

댐유역 탁수원인 조사를 위한 GIS 자료구축 방향

GIS-based Survey methodology of turbid water in basin

이근상*, 염경택, 황의호, 고덕구
Geun-Sang Lee*, Kyung-Taek Yum, Eui-Ho Hwang, Deuk-Koo Koh

* 한국수자원공사 수자원연구원 (E-mail : ilovegod@kwater.or.kr)

요약

본 연구에서는 2006년 태풍 에위니아 이후 고탁수 문제가 발생하였던 소양호유역을 중심으로 탁수원인이 되는 토사유실지역을 효과적으로 선정하기 위한 방법론을 제시하였다. 특히 토사유실모델을 통해 분석된 결과와 함께 하천주변 대단위 농경지 특성, 경사지 및 제방 특성 등을 고려하여 탁수원인지역을 선정하는 기법을 소개하였다. 또한 농경지별 작물종류 자료구축을 위한 모바일 GIS 자료구축 방법 및 지질코드별 가중치평가 기법을 제시함으로써 보다 체계적인 탁수원인지역 조사가 가능하게 되었다.

1. 서론

소양호유역은 2006년 7월의 태풍 에위니아 이후 고탁수 방류가 장기화되면서 최고탁도 328NTU를 기록하였으며, 최근에는 고탁수 조기배제 중심의 댐운영을 통해 방류탁도 15NTU를 유지하고 있다. 소양호 저수지의 고탁수 발생원인으로는 먼저, '06년 7월 집중강우에 따른 상류 인제지역의 수해로 인한 산사태 및 하천범람 그리고 토사유실 등을 들 수 있다. 특히 소양호유역은 발면적(8,204ha) 중 약 60%에 해당하는 4,895ha가 고랭지밭으로 구성되어 있어 다른 유역에 비해 구조적으로 집중강우시 토사유실에 취약한 구조를 가지고 있다. 또한 고랭지밭의 잦은 객토시행(평균 18cm) 및 산지개간 그리고 하천공사 등으로 탁수발생이 가중되었다. 소양호 흙탕물 문제의 심각성을 인식하고 '06년 9월에 건교부와 수자원공사 합동으로 탁수방류 현장조사를 실시하였으며, '06년 11월에는 국무조정실 현장방문 및 해당지자체와 지역시민단체의 의견을 수렴한 바 있다. 또한 '06년 11월부터 '07년 2월까지 국무조정실 주관 정부대책 마련

을 위한 관계기관을 실시하여 '07년 3월 21일 소양강댐 정부합동 탁수저감대책을 발표하였다. 탁수발생을 효과적으로 개선하기 위해서는 유역통합 수질관리체계를 구축하고 지속적인 모니터링 및 제도개선을 지속적으로 수행해야 한다. 이러한 대책 마련을 위해서는 탁수발생의 원인이 되는 유역별 토사발생원 평가 및 다량의 탁수가 유입되는 하천을 선정하고 지속적인 자료 모니터링을 통한 수질모델링을 통해 최적의 의사결정을 수립해야 한다.

본 연구에서는 소양호유역을 중심으로 탁수발생의 원인이 되는 유역내 토사유실 평가과정을 소개하고 하천별 토사유실 평가결과를 기반으로 현지조사를 수행함으로써 GIS 기반 토사유실 평가 결과의 현장 적용성 및 제약성을 검토하였다. 또한 보다 체계적인 탁수원인지역 조사를 위해 필요한 GIS 자료구축 방향 및 모니터링 기법을 제시하였다.

2. 토사유실 평가

토사유실평가 연구는 탁수발생에 영향

을 주는 주요하천 선정 및 탁수저감대책이 필요한 상류 세부지역 선정을 위한 연구를 비롯하여 하천 및 저수지의 탁수거동 입력자료 제공을 위한 하천별 부유사 평가 연구로 크게 구분할 수 있다. 본 연구에서는 상류 탁수발생원을 효과적으로 분석할 수 있는 GIS 격자기반 토사유실모델을 중심으로 주요하천에 대한 토사유실 평가 및 탁수원인지역을 선정하는 기법을 제시하였다.

최근 GIS 기반의 토사유실연구가 활발히 진행중에 있으며, 본 연구에서는 유역 적용성, 모델에 입력되는 자료의 유용성 및 최신의 토지피복특성을 반영할 수 있는 RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) 모델을 선정하여 분석에 활용하였다. RUSLE 모델은 기존의 농업지역에 일반적으로 적용했던 USLE 모델을 유역에 적용하기 위해 Renard 등(1991)에 의해 개발된 모델로서 다양한 실험관측을 통해 각 인자들의 식들이 개선되고 있다. RUSLE 모델은 강우침식인자(R), 토양침식인자(K), 지형인자(LS), 식생피복인자(C), 경작인자(P) 그리고 토사유실량(A)로 구성되어 있다.

