

지형공간정보를 이용한 임하호 수변구역 토사유실 분석

The Analysis of Soil Erosion in Water-pollutant Buffering Zone of Imha reservoir using Geo-Spatial Data

이근상*, 황의호**, 박진혁***, 채효석****

Geun-Sang Lee, Eui-Ho Hwang, Jin-Hyeog Park, Hyo-Sok Chae

Abstract

Geology and terrain of Imha basin has a very weak characteristics to soil erosion, so much soil particles flow into Imha reservoir and bring about high density turbid water when it rains a lot. Especially, since the agricultural area of Imha basin is mainly located in river boundary, Imha reservoir has suffered from turbid water by soil erosion. Therefore, it is important to estimate the influence of soil erosion to establish efficient management of water-pollutant buffering zone for the reduction of turbid water. By applying GIS-based RUSLE model, this study can acquire 12.23% that is the ratio of soil erosion in water-pollutant buffering zone and is higher than area-ratio (9.95%) of water-pollutant buffering zone. This is why the area-ratio of agricultural district (27.24%) in water-pollutant buffering zone is higher than the area-ratio of agricultural district (14.96%) in Imha basin. Also as the result of soil erosion in sub-basin, Daegok basin shows highest soil erosion in water-pollutant buffering zone, second is Banbyeon_10 basin and last is Seosi basin.

Key words : Soil Erosion, Turbid water, Water-pollutant Buffering Zone, Geo-Spatial Data

요 지

임하호 유역은 지질 및 지형이 토사유실에 취약한 구조를 가지고 있어 강우발생시 많은 토사가 호소로 유입되어 고탁수의 원인이 되고 있다. 특히 임하호유역의 농경지가 주로 하천주변에 분포하고 있어 강우시 토사유실로 인한 탁수발생이 큰 지역이다. 따라서, 탁수저감을 위한 수변구역의 체계적인 관리와 대책 마련을 위해서는 수변구역에서 발생하는 토사유실량의 영향을 평가하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 GIS 기반 RUSLE 모형을 선정하여 수변구역에서의 토사유실 비율을 평가한 결과 약 12.23%로서 임하호 전체유역과의 면적비율(9.95%) 보다 높게 나타남을 알 수 있었다. 이러한 결과는 수변구역 주변의 농경지비율(27.24%)이 전체유역에 대한 농경지비율(14.96%) 보다 높은 특성이 반영된 것으로 해석된다. 또한 소유역별 분석결과를 볼 때 수변구역중 대곡천 유역이 가장 높은 토사유실량 분포를 나타냈으며, 반변천_10 그리고 서시천 순서로 나타났다.

핵심용어 : 토사유실, 탁수, 수변구역, 지형공간정보

* 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원 · E-mail : ilovegod@kowaco.or.kr
** 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 연구원 · E-mail : ehhwang@kowaco.or.kr
*** 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원 · E-mail : park5103@kowaco.or.kr
**** 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원 · E-mail : chaehs@kowaco.or.kr

1. 서론

임하호에서 발생하고 있는 고탁수는 세일층으로 구성된 지질특성 및 하천주변내 토사유실이 복합적으로 작용하여 발생하는 것으로서, 특히 수질환경측면에서 수변구역내 토사유실에 대한 영향을 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 장기토사모델인 USLE (Universal Soil Loss Equation)를 단기강우사상으로도 확장 적용할 수 있도록 설계된 RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) 모델을 선정하여 2003년도 강우사상을 기초로 한 수변구역내 토사유실 영향을 평가하였다. 특히 RUSLE 모델은 위성영상을 활용하여 취득한 최신의 토지피복자료를 효과적으로 반영할 수 있으며, 셀단위의 분석이 가능하므로 수변구역내 토사유실 원인지역에 대한 국부적인 추출이 가능하므로 향후 수변구역내 대책수립을 위한 의사결정자료 생성에 도움을 주게 된다. GIS 기반 RUSLE 모델을 활용한 국내 연구사례로서, 이환주(2002)는 용담호 유역에 대한 토사유실을 모의하기 위해 RUSLE 모델을 GIS 환경에서 구축하였으며, 특히 토양도의 지리경계를 효과적으로 표현하기 위해 퍼지논리를 적용한 바 있다. 그리고 장영률(2003)은 보성강유역을 대상으로 실측한 비퇴사량자료로부터 포착률을 고려한 비유사량을 계산하였고, 비유사량으로부터 GIS 기반 RUSLE 모델을 활용하여 계산한 토사유실량의 정량화를 시도하였다. 또한 임하호유역에 대한 연구로서 이근상 등(2004)은 선박과 지형측량을 수행하여 저수지 사면의 토지피복, 사면폭 및 범위를 데이터베이스로 구축하여 저수지 사면에 대한 토사유실 영향을 GIS 공간분석기법으로 분석한 바 있다.

