

# 상하류 지형특성을 고려한 GIS 기반 토사유실 평가

## The estimation of GIS-based soil erosion considering up- and down-stream topographic characteristics

이근상\*, 박진혁\*\*, 황의호\*\*\*, 고덕구\*\*\*\*

Geun-Sang Lee, Jin-Hyeog Park, Eui-Ho Hwang, Deuk-Koo Koh

---

### Abstract

The purpose of this paper is to present a strategic approach to selecting prior areas of soil erosion to be examined for effective soil conservation planning and management, in conjunction with remote sensing data and GIS skill for surface characteristics. To do this, two basins are selected: Andong and Imha basin. Geographically one is in the vicinity of the other but turbidity in the main reservoir of each basin is quite different. It is important to clarify general behavior of soil erosion driven by rainfall event for both basins for further understanding and effective soil conservation planning and management. Also, Both basins are divided into several sub-basins and the severity of soil loss is intensively investigated to identify areas with high erosion potential for each sub-basin so that the efficiency of soil conservation program may increase. Especially, this study analyzed soil erodibility factor(K), topographic factor(LS), cover management factor(C) and soil erosion; 3 sub-basins for Andong basin (up-, mid-, downstream) and 6 sub-basins for Imha basin (up-, mid-, and downstream for two tributaries) because Imha basin consists of two tributaries (Banyeon and Yongjeon river). The approach suggested herein will provide a guideline for choosing prior areas to be examined and managed for soil conservation planning.

*Key words* : Soil Erosion, Topographic characteristics, GIS

---

### 요 지

본 연구에서는 원격탐사와 GIS 기술을 이용하여 지형특성을 분석하고 효과적인 토양보존계획 및 관리를 위해 검토되어야 할 토사유실 원인지역을 선정하기 위한 전략적 접근방법을 제시하였다. 이를 위해 지형학적으로 인접되어 있지만 저수지의 탁도에는 매우 큰 차이를 보이고 있는 안동과 임하호 유역을 선정하였다. 각 유역에 대한 효과적인 토양보존계획 및 관리를 위해서는 강우발생에 따른 토사유실의 전반적인 거동을 파악하는 것이 중요하다. 또한 토양보존 프로그램의 효용성을 증가시키기 위해서는 각 유역을 구성하고 있는 소유역별 토사유실 잠재성을 심도 있게 분석해야 한다. 특히 본 연구에서는 안동호와 임하호 유역을 상류, 중류, 하류로 구분하여 토양침식인자, 지형인자, 식생피복인자 그리고 토사유실량의 거동을 분석하였다. 여기서 제시된 접근방법은 토양보존계획을 위해 검토되고 관리되어야 할 우선지역 선정을 위한 가이드라인을 제공할 것이다.

### 핵심용어 : 토사유실, 지형특성, GIS

- \* 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원 · E-mail : ilovegod@kowaco.or.kr  
\*\* 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원 · E-mail : park5103@kowaco.or.kr  
\*\*\* 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 연구원 · E-mail : ehhwang@kowaco.or.kr  
\*\*\*\* 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 수석연구원 · E-mail : dkkoh@kowaco.or.kr

## 1. 서론

안동호와 임하호유역은 서로 인접되어 있지만 강우발생에 따른 저수지내 탁수는 큰 차이를 보이고 있다. 댐건설후인 1993년부터 2001년까지 임하호의 연도별 최고탁도는 100~250NTU에 불과했지만, 2002년 태풍루사와 2003년 태풍 매미에 의한 집중강우로 최고 1,221NTU의 고탁수가 발생하였다. 임하호 탁수저감을 목표로 2003년 3월 “임하호유역 수질보전대책협의회”가 구성되어 임하호 탁수원인조사 및 저감대책 관련 연구를 수행중에 있다(한국수자원공사, 2004). 2000~2004년까지의 안동호와 임하호 유역의 연강우량을 살펴보면, 임하호 유역의 연강우량이 안동호 유역 강우량의 약 85%정도로 오히려 안동호 유역의 강우량이 많은 것으로 조사되었다. 강우량은 탁수발생과 양의 상관관계를 가진다. 따라서 임하호 유역의 강우량이 안동호 유역에 비해 더 적음에도 불구하고 임하호에서 탁수가 높게 나타나는 원인을 분석하는 것은 매우 중요하다. 탁수는 강우에 의한 토사발생에 직접적인 영향을 받게 되며, 탁수를 저감하기 위해서는 주요하천별 토사유실량을 평가하여 다량의 토사발생이 예상되는 소유역을 결정해야 한다. 그러나, 넓은 면적을 차지하고 있는 소유역에 대한 대책을 수립하는 데에는 막대한 예산과 시간이 소요되는 바, 탁수발생에 큰 영향을 주는 하천주변을 중심으로 한 사업시행이 필요하다. 토사유실에 영향을 주는 인자로서는 토양조직, 지형기복 및 경사 그리고 식생피복이 있으며, 효과적인 토사저감 대책을 수립하기 위해서는 이러한 인자들이 지형특성에 어떻게 좌우되는지를 분석해야 한다. 본 연구에서는 안동호와 임하호 유역의 토사유실모델의 인자와 토사유실량을 상호 비교 평가하였으며, 특히 주요하천을 기준으로 상류, 중류, 하류와 같은 지형적 특성에 따른 영향을 평가하여, 효율적인 토양보존 및 관리를 위한 가이드라인으로 활용하고자 하였다.

