

연구논문

탁수자료를 이용한 GIS 기반의 토사유실량 평가

Evaluation of GIS-based Soil Erosion Amount with Turbid Water Data

이근상* · 조기성**

Lee, Geun-Sang · Cho, Gi-Sung

요 旨

임하호 유역은 지질 및 토지피복 상태가 토사유실에 취약한 특성을 가지고 있어, 강우발생시 토사가 하천에 유입되어 호소내에 많은 탁수가 발생하고 있다. 본 연구에서는 임하호 탁수 저감대책을 수립하기 위한 기초자료를 생성하기 위해 GIS 기반 RUSLE 모형을 이용하여 임하호 유역의 토사유실량을 분석하였다. 2003년도 강우자료를 이용하여 토사유실량을 분석한 결과 5,782,829 ton/yr로 계산되었으며, 소유역별 분석에서는 동부천이 가장 높은 토사유실량을 나타내었다. 또한 태풍매미때의 탁수실측자료를 이용하여 RUSLE 모델로 산정한 토사유실량의 적정성을 평가할 수 있었다.

핵심용어 : 수정범용토사유실공식, 토사유실, 유수량, 탁수

Abstract

Because geological types and land cover conditions of Imha basin have a very weak characteristics to soil erosion, most soil particles flow into river and bring about high density turbidity in Imha reservoir when it rains a lot. This study used GIS-based RUSLE model and analyzed soil erosion to make basic data for the countermeasures of turbidity reduction in Imha reservoir. Total soil erosion amounts was evaluated as 5,782,829 ton/yr using rainfall data(2003) and especially Dongbu-basin was extracted as most source area of soil erosion among Imha sub-basin. Also it was evaluated that soil erosion amount by RUSLE model was suitable by applying turbidity survey data.

Keywords : RUSLE, Soil Erosion, Sediment yield, Turbid water

1. 서 론

임하댐은 1993년 준공후 2001년까지 최고탁도 100~250NTU의 수질을 유지하였으나, 2002년 태풍 루사와 2003년 태풍 매미에 의한 집중강우로 인해 최고 1,221 NTU 까지 탁도가 증가하였다. 임하호 탁수발생은 하류 지역 주민들의 생활용수 공급을 위한 정수처리비용의 증가를 가져왔으며 특히 물에 대한 주민들의 인식이 과거에 비해 많이 나빠지고 있다. 이러한 탁수발생의 주원인으로는 크게 지질학적 측면과 지형학적 측면으로 나누어 살펴볼 수 있다. 먼저 지질학적 측면을 볼 때 임하호 유역의 53% 이상이 쉘질, 실트암, 사암 및 화산 쉘질 물로 구성되어 있어 강우발생시 0.5~10 μ m의 탁수입자가 호소내로 유입되어 고탁수를 유발시키고 있다. 또한 인근의 안동호 유역과 비교하여 하천 본류 주변에 제방의 형태를 갖추지 못한 농경지들이 많이 분포하고 있어 강우발생시 대부분의 토사가 하천으로 유입되는 구조적

인 문제를 안고 있었다.

이러한 탁수발생을 저감하기 위한 유역대책으로는 경작지 및 주변산지 정비, 사방댐 및 농업용 저수지 건설, 댐내 주변 습지조성 그리고 수변구역내 토사유출 방지 사업 등이 있다. 이러한 사업을 원활히 추진하기 위해서는 임하호 유역의 토사유실량을 정확하게 평가하는 것이 무엇보다도 중요하며, 특히 소유역별로 토사유실다발지역을 셀단위로 분석하여 유역대책 우선지점 선정시 기초자료로 활용할 필요성이 있다.

본 연구에서는 임하호 소유역별 토사유실량을 평가하기 위해, 유역에 적용 가능하고 셀단위의 분석이 가능한 GIS 기반 RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) 모델을 선정하였다. 기존의 상용화된 RUSLE 모델은 각 인자들을 계산하기 위해 적용되는 경험식의 선정에 한계가 있고 특히 GIS 및 RS 자료와의 연계가 어려운 문제가 있었다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 상용화된 RUSLE 모델이 가지고 있는 문제점을 개선하기 위해 최

2004년 11월 26일 접수, 2004년 12월 13일 채택

* 주저자, 정회원, 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원 (ilovegod@kowaco.or.kr)

** 정회원, 전북대학교 토목공학과 교수 (gscho@moak.chonbuk.ac.kr)

근 유역에 적용 가능한 RUSLE 경험식들을 GIS 프로그램에서 직접 구현하였다.

