

흐름추적을 고려한 유역의 토사발생량 산정

김만식* · 정승권**

1. 서론

하천에서 토사 유출량을 정확하게 예측하는 것은 유량을 예측하는 것만큼 공학적으로 중요한 의미를 지니고 있다. 하천 구역내의 수리구조물(댐, 웨어, 방조제 등)의 설계 및 유지관리, 하천개수 및 하도의 안정, 홍수터 관리, 저수지의 설계 및 운영, 항만계획 등 수자원 및 수질의 계획이나 관리에 반드시 고려해야 할 사항이다. 토사 침식량 산정을 위해 Williams와 Bermdit(1977)은 유역의 평균 경사도를 계산하여 일정유역에서의 침식량을 계산하였으며, Wischm-eier와 Smith(1978)는 기후인자를 강우 침식능 지수(R)로 치환하여 적용한 (R)USLE식을 제안하였다. 그러나 RUSLE식을 이용한 토사 유출량 산정에 관한 연구는 년 토사 유출량 산정이 주를 이루었고, 또한 RUSLE식은 판상침식 및 세류침식만을 예측할 수 있어 하천을 통해 하류로 이송되어 하구로 유출되는 토사량은 산정할 수 없다. 국내의 경우에도 김주훈 등(1999)이 GIS 기법을 적용하여 USLE 모형의 입력자료를 생성하고, 각 격자별 토양 침식량을 산정하였으나 빈도별 년 토사유출량 산정을 위한 것이었다. 박무중(2000)등이 MUSLE 기법을 적용하여 단일 강우사상에 대한 토사 침식량 산정에 관한 연구를 하였으나 입력 매개변수의 산정에 있어 유역 평균값을 적용한 것이었다. 따라서 본 연구에서는 RUSLE식을 통해 년 토사유출량을 산정하는 것뿐만 아니라 공간정보인 GIS 자료를 이용하여 유역내의 흐름을 분석하고, 이를 바탕으로 지형학적인 요건을 고려하여 토사 발생량을 산정하기 위해 개발된 (H)USLE식의 매개변수를 산정하여 하류로 이송되는 단일 강우사상별 토사 유출량 산정하였다. 적용 강우사상은 최근 30년간의 유역 강우자료를 바탕으로 빈도별 확률강우량을 산정하여 적용하였으며, 이를 바탕으로 RUSLE의 강우에너지 인자와 HUSLE의 유출인자를 산정, 적용하였다.

2. 본론

2.1 토사 유출량 산정기법

토사 유출량의 산정기법은 다양한 모형이 있으나 토사유출량은 물론 토양보전대책까지 수립할 수 있는 모형중에서 실제 적용성면에서 사용가능한 모형은 주로 경험적인 모형에 한정하게 된다. 이는 물리적 산정기법은 모형의 적용에 필요한 지형자료가 너무 광범위하여 실제 적용하기 거의 불가능하기 때문이다. 토사유출량 산정에 가장 일반적으로 쓰이는 것은 USLE식으로 최근 이를 보완한 RUSLE식이 이용되고 있다.

RUSLE(Revised Universal Soil Loss Equation)는 USLE를 보완하고 컴퓨터 프로그램을 이용하여 계산할 수 있도록 한 것으로 USLE식에서는 없었던 연구자료의 분석을 추가 보완하였으나 USLE의 식의 형태는 계속 유지하도록 하였으며 계수 산정기법을 수정하고 특정조건을 나타낼 수 있는 항들을 새로이 추가하였다.

식 (1)의 RUSLE식은 USLE 기법 개발에 사용된 자료에 더 많은 현장자료를 추가하여 수정·보완된 기법으로 그 범용성이 USLE식에 비하여 우수하다. 그러나 RUSLE식은 년 토사유출량을 산정하기 위해 개발된 모형으로써 유역의 침식량이나 구곡침식, 수로내의 침식 등의 산정에는 적합하지 못하며, 퇴적을 반영하지 못하기 때문에 사면침식이 유역전체 침식량에 미치는 영향을 분석할때는 많은 주의가 요구된다. 따라서 본 연구에서는 유역내의 흐름을 분석하고, 이를 바탕으로 지형학적인 요건을 고려하여 토사 발생량을 산정하기 위해 Theurer 등이 1991년 개발한 HUSLE(Hydro-geomorphic Universal Soil Loss Equation)식을 이용하여 강우시 하류로 이송되는 토사 유출량을 산정하였다.

