

경사도와 인공강우 강도가 토양유실에 미치는 영향

이계준* · 이정태 · 류종수 · 오동식 · 김점순

농촌진흥청 국립식량과학원

Effects of Slope Gradient and Rainfall Intensity on Soil Losses with Rainfall Simulator Experiment

Gye-Jun Lee*, Jeong-Tae Lee, Jong-Soo Ryu, Dong-Shig Oh, and Jeom-Soon Kim

National Institute of Crop, Rural Development Agency, Suwon 441-857, Korea

This research was carried out to investigate the interaction effect of slope gradient and rainfall intensity on soil loss with rainfall simulator. The soils used in this experiment were saprolite, Chahang series which distributed extensively in Daegwanryong. Slope gradient applied was 0.5, 7, 15 and 30%. Rainfall intensity applied was 20, 60 and 90 mm hr⁻¹. The result obtained can be summarised as follow; Overall, Chahang series suffered more losses than saprolite. Chahang series shows the immediately large increase of soil loss with the increasing soil gradient and rainfall intensity. However, saprolite shows a little increasing loss up to 7% gradient and abruptly increasing loss logarithmically over 7% gradient in soil slope. In combination of slope gradient 15, 30% and rainfall intensity 60, 90 mm hr⁻¹ processing, both soil erosion happened significantly. And there was no significant difference between the two soils. Because Chahang series have the danger of soil loss with low slope gradient and rainfall intensity, we should give greater attention to soil management in Chahang series.

Key words: Rainfall simulator, Slope gradient, Rainfall intensity, Soil loss

서 언

우리나라의 밭은 대부분 경사지에 위치하고 있어서 여름철 집중강우에 의해 토양유실이 많이 일어나고 있는 실정이다. 토양의 유실은 비옥한 표토에서 일어나므로 토양의 생산력 감퇴의 주요 원인이며 유실된 토양과 유기물 및 영양물질 등은 하부로 이동하여 퇴적하거나 하천으로 유입되어 하천을 오염시킨다. 경사지 밭 토양을 보전하는 것은 토양 비옥도를 보전하고 수질을 보전하는 친환경농업이라 할 수 있다. 따라서 토양의 생산성을 감퇴시키지 않고, 비옥한 농경지로 유지하기 위해서는 토양 내에 점토와 유기물이 많으면서 미생물과 소동물 등의 생물상이 유지되어야 한다. 그런데 토양 유실은 토양과 더불어 이들 생물상을 잃기 때문에 토양의 질이 떨어지고 황폐화를 가속시키게 된다. 토양 내 모든 생물체는 토양의 지력과 구조를 유지하는 데 필수적인 역할을 한다고 한다. 농약과 비료 등 화학물질의 다량 사용은 토양 생태계를 파괴함으로써 토양이 침식되고 폐쇄해진다고 한다. 토양 유실은 토양 구조와 생태계를 파괴하

는 일이며, 토양유실 특히 비옥한 농토의 유실을 방지하는 일은 환경오염을 방지하는 일이며 우리의 생존을 위한 농업 생산력을 유지하는 일이다.

토양의 유실은 강우의 성질 (Ekern, 1935; Meyer et al., 1969; Wischmeier et al., 1959), 경사도 및 경사장 (Duly et al., 1932), 그리고 식생 (Wischmeier et al., 1965) 등 이외 토양의 성질에 따라 차이가 크다고 한다 (Bouyoucos, 1953; Middleton, 1930; Schmidt et al., 1964; Wischmeier et al., 1969). 우리나라에서는 토양유실에 관한 연구는 농작물 재배기간 동안 자연 강우에 대한 토양유실 및 토양보전에 대한 연구 (Oh et al., 1973; Whang, 1966; Woo, 1974; Woo, 1975)가 많은데 본 연구에서는 강원도 고랭지 밭에서 많이 이용하고 있는 차항통 (Chahang series) 토양과 석비레 (Saprolite) 토양의 토사 이동과정을 알기위하여 농작물을 재배하기 전의 나지 토양에서 Small Rainfall Simulator를 이용하여 강우강도와 경사도를 다르게 했을 때 발생하는 물과 토립의 유출량을 산출하였기에 그 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