국내의 GIS 기반 RUSLE 모델을 활용한 토사유실 연구로서, 김주훈 등(2003)은 RUSLE 모델과 GIS를 연계하여 유역내 토사유실량을 평가하고 토사유실 원인지역을 토지피복과의 연계하여 해석하였으며, 이근상 등(2001)은 RUSLE 모델을 적용시 다양한 지형인자들이 토사유실량에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 이환주(2002)는 토사유실량 평가시 토양도 자료의 경계표현 방식을 효과적으로 모의하기 위해 퍼지함수를 적용하였다.

임하호 유역의 토사유실 원인지역을 셀단위로 분석하기 위해서는 활용되는 자료의 정밀도가 매우 중요하다. 본 연구에서는 정밀도양도 및 중분류체계의 토지피복도와 같은 정밀 GIS 자료를 활용하여 탁수발생 대책수립을 위해 필요한 셀단위의 토사유실량을 평가하여 제시하였다. 또한 2003년 태풍매미 당시 임하호에서 관측한 탁도자료를 이용하여 RUSLE 모델로 계산한 토사유실량의 적정성을 검토해 보았다.

2. RUSLE 모델

유역에서의 토사유실 평가를 위한 모델을 선정할 때, 그 모델에 입력되는 자료의 유용성과 축적이 결정적인 요소가 된다. 입력자료가 명확하게 주어지는 경우에 최적의 기능을 수행할 수 있도록 모델을 유도해내야 하며 이러한 모델은 크게 경험적 모델과 결정론적 모델로 나눌 수 있다.

경험적 모델은 개념적 혹은 이론적 배경 없이 경험적인 자료를 통해 유도되며 합리적인 데이터베이스가 구축되어졌을 때 변수들간의 중요한 통계적 관계를 알아내는 것을 기본으로 한다. 또 다른 모델인 결정론적 모델은 물리적인 관계로부터 얻어진 이론적 배경과 수식을 기본으로 하여 침식과정을 수학적인 관계를 기본으로 설명하며 수치적인 결과물을 산출한다(Barfield et al., 1989).

대표적인 토사유실모델모델로는 USLE(Universal Soil Loss Equation), ANSWERS(Areal Nonpoint Source Watershed Environmental Response Simulator) 그리고 WEPP(Water Erosion Prediction Project) 등이 있다. 모델을 선정하는 판단 기준으로는 자료의 이용가능성, 사용 목적 그리고 규모 등을 충분히 검토하여 선정해야 한다. 본 연구에서는 먼저 유역에 적용이 가능하고 자료입수가 용이하며 특히 토사유실량을 셀단위로 분석하기 위해 GIS 및 RS 자료를 활용할 수 있는 모델로 한정하였다. 이러한 요건을 검토한 결과 GIS 기반 RUSLE 모델이 임하호 유역의 토사유실량 산정에 가장 적합한 모델로 결정되었

다. 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.

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

먼저, 강우침식인자는 연평균 강우의 침식능력으로서 강우의 시간적인 분포와 특성으로부터 얻어진다. 정필균 등(1983)은 기상청 산하 관측소 중 51개소를 택하여 79~81년까지 3년에 걸쳐 강우침식인자를 결정하여 등강우침식선도를 작성하였다. 본 연구에서는 정필균 등(1983)이 제시한 국내의 등강우침식선도와 유사한 값을 나타내는 Toxopeus 식을 적용하여 강우침식인자를 계산하였다.

$$R = 38.5 + 0.35 \times P_{yr} \quad (2)$$

여기서 R은 강우침식인자(J/m²)이고, P_{yr}는 연평균 강우량(mm/yr)이다.

토양침식인자는 강우발생시 지표층을 구성하는 토립자의 입경분포, 토양조직, 유기물함량 그리고 투수계수 등에 따라 변화하는 특성을 나타내는 지수로서, 본 연구에서는 Erickson(1997)의 삼각형 도표에 적용하여 계산하였다.