* 정희원, 신성대학 토목정보과 교수(e-mail:kmspj@shinsung.ac.kr)

** 정희원, 농업기반공사 농어촌연구원 연구원

HUSLE는 RUSLE의 기본 매개변수를 그대로 인용하며, RUSLE의 강우에너지 인자를 식 (2)와 같이 유출인자로 대체하여 적용하는 특징이 있다.

$$A = R K L S C P \quad (1)$$

$$S = 0.22 \cdot Q^{0.68} \cdot q_p^{0.95} \cdot K L S C P \quad (2)$$

여기서, A: 유역에서의 년 토사 발생량(ton), S: 하류로 이송되는 토사 유출량(Mg/ha), R: 강우에너지인자, Q: 지표면 유출량(mm), q_p : 첨두유량(mm/s), K: 토양침식인자, LS: 지형특성인자, C: 식생피복인자, P: 토양보존인자

2.2 연구대상 유역

삼교천 지구는 우리나라의 중심부 해안일대에 위치한 충남 당진, 아산, 홍성, 예산군 등에 산재한 농경지 24,570여ha를 가뭄과 홍수의 피해에서 벗어나 전천후 농토와 근대화된 영농기반을 조성하기 위하여 1976년 방조제 및 배수갑문공사를 착공하여 1979년 10월에 준공되어 약 8,400만톤의 담수를 저수할 수 있는 삼교호가 조성되었다.

그러나 축조 후 20년이라는 시간이 경과함에 따라 주변환경의 변화로 인한 물리면적의 증감이 발생하였고, 1,639.5 km^2 에 이르는 광대한 유역내에서 지표면의 침식으로 인하여 호내에 토사의 유입으로 침전을 일으켜 유효저수량이 감소되고 있으며 고수부지내의 개답 등으로 만수면적 및 저수량이 감소되어 이상 홍수위의 발생시에는 인근 농경지의 침수피해가 우려되고 또한 대산유화단지, 신평 및 인주공업단지, 삼교호 광역상수도, 화력발전소 등 서해안 개발계획으로 급증하는 용수수요에 대한 공급이 부족하게 될 우려가 있다.

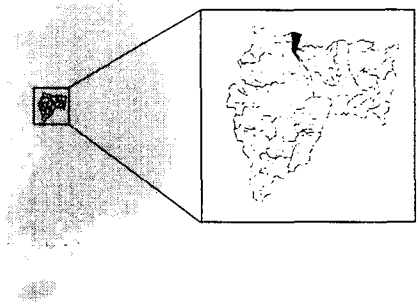


그림 1. 삼교호 유역도

2.3 매개변수의 적용

(1) 강우에너지 인자(R)

유역에서의 토사 유출량 산정을 위해서 RUSLE식에서는 강우 에너지 인자(R)를 30분 최대 강우강도와 에너지 인자(E)를 이용하여 산정한다. 따라서 본 연구에서는 빈도별 강우 에너지 인자를 산정하고자 각 빈도별 1일 최대 강우량을 계산하고, 이를 기준으로 그림 3과 같이 빈도별 강우에너지 인자 R값을 산정·적용 하였다.

본 연구에서의 특징은 삼교호 유역에 포함되어 있는 8개 시·군에서 각각 측정된 강우자료 [그림2. 참조]를 바탕으로 각 유역별로 강우 에너지 인자를 산정하여 적용한데 있다.

8개 강우 관측소에서 다년간 측정된 강우자료를 이용하여 각 유역별로 강우 에너지 인자를 산정하고, 이를 통해 각 유역별로 발생 토사 유출량을 산정할 수 있도록 하였다.



