

토사유실평가를 위한 GIS 기반의 전략적 접근 방법

GIS-based strategic approach for the estimation of soil erosion

이근상*, 고덕구*, 제성진**
한국수자원공사*, 부산대학교**

Lee Geun-Sang*, Koh Deuk-Koo*, Je Seong-Jin**
Kore Institute of Water and Environment*,
Pusan National University**

요약

본 연구에서는 효과적인 토양보존 및 관리에 필요한 전략적 접근 방법을 제시하였다. 이를 위해 탁수발생이 뚜렷이 구분되는 안동호와 임하호 유역을 선정하였으며, 탁수발생 원인인 토사유실을 평가하기 위해 RUSLE 토사유실모델을 이용하였다. 토사유실 가능성이 높은 지역들은 GIS에 의한 지형특성을 기초로 분석되어질 수 있으며, 특히 상하류 유역이나 인간의 활동영역인 하천 주변 특성들을 이용하여 검토할 수 있다. 본 연구에서 제안된 모델링 결과는 토양보존 및 관리를 위해 검토되어지는 토사유실 원인지역을 선정하기 위한 가이드라인으로 활용될 수 있다. 또한 이러한 접근방법은 상대적으로 간편하며, 실질적으로 널리 활용될 수 있다.

Abstract

This paper presents a strategic approach to effective soil conservation planning and management. To do this, the soil loss model, Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) was used to quantify soil erosion in two basins (Andong and Imha basin), which are distinct in terms of sedimentation in the reservoir of each basin. Areas with high soil erosion potential were analyzed on the basis of land surface characteristics handled by geographic information system (GIS), especially dividing the basin into several sub-basins and then examination was emphasized near the river channel (water-pollutant buffering zone), along which human activities are large. Modeling results show the approach suggested herein provides a basis and guideline for choosing prior erosion risk areas to be examined for soil conservation planning and management. Also, this approach is relatively simple and has wide practical applicability.

I. 서론

본 연구에서는 탁수발생의 원인이 되는 유역내 토사유실을 효과적으로 저감하기 위한 전략적인 접근방법을 제시하는 연구로서 2002년 태풍루사와 2003년 태풍 매미에 의한 집중강우로 최고 1,221NTU의 고탁수가 발생한 임하호유역 및 인근의 안동호유역을 대상으로 선정하였다. 특히 임하호의 탁수저감을 목표로 2003년 3월 “임하호유역 수질보전대책협의회”가 구성되어 임하호 탁수원인조사 및 저감대책 관련 연구를 수행 중에 있다(한국수자원공사, 2004). 본 연구에서는 임하호 탁수발생의 원인인 토사유실을 효과적으로 저감하기 위한 사업을 추진함에 있어, 현실적으로 접근이 가능한 토지피복 측면에서의 전략적 접근 방법론에 대해 검토하였다. 이를 위해 안동호와 임하호 유역의 강우, 토양, 토지피복 및 지형자료를 토대로 토사유실모델에 의한 주요하천별 토사유실량을 평가하였으며, 유역을 상·중·하류 유역으로 구분하여 각 유역별 토양침식인자, 지형인자 그리고 식생피복인자 특성을 분석하였다. 특히

각 유역별로 단위토사유실량을 평가하여 각 유역별로 현실적으로 접근이 가능한 지역을 선정하는 방법을 제시하였다.

II. 토사유실모델

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.

먼저, 강우침식인자는 강우량과 강우강도에 영향을 받는데, 강우량보다는 강우강도가 강우침식인자에 더 큰 영향을 미치며 일정 강우강도 이하에서는 상대적으로 비침식성 결과를 보이는 것으로 알려져 있다(Hudson, 1977).

토양침식인자는 토사유실에 영향을 주는 토양의 고유한 특성을 설명하는 인자로서, 토양층의 미사, 모래함량, 토양구조, 유기물함량 및 투수성 등과 관련되어진다. 특히 토양침식인자는 토양의 표토부분을 구성하는 토양의 입경분포에 가장 큰 영향을 받게 된다. 본 연구에서는 표토에 대한 입경분포특성을 효과적으로 반영할 수 있는 Erickson(1997)의 삼각형 도표 방법을 이용하여 토양침식인자를 인덱스화 하였다.

침식사면의 길이인자는 강우시 물에 흐름이 많아지는 지형에 더 많은 에너지가 전달된다는 개념을 반영한 인자로서, 물의 다중흐름 알고리즘이 포함되어 있는 Desmet과 Govers(1996) 식을 GIS 상에서 구현하였다. 사면의 경사인자는 토양침식에 대한 경사의 영향을 나타내는 인자로서 침식사면의 길이인자보다 더 민감한 특성을 보인다. 본 연구에서는 Nearing(1997)이 제안한 식을 활용하였다.