지형인자는 사면의 길이인자(L)와 경사인자(S)로 구성되어 있다. 먼저 침식사면의 길이인자는 단위구획 경사길이인 22.13m에 대한 수평길이의 비를 의미한다. 본 연구에서는 강우 발생시 다중흐름 알고리즘을 구현할 수 있는 Desmet과 Govers(1996)가 제안한 식 (3)을 적용하였다.

$$L_{ij} = \frac{(A_{ij-m} + D^2)^{m+1} - A_{ij-m}^{m+1}}{D^{m+2} \times x_{ij}^m \times 22.13^m} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{(\sin \theta / 0.0896)}{(2.96 \times \sin^{0.79} \theta + 0.56)}, \quad m = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

L_{ij}는 격자에 대한 침식사면의 길이인자이며 A_{ij-m}는 격자에 유입되는 상류 기여면적이다. 또한 D는 격자 크기이고 m은 침식사면길이의 멱지수이고, θ는 경사이며, x_{ij}는 흐름방향에 직교하는 등고선 길이로서 (|sin α_{ij}| + |cos α_{ij}|)로서 표시가 가능하다. 그리고 α_{ij}는 격자방향이다.

식 (3)은 경사 및 흐름방향 그리고 대상격자로 유입되는 상부기여면적을 고려함으로써 실제 토사유실과정을

효과적으로 표현하게 된다. 전체 격자수에 해당하는 면적은 침식사면의 길이로 변환하기 위해 대상격자의 등고길이를 그림 1과 같이 분류하였다. 유실된 토사는 물과 함께 하류로 이동한다는 점에 착안하여 본 연구에서는 상부기여면적을 산정하기 위해 유역추출알고리즘에서 활용되는 흐름누적격자 방식을 적용하였다.

사면의 경사인자는 토양침식에 대한 경사의 영향을 나타내는 인자로서, 본 연구에서는 Nearing(1997)이 제안한 식 (4)를 활용하였다.

$$S = -1.5 + \frac{17}{1 + \exp(2.3 - 6.1 \sin \theta)} \quad (4)$$

여기서, θ 는 경사이다.

특정지역내의 식생피복인자값은 식생의 종류, 식생이 성장하는 상태, 경작형태와 관리요소들에 의하여 좌우된다. 식생피복인자값의 비율은 식생이 성장하기 전의 맨땅에서와 같은 지역에서는 약 1.0으로 높은 값을 가지지만, 삼림이 밀집된 지역에서는 상대적으로 낮은 값을 갖는다. 본 연구에서는 USGS에서 발표한 표 1의 토지피복별 식생피복인자 기준을 적용하였다(박경훈, 2003).

경작인자는 경작형태와 지형경사에 의해 결정되는 인

자로서, 일반적으로 밭은 등고선대상방식에 해당되고 논은 테라스방식에 해당된다.

표 2. 경작형태와 경사에 따른 경작인자

| 경사(%) | 등고선 | 등고선대상 | 테라스 |
|-------------|------|-------|------|
| 0.0 - 7.0 | 0.55 | 0.27 | 0.10 |
| 7.0 - 11.3 | 0.60 | 0.30 | 0.12 |
| 11.3 - 17.6 | 0.80 | 0.40 | 0.16 |
| 17.6 - 26.8 | 0.90 | 0.45 | 0.18 |
| > 26.8 | 1.00 | 0.50 | 0.20 |

3. 적용 및 결과분석

3.1 연구대상지

임하호 유역은 낙동강 북동쪽에 위치하고 있으며, 행정구역상으로는 경북 안동시, 영양군 그리고 청송군에 걸쳐 있다. 임하호의 유역면적은 1,361km²이고 유로연장은 반변천을 기준으로 약 98km이다(한국수자원공사, 2003).

임하호 유역을 추출하기 위해 국토지리정보원의 1/5,000 수치지형도로로부터 생성한 DEM 자료를 활용하였다. 댐 직상류에 넓게 분포하고 있는 임하호에 의한 유역추출 오차를 최소화하기 위해 이근상 등(2002)이 제시한 Voronoi Diagram을 활용한 하천인식 DEM 생성 알고리즘 기법을 적용하여 그림 2와 같은 52개의 소유역을 생성하였다.

