

집중강우시 우리나라 밭토양의 토성별 경사도별 물유출 양상

Runoff in upland soils at a torrential rain with soil texture and slopeness

정강호, 허승오, 하상건

Kangho, Jung, Seungoh Hur, and Sanggeon, Ha

요 지

본 연구는 1981~1991년 농업과학기술원 라이시미터에서 수집한 결과를 이용하여 집중강우시 경사지 밭토양의 물유출 특성을 구명하였다. 7~9월 집중강우시 토양 침투수나 지표 유거수는 농업지역에서 환경으로 물질이 이동하는 주요 경로이며 특히 경사지 밭토양에서 지표 유거수는 토양유실의 주원인 중 하나이기 때문에 이에 대한 이해는 매우 중요하다. 이를 위해 강우량, 지표 유거수량, 지하 침투수량 측정 자료 중 호우주의보가 발령되는 일강우량 80mm이상일 때를 대상으로 하여 토성과 경사도에 따른 강우량과 유거수, 침투수의 관계를 분석하였다.

강우량이 적을 때 강우에 대한 침투수와 유거수의 비율은 강우시 표토의 토양수분함량에 많은 영향을 받는다. 이는 표토의 토양수분함량에 따라 유출 또는 침투 발생 유효강우량이 결정되기 때문이다. 강우량이 적을 때의 유거수량과 침투수량을 판단하기 위해 범용토양유실예측공식(Universal soil loss equation, USLE)에서는 0.5 inch 즉, 12.5 mm 이상의 강우를 유출에 대한 유효강우로 가정하고 있으며 많은 모형에서 토양의 침투속도, 포장용수량, 강우시점의 토양수분함량의 함수로 유출 또는 침투 유효강우량을 산정하고 있다. 그러나 강우량이 클 때는 강우에 대한 침투수와 유거수에 비율에 토양수분함량이 미치는 영향이 비교적 적기 때문에 토양의 수분함량에 대한 고려없이 강우와 침투수, 유거수에 대한 관계를 평가하는 것이 가능하였다.

경사도 10%, 경사장 15m, 피복작물 콩인 양토를 기준으로 할 때 강우량과 침투수의 관계는 $I_{10}(\text{mm}) = 0.44R(\text{mm}) + 5.8(r^2=0.55)$ 이었다. y절편이 발생한 이유는 이전 강우에 의해 침투되고 있는 물이 있음을 함축하며 기울기 0.40은 강우의 40%가 지하로 침투하였음을 의미한다. 침투수량은 토성별로 양토를 1.0으로 기준할 때 사양토가 1.12로 가장 컸고, 식양토 0.94, 식토 0.91로 평가되었다. 이는 토성간의 침투속도 및 투수속도의 경향이 반영된 것이다. 경사에 따라서는 경사도가 증가할수록 지수적으로 감소하였으며 10% 경사일 때를 기준으로 $I(\text{mm}) = I_{10} \times 1.17 \times e^{-0.0164s(\%)}$ 로 나타났다. 같은 조건에서 강우량과 유거수의 관계는 $Ro_{10}(\text{mm}) = 5.32e^{0.11R(\text{mm})}(r^2=0.69)$ 로 나타났다. 이는 토양의 투수특성에 따라 강우량 증가에 비례하여 점증하는 침투수와 구분되는 현상이었다. 경사와 토양이 같은 조건에서 나지의 경우 역시 $Ro_{B10}(\text{mm}) = 20.3e^{0.08R(\text{mm})}(r^2=0.84)$ 로 지수적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 유거수량은 토성별로 양토를 1.0으로 기준할 때 사양토가 0.86으로 가장 작았고, 식양토 1.09, 식토 1.15로 평가되어 침투수에 비해 토성별 차이가 크게 나타났다. 이는 토성이 세립질일 수록 유거수의 저항이 작기 때문으로 생각된다. 경사에 따라서는 경사도가 증가할수록 증가하였으며 10% 경사일 때를 기준으로 $Ro(\text{mm}) = Ro_{10} \times 0.797 \times e^{-0.021s(\%)}$ 로 나타났다.