2. 임하호 전체유역과 수변구역의 토사유실량 평가

RUSLE 모델을 이용하여 토사유실을 평가하기 위해 국토지리정보원의 수치지형도, 농촌진흥청 농업과학기술원의 정밀토양도, 환경부의 토지피복도 그리고 강우자료를 이용하였다.

RUSLE는 기존의 농업지역의 토사유실모형인 USLE의 개선된 경험식으로, 유역에 적용하기 위해 Reanrd(1991) 등에 의해 개발되었으며 경험적 자료를 기반으로 하여 많은 연구가 진행되고 있다. RUSLE 토사유실모델의 기본구성은 식 (1)과 같다.

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

A는 연평균 토양침식량(t/ha/yr), R은 강우침식인자(MJ/ha · mm/yr), K는 토양침식인자(t/ha/R), L은 침식사면의 길이인자, S는 침식사면의 경사인자, C는 식생피복인자 그리고 P는 경작인자이다.

먼저, 강우침식인자는 연평균 강우의 침식능력으로서 강우의 시간적인 분포와 특성으로부터 얻어진다. 강우침식인자를 계산하기 위해 임하호 주변에 위치하고 있는 청송, 부동, 부남, 진보, 석보, 영양, 수비, 일월 관측소의 2003년 강우량 자료를 적용하였다(한국수자원공사, 2003). 이러한 강우량 자료를 Toxopeus 식에 적용하여 강우침식인자를 계산하였다. 토양침식인자와 토립자입경분포와의 관계는 범용토양유실공식 연구의 선구자인 Wischmeier(1971)에 의해 삼각형 도표가 제시되었으며, 본 연구에서는 1/25,000 정밀토양도를 이용하여 각 토양별 구성성분 등을 분석하였으며, 이를 Erickson(1997)의 삼각형 도표에 적용하여 계산하였다. 지형인자는 사면의 길이인자(L)과 경사인자(S)로 구성되어 있으며, 사면의 길이인자는 Desmet과 Govers(1996)의 식을 적용하였고, 사면의 경사인자는 Nearing(1997)이 제안한 식을 이용하여 계산하였다. 식생피복인자는

토사유실에 대한 식생피복 및 작물상태 효과를 반영한 인자이다. 지표면의 피복상태가 토사유실에 미치는 영향은 식생으로 인한 빗방울의 운동에너지 경감, 지표류의 유속감소로 인한 토립자의 이송경감 및 퇴적증진, 식생의 뿌리로 인한 토양 덩어리의 이동억제 및 공극증대, 식물의 증산작용과 토양내에서 생물학적 활동증진에 따른 토양수분감소 등이 있다. 본 연구에서는 식생피복인자를 계산하기 위해 환경부에서 SPOT 5 영상 및 수치지형도 그리고 임상도 등을 기반으로 구축한 토지피복도를 이용하였다. 경작인자는 여러 유형의 경작형태에 따른 토사유실의 비율로서, 경작지 형태는 Contouring, Cropping 그리고 Terrace로 구분되며, 본 연구에서는 신계중(1999)이 제안한 기준을 이용하여 경작인자를 평가하였다. 표 1은 임하호유역에 대한 RUSLE 인자 및 토사유실량 분석 결과이며, 토사유실량의 정량적 분석을 위해 전체유역면적으로 환산한 결과, 총 토사유실량은 5,782,829 ton/yr로 평가되었다.

수변구역이란 하천을 중심으로 양안에 특정 너비의 완충지를 설정하는 것을 의미한다. 이러한 완충지는 오염물질의 직접적인 유입을 억제하고 하천의 자정능력을 증가시키며, 건축물의 증축 혹은 오염배출업소의 규제와 같은 토지의 용도에 대한 직접적인 제한을 통하여 궁극적인 수질을 보호하는 역할을 한다. 수변구역의 범위는 크게 특별대책구역의 경우는 하천양안을 기준으로 1 km, 그 외 지역은 하천양안을 기준으로 0.5km를 그 범위로 하고 있다. 임하호 유역은 지방하천으로 구성되어 있으며 하천주변의 농경지를 중심으로 한 현장조사 결과 중상류 하천중 제방이 없는 형태가 많이 분포하고 있는 것으로 확인되었다. 본 연구에서는 지방 1, 2급 하천을 중심으로 1km 지역을 Buffering 기법으로 분석하여 수변구역 경계를 추출하였다. 수변구역의 면적은 저수지 구역을 제외할 경우 136km²로서 임하호 전체면적의 9.95%를 차지하고 있다.