Contour Length = $|\sin \alpha| + |\cos \alpha| = 1$ where: α = aspect of the grid cell
 Contour Length = $|\sin \alpha| + |\cos \alpha| > 1$ where: α = aspect of the grid cell

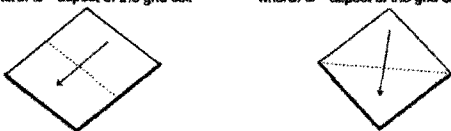


그림 1. 격자의 방향에 따른 등고길이

표 1. 토지피복별 식생피복인자

| 토지피복 형태 | | 식생피복인자 |
|---------|---------|--------|
| 대분류 | 중분류 | |
| | 산림 | 0.009 |
| | 농경지 | 0.400 |
| 산림 | 침엽수 | 0.004 |
| | 활엽수 | 0.007 |
| | 혼효림 | 0.007 |
| 농경지 | 밭 | 0.400 |
| | 논 | 0.300 |
| | 과수원 | 0.200 |
| 초지 | 공원, 초지 | 0.050 |
| 시가지 | 저밀지역 | 0.002 |
| | 고밀지역 | 0.001 |
| | 공업지역 | 0.000 |
| | 도로, 철로 | 0.000 |
| 나대지 | 나대지 | 1.000 |
| 수계 | 하천, 저수지 | 0.000 |

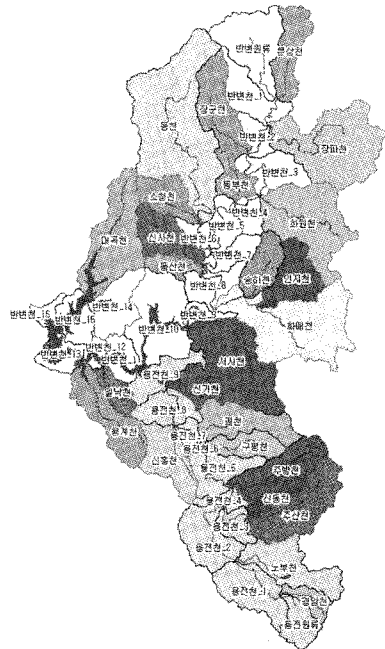


그림 2. 연구대상지

3.2 자료구축

임하호 유역의 토사유실량을 산정하기 위해 표 3과 같은 자료를 구축하였다. 국토지리정보원에서 구축한 1/5,000 수치지형도는 지형인자 및 경작인자를 계산에 위한 DEM 제작에 활용하였으며, 토지피복도는 식생인자와 경작인자를 계산하는데 활용하였다. 또한 농업과학기술원의 1/25,000 정밀토양도는 토양침식인자를 계산하기 위해 활용하였고, 강우자료는 임하댐 관리연보를 이용하여 구축하였다.

3.3 임하호 유역의 토사유실량 평가

임하호 유역의 토사유실량을 평가하기 위해 RUSLE 인자를 계산하였다.

먼저, 강우침식인자를 계산하기 위해 임하호 주변에 위치하고 있는 청송, 부동, 부남, 진보, 석보, 영양, 수비, 일월 관측소의 2003년 강우량 자료를 적용하였다(한국수자원공사, 2003). 관측소별 강우량 자료를 스플라인 보간을 통해 5m 해상도의 강우분포도로 변환한 후 Toxopeus 식을 적용하여 강우침식인자를 계산하였다.

토양침식인자는 농업과학기술원에서 구축한 1/25,000 정밀토양도를 Erickson(1997)의 삼각형 도표에 적용하여 계산하였다. 이는 기존의 개략토양도에 의한 계산방법보다 매우 정밀한 토양침식인자 계산이 가능하므로 임하호 탁수발생의 원인이 되는 지역을 셀단위로 분석하는데 효과적이다.

지형인자는 1/5,000 수치지형도 340도엽을 이용하여 제작한 5m 해상도의 DEM을 활용하여 계산하였다. 임하호 유역은 전 유역의 53% 이상이 도계동층에 속하는 셰일층과 점토성 지질로 구성되어 있어 강우발생시 대부분의 토사가 콜로이드성 형태로 흘러가기 때문에 임하호 탁수발생에 직접적인 영향을 주게 된다. 따라서 강우시 부유사나 소립자 형태로 토사가 흘러가는 기존의 타유역과는 다른 각도에서의 접근이 필요하다. 대부분의 토사가 물과 함께 흙탕물 형태로 하천으로 유입되는 임하호 유역의 특성을 고려해 볼 때, 지형인자 계산시 하천주변에 주로 분포하고 있는 완경사 형태의 농경지에서 여러 방향으로 흘러가는 물의 흐름을 함께 반영하는 것이 중요하다. 특히 본 연구에서는 침식사면의 길이인자를 계

산하기 위해 Desmet과 Govers(1996) 식을 적용함으로써, 임하호 유역에 주로 분포하고 있는 풍화암의 셰일층 및 점토질로 구성된 토사의 이송 과정을 효과적으로 모의할 수 있었다.