지표를 구성하는 식생의 종류 및 성장상태는 강우에너지를 차단하는 중요한 보호요소가 된다. 이러한 피복의 다양한 특성을 반영하기 위해 본 연구에서는 USGS 기준의 토지피복인자를 적용하였다(박경훈, 2003). 경작인자는 경작형태와 지형경사에 의해 결정되는 인자로서, 일반적으로 밭은 등고선대상 방식, 그리고 논은 테라스방식을 적용하게 된다.

III. 대상지 선정 및 GIS DB 구축

안동호와 임하호 유역은 낙동강 수계 북동쪽에 서로 인접되어 위치하고 있으며, 안동호유역의 주요지천은 황지천, 현동천, 운곡천, 동계천 등이 있으며 임하호 유역은 반변천과 용전천으로 구성되어 있다.

분석을 위한 GIS DB로서, 국토지리정보원에서 구축한 1/5,000 수치지형도를 이용하여 지형인자 및 경작인자를 평가하였으며, 토지피복도는 식생인자와 경작인자를 계산하는데 활용하였다. 또한 농업과학기술원의 1/25,000 정밀토양도는 토양침식인자를 계산하기 위해 활용하였고, 강우자료는 안동댐 및 임하댐 관리연보를 이용하여 구축하였다.

IV. 토사유실 평가분석

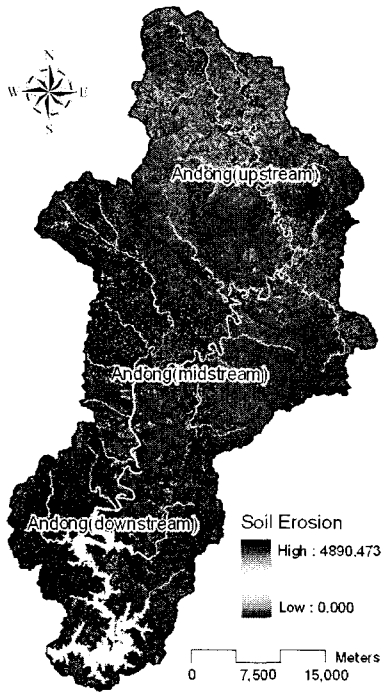
강우침식인자는 2003년 태풍매미 강우사상을 이용하여 계산한 결과, 안동호와 임하호유역의 강우침식인자 평균값은 각각 126.404 Joule과 154.328 Joule로서 임하호유역이 높게 나타났다. 이러한 결과는 태풍매미시 임하호유역이 안동호유역에 비해 높은 강우에너지와 강우강도가 발생하였음을 나타낸다. 토양침식인자는 농업과학기술원에서 구축한 1/25,000 정밀토양도를 Erickson (1997)의 삼각형 도표에 적용하여 계산

하였다. 안동호와 임하호유역의 토양침식인자의 평균값은 각각 0.297과 0.333으로서 임하호유역이 0.036 만큼 높게 평가되었다. 이러한 결과는 임하호유역의 토양특성이 안동호유역에 비해 토사유실에 취약한 구조를 가지고 있음을 보여주는 것이다. 지형인자는 Desmet과 Govers(1996) 식과 Nearing(1997) 식을 활용하여 계산하였다. 안동호와 임하호유역의 침식사면의 길이인자의 평균값은 각각 1.585과 1.696으로서 임하호가 안동호유역에 비해 0.111 만큼 높게 평가되었다. 또한 침식사면의 경사인자의 평균값도 안동호와 임하호유역이 각각 6.723과 6.889로서 임하호가 안동호유역에 비해 0.166 만큼 높게 평가되었다. 안동호와 임하호 유역의 식생피복인자의 평균값은 각각 0.059와 0.066로서 임하호가 안동호유역 0.007 만큼 높게 평가되었으며, 이는 임하호가 안동호유역에 비해 토사유실에 취약한 토지피복 구조를 가지고 있음을 보여주는 것이며 또한 경작인자의 평균값은 안동호와 임하호유역이 0.859로 같게 평가되었으며 이는 각 유역의 80% 정도를 차지하고 있는 산간지의 경사특성 및 산간지 피복에 적용된 등고선 방식의 경작상태 조건이 반영된 것이다. 토사유실량은 안동호와 임하호유역이 각각 1,590km²와 1,367km²로서, 임하호유역이 안동호유역에 비해 225,802 ton만큼 높게 평가되었다. 이러한 결과는 임하호유역의 면적이 안동호유역에 비해 오히려 작다는 것을 감안하면 상당히 큰 양으로 해석할 수 있다.

