한국토양비료학회지 제 40권 3호
Korean J. Soil Sci. Fert. Vol. 40, No. 3, 208-213 (2007)

연구보문

집중강우시 우리나라 밭토양의 토성과 경사에 따른 물유출 양상

정강호* · 허승오 · 하상건 · 박찬원 · 이현행

농업과학기술원

Runoff Pattern in Upland Soils with Various Soil Texture and Slope at Torrential Rainfall Events

Kang-Ho Jung,* Seung-Oh Hur, Sang-Geon Ha, Chan-Won Park, and Hyun-Haeng Lee

National Institute of Agricultural Science and Technology Suin-ro 150, Seodun-dong Kweonseon-gu, Suwon-si 441-707, Kerea

When overland flow water is small and slow, it moves down a stream slowly and we use it as available resource. However, it could not only be good for nothing but arouse an inundation if a lot of runoff pour down to stream at a torrential rain. So it is important to know how much water to flow out and be stored in soil and on land in order to predict a flood and conserve soil and water quality. We intended to develop the prediction model of runoff in upland at a torrential rain and conducted lysimeter study in soybean cultivation and bare soil with 3 slopeness, 3 slope length and 5 soil texture from 1985 to 1991. The data of rainfall and runoff were used when daily rainfall was over 80 mm, the level of torrential rain warning. Minimum rainfall occurring runoff (MROR) was dependent on surface coverage and slope length. However soil texture and slopeness had a little influence on MROR. Runoff after MROR increased in proportion to precipitation which depended on surface coverage, soil texture and slope. Runoff ratio was larger in fine texture and bare soil than coarse soil and soybean coverage. Runoff ratio was in proportion to a square root of slope angle(radian) and reduced with slope length to converge a certain value. From these basis, we developed the prediction model following as

Runoff(mm) = $a(s^{0.5} + l^{b})$(Rainfall(mm) - 80(1-e^{-bl}))

where a is a coefficient relevant soil hydraulic properties, b is a surface coverage coefficient, s is a slope angle and l is a slope length. The coefficient a was 0.5 in sandy loam and 0.6 in clay, and b was 0.06 in bare soil and 0.5 in soybean cultivation.

Key words : Rainfall, Runoff, Torrential rain, Slope, Soil texture

서 언

토양에서 물의 이동은 지하 침투와 지표 유거의 형태로 구분되며 지하로 침투된 물은 토양에 저장되어 증발산되거나 천층 지하수위나 불투수층을 만나 지하유출(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 급할수록, 피복이 적을수록 많아진다. 우리나라 국토의 7.2%를 차지하는 밭은 90% 이상이 경사도 2% 이상의 경사지에 위치하고 있으며 경사도 15% 이상에 위치하는 밭도 23%에 이른다(농림부, 2005; 농업기술연구소, 1992). 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.

지표 유거는 강우강도가 토양 침투속도를 초과할 때 발생하며 이 때까지의 강우량을 유거 발생 최소강우량이고 할 수 있다. 토양 침투속도는 토양의 수분함량에 따라 달라지는데 토양이 건조할 때는 토양의 미세공극으로 물이 견인되는 속도가 빠르기 때문에 침투속도가 크나 토양 공극이 물로 포화되어감에 따라 표

접 수 : 2006. 11. 3 수 리 : 2007. 5. 12
*연락저자 : Phone: +82312900272,
E-mail: stealea@rda.go.kr

토의 포화 수리전도도에 수렴하게 된다. 따라서 봄, 가을과 같이 건조한 시기에는 토양이 포화될 때까지 필요한 물량이 많아 유거발생 최소강우량이 크며 이전 강우조건에 따라 유거 발생 최소강우량의 변이 역시 크다. 반면 여름철의 경우 잦은 강우로 인해 유거발생 최소강우량이 작고 강우시 토양에 침투되는 비율이 적다.

강우량이 적을 때 강우에 대한 침투수와 유거수의 비율은 강우시 표토의 토양수분함량에 특히 많은 영향을 받는다. 이는 표토의 토양수분함량에 따라 유거가 발생하는 최소의 강우량이 결정되기 때문이다. 그러나 강우량이 클 때는 강우에 대한 침투수와 유거수의 비율에 토양수분함량이 미치는 영향이 비교적 적기 때문에 토양의 수분함량 차이를 무시하고 특정한 유거 발생 최소 강우량을 가정할 수 있다. 예를 들어 범용토양유실예측공식(Universal soil loss equation, USLE)에서는 0.5 inch 즉, 12.5 mm 이상의 강우를 유출에 대한 유효강우로 가정하고 있다.