식생피복인자 계산을 위해 환경부에서 구축한 중분류 체계의 토지피복도를 기반으로 농경지에 대한 현장조사를 병행하였다. 표 4는 임하호 유역의 토지피복 분포특성을 분석한 결과이며, 식생피복인자 계산을 위해 USGS에서 제시한 표 1의 토지피복별 식생피복인자 기준을 이용하였다.

경작인자는 수치지형도에서 추출한 DEM 자료와 중분류 체계의 토지피복도를 조합한 후 표 2의 기준을 적용하여 분석하였다. 이와 같이 분석한 RUSLE 인자를 이용하여 5m 해상도의 토사유실량을 계산하였다.

표 5는 분석한 임하호 유역의 RUSLE 인자와 토사유실량 통계분석 결과이며, 그림 3은 토사유실량 분포도이다.

표 4. 임하호 유역의 토지피복 분석결과

| 토지피복 | | 면적(km ²) | 비율(%) |
|------|-------|----------------------|--------|
| 대분류 | 중분류 | | |
| 시가지 | 주거지역 | 12.0 | 0.88 |
| | 공업지역 | 0.3 | 0.02 |
| | 상업지역 | 0.7 | 0.05 |
| | 교통 | 4.6 | 0.34 |
| | 공공시설 | 1.1 | 0.08 |
| 농경지 | 논 | 45.4 | 3.33 |
| | 밭 | 138.5 | 10.17 |
| | 비닐하우스 | 0.4 | 0.03 |
| | 과수원 | 19.4 | 1.42 |
| 산림 | 활엽수 | 202.4 | 14.87 |
| | 침엽수 | 609.2 | 44.77 |
| | 혼효림 | 274.5 | 20.17 |
| 초지 | 초지 | 5.5 | 0.40 |
| 습지 | 습지 | 6.2 | 0.45 |
| 나대지 | 나대지 | 8.2 | 0.61 |
| 수계 | 수계 | 32.7 | 2.41 |
| 합계 | | 1361.0 | 100.00 |

표 5. RUSLE 인자 및 토사유실량 분석결과

| | 최소 | 최대 | 평균 | 표준편차 |
|---|---------|-----------|---------|---------|
| R | 511.000 | 624.400 | 585.420 | 18.740 |
| 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 |
| A | 0.000 | 10903.039 | 41.929 | 121.059 |

표 3. 자료 내용

| 데이터베이스 | 축척/해상도 | 출처 |
|----------|----------|---------|
| 수치지형도 | 1/5,000 | 국토지리정보원 |
| 토지피복도 | | 환경부 |
| 정밀토양도 | 1/25,000 | 농업과학기술원 |
| SPOT 5영상 | 2.5m | |
| 강우자료 | | 한국수자원공사 |

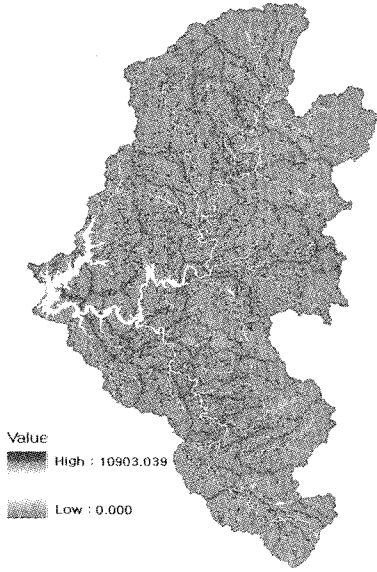


그림 3. 임하호 지역의 토사유실량 분포도

표 5의 토사유실량 분석결과는 5m 해상도의 셀 자료를 기반으로 정리한 것이며 임하호 유역면적인 1,361km²

로 환산한 결과 5,782,829 ton/yr의 토사유실량을 얻을 수 있었다. 또한 소유역별 토사유실량을 산정하기 위해 ArcGIS의 Zonal 함수 및 통계처리를 수행함으로써 표 6의 결과를 얻었다.