그림 2. 강우 관측망

(2) 토양침식인자(K)

토양침식인자(K)는 구축된 토양도 [그림 3.]로부터 분류된 토양특성에 따라 토양 분류표를 이용하여 토양침식인자를 산정한다.

(3) 지형특성인자(LS)

지형특성인자(LS)는 그림 4의 수치고도도로부터 추출한 경사도(傾斜圖)의 경사각(%) S와 cosine 법칙을 이용하여 산정한 경사길이 L을 적용한다. 일반적으로 경사길이와 경사각을 지형특성인자라 하여 동시 적용하는 경우가 많은데 본 연구에서는 수치고도도에서 경사도를 생성하여 각 격자간 경사각에 따른 경사길이를 산정하고, 이를 아래식에 적용하여 지형 특성인자 LS값을 산정한다.

(4) 토양보존인자(P)

토양보존인자(P) 또한 경사도(傾斜圖)로부터 구해진 경사각(%)을 이용하여 산정한다.

(5) 유사전달율

USLE식의 경우 유사의 퇴적을 고려하지 않기 때문에 유사전달율을 고려해야 한다, 유사전달율은 유역의 토양종류 및 면적을 이용하여 산정할 수 있다. 본 연구에서는 TRB(1980)에 의해 그림 5과 같이 제시된 면적과 관계된 유사전달율 산정법을 이용한다.

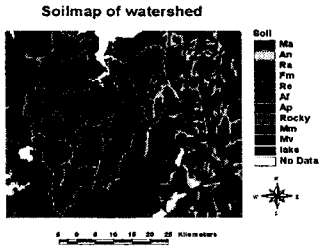


그림 3. 토양도

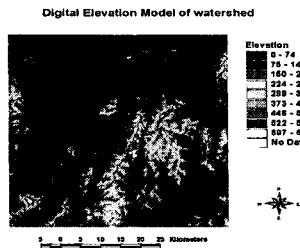


그림 4. 수치고도도

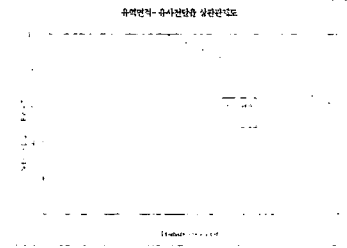


그림 5. 유사전달율 상관관계도

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 구축된 Thiessen 망을 통해 유역별 지배면적 가중치를 이용하여 빈도별 평균 1일 최대확률 강우량을 산정하였다. 이를 바탕으로 강우 에너지 인자를 산정하고, 식 (1)과 (2)의 RUSLE 매개변수들을 토지이용도, 토양도, 경사도 등 대상유역의 주제도로부터 추출함으로써 삼교호 유역에서 발생하는 빈도별 년 토사 유출량과 일 발생 토사 유출량을 산정하였다. 적용 매개변수 및 산정된 토사 유출량은 표 1과 2에 나타내었으며, 그림 6과 7에서는 RUSLE를 통해 산정된 년 토사유출량과 HUSLE에서 산정된 일 토사유출량을 년으로 환산하여 산정한 값을 비교하여 나타낸 그래프이다. 유역 전체에서 산정된 토사유출량에 비해 하천을 통해 하류로 이송된 토사유출량의 값이 적게 나타남을 알 수 있다.

표 1. 빈도별 년 토사유출량

	확률강우량 (mm)	e	E	I_{30}	EI_{30}	R (MJ/ha)(mm/hr)	토사유출량 (ton/yr)
20yr	208.73	2.53	527.2172	4.348466	2292.586	22.92586	15362.73
30yr	249.05	2.60	648.169	5.188506	3363.028	33.63028	17174.46
50yr	241.16	2.59	624.2593	5.024106	3136.345	31.36345	21046.86
80yr	257.55	2.62	674.0351	5.365524	3616.552	36.16552	24266.20
100yr	265.29	2.63	697.7146	5.52685	3856.164	38.56164	25872.17
200yr	289.25	2.67	771.6043	6.0261	4649.764	46.49764	31162.44