본 연구에서는 우리나라 여름철의 집중강우 조건에서 유거 발생 최소 강우량을 구명하고자 하였으며 토성, 경사의 차이에 따른 물유출 양상을 해석하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구에는 1986년부터 1991년까지 경기도 수원 소재 농업과학기술원 토양보전 라이시미터에서 수행되었다. 라이시미터는 "갑"과 "을"의 두 부분으로 나뉘어 있다. "갑"의 경우 토성에 따른 영향을 비교하기 위하여 사양토, 양토, 식양토, 식토의 4개 토성의 실험구를 경사도 15%, 경사장 5 m 조건에서 6반복으로 설치하였다. "을"의 경우 경사에 따른 영향을 비교하기 위하여 송정통(Fine loamy mesic family of Typic Hapleudults)을 시험토양으로 하여 경사도 3처리(10, 20, 30%), 경사장 3처리(5, 10, 15 m)로 9처리를 두었으며 3반복으로 설치하였다. "갑"은 유저 라이시미터로 50 cm 깊이로 조성하였으며 강우량, 유거량, 지하침투량을 조사하였고 "을"은 무저 라이시미터로 강우량과 유거량을 조사하였다. 지표 피복은 나지와 콩 재배의 두가지 형태로 하였다. 토성별 연구는 1986년부터 1991년까지 6년간 수행되었으며 경사별 연구는 1986년부터 1988년까지 3년간 수행되었다.

집중 강우의 발생은 호우주의보가 발령되는 일 강우량 80 mm 이상으로 가정하였다. 1985년부터 1991년까지 이에 해당하는 경우로 자료를 취득한 경우는 86년 1회, 87년 2회, 88년 1회, 89년 1회, 90년 4회, 91년 2회로 총 11회였다. 대상일 중 일 최소 강우량은 88.0 mm였으며 일 최대 강우량은 276.3 mm였다.

결과 및 고찰

토성별 물유출 양상 구명을 위한 "갑" 시험구의 경우 토양 반응은 pH 5.0~5.8의 약간 산성이었으며 유기물 함량은 10~20 g kg^{-1}으로 높지 않았다. 양이온 교환 용량 8~12 $cmol_c$ kg^{-1} 로 우리나라 일반적인 밭토양의 범위내에 분포하였다. 경사별 물유출 양상 구명을 위한 "을" 시험구는 송정통에 해당하는 토양으로 표토 토성은 미사질 양토였으며 자갈은 없었다.

토성에 따른 물유출 양상 토성별 유거 양상을 Fig. 1에 나타내었다. 콩과 나지에서 모두 강우량의 증가에 따라 직선적으로 유거량이 증가하고 있다. 회귀식은 1차 직선식으로 아래와 같은 형태였다.

$$y = a(x-b) \qquad \text{-------} (1)$$

이 때 b(x절편)는 유거 발생 최소 강우량 의미하며 a(기울기)는 유거 시작 후 강우량에 대한 유거량의 비(이후 유거율)를 의미한다. 유거 발생 최소강우량 중 일부는 토양수분함량 증가에 기여하며 일부는 지하로 침투하거나 2차 유출될 수 있다. 이는 강우시 토양 물보유능(Water retaining capacity in soil)으로 볼 수 있다(OECD, 2001). 또한 다른 일부는 고랑 등 미

Table 1. Soil characteristics in soil texture study plot and slope study plot.

Division		pH	OM†	CEC‡	Particle size distribution		
					Sand	Silt	Clay
		1:1	g kg^{-1}	cmol kg^{-1}	---------- % ----------		
Soil Texture plot	Sandy loam	5.7	14.1	7.5	53.0	32.6	14.4
	Loam	5.8	9.5	8.0	49.1	31.9	19.0
	Clay loam	5.0	10.2	8.1	29.1	43.3	27.6
	Clay	5.1	20.0	12.2	16.4	43.0	40.6
Slope plot	Silt loam	5.9	21.2	7.9	29.4	58.7	11.9

