그 강우의 30분 최대강우강도를 곱하여 구하였다.

물 지표 유출량은 라이시미터 구획 밖으로 유출되지 않도록 사각 집수구(0.8 m × 1 m × 1 m)를 만들어 측정하였다.

강우와 강우사이 시간이 6시간 이상이고 그 강우량이 12.7 mm 이상인 것을 1회 강우로 설정하여 1회 강우마다 유실토량과 지표 유출량을 조사하였고 지표 유출량은 토성에 따라 비교분석하여 마이크로소프트 엑셀(version, 2003)로 회귀분석을 하였다. 토양수분함량은 수분센서(EASY AG 50, Australia)를 이용하여 측정하였다.

고추, 감자, 배추, 콩의 수관피복인자는 15일 간격으로 식물체의 높이와 지면 피복률을 구하여 다음식을 이용하여 구하였다.

$$\text{Canopy Cover Subfactor (0~1)} = 1 - F_c \cdot \exp(-0.1 \cdot H)$$

여기에서 F_c 는 식물체에 의해 피복률이고 H 는 피복된 식물체의 높이(ft)이다. 피복도(-1~1)는 NDVI (Normalized difference vegetation index) 센서 (Greenseeker, USA)를 이용하여 식생지수를 측정 후 사진과 함께 보정하여 측정하였다. NDVI 센서는 근적외선 파장과 가시영역의 파장의 반사광을 이용하

여 측정하는데 원리는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다 (Rouse et al., 1973)

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

여기에서 NIR은 근적외선 영역의 반사도이고 RED는 적색파장의 반사도이다. NDVI 값은 -1~1까지 범위로 측정하고자 하는 일정지역에서 식물이 왕성한 생육을 하면서 지표면 피복률이 높을 때는 1에 가까워진다. 반면 나지 상태의 토양이나 물, 눈, 얼음으로 뒤덮힌 지역의 NDVI 값은 -1에 가깝게 측정된다 (Mkhabela, et al., 2005).

결과 및 고찰

본 연구기간동안의 강우량과 강우 강도를 Table 1에 나타내었다. 우리나라의 강우량은 여름철에 집중적으로 높아지는데 본 연구에서는 8월이 가장 높았고 9월과 7월도 높은 수치를 나타냈다. EI₃₀은 9월이 가장 높았고 그 다음으로는 8월과 7월이 높게 나타났으나 큰 차이는 없었다. 시험기간 중 총 강우량과 EI₃₀은 각각 1,283 mm와 1,687.7이었고 7, 8, 9월의 강우량과 EI₃₀은 시험기간 동안 각각 전체의 75%, 85%를 차지하여 매우 편중되는 값을 나타내었다. 우리나라는 일반적으로 6월까지의 강우량이 적어, 토양수분함량도 적기 때문에 강우량에 의한 유출량과 토양 유실이 적게 나타난다. 그러나 6월 중순 이후부터 장마가 시작되면서 빈번한 집중호우로 인해 높은 강우량과 EI₃₀을 나타내고 토양수분함량도 높아지기 때문에 이 시기에는 지표 유거수량 또한 매우 높게 나타난다.

토성에 따라 강우와 유출수량과의 관계를 조사하였다. 사양토($r^2=0.7200$), 양토($r^2=0.7932$), 식양토($r^2=0.7380$)에서 모두 강우량이 증가함에 따라 지표