접수 : 2012. 10. 26 수리 : 2012. 11. 30

*연락처 : Phone: +823333301900

E-mail: gyejun@korea.kr

시험 토양은 강원도 평창군 대관령면 일대에 분포하고

있는 차항통 (Chahang series) 토양과 석비레 (Saprolite) 토양이었으며 시험전 토양은 Table 1과 같다. 인공강우기를 이용한 토양유실 연구는 Ellison et al. (1944), Meyer (1960) 등에 의해 오래전부터 이루어져 왔으며 인공강우기의 형태도 다양한데 본 연구에 이용한 인공강우기는 DIK-6000 (Japan)이었으며 강우처리 전에 토양 plate (0.8 × 0.8 × 0.15m³)에 물을 담수하여 배수시키는 과정을 3회 반복하여 토양을 균했다. 강우강도는 20, 60, 90 mm hr⁻¹의 3수준, 경사도는 0.5, 7, 15, 30%의 4수준으로 하여 1시간 동안 강우하였다. 물량과 토사량 채취는 강우 시작 후 10분 간격으로 비커로 1분간 채취하여 측정하였다. 토양의 물리성을 조사하기 위하여 토성을 분석하였고 용적밀도와 포화수리전도도는 시험전 2인치 코어로 3반복 채취하여 조사하였다.

결과 및 고찰

실험된 토양의 물리적 성질은 Table 1, 2와 같다. 석비레

(Saprolite) 토양이 용적비중이 높고 포화수리전도도가 높음을 알 수 있었다. 토양의 포화수리전도도가 높다고 물의 토양속으로의 침투속도가 반드시 높다고는 할 수 없지만, 포화수리전도도가 높았던 석비레 (Saprolite) 토양에서 토양의 침투율이 높게 나타났다 (Fig. 1, 2). Poesen (1984), Govers (1991), Li Chen (2006) 등은 경사도가 커지면 침투율이 증가한다고 하였고, Philip (1991), Emily et al. (2009)은 경사도 증가와 함께 침투율이 감소된다고 하였다. De Ploey et al. (1976)은 경사도의 증가와 함께 물유출의 증가를 관측하였다. 본 실험에서는 Fig. 1, 2에 나타났듯이 경사도가 커지면 침투율이 증가하는 것으로 나타났다. 석비레 (Saprolite) 토양이 차항통 (Chahang series) 토양에 비해서 토양 침투속도가 뚜렷이 높게 나타나고 있음을 알 수 있었다.

토양유실은 수분 유출량과 유출되는 유출물량 내의 토양 입자 농도에 의해서 결정되기 때문에 총유출시간 내 (1시간)에서 10분 간격별로 1분 동안의 흡탕물 시료를 채취하여 유출되는 물량과 토양입자량을 측정하였다. 실험에 사용된 두

Table 1. Soil particle distributions of two experimental soils.

Soil	Soil particle size						
	Clay	Silt	Sand				
			Very fine	Fine	Medium	Coarse	Very coarse
----- % -----							
Saprolite	6.9	14.7	5.1	15.1	18.0	22.7	17.6
Chahang series	22.8	38.7	4.1	8.8	9.0	9.8	6.9

Table 2. The hydraulic properties of two soils tested.

Soil	Porosity	Effective saturation	Saturation conductivity	Bulk density	Experiment time
	cm ³ cm ⁻³	cm ³ cm ⁻³	cm day ⁻¹	g cm ⁻³	
Saprolite	0.513	0.430	387.6	1.283	Pre-experi.
	0.506	0.442	229.3	1.309	Post-exper
Chahang series	0.575	0.555	143.4	1.100	Pre-exper
	0.571	0.539	124.5	1.092	Post-exper

USDA, Saprolite=Loamy Sand, Chahang series=Loam.

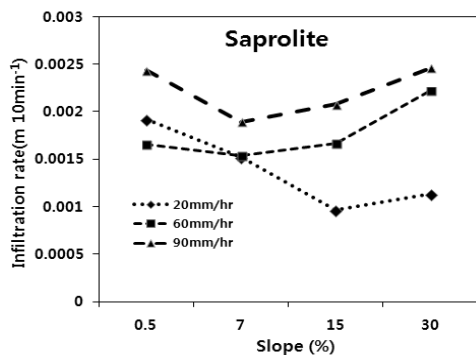


Fig. 1. Infiltration rate of saprolite.

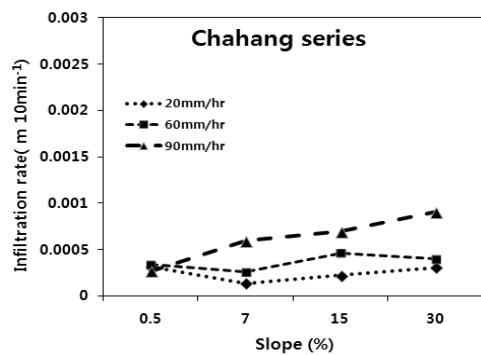


Fig. 2. Infiltration rate of Chahang series.