## 2. 안동호와 임하호 유역의 토사유실 평가

일반적으로 흙이 1cm 생성되는데 소요되는 기간은 약 200~300년 걸리지만, 우리나라 경사지 발토양의 경우 1cm 표토가 유실되는데 소요되는 기간은 3~4년으로 보고되고 있다. 이와 같이 농경활동, 개간 및 벌목 등 인간활동으로 인해 발생하고 있는 토사유실문제는 유역 및 농업지역의 환경보전측면에서 심각한 상황에 이르렀으며, 따라서 토사유실이 높게 평가되는 지역에 대한 보존대책이 요구된다(Hudson, 1977). 최근 GIS 기반의 토사유실연구가 활발히 진행중에 있으며, 본 연구에서는 유역적용성, 모델에 입력되는 자료의 유용성 및 최신의 토지피복특성을 반영할 수 있는 RUSLE 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) 그리고 경작인자(P)로 구성되어 있다(이근상, 2005).

특히 본 연구에서는 강우강도에 의한 영향특성을 효과적으로 반영하기 위해 관측소별 1분 강우량 자료를 기초로 한 강우침식인자를 산정하였다(정필균 등 1983). 표 1은 태풍중 탁수발생에 영향이 컸던 2003년도 태풍 매미 강우사상(2003.9.11~2003.9.13)을 이용하여 계산한 안동호와 임하호 유역의 RUSLE인자와 토사유실량 분석결과이다(한국수자원공사, 2003a; 한국수자원공사, 2003b). 안동호와 임하호유역의 토양침식인자의 평균값은 각각 0.297과 0.333으로서 임하호유역이 0.036 만큼 높게 평가되었다. 이는 임하호유역의 토양특성이 안동호유역에 비해 토사유실에 취약한 구조를 가지고 있음을 보여주는 것이다. 안동호와 임하호유역의 침식사면의 길이인자의 평균값은 각각 1.585과 1.696으로서 임하호가 안동호유역에 비해 0.111 만큼 높게 평가되었으며, 침식사

면의 경사인자의 평균값도 안동호와 임하호유역이 각각 6.723과 6.889로서 임하호가 안동호유역에 비해 0.166 만큼 높게 평가되었다. 이러한 결과는 임하호가 안동호유역에 비해 지형기복이 심하고 경사 역시 큰 것으로 해석될 수 있고, 따라서 임하호가 안동호유역에 비해 토사유실발생에 취약한 지형적 특성을 가지고 있음을 알 수 있다.

표 1. RUSLE인자 및 토사유실량 비교결과

유역	구분	Min	Max	Mean	StD.
안동	R	44.115	286.546	126.404	69.263
	K	0.020	0.520	0.297	0.103
	L	0.251	3.367	1.585	0.821
	S	0.049	15.067	6.723	4.675
	C	0.000	1.000	0.059	0.150
	P	0.100	1.000	0.859	0.244
	토사유실량	0.000	4890.473	8.026	50.923
임하	R	46.242	308.916	154.328	49.156
	K	0.020	0.600	0.333	0.090
	L	0.248	3.383	1.696	0.833
	S	0.049	15.125	6.889	3.969
	C	0.000	1.000	0.066	0.147
	P	0.100	1.000	0.859	0.250
	토사유실량	0.000	2786.124	10.992	32.435