표 2. 빈도별 일 토사유출량

	확률강우량 (mm)	Q (mm)	q_p (mm/s)	일 토사유출량 (ton/day)	년 토사유출량 (ton/yr)
20yr	208.73	190.88	3911.96	27.86	10170.4
30yr	249.05	231.20	4738.34	38.08	13899.71
50yr	241.16	223.31	4576.62	35.99	13134.76
80yr	257.55	239.70	4912.48	40.39	14741.96
100yr	265.29	247.44	5071.19	42.54	15526.13
200yr	289.25	271.40	5562.32	49.45	18051.02

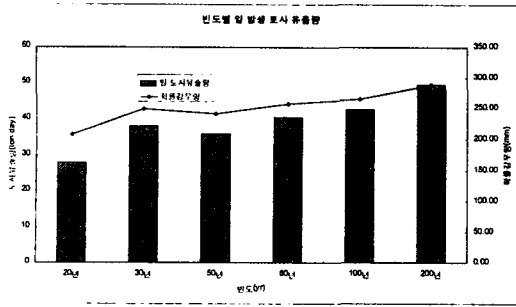


그림 6. 빈도별 일 발생 토사 유출량

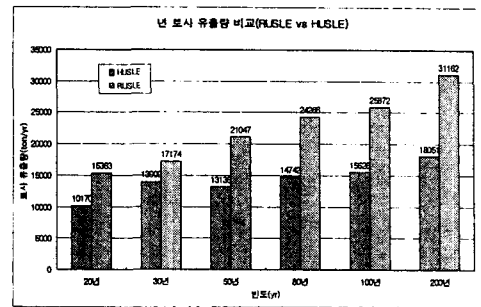


그림 7. 빈도별 년 토사 유출량(RUSLE vs HUSLE)

4. 결론

유역에서 발생하는 유사량은 크게 토양 침식량과 유사 이송량으로 구분할 수가 있다. 본 연구에서 토사 유출량 산정을 위해 일반적으로 적용되는 RUSLE식을 이용하여 유역내에서 발생하는 토사 침식량과 RUSLE의 강우에너지 인자를 유출 인자로 대체 적용하여 강우사상에 대한 유사 이송량을 산정할 수 있는 HUSLE식을 이용하여 빈도별 확률강우량에 대한 유사 이송량을 산정하였다. RUSLE의 기본 매개변수 산정을 위해 GIS 기법을 이용하여 경사도, 토지이용도, 토양도 등을 분석하였으며, 특히 HUSLE의 유출인자를 산정하기 위해 DEM 자료를 분석하여 유역 배수면적 및 하구까지의 하천연장 등을 산정하는 방법을 적용하였다.

적용 강우사상은 삼교호 유역내 8개의 강우관측소에서 관측된 최근 30년간의 강우자료를 바탕으로 빈도별 1일 최대확률 강우량을 산정하여 적용하였으며, RUSLE의 강우에너지 인자 및 HUSLE의 유출인자를 산정하는 기초자료로 활용하였다.

HUSLE를 통해 산정된 일 발생 토사 유출량을 년 발생량으로 환산한 결과 RUSLE를 통해 산정된 년 발생 토사 유출량에 비해 200년 빈도의 경우 57% 발생으로 가장 적은 비율로 나타났으며, 30년 빈도의 경우가 80%로 가장 많은 비율이 산정되었다. 그 외의 경우는 평균 60%의 비율로 산정됨을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Foster, G. R(1988) "Modeling the erosion process". Hydrologic modeling of small watershed. ASAE Monograph number 5, pp.297-380
2. Foster, I., A. Gurnell and B. Webb(1995) "Sediment and water quality in river catchment". John Wiley & Sons Ltd., pp.97-106
3. 농어촌진흥공사(1999) "삼교호 토사 침전량 조사 보고서"
4. 박무중, 김양수(2001), "개발지역에서의 토사발생규모와 모형의 적용성 연구", 한국수자원학회논문집 : Vol.34 No.1 pp. 3~17
5. 정승권(2000) "지리정보시스템을 이용한 유역의 토지이용별 비점오염부하량분석", 충북대학교 석사학위 논문