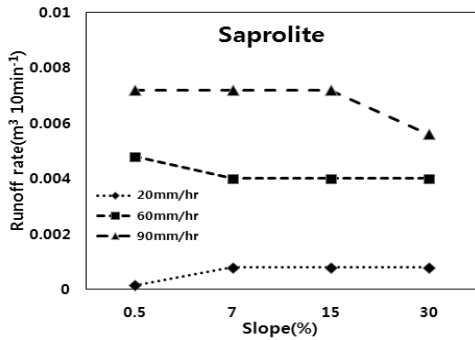


Fig. 3. Change in water runoff with slope gradient and rainfall intensity in terms of saprolite.

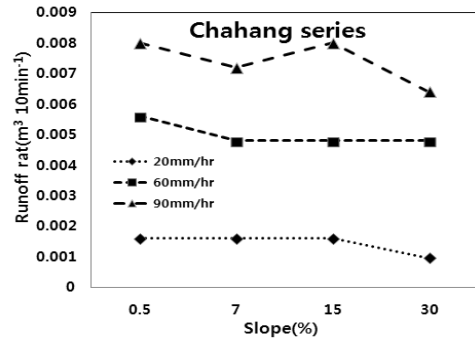


Fig. 4. Change in water runoff with slope gradient and rainfall intensity in terms of Chahang series.

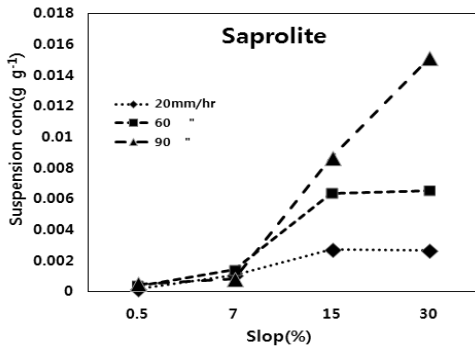


Fig. 5. Change in effluent particle conc. with slope steepness and rainfall intensity in saprolite.

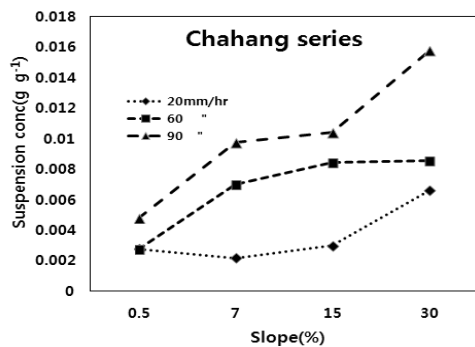


Fig. 6. Change in effluent particle conc. with slope steepness and rainfall intensity in Chahang series.

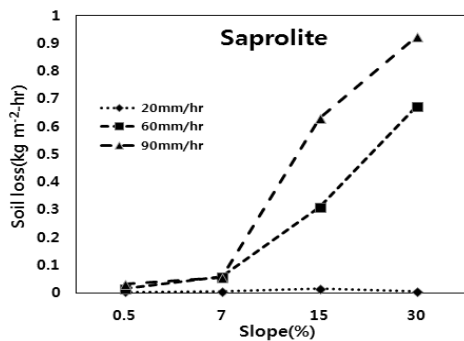


Fig. 7. Results in soil loss response with slope gradient and rainfall intensity in saprolite.

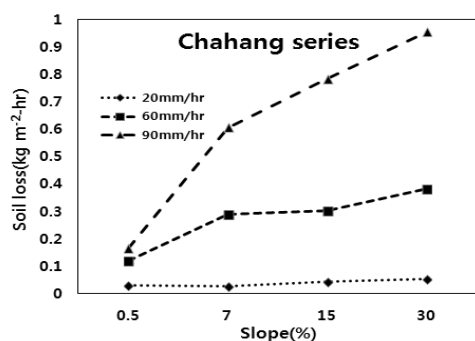


Fig. 8. Results in soil loss response with slope gradient and rainfall intensity in Chahang series.

