

남한강 유역의 범용토양유실공식(USLE)의 적용에 관한 연구

이진영^{1)*}, 양동윤¹⁾, 임현수¹⁾, 정공수²⁾, 김주용¹⁾

요 약

해마다 늘고 있는 토사유출로 인한 피해는 자연재해의 측면에서 매우 중요한 과제로 다루어지고 있으며, 토사유출에 의한 환경피해를 최소화하기 위해 토양유실량의 산정에 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 사면에서의 토양유실량 산정방법 및 산정된 결과에 대한 검증 역시 현실적으로 매우 어렵기 때문에 일반적으로 국내에서는 토양유실량산정을 위해 범용토양유실공식(Universal soil loss equation)을 사용하고 있다. 범용토양유실공식(USLE)은 실험적 근거가 미비한 국내실정에서 일반적으로 활용되고 있기 때문에 공식의 적용에 대한 다양한 실험적 연구가 필요하였다.

따라서 본 연구는 남한강 중류 유역 여주-이포 구간을 대상으로 2002년 6월부터 2002년 10월까지 수행된 자연 상태에서의 토양침식실험과 실험지역의 USLE의 적용을 검토하였다. 토양침식실험을 통하여 산정된 침식율과 범용토양유실공식의 결과를 비교하였으며 USLE의 인자에 따른 토양유실량 산정 결과의 변화를 검토하고자 하였다.

남한강 유역에서의 토양침식 실험결과 자연 상태에서 연간토양유실량은 평균 12.54ton/acre/year이었으며, 최소 0.1ton/acre/year, 최대 34.06ton/acre/year로 나타났다. USLE에 의해 계산된 연간토양유실량은 17.15ton/acre/year로서 실험결과와는 많은 차이가 있었다. 이러한 차이는 토양유실량 산정에 필요한 다양한 조건을 정량화하는 과정에서 발생하는 것으로, USLE식에 활용되는 인자의 적용방법에 따라 커다란 차이를 보였다. 따라서 USLE에 의해 산정된 결과를 사용하기 위해서는 다양한 조건에 대한 검토가 이루어져야 하며 USLE 산정에 관한 지속적인 실험적 연구가 이루어져야 하겠다.

1. 서 론

해마다 늘고 있는 토사유출로 인한 피해는 자연재해의 측면에서 매우 중요한 과제로 다루어지고 있으며, 토사유출에 의한 환경피해를 최소화하기 위해 토사유출량의 산정에 많은 연구가 진행되고 있다. 토사로 인한 피해는 환경변화로 인한 상류의 토사 유출로 하천이 혼탁해지고 하천, 호소 등에 환경문제를 야기할 수 있으며, 농경지 매몰, 하천구조물의 기능에 직접 장애를 줄 수 있다. 또한 상류토사유출로 인한 하상고 상승으로 홍수위를 상승시킬 수 있어 대책이 요구되고 있다.

그러나 사면에서의 토사유실량산정 방법 및 산정된 결과에 대한 검증 또한 현실적으로 매우 어렵기 때문에, 일반적으로 국내에서는 토양유실량 산정을 위해 범용토사유실공식(Universal soil loss equation)을 사용하고 있다. 범용토사유실공식(Universal soil loss equation)은 실험적 근거가 미비한 국내실정에서 일반적으로 활용되고 있기 때문에 공식의

주요어 : 사면침식, 토양침식, USLE, 범용토양유실공식

1 한국지질자원연구원 지질연구부(jylee@kigam.re.kr)

2 충남대학교 지구환경과학부

적용에 대한 다양한 실험적 연구가 요구된다.

따라서 본 연구는 남한강 중류 유역 여주-이포 구간을 대상으로 2002년 4월부터 2003년 3월까지 수행된 자연 상태에서의 침식실험과 실험지역의 USLE의 적용을 검토하였다. 침식실험을 통하여 산정된 침식율과 범용토양유실공식의 결과를 비교하였으며 USLE의 인자에 따른 침식량 산정결과의 변화를 검토하고자 하였다.