안동호와 임하호유역의 식생피복인자의 평균값은 각각 0.059와 0.066으로서 임하호가 안동호유역 0.007 만큼 높게 평가되었으며, 이는 임하호가 안동호유역에 비해 토사유실에 취약한 토지피복 구조를 가지고 있음을 보여주는 것이며 특히 안동호유역에 비해 임하호 유역에 높게 나타나는 농경지 비율이 함께 반영된 것으로 해석된다. 경작인자의 평균값은 안동호와 임하호유역이 0.859로 같게 평가되었다. 이는 각 유역의 80% 정도를 차지하고 있는 산간지의 경사특성 및 산간지 피복에 적용된 등고선 방식의 경작상태 조건이 반영된 것이며, 상대적으로 논과 밭의 경작형태인 등고선 대상 및 테라스 방식의 효과는 적게 반영된 것으로 해석된다. 안동호와 임하호유역간 RUSLE 인자의 비교 결과중 강우침식인자는 기후변화에 따라 변경될 수 있는 부분이라고 볼 때, 유역을 반영하고 있는 토양, 지형기복 및 경사 그리고 토지피복상태가 모두 임하호가 안동호유역에 비해 토사유실에 취약한 문제를 가지고 있음을 알 수 있었다. 안동호와 임하호유역의 RUSLE 인자를 이용하여 토사유실량을 평가한 결과, 토사유실량의 평균값이 각각 8.026 ton/ha와 10.992 ton/ha로서 임하호유역이 2.966 ton/ha 높게 평가되었다. 안동호와 임하호 유역의 토사유실량을 정량적으로 평가하기 위해 각각의 유역면적인 1,590km<sup>2</sup>와 1,367km<sup>2</sup>로 환산한 결과 안동호와 임하호유역이 각각 1,275,806 ton과 1,501,608 ton으로서, 임하호유역이 안동호유역에 비해 225,802 ton만큼 높게 평가되었다. 이러한 결과는 임하호유역의 면적이 안동호유역에 비해 오히려 작다는 것을 감안하면 상당히 큰 양으로 해석할 수 있다.

### 3 상하류 지형특성을 고려한 토사유실 비교평가

안동호 유역은 안동천 수계로 형성되어 있는 반면, 임하호 유역은 반변천, 용전천 그리고 임하천으로 크게 구분되어 있다. 토사유실에 대한 효과적인 보존 및 관리대책을 수립하기 위해서는 수

계를 구성하는 상하류 유역의 토사유실모델의 입력인자 및 토사유실량을 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 안동호와 임하호 유역의 주요하천을 상류, 중류, 하류로 구분하였으며, 시간에 따라 변화하는 강우침식인자를 제외하고, 토사유실에 영향을 주는 토양, 지형기복 그리고 토지피복의 특성을 분석하기 위해 K, LS, C 인자의 평균값 및 토사유실량의 특성을 표 2와 같이 분석하였다.

표 2. 소유역별 토사유실량 비교결과

유역	소유역	면적(km <sup>2</sup> )	Kmean	LSmean	Cmean	토사유실량 (A)	단위토사유실량 (A/km <sup>2</sup> )
안동	상류	652	0.326	14.628	0.034	857,425	1,315
	중류	513	0.309	11.813	0.068	289,216	563
	하류	425	0.237	8.084	0.085	129,165	304
	Σ	1,590	0.297	11.969	0.059	1,275,806	802
임하	반변천(상류)	243	0.367	14.089	0.047	323,149	1,330
	반변천(중류)	280	0.328	12.831	0.067	355,588	1,270
	반변천(하류)	223	0.322	10.526	0.091	371,362	1,665
	반변천(상류)	227	0.361	13.336	0.055	168,418	742
	용전천(하류)	194	0.299	11.737	0.074	111,367	574
	임하천	200	0.309	11.448	0.054	171,724	859
	Σ	1,367	0.333	12.346	0.066	1,501,608	1,098