† Organic matter

‡ Cation Exchange Capacity

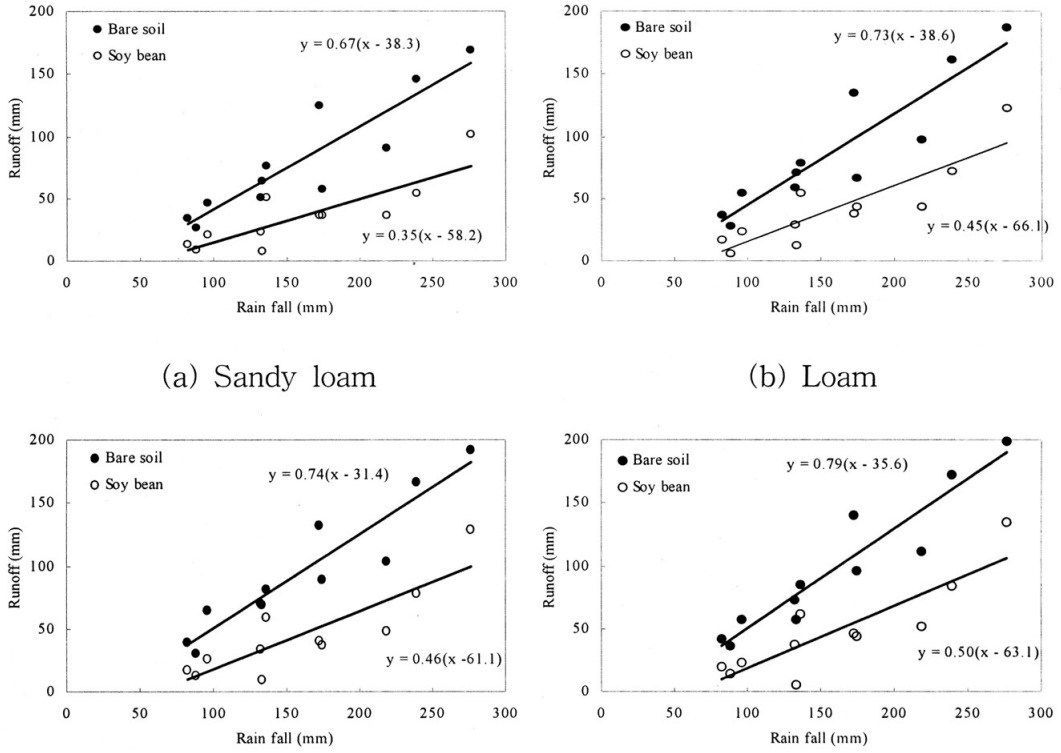


Fig. 1. Runoff pattern with surface coverage and soil texture.

세지형, 지표 피복물질, 식물군락에 따라 농경지 내에서 일시적으로 저류된 것일 수 있다. 이러한 일시적인 저류량을 지표 물보유능(Water retaining capacity on land; OECD, 2001)이라고 표현하기도 한다. 콩 재배의 경우 유거 발생 최소 강우량이 나지에 비해 20 mm 정도 크게 평가되었으며 이는 작물재배시 지표 피복에 의해 추가적으로 갖는 지표 물보유능이라 할 수 있으며 일시적으로 홍수를 저감하는 농업의 다원적 기능으로 이해할 수 있다.

토성에 따라서 나지의 유거 발생 최소 강우량은 31.4~38.6 mm로 토성에 따른 특이한 경향은 없었으며 평균은 36.0 mm로 평가되었다. 콩 재배시 역시 유거 발생 최소 강우량의 토성에 따른 경향을 찾기는 어려웠으며 그 값의 범위는 58.2~66.1 mm, 평균은 62.1 mm로 평가되었다(Table 2). 따라서 경사도 15%, 경사장 5 m의 조건에서 우리나라의 유거 발생 최소강우량은 나지에서는 36.0 mm, 콩 재배시 62.1 mm로 판단되며 80 mm 이상 호우 발생시 콩을 재배하므로써 나지에 비해 26.1 mm를 지표에 저류하는 것으로 평가되었다.