핵심용어 : 침투수, 유거수, 강우, 호우, 라이시미터

1. 서 론

토양에서 물의 이동은 지하 침투와 지표 유거의 형태로 구분되며 지하로 침투된 물은 토양에 저장되어 증

1) 정회원·농업과학기술원 토양관리과 토양수분보전연구실E-mail : stealea@rda.go.kr

정회원·농업과학기술원 토양관리과 토양수분보전연구실E-mail : sohur@rda.go.kr

정회원·농업과학기술원 토양관리과 토양수분보전연구실E-mail : ha0sg@rda.go.kr

발산되거나 천층 지하수위나 불투수층을 만나 지하 유출(subsurface flow or throughflow)되어 서서히 지표수로 이동하며 장기간에 걸쳐 심층 지하수로 이동한다. 반면 지표에서 유거된 물은 세류를 형성하여 지표수계로 바로 유입된다. 토양에 침투된 물에 비해 지표에서 유거된 물은 많은 양이 빠른 속도로 이동하기 때문에 이용성이 높지 않으며 때로는 홍수의 원인이 될 수도 있다.

지표 유거량은 조건에 따라 달라지나 경사가 클수록, 피복이 적을 수록 많아진다. 우리나라 국토의 8-9%를 차지하는 밭은 90% 이상이 경사도 2% 이상의 경사지에 위치하고 있으며 경사도 15% 이상에 위치하는 밭도 23%에 이른다. 밭은 경사지에 위치하면서도 임야에 비해 토지 피복도가 상당히 낮기 때문에 집중강우시 지표 유거량이 많으며 이는 농업지역에서 환경으로 물질이 이동하는 주요 경로인 동시에 토양유실을 유발하는 주원인이기도 하다.

우리나라에서는 경사지 밭토양의 물유출의 중요성에 비해 연구성과의 축적이 상당히 미흡하다. 이는 수자원 분야에서는 광역 규모의 연구를 수행하기에 포장 단위 실험을 수행하는데 익숙하지 않고 농업 분야에서는 밭토양에서의 물유출과 토양의 유실이 생산성과 직결되는 문제가 아니기 때문에 등한시한 결과이다. 또한 일부 연구가 되어있다 하더라도 분야간 교류가 부족하여 연구결과의 공유가 부족한 측면이 있다.

이에 본 논문에서는 농업과학기술원에서는 토성, 경사도, 경사장이 다른 토양보전 연구용 라이시미터 54개를 설치하여 1983년부터 현재까지 20년 이상 연구한 결과 중 1981년부터 1991년까지의 자료를 정리하여 집중강우시 우리나라 밭토양에서의 물유출 양상에 대한 결과를 소개하고자 한다.

2. 재료 및 방법

강우량이 적을 때 강우에 대한 침투수와 유거수의 비율은 강우시 표토의 토양수분함량에 많은 영향을 받는다. 이는 표토의 토양수분함량에 따라 유출 또는 침투 발생 유효강우량이 결정되기 때문이다. 강우량이 적을 때의 유거수량과 침투수량을 판단하기 위해 범용토양유실예측공식(Universal soil loss equation, USLE)에서는 0.5 inch 즉, 12.5 mm 이상의 강우를 유출에 대한 유효강우로 가정하고 있으며 많은 모형에서 토양의 침투속도, 포장용수량, 강우시점의 토양수분함량의 함수로 유출 또는 침투 유효강우량을 산정하고 있다. 그러나 강우량이 클 때는 강우에 대한 침투수와 유거수에 비율에 토양수분함량이 미치는 영향이 비교적 적기 때문에 토양의 수분함량 측정자료가 없다 하더라도 강우와 침투수, 유거수에 대한 관계의 평가할 수 있다고 가정하였다.

호우주의보가 발령되는 일강우량 80mm이상일 때를 집중강우가 발생한 날로 선정하고 이 때의 강우량, 지표 유거수량, 지하 침투수량 측정 자료를 이용하여 토성과 경사도에 따른 강우량과 유거수, 침투수의 관계를 분석하였다. 토성에 따른 물유출 양상을 비교하기 위해 사양토, 양토, 식양토, 식토의 네 개 토성을 선정하였다. 경사도는 10%, 경사장은 5m였으며 피복작물은 콩을 선택하였다. 경사도에 따른 물유출 양상을 비교하기 위해 경사도 10, 20, 30%의 세 처리를 두었으며 공시토양은 충정 양토(Fine loamy mesic family of Typic Hapleudults), 경사장은 15m, 피복작물은 콩을 선택하였다.