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

강우침식인자는 Huff의 4분위법을 이용하여 평가한 24시간 지속 200년 빈도 강우사상을 이용하여 계산하였다. 먼저 30분 단위 강우량 자료로부터 강우에너지를 계산한 후 30분 단위 최대강우강도 자료와 연계하여 강우침식인자를 평가한 결과 소양호유역은 351 Joule, 대청호유역은 169 Joule로 계산되었다. 소양호 및 대청호유역의 RUSLE 인자 분석 결과는 표 1과 같다. RUSLE 인자를 이용하여 소양호 및 대청호유역의 토사유실량을 평가한 결과 각각 3,559,691 ton과 2,349,316 ton으로 소양호유역이 1,210,375 ton 만큼 크게 나타났다. 이러한 결과는 소양호와 대청호유역의 48시간 지속 200년 빈도에 해당하는 강우침식인자가 351 Joule과 169 Joule로 소양호유역이 매우 크게 나타난 것이 반영된 것으로 해석된다.

표 1. 소양호 및 대청호유역 RUSLE 인자 분석 결과

구분		최소	최대	평균	표준 편차
소양호	R	0.000	351.000	351.000	0.000
	K	0.000	0.490	0.299	0.087
	L	0.248	3.394	1.932	0.823
	S	0.049	15.128	6.636	3.625
	C	0.000	1.000	0.030	0.103
	P	0.100	1.000	0.911	0.194
대청호	R	0.000	169.000	169.000	0.000
	K	0.000	0.600	0.319	0.110
	L	0.248	3.394	1.851	0.747
	S	0.049	15.126	4.354	3.481
	C	0.000	1.000	0.081	0.160
	P	0.100	1.000	0.759	0.304

3. 탁수원인지역 조사 및 고려사항

GIS 기반 토사유실모델을 이용하여 평가한 하천별 토사유실량 자료로부터 탁수 발생 주요하천을 선정하기 위해서는 다음과 같은 특성들을 함께 고려해야 한다.

첫째, 탁수는 콜로이드성 점토질에서 주로 생성되므로 본 연구에서 평가한 토사유실과 탁수와의 관계를 규명하기 위해서는 지질적인 특성을 고려해야 한다. 이러한 지질가중치 평가 프로세스를 전국 유역을 대상으로 적용하기 위해서는 보다 정밀한 지질조사를 통한 지질코드별 가중치를 산정하는 연구가 필요하다.

둘째, 소양호별 토사유실량 자체보다는 토사유실 지역이 대단위로 밀집되어 있는 하천유역을 선정하는 것이 바람직하다. 특히 제방은 하천으로 유입되는 토사의 상당부분을 저감하는 구조물이기 때문에 하천주변 농경지의 제방구간 및 상태 등을 함께 검토해야 한다.

셋째, 농경지에서 재배하고 있는 작물 종류를 고려한 분석이 필요하다. 대청호유역의 경우 발지역의 상당부분이 인삼이나 포도밭으로 구성되어 있어 강우시 강우에너지를 많이 차단할 수 있기 때문에 실제 발생하는 토사유실량은 상대적으로 작게 나타난다. 반면에 소양호 고랭지 채소밭과

같이 1년생 작물재배지역은 강우에너지가 크게 반영되어 토사유실량이 높게 나타나게 된다.

위와 같은 제약사항을 모두 반영하여 탁수발생의 원인이 되는 토사유실지역을 선정하는 데에는 시간이나 비용측면에서 많은 어려움이 있다. 따라서 현실적인 접근 방법으로 현장조사를 통해 토사유실 원인지역으로 분석된 구역에서의 제방 유무, 작물의 종류 그리고 하천주변 대단위 밀집지역을 정성적으로 평가하여 하천별로 평가한 토사유실량과 함께 연계 해석함으로써 최종적인 토사유실 원인지역을 선정하는 것이 바람직하다.

4. 탁수원인 조사를 위한 GIS 자료구축

탁수발생 원인지역을 효과적으로 분석하기 위해서는 하천별로 정확한 토사유실량을 예측하고 지질특성을 고려한 탁수발생 위험지역을 선정해야 한다. 본 연구에서는 탁수원인 분석을 위한 자료조사 방법 및 바람직한 추진방향을 제시하였다.