소유역별 분석결과를 볼 때, 동천유역이 567,950.000 ton/yr로 가장 많은 토사유실량을 나타냈으며, 화매천유역 그리고 서시천유역 순서로 나타났다. 이것은 유역면적이 고려된 결과이며 각 유역의 토사유실량을 면적으로 나눈 단위면적당 토사유실량은 동부천유역이 9,357.699 ton/km²/yr로 가장 높은 값을 보였으며, 신사천유역 그리고 반변천_2유역 순으로 분석되었다.

3.4 탁도자료를 이용한 토사유실량 검토

본 연구에서 제시한 토사유실량은 2003년 강우자료를 기초로 계산된 것으로서 임하호 탁수발생에 큰 영향을 미친 태풍 매미당시 관측한 탁수자료를 이용하여 RUSLE 모델에 의한 토사유실량의 적정성을 검토해 보았다.

3.4.1 토사유실량 자료를 이용한 부유사량 추정

2003년도 강우자료를 이용하여 계산한 RUSLE 모델의 강우침식인자는 표 5에서와 같이 585.420 Joule이다.

표 6. 임하호 소유역별 토사유실량 분석결과

| 소유역 | 면적(km ²) | 토사유실량(ton/yr) | 소유역 | 면적(km ²) | 토사유실량(ton/yr) |
|--------|----------------------|----------------------|--------|----------------------|---------------|
| 문상천 | 25.931 | 91,102.648 | 용전천 1 | 32.173 | 153,731.891 |
| 반변원류 | 42.214 | 138,917.016 | 노부천 | 35.425 | 123,500.797 |
| 반변천 1 | 24.576 | 124,934.148 | 용전천 2 | 30.681 | 111,791.586 |
| 장파천 | 70.822 | 239,098.250 | 주산천 | 40.683 | 111,506.789 |
| 반변천 2 | 10.692 | 69,113.477 | 신동천 | 11.209 | 41,245.176 |
| 장군천 | 34.933 | 146,645.516 | 용전천 3 | 10.448 | 25,025.277 |
| 반변천 3 | 23.313 | 129,323.266 | 용전천 4 | 7.051 | 14,740.402 |
| 화입천 | 59.285 | 234,604.266 | 주방천 | 33.746 | 112,996.258 |
| 반변천 4 | 9.731 | 48,422.906 | 용전천 5 | 23.020 | 66,673.461 |
| 동부천 | 13.312 | 124,569.688 | 구평천 | 18.906 | 62,562.090 |
| 반변천 5 | 15.365 | 49,287.406 | 용전천 6 | 1.331 | 3,795.369 |
| 동천 | 114.982 | 567,950.000 | 괘천 | 30.956 | 104,498.820 |
| 소청천 | 21.236 | 114,351.539 | 용전천 7 | 6.784 | 21,006.662 |
| 반변천 6 | 7.805 | 29,691.076 | 신흥천 | 29.454 | 133,211.984 |
| 반변천 7 | 13.271 | 55,022.477 | 용전천 8 | 19.798 | 89,361.758 |
| 신사천 | 25.550 | 172,668.047 | 신기천 | 22.257 | 84,432.992 |
| 동산천 | 10.439 | 61,077.508 | 용전천 9 | 18.656 | 71,253.078 |
| 반변천 8 | 18.482 | 73,623.742 | 반변천 11 | 14.315 | 64,546.199 |
| 화매천 | 76.646 | 309,812.000 | 일낙천 | 12.049 | 77,524.258 |
| 인지천 | 28.071 | 151,550.797 | 반변천 12 | 6.436 | 16,851.217 |
| 송하천 | 20.340 | 87,870.227 | 용계천 | 36.120 | 167,282.188 |
| 반변천 9 | 6.926 | 16,941.277 | 반변천 13 | 14.983 | 22,947.307 |
| 서시천 | 55.699 | 268,078.188 | 대곡천 | 53.055 | 245,161.906 |
| 반변천 10 | 52.177 | 266,237.031 | 반변천 14 | 25.881 | 123,703.898 |
| 용전원류 | 15.626 | 55,443.344 | 반변천 15 | 18.602 | 58,283.469 |
| 경암천 | 9.996 | 37,859.547 | 반변천 16 | 6.231 | 10,998.903 |
| 총 계 | | 면적(km ²) | | 1,367.670 | |
| | | 토사유실량(ton/yr) | | 5,782,829.120 | |