Fig. 1. Lysimeter for soil conservation study

3. 결과 및 고찰

경사도 10%, 경사장 15m, 피복작물 콩인 양토를 기준으로 할 때 강우량과 침투수의 관계는 $I(\text{mm}) = 0.44R(\text{mm}) + 5.8 (r^2=0.55)$ 이었다. y절편이 발생한 이유는 이전 강우에 의해 침투되고 있는 물이 있음을 함축하며 기울기 0.40은 강우의 40%가 지하로 침투하였음을 의미한다. 침투수량은 토성별로 양토를 1.0으로 기준할 때 사양토가 1.12로 가장 컸고, 식양토 0.94, 식토 0.91로 평가되었다. 이는 토성간의 침투속도 및 투수속도의 경향이 반영된 것이다. 경사에 따라서는 경사도가 증가할수록 지수적으로 감소하였으며 10% 경사일 때를 기준으로 $I(\text{mm}) = 110 \times 1.17 \times e^{-0.0164s(\%)}$ 로 나타났다.

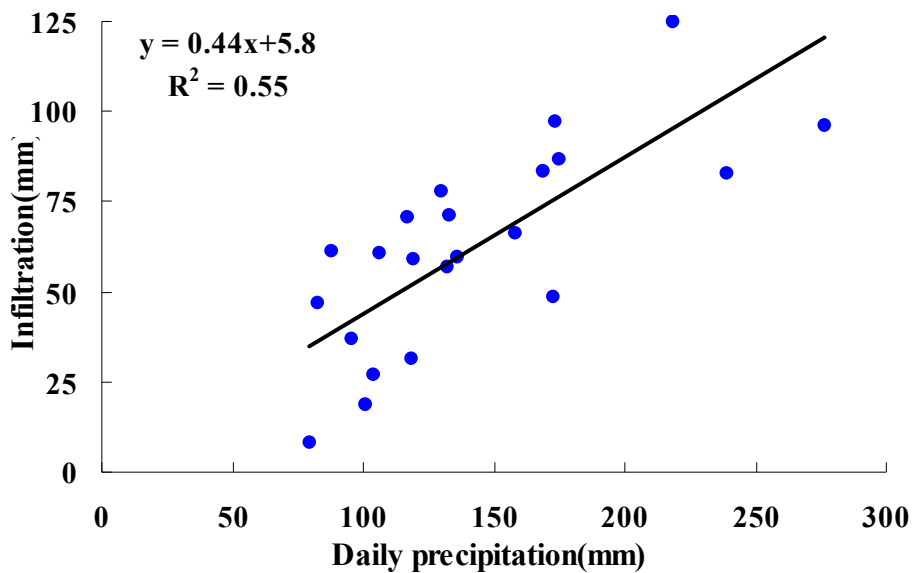


Fig. 2. Relationship with precipitation and infiltration at torrential flow of over 80 mm day⁻¹