첫째, 탁수발생원인 토사유실을 효과적으로 모의하기 위해서는 작물특성 및 성장상태에 대한 데이터베이스 구축이 필요하며, 아울러 문헌에 제시되어 있지 않은 작물종류에 대한 식생피복인자 실험을 수행해야 한다. 작물종류 및 성장상태에 대한 GIS 데이터베이스를 효과적으로 구축하기 위해서는 그림 1과 같이 Mobile GIS 시스템을 구축하여 활용하는 것이 바람직하다. Mobile GIS 시스템은 기본적으로 토지피복도와 위성영상이 기본지도로 탑재되며, 자체 연결된 GPS 수신장치를 통해 해당 위치에 대한 좌표를 실시간으로 확인할 수 있다. 사용자는 현장에서 토지이용에 대한 현황을 확인하게 되며, 농경지에서 재배되고 있는 작물의 종류 및 점유비율 그리고 성장상태를 GUI (Graphic User Interface)를 통해 입력하게 된다. 구축된 작물종류 GIS 데이터베이스는 모델링을 위한 입력자료로 직접 이용이 가능하고, 작물별 식생피복인자에 대한 값이

실험을 통해 산출될 경우 하천별 토사유실 모의를 통한 탁수발생 원인하천을 보다 정확하게 평가할 수 있다.



그림 1. Mobile GIS 시스템을 이용한 작물 데이터베이스 구축

토사유실 평가에 대한 객관적 검증이 수행될 경우 그림 2와 같이 강우예측을 통한 하천별 토사유실량 예보가 가능하다. 특히 토사유실량을 등급화하여 토사유실 경보 및 주의보를 미리 발령함으로써 유역측면에서 토사유실 저감을 위한 대책을 사전에 강구할 수 있고, 하천 및 저수지로 유입되는 부유사 및 탁수를 사전에 예측할 수 있으므로 보다 체계적인 저수지 운영이 가능하다. 토사유실모의는 점토(Clay)에서 모래(Sand)까지의 토양유실 잠재성을 평가하는 것으로 탁수발생에 영향을 주는 점토(Clay)와 이토(Silt) 부분만을 모의하기 위해서는 유역내 지질특성을 함께 고려해야 한다. 지질특성을 고려할 경우 토사유실발생량으로부터 신규댐 및 기존댐에 대한 탁수발생 위험지도를 제작할 수 있다. 지질코드별 지질가중치 평가과정은 그림 3과 같다. 먼저, 지질자원연구원의 지질코드는 지질연대에 기초한 분류코드로 구성되어 있기 때문에 탁수평가에 필요한 암종 및 층서를 고려한 세부지질코드 설계가 필요하다.