토성에 따른 경향을 찾기 어려웠던 유거 발생 최소 강우량과 달리 유거율은 나지와 콩 재배 모두에서 명확한 경향을 나타내었다. 조립질 토양일 수록 유거율이 낮게 나타났으며 세립질 토양일 수록 유거율이 높게 나타났다. 이는 토성보다는 토양의 수리특성과 관련이 있는 것으로 세립질 토양일 수록 침투 및 투수속도가 느려져 유거율이 높은 것으로 판단된다. 나지에서 사양토의 경우 유거율이 67%이었으며 양토, 식양토의 경우 73~74%로 높았다. 콩 재배시에도 사양토의 경우 유거율이 35%에 불과하였으나 양토, 식양

Table 2. Runoff rate(a) and minimum rainfall occurring runoff(b) with soil texture at 15% slope and 5 m slope length under torrential rains.

Soil texture	No cover		Soybean	
	a	b	a	b
	%	mm	%	mm
Sandy loam	67	38.3	35	58.2
Loam	73	38.6	31.4	35.6
Clay loam	74	31.4	46	61.1
Clay	79	35.6	50	63.1

Assumed that Runoff = a(Rainfall - b) when Rainfall ≥ 80 mm.

토에서는 45～46%로 높아졌다(Table 2). 따라서 식(1)의 a는 토성에 따른 변수이며 b는 지표 피복에 따른 변수로 볼 수 있다.

경사에 따른 물유출 양상 앞에서 집중강우시 지표 유거는 유거 발생 최소 강우량과 유거율에 따라 결정된다고 고찰하였다. 유거 발생 최소 강우량은 토지 관리에 따라 달라지는 물 보유능의 결과이며 유거율은 토성과 피복 형태에 따라 달라졌다. 유거율이 토성에 따라 달라진 것은 유거율이 토양의 침투속도에 따라 달라지기 때문이며 피복 형태에 영향을 받은 것은 피복 형태가 유속에 영향을 주기 때문이다.

경사 역시 유속과 물보유능에 영향을 미치기 때문에 경사에 따라 물유출 양상이 달라질 것이다. 강우량에 대한 유거량의 비율은 경사도가 급해질수록 증가하는 것으로 나타났다(Table 3). 해석의 편이를 위해 유거 발생 최소 강우량을 0으로 가정하고 분석하였다. 경사도(%)에 따른 유거율을 1차 직선식으로 회귀하였을 때 결정계수가 경사장에 따라 나지의 경우 0.980-0.999, 콩 재배시 0.949-0.997로 높게 나타나 경사도에 따른 유거율을 1차 직선의 관계로 해석할 수 있었다. 반면 경사에 따른 유속의 변화는 경사각(radian)의 제곱근에 비례한다(Manning, 1891)고 알려져 있다. 유거율이 유속과 정비례한다고 할 때 유거율은 경사의 제곱근을 독립변수로 하여 해석하는 것이 이론적으로 보다 타당하다. 경사각의 제곱근에 따라 유거율을 1차 직선식으로 회귀했을 때의 결정계수가 나지의 경우 경사장에 따라 0.995-0.999, 콩 재배에서 0.949-0.997로 나타났다. 따라서 30% 이하의 경사도에서는 강우량에 대한 유거량의 비를 경사도에 비례하는 것으로 해석하여도 이론적인 방법과 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 경사도(%)와 경사각의 제곱근의 값이 유사한 경향으로 증가하기 때문으로 경사가 급해질수록 경사도와 경사각 제곱근 사이의 값 차이가 커지기 때문에 급경사를 고려하는 경우에는 경사각의 제곱근에 따라 유거율은 모사하는 것이 합당할 것으로 판단된다.

경사도와는 달리 경사장에 따라서는 경사장이 길어질수록 유거율이 감소하는 것으로 나타났다(Table 3). 이론적으로 반반한 명거수로에서는 지표의 저항에 의한 유속 감소와 중력에 의한 유속 증가가 평형에 이를 때까지 유속이 증가한다. 그러나 지표의 경우 미세지형의 굴곡이 존재하기 때문에 물길의 중단이나 굴곡, 저류가 있을 수 있으며 그에 따른 영향으로 경사장 증가에 따라 유거율이 감소한다. 예를 들어 경사방향 직선길이가 9 m에서 제한되는 물길이 있을 때 경사장 5 m에서는 포장외 유거가 발생하나 경사장 10 m에서는 포장외 유거가 발생하지 않을 수도 있다. 경사장 5-15 m 범위에서 경사장에 따라 유거율이 로그 또는 특정값에 수렴하는 형태로 감소한다고 해석할 수도 있고 직선적으로 감소하는 것으로 해석할 수도 있었다. 하지만 세계적으로 가장 범용으로 사용되는 장기 유출 모형인 유출곡선지수법(Curve number, CN)에서 유역 길이는 첨두유량이 발생하는 시간에 영향을 미치는 것으로 가정하고 유역 경사는 지연시간 뿐만 아니라 유거율에 직접 영향을 미치는 것으로 가정하고 있듯이 경사장은 일정 길이 이상에서는 유거율에 영향을 미치지 않는다고 여겨지고 있으며 따라서 경사장 증가에 따른 유거율 감소는 특정값에 수렴하는 형태로 해석하는 것이 합당할 것이다(Kirpich, 1940; Haithaway, 1945; Ponce, 1989).