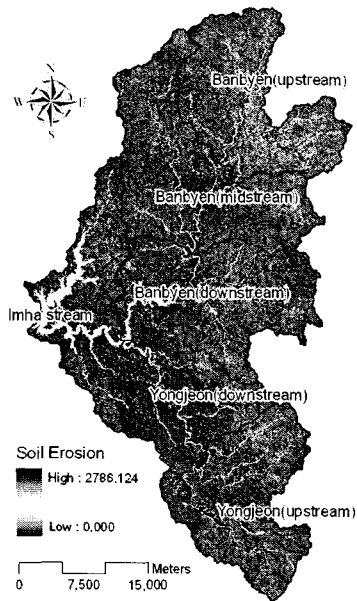
V. 토사유실평가를 위한 접근방법

토사저감 대책 수립을 위해서는 지형학적으로 하류쪽이 유리하며, 특히 하천주변을 중심으로 한 접근방법이 바람직하다. 안동호 유역은 안동천 수계로 형성되어 있는 반면, 임하호 유역은 반변천, 용전천 그리고 임하천으로 크게 구분되어 있다. 토양보존 및 관리대책을 수립하기 위해서는 수계를 구성하는 상하류 유역의 토사유실모델의 입력인자 및 토사유실량을 분석할 필요가 있다. 이를 위해 시간에 따라 변화하는 강우침식인자를 제외하고, 토사유실에 영향을 주는 토양, 지형기복 그리고 토지피복의 특성을 분석하기 위해 K, LS, C 인자의 평균값 및 토사유실량의 특성을 분석하였다. 그림 1과 2는 각각 안동호와 임하호의 토사유실 분포도이다.

주요 하천별 토사유실량을 평가하기 위해서는 단위면적당 (km²) 토사유실 분석결과가 의미를 갖는다. 안동호 유역에서는 상류유역이 1,315(ton/km²)로 가장 많은 토사가 발생하였고, 하류유역이 304(ton/km²)로 가장 낮게 평가되었다. 상류유역에서는 토양침식인자와 지형인자의 평균값이 하류유역보다 매우 높게 평가되었으며, 이러한 인자가 반영되어 토사유실량이 높게 나타난 것으로 해석된다. 반면 상류유역에는 일반적으로



▶▶ 그림 1. 안동호유역의 토사유실 분포도



▶▶ 그림 2. 임하호유역의 토사유실 분포도

경사가 급하기 때문에 농경지보다는 산림이 많이 분포하고 있어 식생피복인자가 낮게 평가되었다. 임하호 유역중 반변천은 오히려 하류유역이 1,665(ton/km²)로 가장 높은 토사유실량을 보였으며 중류유역이 1,270(ton/km²)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. 용진천에서는 상류유역이 742 (ton/km²)로 하류유역의 574(ton/km²)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 토양침식인자가 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 있으며, 따라서 임하호 탁수의 원인이 되는 토사유실량을 저감하기 위해서는 용진천보다는 반변천 하류 유역을 중심으로 한 사업들이 추진되는 것이 바람직하다고 판단된다.

VI. 결론

본 연구에서는 유역내 토사유실 저감대책 수립을 위한 GIS 관점에서의 전략적 접근방법을 제시하였으며, 안동호와 임하호유역을 대상으로 분석한 결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1. 유역내 토사유실 평가에서 시간에 따라 변화하는 강우침식인자를 제외한 토양침식인자, 지형인자 그리고 식생피복인자 모두 임하호유역이 모두 높게 평가되었으며, 이는 임하호유역의 토양, 지형 그리고 토지피복상태가 안동호 유역에 비해 토사유실에 취약한 구조를 가지고 있음을 의미한다.
2. 태풍매미 강우사상의 안동호와 임하호유역의 토사유실량은 각각 1,275,806 ton과 1,501,608 ton으로서, 임하호유역이 안동호유역에 비해 225,802 ton만큼 높게 평가되었다.
3. 토사저감 대책수립을 위한 접근성을 고려하여 상·중·하류유역을 구분하여 평가한 결과 상류유역에서는 산림의 높은 비율로 인해 토양침식인자와 지형인자가 높게 나타났으며, 하류지역은 완만한 농경지의 영향으로 식생피복인자가 높은 것으로 분석되었다.
4. 토사유실 저감을 위한 조절인자인 식생피복인자와 단위 토사유실량을 함께 고려한 GIS 관점에서 볼 때 반변천 하류지역을 중심으로 한 토사유실 저감대책 수립이 가장

바람직한 것으로 판단된다.

■ 참고 문헌 ■

- [1] 박경훈(2003) GIS 및 RUSLE 기법을 활용한 금호강 유역의 토양침식 위험도 평가, 한국지리정보학회지, 제6권 제4호, pp.24-36.
- [2] 이근상, 조기성(2004), 탁수자료를 이용한 GIS 기반의 토사유실량 평가, 한국지형공간정보학회지, 제12권 제4호, pp.75-81.
- [3] 정필균, 고문환, 임정남, 임기태, 최대웅(1983), 토양유실량 예측을 위한 강우인자의 분석, 한국토양비료학회지, 제16권, 제2호, pp.112-118.
- [4] 한국수자원공사(2004) 임하댐 탁수저감방안 수립.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Hudson, N. (1977) Soil Conservation, Ithaca : Cornell University Press.
- [8] 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.