수변구역의 토사유실량을 평가하기 위해 임하호 전체유역의 RUSLE 인자 및 토사유실량을 수변구역 경계로 재분석하였다. 표 1은 수변구역의 RUSLE 인자와 토사유실량 분석 결과이며, 토사유실량은 5m 해상도로 정리한 것이므로 수변구역 면적인 136km²로 환산하기 위해 GIS ZONALSUM 함수를 적용하였다. ZONALSUM 함수는 해당 셀에 대한 값을 소유역별로 분석하는 것으로서, 분석결과 수변구역의 총 토사유실량은 707,284 ton/yr로 나타났다.

표 1. 전체유역과 수변구역의 USLE인자와 토사유실량

구분	전체유역				수변구역			
	Min	Max	Mean	StD.	Min	Max	Mean	StD.
R	511.000	624.400	585.420	18.740	511.000	624.399	581.000	16.044
K	0.020	0.600	0.333	0.090	0.020	0.600	0.290	0.126
L	0.248	3.383	1.696	0.833	0.248	3.357	1.564	0.756
S	0.049	15.125	6.889	3.969	0.049	15.119	4.786	4.262
C	0.000	1.000	0.066	0.147	0.000	1.000	0.119	0.201
P	0.100	1.000	0.859	0.250	0.100	1.000	0.712	0.315
A	0.000	10,903.039	41.929	121.059	0.000	9108.857	36.757	110.003

3. 수변구역내 토사유실량 영향 분석

임하호 전체유역에서 발생하는 토사유실량(5,782,829 ton/yr)에 대한 수변구역에서의 토사유실량(707,284 ton/yr)의 비율은 12.23%로서 수변구역의 면적비율인 9.95% 보다 높게 나타났다. 표 1에 제시된 전체유역과 수변구역간의 RUSLE 인자를 비교해 볼 때, 식생피복인자를 제외하고는 모든인자의 평균값이 수변구역보다는 전체유역 분석결과에서 높게 나타났다. 이러한 결과는 2003

년도 기준 수변구역내의 강우가 전체유역보다 적게 내렸으며, 토양특성도 수변구역이 전체유역에 비해 토사유실에 저항력이 강한 구조를 가지고 있음을 의미한다. 또한 지형인자 역시 수변구역 부근에서는 지형경사가 완만하여 산간지로 주로 구성되어 있는 전체유역에 비해 낮게 나타나는 결과를 가져왔다. 그리고 경작인자는 토지피복과 지형경사에 의해 좌우되는 인자로서 지형경사의 영향이 크게 반영되어 수변구역내 경작인자가 전체유역에 비해 낮게 나타났다. 다만, 식생피복인자를 반영하는 농경지의 토지피복분포를 볼 때, 수변구역내 농경지 비율은 27.24%로서 유역전체를 기준으로 한 14.96%보다 12.28% 높게 나타났다. 따라서 이러한 수변구역내 농경지 분포특성이 수변구역내 면적비율인 9.95%보다 높은 토사유실 비율(12.23%)을 반영한 것으로 해석된다. 수변구역내 소유역별 토사유실량을 평가하기 위해, 하천인식 DEM을 이용하여 추출한 소유역을 고유코드로 부여하여 ZONALSUM 격자함수를 적용하였다. 표 2는 수변구역내 소유역별 토사유실량 분석결과이다. 분석결과, 대곡천(108,195 ton/yr)이 가장 높은 토사유실량을 나타냈으며, 반변천_10(75,245 ton/yr) 그리고 서시천(62,455 ton/yr) 순서로 나타났다. 동천 및 장파천 유역 등은 유역면적이 매우 커서 전체유역을 대상으로 한 토사유실량 분석에서는 많은 토사유실량 분포를 보였지만, 수변구역 범위에 해당되지 않아 토사유실량이 전혀 반영되지 않았다. 수변구역중 가장 많은 토사유실량을 보인 대곡천은 반변천 분류에서 유입되는 많은 유량이 정체되는 수역으로서 수질오염 및 탁수가 지속적으로 나타날 수 있는 위험성이 높다고 판단된다.