2. 범용토양유실공식(Universal Soil Loss Equation)

사면침식에 관한 정량적 해석을 위하여 일반적으로 Wischmeier와 Smith(1978)의 토양유실공식이 사용되고 있다. 재해평가 분야에서 일반적으로 사용되는 USLE공식은 범용토양유실 공식으로서 단위면적에서 일어나는 토양침식량을 산정하는 목적으로 사용되고 있다. USLE식은 다음과 같은 형태로 계산된다.

$$A=R \times K \times L \times S \times C \times P$$

A: soil loss(tons/acre/year), R: rainfall erosivity factor, K: soil erodibility, L: slop-length factor, S: slope-gradient factor, C: vegetative cover and management factor, P: practices used for erosion control (terraces, contouring)

여기서 A는 강우인자(R)에 의한 해당기간 내에 단위면적에서 침식되어 유실되는 토사량 즉, 침식량(tons/acre; tonnes/ha)을 나타낸다. 사용된 인자는 강우인자 $R(1000ft \cdot tons/acre \cdot in/hr; 10^7J/ha \cdot mm/hr)$, 토양특성인자 $K(soil \ erodivity; \ tons/acre/R; \ tonne/ha/R)$, 지형인자 LS(무차원; L은 사면의 길이, S는 사면의 경사), 경작의 종류와 형태에 따른 지표피복인자 C(무차원), 그리고 경작에 대한 형태인자인 P(무차원) 등이다. USLE에서 제시되는 K는 침식측정 장치에서 단위 R당 해당토양의 침식량을 의미한다. L은 같은 조건에서 실제 경사면 길이에서의 토양유실량과 표준 실험조건 사이에서의 유실량의 비이며, S 또한 실제 경사에서의 토양유실량과 표준 실험조건에서의 유실량의 비이다. C와 P 또한 각각 해당 조건에서의 단위면적당 유출되는 토양과 표준 실험 조건에서의 유실량의 비를 나타낸다. 따라서 강우인자 (R)이 1년 평균인 경우 연평균 토양침식량이 되고, 단일 사상의 경우 단일 사상에서의 토양침식량이라 할 수 있다.

3. 사면침식 실험방법 및 USLE 인자값 산정

사면침식실험방법

사면침식량 산정을 위한 침식실험은 2002년 6월부터 2002년 10월까지 야외조사를 통해 선정된 지역에 소형침식용통을 설치하고 강우에 의한 유출이 일어날 경우 단일강우에 대한 유출된 시료를 채취하여 침식량을 산정하였다. 식생 유무와 경사 그리고 주변지질 등을 고려하여 위치를 결정하였다.

USLE 인자값 산정

USLE의 각 해당인자는 Arcview 3.1의 Spatial analysis 프로그램을 이용하여 계산하였으며, 강우 인자(R) 산정을 위해서 연구지역의 중심에 해당하는 이천지역의 강우자료를 활용하였다. 연평균 강우 강도를 이용하여 계산된 인자값 R은 1,329 mm를 기준으로 511 그리고, 2002년도 총강우량 1,394 mm를 기준으로 576 R 값을 산정하였으며, 24시간 강우를 이

용하여 30분 강우강도를 구하고 이를 침식 재해 특성을 분석하는데 활용하였다. 토지피복(C)에 관한 인자 산정에 영향을 주는 요인으로 이들 유역의 토지 이용 특성은 토지의 이용이 논, 밭 등의 경작지가 매우 높은 점유율을 보인다. 사면 침식의 측면에서 이 지역은 주로 계단식(contouring) 경작지가 주를 이루고 있으며, 제내지에서의 경작지 활용 또한 매우 높다. 이는 USLE의 계산에 포함되는 경작에 관한 인자(P)에 영향을 주는 요인으로 논으로 활용되는 지역과 밭으로 활용되는 지역을 구분하여 계산에 활용하였다.

표 1 남한강 유역 야의 침식을 실험 장비 설치조건.