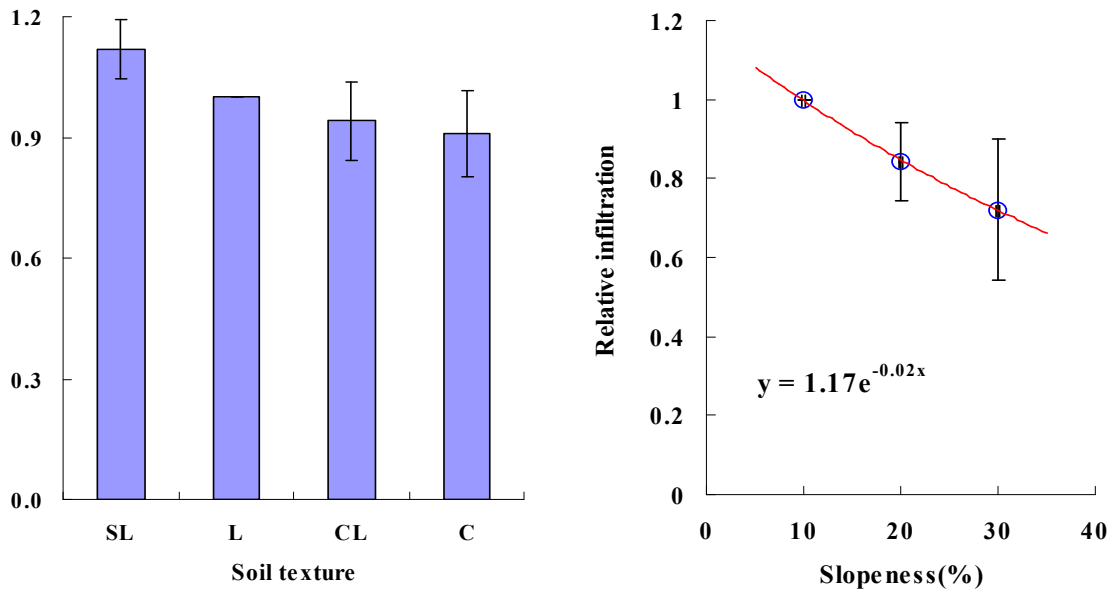


Fig. 3. Comparison of infiltration with soil texture and slopiness

같은 조건에서 강우량과 유거수의 관계는 $Ro10(mm) = 5.32e^{0.11R(mm)}$ ($r^2=0.69$)로 나타났다. 이는 토양의 투수특성에 따라 강우량 증가에 비례하여 점증하는 침투수와 구분되는 현상이었다. 경사와 토양이 같은 조건에서 나지의 경우 역시 $RoB10(mm) = 20.3e^{0.08R(mm)}$ ($r^2=0.84$)로 지수적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 유거수량은 토성별로 양토를 1.0으로 기준할 때 사양토가 0.86으로 가장 작았고, 식양토 1.09, 식토 1.15로 평가되어 침투수에 비해 토성별 차이가 크게 나타났다. 이는 토성이 세립질일 수록 유거수의 저항이 작기 때문으로 생각된다. 경사에 따라서는 경사도가 증가할수록 증가하였으며 10% 경사일 때를 기준으로 $Ro(mm) = Ro10 \times 0.28 \ln(x) + 0.36$ 으로 나타났다.

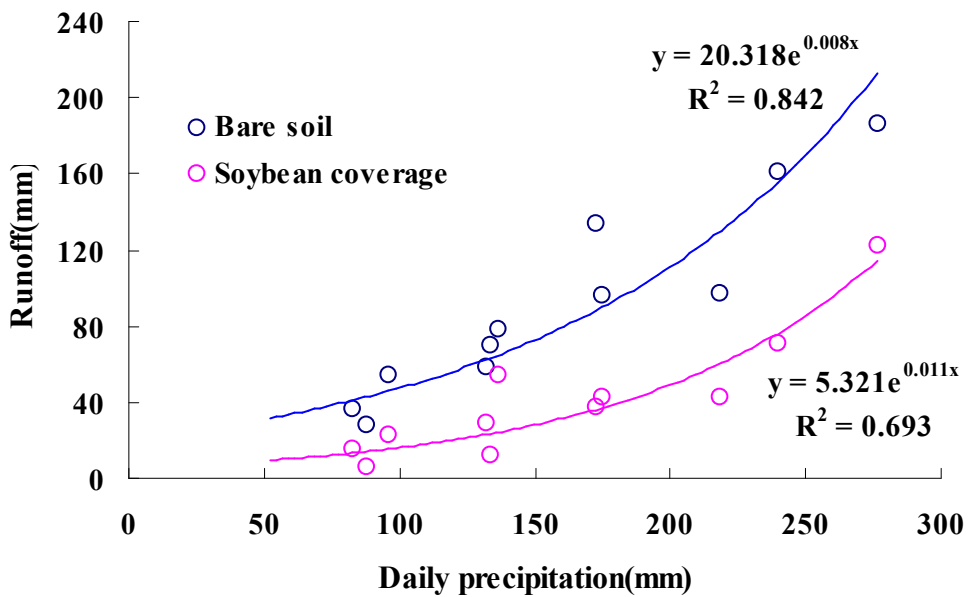


Fig. 4. Relationship with precipitation and runoff at torrential flow of over 80 mm day⁻¹