표 2. 수변구역내 소유역별 토사유실량

소유역	토사유실량 (ton/yr)	소유역	토사유실량 (ton/yr)	소유역	토사유실량 (ton/yr)	소유역	토사유실량 (ton/yr)
문상천	0.000	반변천_6	3,646.616	용전천_1	0.000	신흥천	1,682.751
반변원류	0.000	반변천_7	6,208.551	노부천	0.000	용전천_8	19,315.262
반변천_1	0.000	신사천	1,238.644	용전천_2	11,637.531	신기천	33,767.094
장파천	0.000	동산천	3,375.018	주산천	0.000	용전천_9	14,731.930
반변천_2	0.000	반변천_8	18,337.799	신동천	0.000	반변천_11	24,174.449
장군천	0.000	화매천	65,885.180	용전천_3	1,445.961	일낙천	29,321.488
반변천_3	0.000	인지천	709.890	용전천_4	5,826.104	반변천_12	7,713.199
화원천	0.000	송하천	841.384	주방천	741.687	용계천	61,203.156
반변천_4	0.211	반변천_9	14,678.356	용전천_5	22,605.969	반변천_13	15,093.845
동부천	0.000	서시천	62,455.268	구평천	1,607.219	대곡천	108,195.977
반변천_5	29,749.326	반변천_10	75,245.164	용전천_6	4,223.395	반변천_14	13,575.549
동천	1,118.343	용전원류	0.000	괘천	1,656.399	반변천_15	37,450.766
소청천	0.000	경암천	0.000	용전천_7	8,399.890	반변천_16	5,689.724
계						707,284.771	

5. 결 론

본 연구에서는 최근 탁수발생으로 댐운영에 많은 어려움을 겪고 있는 임하호 유역을 대상으로 수변구역내 토사유실 영향을 분석한 결과 다음의 결론을 얻었다.

먼저, DEM, 토양도, 토지피복도 등을 GIS 자료를 기초로 전체유역과 수변구역의 토사유실량을 평가한 결과, 토사유실량이 각각 5,782,829 ton/yr과 707,284 ton/yr으로 분석되었다. 따라서, 수변구역내 토사유실량의 비율은 12.23%로서 수변구역의 면적비율인 9.95% 보다 높게 나타남을

알 수 있었다. 특히 RUSLE 인자를 볼 때 전체유역이 수변구역보다 강우침식인자, 토양침식인자, 지형인자, 경작인자가 높게 나타난 반면, 식생피복인자는 수변구역이 높게 분석되었다. 이는 수변 구역내 농경지 비율이 27.24%로서 유역전체를 기준으로 분석한 14.96%보다 12.28% 높게 평가된 것이 주요 원인으로 판단된다. 또한, DEM을 이용하여 추출한 소유역을 고유코드로 부여한 후 ZONALSUM 격자합수를 적용하여 수변구역내 소유역별 토사유실량을 분석한 결과, 대곡천 (108,195 ton/yr)이 가장 높은 토사유실량을 보였으며, 반변천_10(75,245 ton/yr) 그리고 서시천 (62,455 ton/yr) 순서로 분석되었다.

감사의 글

본 연구를 수행함에 있어 토지피복도와 토양도를 제공해 주신 환경부 정보화담당관실과 농촌진흥청 농업과학기술원에 감사드립니다.

참고문헌

- 신계중(1999), 지형공간정보체계를 이용한 유역의 토양유실분석, 박사학위 논문, 강원대학교 대학원.
- 이근상, 박진혁, 황의호, 고덕구(2004), GIS 기반 토사유실모델을 이용한 저수지사면의 토사유실 영향 분석, 한국지리정보학회지, 제7권 제3호, pp. 108-117.
- 이환주(2002), GIS 공간분석 기법을 활용한 토양침식 잠재성 평가에 관한 연구, 박사학위 논문, 전북대학교 대학원.
- 장영률(2003), GIS와 RS를 이용한 토양침식의 정량화, 박사학위 논문, 전남대학교 대학원.
- 한국수자원공사(2003), 임하다목적댐 관리연보.
- Desmet, P.J. and G. Govers (1996), A GIS procedure for the automated calculation of the USLE LS factor on topographically complex landscape units, *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol. 51, No. 5, pp. 427-433.
- Erickson, A.J. (1997), Aids for estimating soil erodibility - K value class and soil loss tolerance. U.S. Department of Agriculture. Soil Conservation Service. Salt Lake City of Utah.
- Nearing, M.A. (1997), A single, continuous function for slope steepness influence on soil loss, *Journal of Soil Science Society of America*, Vol. 61, No. 3, pp. 917-919.
- Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies and P.J. Porter (1991) RUSLE : Revised Universal Soil Loss Equation, *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol. 46, No. 1, pp. 30-33.
- Wischmeier, W.H. (1971), A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites, *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol. 26, pp. 189-193.