No.	설치조건	위치	주변상황
1-1	식생 : 유, 경사 : 10°NW, 방향 : N70°W	경기도 이천시 백사면 내사리	혼재립, 키 15m, 밀도 1.5m, 사면경사 20°, 지질 : 흑운모 호상편마암 관계하천 : 복화천
1-2	식생 : 유, 경사 : 20°NW, 방향 : N55°W		
1-3	식생 : 무, 경사 : 10°NW, 방향 : 70°NW		
1-4	식생 : 무, 경사 : 20°NW, 방향 : N55°W		
2-1	식생 : 유, 경사 : 10°NE, 방향 : N50°E	경기도 여주군 여주읍 가업리(구곡사)	혼재립, 활엽수우세, 밀도 : 1.5m, 사면경사 : 15°, 지질 : 흑운모화강암 관계하천 : 소양천
2-2	식생 : 유, 경사 : 20°NE, 방향 : N80°E		
2-3	식생 : 무, 경사 : 10°NE, 방향 : N50°E		
2-4	식생 : 무, 경사 : 20°NE, 방향 : N70°E		
3-1	식생 : 유, 경사 : 20°E, 방향 : EW	경기도 여주군 흥천면 하다리	혼재립, 소나무우세, 밀도 : 1.5m, 사면경사 : 20°, 지질 : 각섬석 흑운모화강암 관계하천 : 복화천
3-2	식생 : 유, 경사 : 10°E, 방향 : EW		
3-3	식생 : 무, 경사 : 20°E, 방향 : EW		
3-4	식생 : 무, 경사 : 10°E, 방향 : EW		
4-1	식생 : 유, 경사 : 10°NW, 방향 : N86°W	경기도 여주군 가남면 상활리(응암)	혼재립, 활엽수우세, 밀도 : 1.5m, 사면경사 : 30°, 지질 : 흑운모화강암 관계하천 : 양화천
4-2	식생 : 유, 경사 : 20°NE, 방향 : N88°W		
4-3	식생 : 무, 경사 : 10°NW, 방향 : N86°W		
4-4	식생 : 무, 경사 : 20°NE, 방향 : N88°W		
5-1	식생 : 유, 경사 : 10°NE, 방향 : N15°E	경기도 여주군 능서면 신지리(신지제)	혼재립, 밀도 : 1.5m, 사면경사 : 30°, 지질 : 여주화강암 관계하천 : 양화천
5-2	식생 : 유, 경사 : 20°NE, 방향 : N18°E		
5-3	식생 : 무, 경사 : 10°NE, 방향 : N15°E		
5-4	식생 : 무, 경사 : 20°NW, 방향 : N2°W		
6-1	식생 : 유, 경사 : 10°NW, 방향 : N47°W	경기도 이천시 백사면 도지리	혼재립, 밀도 : 2.0m, 사면경사 : 20°, 지질 : 흑운모화강암 관계하천 : 복화천
6-2	식생 : 유, 경사 : 20°NW, 방향 : N35°W		
6-3	식생 : 무, 경사 : 10°NW, 방향 : N47°W		
6-4	식생 : 무, 경사 : 20°NW, 방향 : N35°W		

4. 결과 및 토의

USLE를 이용한 침식율 산정 결과

연평균 강우량이 1,329mm인 경우 강우계수 R이 536으로 산정되었고, 남한강 중류유역의 평균 침식율은 17.15 ton/acre/year로 계산되었다.