토양의 수분 침출량 결과를 Fig. 3, 4에서 보면, 강우강도 (3수준)에 대한 수분 침출량 반응은 그 강도가 커지면 유출량이 증가됨을 뚜렷이 알 수 있으나, 경사도에 대한 반응은 뚜렷하지 않음을 볼 수 있었다. 즉 경사도가 커지면 수분 침출량이 늘어난다고 단정적으로 말 할 수 없음을 보여 주었다. 이 결과는 앞에서 경사도와 수분 침투율 변화에서 서로 상반된 논의로 나타나는 것을 반영하고 있으며, 또한 경사면에서의 수분 침출량은 침투물량에 의해서만 좌우되는 것이 아니고 경사면의 조도 (Soil roughness)와 기복 (Microrelief)에 의한 표면저류 (Surface detention storage)에 의해서도 달라지기 때문에 단정적으로 결론을 내리기가 쉽지 않다

(Etse et al., 1987; Lehrsch et al., 1988; Mitchell et al., 1976, 1978). 그런데 Fig. 5, 6에서 보듯이 경사도가 커지면 토사유출농도가 크게 증가함을 두 토양에서 보여주고 있다. 이처럼 경사도가 커지면서 강우강도의 힘이 더욱 부가되고 토양을 깎아 내리는 전단력 (剪斷力, Shear stress)이 커지고 결국은 경사면에서의 흩탕물의 Stream power가 커진다. 그러나, 토사유출농도 변화에 있어서 두 토양의 경사도에 대한 반응은 다르게 나타났다. 석비레 (Saprolite) 토양 (양질사토, Loamy sand)는 경사도 7%까지는 증가가 뚜렷하지 않다가 7%를 넘어서면 급작스럽게 크게 토사유출농도가 증가함을 보여주고, 양토 (Loam)인 차항통 (Chahang series)

토양은 경사도가 커지면서 토사유출농도도 점증적으로 늘어나면서 계속해서 유출농도가 커짐을 알 수 있었다. 위와 같은 경사도에 대한 반응의 결과로 차항통 (Chahang series) 토양이 경사지 밭 토양에서 석비레 (Saprolite) 토양보다도 토양유실에 더 취약하게 나타났다. 특히, 경사도가 7% 보다 낮은 경우에 이러한 경향은 뚜렷하였다. 이와 같이 시험에 사용한 차항통 (Chahang series) 토양이 용적비중이 상당히 낮음에도 불구하고 유실에 취약한 것은 Table 1의 토양입경 분포도에 나타났듯이 입경분포 비율의 많은 차이에 의해서 수분 침투율이 낮아 수분 침출량이 늘어나 결국은 토양 경사면위에서 Stream Power가 커지는데 기인되는 것으로 추정된다 (Fig.1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8).

Wischmeier et al. (1978)의 보고에 의하면 Silt, Fine silt, Very fine sand 등의 분포량이 많을수록 토양유실에 취약한 것으로 알려져 있으며, 이들 입자가 차항통(Chahang series) 토양에 많이 분포하였다. 또한 차항통 (Chahang series) 토양이 석비레 (Saprolite) 토양보다 공극율이 높고 유효포화량도 높게 나타났는데 공극율과 유효포화량은 포화수리전도도와 용적비중에 대하여 역비례 관계를 나타내었다 (Table 2). 따라서 용적비중과 포화수리전도도가 낮은 차항통 (Chahang series) 토양이 석비레 (Saprolite) 토양보다 유실이 많이 일어날 가능성이 크다. 그리고 인위적으로 조성한 시험구의 토양 안정화가 이루어지지 않아 수분 침투율과 수분 침출량에 어느 정도 영향을 미쳤을 것으로 추정된다. 그래서 과도한 객토, 경운 등으로 경작지의 토양이 교란된 경우 강우가 발생했을 때 일어나는 토양유실의 원인을 밝힐 필요가 있다.

요 약

대관령 지역에 많이 분포하고 있는 두 토양, 석비레 (Saprolite) 토양과 차항통 (Chahang series) 토양을 사용하여 경사면이 균일한 나지 토양에서 경사도 0.5, 7, 15, 30%와 강우강도 20, 60, 90 mm hr⁻¹의 조합으로 12처리를 하여 토양 유실에 대한 인공강우실험을 하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

석비레 (Saprolite) 토양에서는 경사도 7%까지는 토양유실이 적게 나타나다가 7% 이상의 경사면에서는 급격하게 증가하였고 차항통 (Chahang series) 토양은 경사도, 강우강도 증가와 함께 유실이 점증하였고, 경사도와 강우강도가 적은 조합에서도 유실이 다소 크게 나타났다. 경사도 15, 30%와 강우강도 60, 90mm/hr의 조합처리에서는 두 토양 모두 토양유실이 크게 일어나고, 두 토양 간에 큰 차이는 없었다.

차항통 (Chahang series) 토양은 경사도, 강우강도가 적은 조합에서도 유실이 일어날 위험성이 크므로 토양관리에 주의를 요한다.