유거율의 감소는 유거되는 물량의 감소를 의미하나 물의 에너지 또는 토양유실의 감소와 직결되는 것은 아니다. 경사장이 길어지면 물길이 한 곳으로 집중되며 유속이 증가하기 때문에 전체적인 단위면적당 유거량은 감소할 지라도 토양유실은 증가한다.

경사각의 제곱근에 따른 유거율의 회귀식은 $y = ax + b$의 일차식으로 나타났으며 경사장에 따라 기울기 a는 유사하였고 b는 증가하였다(Fig. 2. (a)). 경사장에 따른 유거율의 회귀식은 $y = x^a + b$의 형태로 나타났다(Fig. 2. (b)). 따라서 경사에 따른 물유출 양상을 식(2) 또는 (3)과 같은 식으로 모사할 수 있었다.

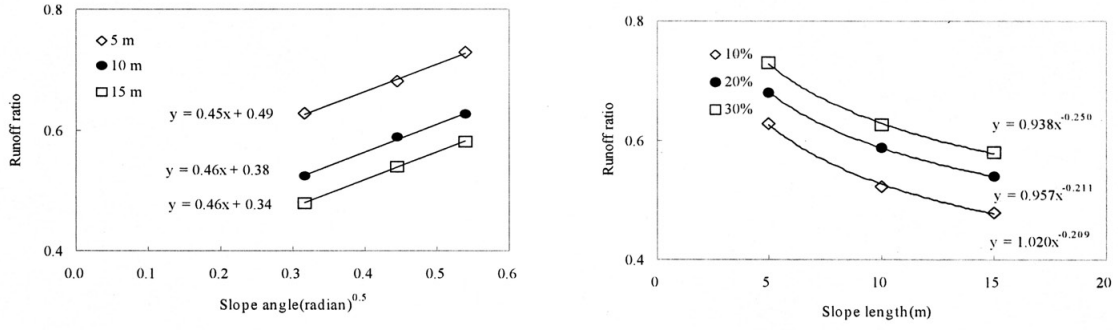
$$\text{Runoff ratio} = as^{0.5} + l^b \quad \text{-------} \ (2)$$

$$\text{Runoff ratio} = a(s^{0.5} + l^b) \quad \text{-------} \ (3)$$

여기에서 s는 경사각(radian)이며 l은 경사장(m)이

Table 3. Runoff ratio to Rainfall with slope in silty loam soil.

Coverage	Slopeness	Slope length		
		5 m	10 m	15 m
None	10%	0.629	0.524	0.479
	20%	0.681	0.589	0.540
	30%	0.730	0.626	0.581
Soybean	10%	0.189	0.144	0.126
	20%	0.216	0.156	0.139
	30%	0.240	0.176	0.158



(a) Slopeness (b) Slope length

Fig. 2. Runoff ratio to rainfall with slope in silty loam soil.

다. 식 (2)에 의해 유거율을 모사한 결과 나지에서 a는 0.426, b는 -0.408로 평가되었고 콩 재배에서는 a는 0.261, b는 -1.39로 평가되었다. 이 때 a와 b는 토양특성과 지표관리에 따라 결정되는 계수이다. 식 (3)에 의해 유거율을 모사한 결과 나지에서 a는 0.652, b는 -0.336으로 나타났고 콩에서는 a는 0.239, b는 -0.584로 평가되었다. 이 식에서 역시 a와 b의 계수는 토양특성과 지표관리에 따른 계수이다. 결정계수는 네 경우 모두 0.9($P<0.001$)이상으로 높았다.