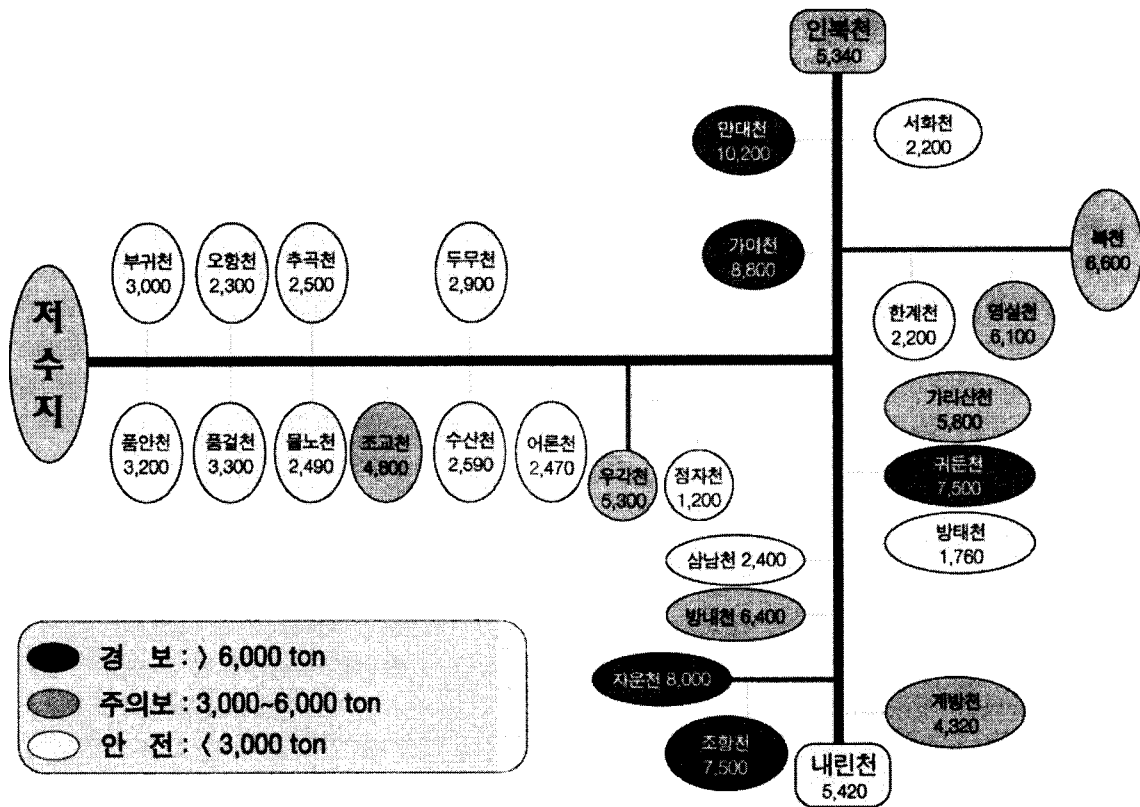


그림 2. 하천별 토사유실 예보 체계

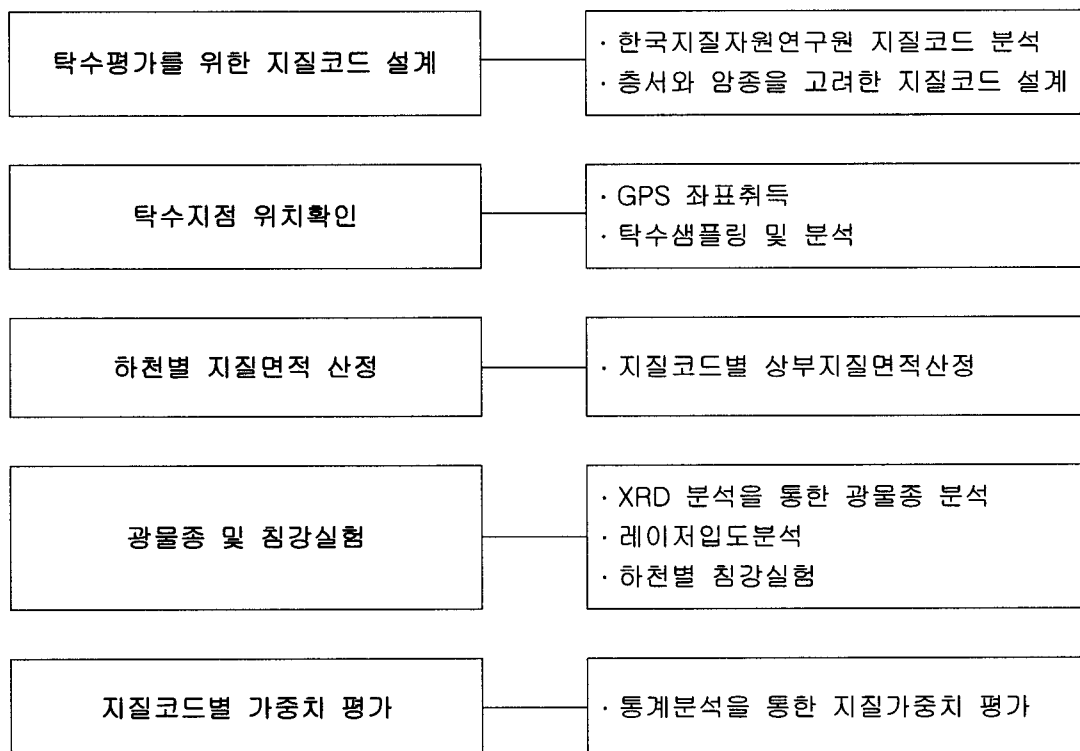


그림 3. 지질코드별 가중치산정 과정

그리고 주요하천 합류부를 기준으로 지질코드별 면적을 산정하고 강우시 탁도를 주기적으로 관측하게 되며, 하천주변의 토양, 하천 및 저수지 탁수의 침강시간, XRD 분석을 통한 광물종 그리고 레이저입도 분석기를 통한 입도크기 분석을 실시하게 된다. 마지막으로 강우, 토사유실량, 입도크기, 지질면적, 침강시간, XRD를 통한 광물종류 분포 등의 입력자료를 독립변수로 지정하고 하천별 탁도자료를 종속변수로 지정하여 통계분석을 수행함으로써 지질코드별 지질가중치를 평가할 수 있다. 따라서 지질가중치 평가를 위해서는 하천 및 저수지 탁수의 침강실험 및 레이저입도분석기에 의한 입도크기 분석 그리고 XRD 회절시험에 의한 광물종 분석 등이 필요하다. 지질코드별 가중치 평가자료는 그림 4와 같이 단순히 토사유실모형을 활용한 연구에 비해 탁수발생 원인지역을 효과적으로 분석할 수 있다.