인 용 문 헌

- Bouyoucos, G.J. 1953. The clay ratio as a criterion of susceptibility of soils to erosion. *Jour. Am. Soc. Agr.* 27:738-741.
- De Ploey, J.J. Savat, and J. Moeyersons, 1976. The differential impact of some soil loss factors on flow, runoff creep and rainwash, *Earth Surf. Processes Landforms* :151-161.
- Duly, F.L. and Domingo, C.E. 1932. The effect of the degree of slope on runoff and soil erosion. *Jour. Am. Soc. Agr.* 45:352-360.
- Ekern, P.C. 1935. Problems of raindrop impact erosion. *Agr. Eng.* 34:23-25.
- Ellison, W.D. and C. Pomereate. 1944. Rainfall applicator. *Agr. Eng.* 25:22-23.
- Emily, T. Essig, Corrado Corradinib, Renato Morbidellib, Rao S. Govindaraju. 2009. Infiltration and deep flow over sloping surfaces: Comparison of numerical and experimental results. *Journal of hydrology.* 374:30-42.
- Etse, S.K. and J.L. M.P. de Lima. 1987. Determination and analysis of surface depression storage and overland flow of different tillage models as a function of slope and rainfall intensity. M. Sc. Thesis, Agricultural University Wageningen, pp. 1-43.
- Govers, G., 1991. Field study on topographical and topsoil effects on runoff generation, *Catena.* 18:91-111.
- Lehrsch, G.A., F.D. Whisler and M.J. M. Romkens. 1988. Selection of a parameter describing soil surface roughness. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:1439-1445.
- Li Chen and Michael H. Young, 2006. Green-Ampt infiltration model for sloping surfaces. *Water Resources Research.* 42:1-9.
- Meyer, L.D. 1960. Use of the rainulator for runoff plot research. *Soil Sci. Soc. Am. Pro.* 24:319-321.
- Meyer, L.D. and W.H. Wischmeier. 1969. Mathematical simulation of the process of soil erosion. *Trans. Am. Soc. Agr. Eng.* 754-758.
- Middleton, H.E. 1930. Properties of soils which influence soil erosion. U.S.D.A. Tech. Bull. No. 178.
- Mitchell, J.K. and Jr. B.A. Jones. 1976. Micro-relief surface depression storage: analysis of models to describe depth-storage function. *AWRA Water Resources Bull.* 12:1205-1222.
- Mitchell, J.K. and Jr. B.A. Jones. 1978. Micro-relief surface depression storage: changes during rainfall events and their application to rainfall-runoff models. *AWRA Water Resources Bull.* 14:777-802.
- Oh, W.K., I.S. Ryu, and Y. S. An. 1973. Soil Conservation and Maintenance of Fertility on Upland Soils. *Korean J. Soil. Sci. Fert.* 6(1):53-60.

- Philip, J.R., 1991. Hillslope infiltration; planar slopes, *Water Resour. Res.* 27(1):109-117.
- Posen, J., 1984. The influence of slope angle on infiltration rate and Hortonian overland flow volume. *Z. Geomorphol. N. F.* 49:117-131.
- Ribolzia, O., J. Patinb, L. M. Bressonc, K. O. Latsachackd, E. Moucheb, O. Sengtaheuanghoung, N. Silveraf, J. P. Thiébauxd, C. Valenting. 2011. Impact of slope gradient on soil surface features and infiltration on steep slopes in northern Laos. *Geomorphology.* 127:53-63.
- Schmidt, H.L. and L.B. Leopold. 1964. Relative erodibility of three loss derived soils. *Soil Sic. Soc. Am. Proc.* 28:570-577.
- Whang, E. 1966. Studies on the soil erosion of the various type bench terrace composed of the granite soil. *Korean Soc. Agr. Eng.* 3:23-30.
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses -A Guide to Conservation Planning.* USDA Hand Book. 537, Washington, D.C.
- Wischmeier, W.H. and H.A. Walter. 1959. A rainfall erosion index for a Universal soil loss equation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 23:246-249.
- Wischmeier, W.H. and J.V. Mannering. 1965. Effect of organic matter content of the soil on infiltration. *J. Soil and Water Cons.* 20:150-152.
- Wischmeier, W.H. and J.V. Mannering. 1969. Relation of soil properties to its erodibility. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 33:131-137.
- Woo, B.M. 1974. Studies on the development of accelerating measures of establishment of vegetation on bare slopes. *J. Korean For. Soc.* 24:1-24.
- Woo, B.M. 1975. Studies on soil conservation effects of the straw-mat mulching (Ⅲ) - Effects of the mat structures and Its practicality. *J. korean For. Soc.* 27:5-14.