물유출 모의식의 개발 경사와 토성에 따른 물유출 양상을 종합적으로 해석하기 위해 식 (1)과 식 (2) 또는 (3)를 이용하여 아래의 식 (4)와 (5)를 조합하였다.

$$Runoff = (as^{0.5} + l^{b})(Rainfall - c) \quad \text{-------} \ (4)$$

$$Runoff = a(s^{0.5} + l^{b})(Rainfall - c) \quad \text{-------} \ (5)$$

앞에서 동일 경사를 갖는 조건에서 유거율은 토양특성에 따른 함수이며 유거 발생 최소 강우량은 지표피복에 따른 함수임을 고찰한 바 있다. 따라서 식 (4)와 (5)에서 계수 a의 의미가 서로 다른데 식 (4)의 a는 토양 특성과 지표 피복에 따라 달라지는 계수임에 반해 식 (5)의 계수는 지표 피복과 독립된 토양 특성에 따른 계수임을 알 수 있다. 따라서 식 (5)의 a는 식 (1)의 a와 밀접한 관련이 있으며 식 (6)과 같은 관계를 갖는다.

$$a_1 = a_2(s^{0.5} + l^{-b}) \quad \text{-------} \ (6)$$

여기에서 a_1은 식 (1), a_2는 식 (5)의 a이다. 지표에서 물흐름의 굴곡이 심하고 일시적인 저류가 많을 수록 b의 값이 증가한다. "갑"구의 유거율 성적을 이용하여 계수 a_2와 b를 모사한 결과 토양계수 a_2는 사양토 0.503, 양토 0.553, 식양토 0.560, 식토 0.595으로 나타났으며 b는 나지에서 0.037, 콩 재배에서 0.550으로 평가되었다.

계수 c는 유거 발생 최소 강우량으로서 토성에는 독립적이나 지표 피복에 따른 함수였으며 경사에 따라서도 달라질 것이다. 위에서 구명한 계수 a, b값을 이용하여 지표 피복별로 경사에 따른 유거 발생 최소 강우량을 추정한 결과는 Table 4와 같았다. 계수 c는 경사장에 따라 특정값에 수렴하면서 증가하는 경향이었고 나지에서 뚜렷하게 나타났다. 이로 볼 때 계수 c는 아래의 식으로 표현이 가능하다.

$$c_1 = c_2(1-e^{-dl}) \quad \text{-------} \ (7)$$

여기에서 c_2는 지표 피복에 따른 계수이며 d는 경사장에 따른 계수로 볼 수 있다. "을" 시험구의 성적을 이용하여 계수 c_2와 d를 모사한 결과 c_2의 경우 나지 84.0, 콩 80.0으로 비슷하게 평가되었으며 d는 나지 0.047, 콩 0.517로 식 (6)의 b와 유사하였다. 그런데 이 결과는 c_2가 지표 피복에 관여하는 계수라는 해석을 반박한다. 오히려 c_2는 상수이며 d가 지표 피복특성을 나타내는 계수라고 해석하는 것이 타당하다. 다시 말해 지표 피복이 유속이나 지표 물보유능에 미치는 영향이 경사장에 따라 달라지기 때문에 지표 피복계수가 경사장에 대한 계수로 표현되는 것이다. 이러한 가정에 입각하여 식 (5)와 식 (7)을 다음과 같이 조합하였다.

$$Runoff = a(s^{0.5} + l^{b})(Rainfall - c(1-e^{-bl})) \quad \text{-------} \ (8)$$

여기에서 a는 토양의 침투, 투수특성과 관련된 토양계수, b는 지표 피복의 영향을 나타내는 지표피복계수, c는 상수이다. 나지의 b를 0.063, 콩 재배시 b를 0.508, c를 80.0로 적용하였을 때 유거량 실측치와 추정치를 비교한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 이 그림은 식 (8)이 지표 피복, 토성, 경사 특성에 관계없이 집중강우시 유거량을 잘 모사할 수 있음을 보여주고 있다($r^2 = 0.841$, $P<0.001$). 이 식을 이용하여 집중강우시 유거량을 모사하면 경사도 10%, 경사장 10 m, 양토를 기준으로 할 때 나지에서는 일강우량 80 mm

Table 4. Estimated minimum rainfall occurring runoff using coefficient a2 and b in equation 6.