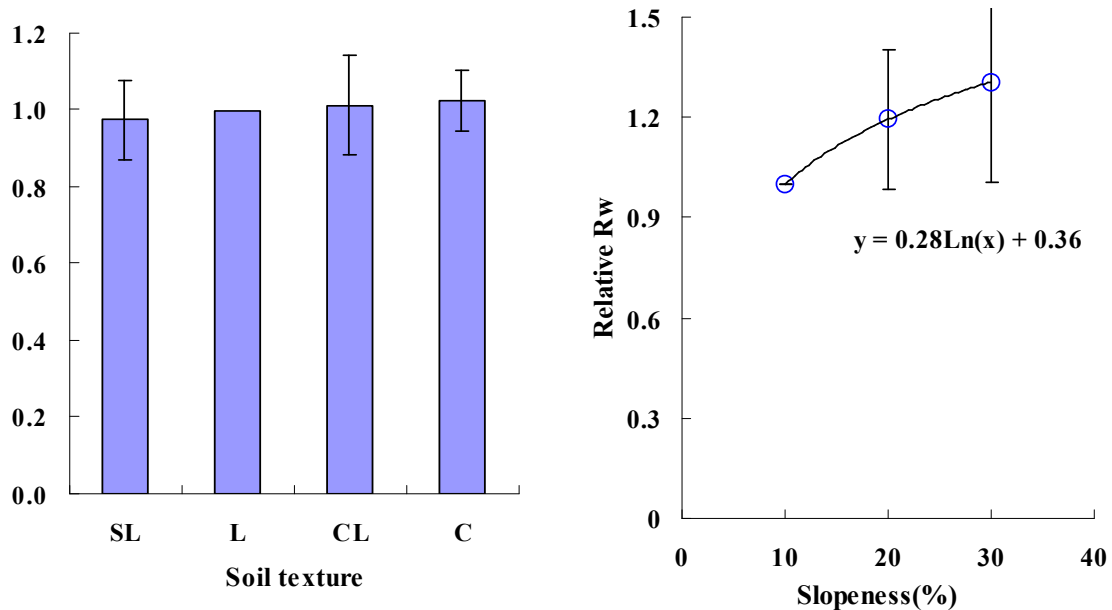


Fig. 5. Comparison of runoff with soil texture and slopiness

4. 결 론

1981년부터 1991년까지 11년간 80mm/day 이상의 집중강우시 강우량, 유거량, 침투량을 측정하여 분석한 결과 밭토양의 물유출 양상을 평가한 결과 침투량은 강우량에 직선적으로 비례하여 증가하였으며 유거량은 지수적으로 증가하였다. 나지와 콩 피복상태의 유거량을 비교한 결과 강우량이 많을 수록 두 처리의 유거량 차이가 증가하였으며 이는 강우가 많을 수록 또는 강우강도가 클 수록 식생피복에 의한 유출속도 저감의 역할이 커짐을 의미한다. 토성에 따라서 대공극이 많은 사질로 갈 수록 침투수량이 많았으며 대공극이 적은 식질로 갈 수록 유거수량이 많았다. 침투수량은 경사가 급할 수록 감소하였으며 유거수량은 경사가 급할 수록 증가하였다.

참 고 문 헌

1. Agricultural Sciences Institute (1992) Introduction of Korean Soils. Suwon: ASI
2. Korea National Statistical Office(NSO) (2004) <http://www.nso.go.kr/eng/> for consumer price index
3. Ministry of Agriculture and Forestry(MAF) (2004) Agricultural and Forestry Statistical Yearbook. Seoul: MAF
4. Oh, S.J., S.K. Kim, S.H. Kim and J.M. Lee(1984) "Soil erosion by slope steepness and length" In Research Report of AIS in 1984. Suwon: Agricultural Sciences Institute(ASI)
5. Jung,P.K., S.J. Oh, and K.S. Yoo(1991) "Soil erosion by soil texture" In Research Report of AIS in 1991. Suwon: Agricultural Sciences Institute(ASI)