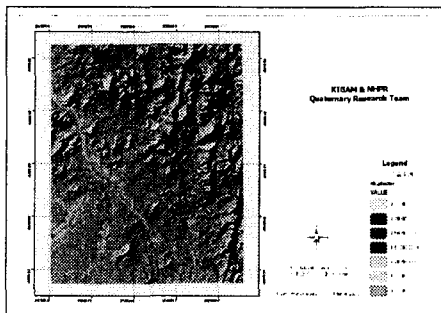


그림 1 경작인자(P) 값의 분포

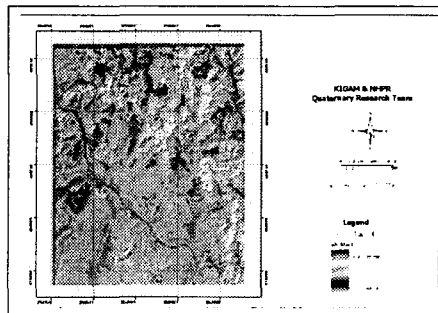


그림 2 토양침식능인자(K)값 분포

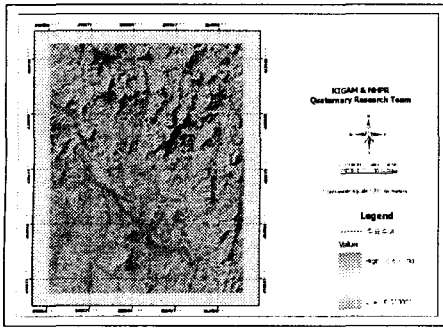


그림 3 토지 피복 현황(C factor)

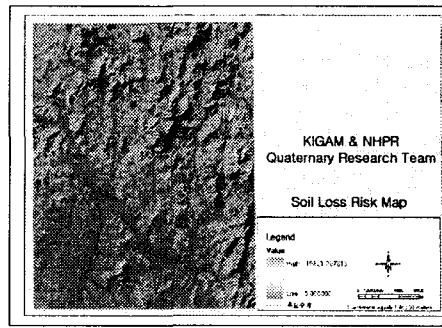


그림 4 토양침식율산정결과

사면침식 실험을 통한 침식율 산정 결과

표 2 남한강 유역 침식율 실험에 의해 발생된 토양 유실량(g).

	강우량 (mm)	하다리				내사리			
		식생유		식생무		식생유		식생무	
시료채취		경사10도	경사20도	경사10도	경사20도	경사10도	경사20도	경사10도	경사20도
총량	887.5	32.56	27.40	1,076.01	1,173.55	17.26	20.32	1,469.61	1,907.71
단위면적당침식량		0.58	0.48	19.21	20.95	0.30	0.36	26.24	34.06
		도지리				신지리			
총량	887.5	86.49	31.16	1,513.73	1,440.25	178.23	19.58	1,442.29	1,739.00
단위면적당침식량		1.54	0.55	27.03	25.71	3.18	0.34	25.75	31.05
		용암리				가업리			
총량	887.5	20.05	72.53	1,133.94	1,273.07	10.39	5.86	814.12	1,349.13
단위면적당침식량		0.35	1.29	20.24	22.73	0.81	0.10	14.53	24.09

* 1m²=0.000247acre, kg=0.001ton; 1 g/m²/year= 0.017857143 ton/acre/year

5. 결론

남한강 유역의 토양침식 실험결과 자연 상태에서 연간 토양유실량은 평균 12.54 ton/acre/year였으며, 최소 0.10 ton/acre/year, 최대 34.06 ton/acre/year로 나타났다. USLE에 의해 계산된 연간토양유실량은 17.15 ton/acre/year로서 실험지역결과와는 많은 차이가 있었다. 이러한 차이는 토양유실량 산정에 필요한 다양한 조건을 정량화하는 과정에서 발생하였을 가능성이 높은 것으로 판단되며, USLE식에 활용되는 인자의 적용방법에 따라라도 토양유실량 산정결과는 커다란 차이를 보였다. 때문에 USLE식에 의해 산정된 침식량의 사용에는 신중을 기해야 할 것으로 사료되며, USLE에 의한 침식량산정은 상대적 차이를 구분하는 정도로 활용하는 것은 유용할 것으로 판단된다. 그러나 아직까지 USLE 산정과정에서 요구되는 다양한 조건에 대한 검토가 충분하지 않은 상황이기 때문에 향후 토양유실량 산정에 관한 지속적인 연구가 이루어져야 하겠다.