유거수량이 선형적으로 증가하는 관계를 알 수 있었다. 강우량과 유거수량과의 관계를 이용하여 강우량이 증가함에 따라 유거수의 증가비율과 유거수가 발생하기 시작하는 강우량을 모형 관계식으로 산출하였다 (Table 3). 강우량이 증가함에 따라 유거수량은 모두 증가하는 경향을 보였으나, 토성에 따른 유거수의 단위 증가비율과 유거수가 발생되기 시작하는 시점의 강우량은 다소 다른 양상을 보였다. 강우가 증가함에 따라 유거수의 증가 비율은 양토에서 0.44로 가장 높은 수치를 나타내었고 사양토는 0.41, 식양토는 0.13을 나타냈다. 식양토는 강우량이 증가함에 따라 다른 토성에 비해 유거수량이 가장 적게 배출됨을 알 수 있다. 일반적으로 식양토는 양토나 사양토에 비해 배수성이 낮아 표토가 쉽게 건조해지기 때문에 강우에 의한 토립이 쉽게 분산되어 유출수량과 함께 토양 유실량도 많아진다. 따라서 유거수의 증가 비율 또한 높게 나타난다. 고추가 식재되지 않은 나지 상태일 때는 강우 증가에 따른 유거수의 증가 비율은 식양토에서 가장 높았고 양토, 사양토 순이었다. 이는 작물이 식재되었을 때는 식물체의 뿌리가 토양을 고정하고 작물 생육이 진전되면서 지면 피복도도 증가하기 때문으로 볼 수 있다. 즉 증가한 지면 피복도가 강우 타격을 감소시키기 때문에 (Wainwright et al., 2000) 식양토의 유거수 증가 비율이 다른 토성에 비해 낮아 나지 상태와는 다른 양상을 나타내었을 것으로 생각된다.

지표 유거수가 발생되기 시작하는 강우량을 조사한 결과, 사양토에서는 23.53 mm로 가장 큰 수치를 나타냈고 다음은 양토 (10.35 mm), 식양토 (5.46 mm)순이었다. 따라서 강우량이 증가함에 따라 식양토에서 가장 많은 유거수량이 발생하였고 가장 많은 강우량으로 유거수가 발생되기 시작하는 토양은 사양토이고 식양토는 가장 적은 강우량으로 유거수가 발생함을 알 수 있다. 이는 점토 함량이 가장 적은 사양토는 다

Table 1. Monthly amount of rainfall and EI₃₀ measured during 6 months of year 2005.

| | May | June | Jul. | Aug. | Sep. | Oct. | Total |
|-------------------------------|-------|-------|---------|---------|---------|------|-------|
| Rainfall (mm) | 89.6 | 160.8 | 288.7 | 357.5 | 317.2 | 69.2 | 1,283 |
| EI ₃₀ [†] | 168.8 | 495.8 | 1,175.3 | 1,219.5 | 1,436.0 | 30.6 | 4,526 |

[†] EI₃₀: storm erosivity, interchangeable with EI (MJ mm ha⁻¹ yr⁻¹ hr⁻¹)

Table 2. Regressive relationships between rainfall and the amount of runoff according to soil texture during red pepper growth period.

| Soil texture | Regression equation | A [†] | Threshold rainfall (mm) | R ² |
|--------------|---------------------|----------------|-------------------------|----------------|
| Sandy loam | Y=0.4103X-9.6566 | 0.41 | 23.54 | 0.7200 |
| Loam | Y=0.4422X-4.5773 | 0.44 | 10.35 | 0.7932 |
| Clayey loam | Y=0.1334X-0.7280 | 0.13 | 5.46 | 0.7380** |

[†] Runoff increment rate correspondent to unit amount of rainfall.

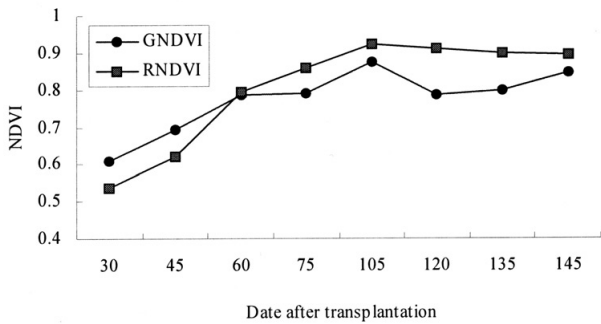


Fig. 1. Change of NDVI during red pepper growth period in lysimeter with sandy loam (GNDVI: Green normalized difference vegetation index, RNDVI: Red normalized difference vegetation index).