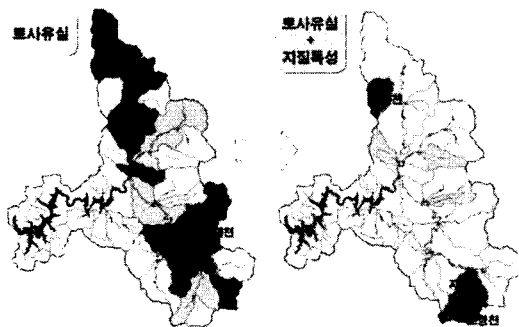


그림 4. 지질특성을 고려한 탁수원인지역 선정

5. 결론

본 연구에서는 댐유역의 탁수발생 주요 원인인 토사유실 평가과정 및 방법, 탁수 분석을 위한 자료 조사항목 및 내용 그리고 탁수원인 평가를 위한 바람직한 추진 방향을 살펴보았다. 유역내 탁수발생 원인 하천 및 세부구역을 선정하기 위해서는 GIS 기반의 토사유실모형을 이용한 쉘단위의 분석이 필요하다. 본 연구에서는 소양호 및 대청호유역을 대상으로 RUSLE 모델에 의한 토사유실량 평가를 제시하였으

며, 현지조사를 통해 토사유실 모의 결과의 유용성 및 제약성을 살펴보았다. 토사유실평가지도는 유역내 탁수발생 지역을 신속하게 파악하는데 효과적이다. 다만, 토사유실 모의시 작물에 대한 데이터베이스 부족으로 토지이용만을 고려한 결과, 현지상황을 효과적으로 반영하지 못한 사례를 대청호유역에서 확인하였다. 또한 토사유실평가의 대상이 되는 토립자의 대상이 점토질에서 모래까지인 반면, 탁수발생의 모재는 점토질에 해당되므로 지질적인 특성을 고려한 연구가 필요함을 알 수 있었다.

이와 같이 보다 효과적인 탁수발생 원인을 분석하기 위해서는 Mobile GIS 시스템을 이용한 작물종류 및 성장상태 데이터베이스 구축, 작물종류별 식생피복인자 실험, XRD 분석을 통한 광물종류 평가, 레이저입도분석, 침강실험과 같은 자료모니터링 및 실험이 지속적으로 수행되어야 할 것이다. 이러한 GIS 기반의 탁수원인 지역 선정을 위한 자료구축 체계가 지속적으로 수행될 경우 향후 강우예측을 통한 토사유실 및 탁수발생 예보가 가능하고, 아울러 지질특성과 연계한 신규댐 및 기존댐의 탁수발생 가능성 평가 및 주요 하천별 탁수발생 위험지도를 제작할 수 있을 것이다.

6. 참고문헌

- 1) 김주훈, 김경탁, 연구방 (2003) GIS를 이용한 토양침식 위험지역 분석, 한국지리정보학회지, 제6권 제2호, pp. 22-32.
- 2) 김주훈, 오덕근 (2004) 빈도별 R인자에 의한 토양침식 위험지역 분석, 한국지리정보학회지, 제7권 제2호, pp. 47-56.
- 3) 박경훈 (2003) GIS 및 RUSLE 기법을 활용한 금호강 유역의 토양침식 위험도 평가, 한국지리정보학회지, 제6권 제4호, pp. 24-36.
- 4) 이근상, 조기성 (2004) 탁수자료를 이

- 용한 GIS 기반의 토사유실량 평가, 한국지형공간정보학회지, 제 12권 제4호, pp. 75-81.
- 5) 이근상, 박진혁, 황의호, 정교철 (2005) 토사유실모델기반 탁수평가 지원을 위한 지질도 활용방안, 대한토목학회 학술발표 논문집.
 - 6) 이근상 (2006) GIS 공간분석을 이용한 안동·임하호유역의 토사유실 비교 평가, 대한토목학회논문집, 제26권 제2D호, pp. 341-347
 - 7) 정필균, 고문환, 임정남, 임기태, 최대웅 (1983) 토양유실량 예측을 위한 강우인자의 분석, 한국토양비료학회지, 제16권 제2호, pp. 112-118.
 - 8) 한국수자원공사 (2007) 4대강유역 탁수저감방안 수립 보고서.
 - 9) 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.
 - 10) 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.
 - 11) Hudson, N. (1977) Soil Conservation, Ithaca : Cornell University Press.
 - 12) 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.
 - 13) 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.