태풍매미 당시의 강우량인 185mm를 적용한 강우침식인자는 103 Joule로서 2003년도 강우량 자료를 적용한 강우침식인자와의 비율은 17.6%로 나타났다. 태풍매미때의 강우침식인자 비율을 토사유실량 결과에 반영한 결과 태풍매미때의 토사유실량은 1,014,532ton로 나타났다. 유실된 토사가 물의 흐름을 따라 하천 및 호소로 이동하여 나타나는 유사량을 평가하기 위해서는 유사운송비의 개념이 필요하다. 유사운송비를 결정하는 방법들은 매우 다양하지만 간단하게 평가할 수 있는 방법으로는 유역면적을 이용하는 것이 일반적이다. 임하호유역의 면적은 1,361km²로서, 윤태훈(1999)에 의하면 1,000km² 이상의 유역면적에서는 유사운송비가 보통 7%를 보이게 된다. 태풍매미때의 토사유실량에 유사운송비 7%를 고려한 결과 71,017ton의 유사량을 얻을 수 있었다. 이러한 유사는 점토, 이토, 모래 및 자갈등이 복합적으로 구성되어 있다. 임하호 탁수조사시 관측된 유사의 입경분포는 0.5~10 μ m로서 점토질 대부분과 일부 이토질로 구성되어 있었다. 따라서, 토사유실량과 탁수와의 연관성 검토를 위해서는 유사량중 점토질의 비율을 추정해야 한다. 건설부(1992) 자료에는 국내 주요하천의 유사량 실측자료가 제시되어 있으며, 섬강의 경우 유사입경분포는 점토와 이토가 92% 그리고 모래는 5~8%로 관측되었다.

임하호는 지질적으로 다른 유역에 비해 점토 및 풍화암의 쉼층이 많이 분포하고 있다. 따라서 섬강의 사례를 고려해 볼 때 임하호의 토사유실에 의한 유사량의 90% 이상이 점토질로 추정할 수 있다. 따라서 유사량 71,017ton중 90%인 63,915ton을 점토성 부유사로 결정하였다.

3.4.2 탁수자료를 이용한 부유사량 계산

태풍매미는 2003년 9월 11일부터 9월 13일까지 총강우지속시간 31시간에 걸쳐 185mm의 강우를 기록했으며 댐 유입량은 약 2억 7천 3백만톤으로 관측되었다. 태풍매미 당시 임하호에서 선박을 이용한 탁도관측을 실시하여, 최고탁도 1,221 NTU와 평균탁도 270 NTU를 얻을 수 있었다. 또한 탁수를 샘플링하여 부유사(SS) 농도를 측정 후 탁도와와의 관계를 분석하여 식 (5)를 얻을 수 있었다.

$$\text{부유사 농도} = 0.87 \times \text{탁도} \quad (5)$$

식 (5)의 관계식에 평균탁도인 270 NTU를 적용하여 235 mg/l의 부유사 농도를 계산하였고, 부유사 농도에 태풍매미 당시의 유입량을 곱하여 64,155ton의 부유사량을 계산할 수 있었다.

3.4.3 탁도자료를 이용한 토사유실량 검토

RUSLE 모델에 의한 토사유실량에 유사운송비 개념을 도입하여 추정된 부유사량과 탁수자료로부터 계산한 부유사량의 계산 결과를 비교해 보았다. RUSLE 모델에 의한 부유사량은 63,915ton로 추정되었으며, 관측된 탁도로부터 계산한 부유사량은 64,155ton으로서 RUSLE 모델에 부유사량과 매우 유사하게 나타났다. 이러한 결과는 RUSLE 모델에 의한 임하호 유역의 토사유실량값이 상당부분 정량화되어 있음을 의미한다.