른 토성에 비해 침투 및 투수속도가 빨라 유거가 발생하는 강우량은 높게 나타났고 점토 함량이 가장 높은 식양토에서 가장 적은 강우량에 의한 높은 유거율을 나타냈을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 고추의 생육기간 동안 두 가지 센서를 이용하여 피복도를 측정하였다. 생육조사 결과, 고추의 생육은 정식 후 105일이 되었을 때(8월 20일)까지는 꾸준한 성장을 보였다. 따라서 피복도 또한 증가되어야 하는데 GNDVI (Green normalized difference vegetation index) 센서로 측정된 피복도는 불규칙적인 증감을 나타냈다 (Fig. 1). 그 외 다른 작물의 경우에도 이와 같은 결과를 나타냈다. 식물이 성장하는 과정에 있어 식물체내 엽록소는 병충해나 영양분의 불균형 및 수분 스트레스로 인하여 생산량이 감소한다. 따라서 엽록소는 청색과 적색 영역을 낮게 흡수하고 적색과장 영역에서 높은 반사가 일어나게 된다 (Shin et al, 2003). 이러한 이유로 인하여 작물이 성장하는 동안 피복도는 RNDVI (Red normalized difference vegetation index) 센서가 GNDVI (Green normalized difference vegetation index) 센서에 비해 더 균일하고 정확한 값을 나타냈을 것으로 본다.

본 연구에서는 수관피복인자를 15일 간격으로 조사하였다(Table 3). 토성에 따라 수관피복인자를 비교해보면 감자를 제외한 고추, 콩, 배추 모두에서 식양토>양토>사양토 순이었다.

작물에 따라 수관피복인자를 조사한 결과 사양토와 양토에서는 고추>배추>감자>콩 순이었고 식양토에서는 고추>배추>콩>감자 순으로 나타났다. 수관피복인자는 실험기간 동안 피복율이 높고 식물체의 높이가 큰 감자와 콩에서 낮게 측정됨을 알 수 있다. 또한 수관피복인자의 측정 수치가 낮을수록 작물이 양호한 성장을 했음을 알 수 있고 이에 따라 토양 유실량을 줄일 수 있는 가능성을 기대할 수 있다.

본 연구 결과를 이용하여 토성별 강우량에 따른 유출수량과의 관계를 계속해서 조사하고 수관피복인자

Table 3. Canopy cover subfactor in slope upland according to soil texture during red pepper growth period.

| | Canopy cover subfactor [†] | | |
|-----------------|-------------------------------------|-------|-------------|
| | Sandy loam | Loam | Clayey loam |
| Red pepper | 0.425 | 0.459 | 0.478 |
| Potato | 0.352 | 0.324 | 0.317 |
| Chinese cabbage | 0.379 | 0.384 | 0.390 |
| Soybean | 0.330 | 0.331 | 0.334 |

[†] Canopy cover subfactor (0~1) = 1-Fc · exp (-0. · H).

Fc: Fraction of land covered by the canopy.

H: Canopy height (ft).

를 포함한 작물 관리인자도 산출하여 발토양의 오염원인인 양분유실과 토양유실을 감소시키기 위한 대책을 마련하기 위한 연구를 지속적으로 수행해야 할 것으로 본다.

적 요

우리나라 발토양은 70% 이상이 경사지에 위치하고 있기 때문에 침식에 의한 토양유실이 매우 심각한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 토성 간 강우량 및 강우강도에 따른 토양유실량과 유출수량을 비교함으로써 토성 및 강우형태에 따른 물흐름 양상을 파악하고, RUSLE (Revised universal soil loss equation)에서 수관피복인자(Canopy cover subfactor)를 산출하여 토양유실을 방지하는데 이용하고자 하였다. 시험은 2005년 5월부터 10월까지 고추, 배추, 감자, 콩이 식재되고 15%의 경사도를 가진 라이시미터에서 실시되었고 강우량과 강우강도, 토양 유실량과 유출수량, 강우량과 토성에 따라 유출량과의 관계를 보았다. 강우량에 따른 유출수량은 모두 강우량이 증가함에 따라 증가하는 정의 관계를 보였으나 토성에 따라 강우량이 증가함에 따른 유출수의 상대적인 증가비율은 다소 다른 경향을 나타내었다. 고추가 식재된 상태에서 토성별 강우량 단위 증가에 따른 유출수의 증가비율은 양토에서 0.44로 가장 높았고 식양토, 사양토는 0.41 mm, 0.13 mm 이었다. 유출발생 최소강우량도 사양토가 23.53 mm로 가장 높았으며 양토는 10.35 mm, 식양토는 5.46 mm 순으로 나타내었다. 고추의 수관피복인자는 사양토에서 0.425, 양토는 0.459, 식양토는 0.478를 나타내었다. 본 연구 결과 산출된 토성별 강우량에 따른 유출수량과 수관피복인자는 토양 유실량을 평가하여 저감 대책을 마련하는데 도움이 되리라 판단된다.