주요 하천별 토사유실량을 평가하기 위해서는 단위면적당(km<sup>2</sup>) 토사유실 분석결과가 의미를 갖는다. 안동호 유역에서는 상류유역이 1,315(ton/km<sup>2</sup>)로 가장 많은 토사가 발생하였고, 하류유역이 304(ton/km<sup>2</sup>)로 가장 낮게 평가되었다. 상류유역에서는 토양침식인자와 지형인자의 평균값(Kmean)이 하류유역보다 매우 높게 평가되었으며, 이러한 인자가 반영되어 토사유실량이 높게 나타난 것으로 해석된다. 반면 상류유역에는 일반적으로 경사가 급하기 때문에 농경지보다는 산림이 많이 분포하고 있어 식생피복인자가 낮게 평가되었다. 임하호 유역중 반변천은 오히려 하류유역이 1,665(ton/km<sup>2</sup>)로 가장 높은 토사유실량을 보였으며 중류유역이 1,270(ton/km<sup>2</sup>)로 가장 낮은 토사유실량을 나타내었다. 하류유역은 상류유역에 비해 토양침식인자와 지형인자가 작게 나타났지만 식생피복인자는 0.091로서 상류유역의 0.047보다 매우 높게 평가된 것이 높은 토사유실량을 유발한 원인으로 분석되었다. 용전천에서는 상류유역이 742(ton/km<sup>2</sup>)로 하류유역의 574(ton/km<sup>2</sup>)보다 높은 토사유실량을 나타냈으며, 이는 토양침식인자와 지형인자가 상류유역에서 높게 나타난 것이 주요 원인으로 해석된다. 안동호와 임하호 유역을 분석한 결과, 상류유역에서는 산림이 많이 분포하고 있기 때문에 토양입자가 매우 작고 지형경사가 매우 높아 토양침식인자(K)와 지형인자(LS)가 모두 높게 나타났다. 반면 하류유역에서는 경사가 완만한 농경지의 비율이 높기 때문에 상대적으로 식생피복인자는 상류유역에 비해 높은 특성을 보였다. 토사유실량을 저감하기 위한 다양한 대책들이 있지만, 넓은 유역에 대해 토양의 입자특성을 개선한다든지 경사가 급한 산림지역을 개간하는 것은 현실적으로 너무 많은 비용과 시간이 소모된다. 따라서 토지피복을 개선하는 것이 가장 좋은 방법임을 볼 때 상류보다는 하류유역에 초점을 맞춰서 다양한 대책들이 마련되어야 하며, 특히 임하호 유역의 경우 반변천 하류유역에 매우 높은 토사유실량이 발생하고 있는 점에 주목할 필요가 있다. 즉, 임하호 탁수의 원인이 되는 토사유실량을 저감하기 위해서는 용전천보다는 반변천 유역에 초점을 맞춰야 하며, 특히 반변천 하류유역의 토지피복을 효과적으로 개선하는 것이 가장 좋은 방안임을 본 연구결과를 통해 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구는 최근 임하호에서 발생하고 있는 고탁수의 주요 원인으로 지적되고 있는 토사유실량을 인근 안동호 유역과 상호 비교하였으며, 특히 상하류 지형특성을 고려한 토양, 지형 및 식생피복인자 그리고 토사유실량의 분포특성을 분석함으로써 다음의 결론을 얻었다.

먼저, 안동호와 임하호유역의 RUSLE 인자를 분석한 결과 경작인자를 제외한 강우침식인자, 토양침식인자, 지형인자 그리고 식생피복인자 모두 임하호유역이 모두 높게 평가되었으며, 이는 시간에 따라 변화하는 강우침식인자를 제외할 경우 임하호유역의 토양, 지형 그리고 토지피복상태가 안동호유역에 비해 토사유실에 취약한 구조를 가지고 있음을 알 수 있었다. 또한 RUSLE 인자를 이용하여 계산한 토사유실량은 안동호와 임하호유역이 각각 1,275,806 ton과 1,501,608 ton으로서, 임하호유역이 안동호유역에 비해 225,802 ton만큼 높게 평가되었다. 그리고 유역별로 상류, 하류, 중류의 토사유실 특성을 분석한 결과 상류유역에서는 산림의 높은 비율로 인해 토양침식인자와 지형인자가 높게 나타났으며, 하류지역은 완만한 농경지의 영향으로 식생피복인자가 높은 것으로 분석되었다. 특히 임하호 유역중 반변천 유역이 용전천 유역에 비해 매우 높은 토사유실량을 보였으며, 반변천 유역에서는 하류유역이 식생피복인자의 영향으로 가장 높은 토사유실량을 보였다. 토사유실량을 저감하기 위한 대책으로 토양특성 및 지형을 개선한다는 것은 너무 많은 비용과 시간이 소모되기 때문에, 토지피복 개선을 중심으로 한 대책마련이 가장 바람직하며, 이를 볼 때 반변천 하류지역의 식생피복 개선이 가장 적절한 대책임을 추정할 수 있었다.

#### 감사의 글

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

#### 참고문헌

- 이근상, 조기성(2004), 탁수자료를 이용한 GIS 기반의 토사유실량 평가, 한국지형공간정보학회지, 제 12권 제4호, pp. 75-81.
- 정필균, 고문환, 임정남, 임기태, 최대웅(1983), 토양유실량 예측을 위한 강우인자의 분석, 한국토양비료학회지, 제16권, 제2호, pp. 112-118.
- 한국수자원공사(2003a) 안동다목적댐 관리연보.
- 한국수자원공사(2003b) 임하다목적댐 관리연보.
- 한국수자원공사(2004) 임하댐 탁수저감방안 수립.
- Hudson, N. (1977) Soil Conservation, Ithaca : Cornell University Press.
- 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.