본 연구에서 평가한 소유역별 토사유실량 결과는 임하호의 탁수저감을 위해 실시할 유역대책 수립시 각 대책지점별 범위와 사업비 산정 그리고 이를 통한 탁수저감효과를 평가하기 위한 기초자료로 활용될 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 임하호 탁수저감을 위한 유역대책 수립시 기초자료가 되는 유역내 토사유실량을 GIS 기반 토사유실모델인 RUSLE 모델을 이용하여 산정하는 연구로서, 분석 결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 연구에서는 1/250,000 개략도양도 및 대분류체계의 토지피복도에 의한 개략적인 형태의 RUSLE 인자 계산을 개선하고자, 1/25,000 정밀도양도 및 중분류체계의 토지피복도를 활용함으로써 보다 정밀한 형태의 RUSLE 인자를 산정할 수 있었다.
2. 임하호 유역은 도계동층에 속하는 쉼층 및 점토성 토질로 구성되어 있어 강우발생시 흩탕물 형태로 토사가 하천에 유입되는 특성을 갖는다. 본 연구에서는 다중흐름알고리즘의 구현이 가능한 지형인자를 적용함으로써 임하호 유역의 지질특성까지도 고려한 지형인자를 계산할 수 있었다.
3. RUSLE 모델에 의한 토사유실량 자료를 기반으로 GIS Zonal 함수와 통계분석을 통해 임하호 소유역별 토사유실량을 평가한 결과 동천유역이 가장 많은 토사유실량을 보였으며, 화매천유역 그리고 서시천유역 순으로 나타났다. 이러한 토사유실량은 면적개념이 포함되어 있기 때문에 셀단위의 토사유실량 발생 우선순위를 평가하기 위해서는 단위면적으로의 환산이 필요하다. 단위면적으로 환산한 토사유실량 평가에서는 동부천유역이 가장 높은 값을 보였으며, 신사천유역 그리고 반면천_2유역 순으로 분석되었다.
4. 태풍매미 당시 실측한 탁도자료를 이용하여 계산한 부유사량 값과 RUSLE 모델에 의한 토사유실량으로부터 추정된 부유사량 값을 상호 비교한 결과 매우

유사한 결과를 얻었으며, 이를 통해 RUSLE 모델에 의한 임하호 유역의 토사유실량 결과값의 적정성을 확보할 수 있었다. 또한 본 연구에서 제시된 소유역별 토사유실량은 임하호 탁수저감을 위한 유역대책 수립시 각 사업별 규모와 예산 그리고 저감효과 분석을 위한 기초자료로서 그 활용이 기대된다.

감사의 글

본 연구를 수행함에 있어 토양도 자료를 제공해주신 '농촌진흥청 농업과학기술원' 과 토지피복도를 제공해주신 '환경부' 에 감사드립니다.

참고문헌

1. 건설부, 1992, 댐건설을 위한 유역단위 비유사량 조사·연구, pp. 127-132.
2. 김주훈, 김경택, 연구방, 2003, "GIS를 이용한 토양침식 위험지역 분석". 한국지리정보학회지, 제6권, 2호, pp. 22-32.
3. 박경훈, 2003, "GIS 및 RUSLE 기법을 활용한 금호강 유역의 토양 침식위험도 평가", 한국지리정보학회지 제6권, 4호, pp. 24-36.
4. 윤태훈, 1999, 응용수문학, 청문각, pp. 511-519.
5. 이근상, 이환주, 임승현, 조기성, 2001, "GSIS를 활용한 토양침식 모형에서 지형인자의 영향분석", 대한토목학회논문집, 제21권 4-D호, pp. 545-554.

6. 이근상, 전형섭, 임승현, 조기성, 2002, "GIS 기반 Voronoi Diagram을 이용한 하천인식 DEM 생성에 관한 연구", 한국GIS학회지, 제10권, 3호, pp. 439-454.
7. 이환주, 2002, "GSIS 공간분석 기법을 활용한 토양침식 잠재성 평가에 관한 연구", 전북대학교 대학원 박사논문.
8. 정필균, 고문환, 임정남, 임기태, 최대웅, 1983, "토양유실량 예측을 위한 강우인자의 분석", 한국토양비료학회지, 제16권, 2호, pp. 112-118.
9. 한국수자원공사, 2003, "임하다목적댐 관리연보".
10. Barfield, B. J., C. T. Haan and D. E. Storm, 1989, "Why model?", Proceedings of the CREAMS /GLEAMS Symposium, pp. 3-8.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. Renard, K.G., Foster, G.R, Weesies, G.A., and Porter, P.J., 1991, "RUSLE : Revised Universal Soil Loss Equation", Journal of Soil and Water Conservation, Vol. 46, No. 1, pp. 30-33.