인 용 문 헌

Angima, S. D, D. E. Stott, M. K. O'Neill, C. K. Ong, and G. A. Weesies. 2003. Soil erosion prediction using RUSLE for central

- Kenyan highland conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 97:295-308.
- Chang, N. K., and S. M. Yun. 1994. The soil and mineral nutrient erosion on the floors of vegetations. *Kor. Turfgrass Sci.* 8(3):149-165.
- Hur, S. O., K. H. Jung, S. K. Ha, H. K. Kwark, and J. G. Kim. 2005. Mathematical description of soil loss by runoff at inclined upland of maize cultivation. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 38(2):66-71.
- Jung, P. K., M. H. Ko, and K. T. Um. 1985. Discussion of cropping management factor for estimation soil loss. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 18:7-13.
- Jung, P. K., M. H. Koh, and K. T. Um. 1989. Evaluation of soil erosion management practices on sloped farm land. *Res. Rept. RDA.* 31(4):16-22. *Sci. Fert.* 32:31-37.
- Lee, N. J., S. J. Oh, and P. K. Jung. 1998. Soil loss and water runoff in a watershed in Yeosu. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 31:211-215.
- Mkhabela, M. S., and N. N. Mashinini, 2005. Early maize yield forecasting in the four agro-ecological regions of Swaziland using NDVI data derived from NOAA's-AVHRR. *Agricultural and Forest Meteorology* 129:1-9.
- Myers, J. L., and M. G. Waggener. 1996. Runoff and sediment loss from three tillage systems under simulated rainfall. *Soil & Tillage Research* 39:115-159.
- Oh, S. J., P. K. Jung, Y. H. Kim, M. H. Um, and K. T. Um. 1989. Effect of soil erosion control with different pasture establishments on slope land. *Res. Rept. RDA.* 31(1):24-28.
- Oh, S. J., P. K. Jung, and K. T. Um. 1992. Soil erosion control with vinyl mulch of different crops. *Res. Rept. RDA.* 34(2):30-35.
- Park, C. S., Y. S. Jung, J. H. Joo, and G. J. Lee. 2005. Measurement technique for soil loss estimation using laser distance meter in sloped upland. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 38(3):127-133.
- Renard, K. G., G. R. Foster, G. A. Weesies, D. K. McCOOL, and D. C. Yoder, 1997. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation(RUSLE). *Agric. Handbook No. 703.* U.S. Dept. Agric., Washington D.C., USA.
- Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, and D. W. Deering, 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ETRA. *Third ETRS Symposium, NASA SP-353,* U.S. Govt. Printing Office, Washington D.C., 1:309-317.
- Smolikowski, B., H. Puig, and E. Roose. 2001. Influence of soil protection techniques on runoff, erosion and plant production on semi-arid hillsides of cabo verde. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 87:67-80.
- Seo, J. H., J. Y. Park, and D. Y. Song. 2005. Effect of cover crop hairy vetch on prevention of soil erosion and reduction of nitrogen fertilization in sloped upland. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 38(3):134-141.
- Shin, Y. H., J. H. Park, and M. S. Park. 2003. Spectral reflectance characteristics and vegetation indices of field crops. *KCID J.* 10(2):43-54.
- Yun, B. K., P. K. Jung, S. J. Oh, S. K. Kim, and I. S. Ryu. 1996. Effect of compost application on soil loss and physico-chemical properties in lysimeter. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 29(4):336-341.
- Wainwright, J., A. J. Parsons, and A. D. Abrahams. 2000. Plot scale studies of vegetation, overland flow and erosion interactions: case studies from Arizona and New Mexico. *Hydrol. Process* 14:2921-2943.
- Wischmeier, W. H., and D. D. Smith. 1965. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of rocky mountains: Guide for selection of practices for soil and water conservation. *Agric. Handbook No. 282.* US Dept. Agric., Washington D.C., USA.
- Wischmeier, W. H., and D. D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. *Agric. Handbook No. 537.* US Dept. Agric., Washington D.C., USA.