Coverage	Slopeness	Slope length		
		5 m	10 m	15 m
None	10%	16.6	35.3	44.7
	20%	17.4	31.1	41.4
	30%	16.0	30.7	39.8
Soybean	10%	77.8	81.5	84.8
	20%	77.8	77.5	70.4
	30%	78.2	87.4	89.6

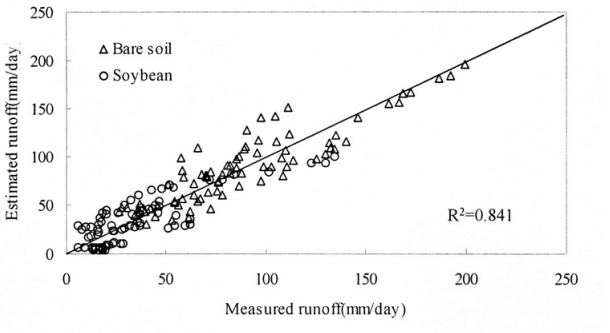


Fig. 3. Relationship with measured and predicted runoff water at torrential rains.

일 때 유거량이 30 mm가 채 되지 않으나 160, 240 mm로 강우량이 증가함에 따라 80, 132 mm로 유거량이 증가하는 것으로 예측되었으며 같은 조건에서 콩 재배시에는 일강우량 80 mm일 때 유거량이 거의 없으며 240 mm에서도 60 mm 정도에 불과한 것으로 예측되었다.

적 요

1985년부터 1991년까지 일 강우량 80 mm 이상일 때의 유거량 자료를 이용하여 집중강우시 물유출 양상을 구명하였다. 지표유거가 발생하는 유거 발생 최소 강우량은 지표피복과 경사장에 따라 결정되는 것으로 나타났으며 토성과 경사각에 따라서는 별 차이를 나타내지 않았다. 유거 발생 최소 강우량을 기준으로 그 이후의 유거량은 강우량에 따라 직선적으로 증가하였다. 그러나 이 때의 기울기 즉, 유거율은 토성, 지표 피복형태, 경사각, 경사장에 따라 달라졌다. 유거율은 토성이 세립질로 침투속도가느릴 수록 커졌으며 콩 재배에 비해 물흐름에 대한 저항이 작은 나지에서 컸다. 또한 유거율은 경사각의 제곱근에 비례하여 증가하였으며 경사장이 길어짐에 따라 특정값에 수렴하면서 감소하였다. 이러한 결과를 바탕으로 집중강우시 유거량을 모사할 수 있는 식을 다음과 같이 개발하였다.

$$Runoff = a(s^{0.5} + l^{b})(Rainfall - 80(1-e^{-bl})) \quad \text{------ (9)}$$

이 식에서 a는 토양의 침투특성과 관련된 토양계수, b는 지표 피복의 영향을 나타내는 지표피복계수, s는 경사각(radian), l은 경사장(m)이다. a는 토성에 따라 0.5～0.6으로 나타났으며 세립질일 수록 값이 컸다. b는 피복조건에 따라 나지에서 0.06, 콩 재배시 0.5 정도로 평가되었다.

인 용 문 헌

Agricultural Sciences Institute. 1992. Introduction of Korean Soils. Suwon

Haithaway, G.A. 1945. Design of drainage facilities. Trans. Am. Soc. Civ. Eng. 110:697-730

Kirpich, Z.P. 1940. Time of concentration of small agricultural watershed. Civil Eng. 10:362

Manning, R. 1891. On the flow of water in open channels and pipes. Trans. Inst. Civil Eng. Ireland. 20:161-207.

Ministry of Agriculture and Forestry(MAF) (2006) Agricultural and Forestry Statistical Yearbook. Seoul: MAF

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)

Ponce, V.M. 1989. Engineering hydrology-Principles and Practice. Prentice Hall. New Jersey. U.S.

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)

OECD. 2001. Environmental Indicators for Agriculture - Volume 3: Methods and Results. p. 255-272. OECD Publication, Paris, France.

Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool, and D.C. Yoder. 1997. Predicting soil erosion y water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation(RUSLE). U.S. Dep. Agric., Agric. Handbook NO. 703.

Wischmeier, W.H., and D.D. Smith. 1965 Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: Guide for selection of practices for soil and water conservation. U.S. Dep. Agric., Agric. Handbook No. 282.

Wischmeier, W.H., and D.D. Smith. 1978 Predicting rainfall-erosion losses: A guide to conserbation planning. U.S. Dep. Agric., Agric. Handbook No. 537.