

# 토사유실 원인지역 검토를 위한 SPOT 5 위성영상과 토지피복도의 활용

## Application of SPOT 5 Satellite Image and Landcover Map for the examination of Soil Erosion Source Area

이근상\* / 박진혁\*\* / 황의호\*\*\* / 고덕구\*\*\*\*

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

### Abstract

Soil erosion by rainfall is important factor for basin management because it reduces reservoir capacity and breaks out the contamination of water caused by turbid water. Recently, soil erosion study with GIS is in progress but does not consider soil erosion source area.

This study calculated soil erosion amount using GIS-based soil erosion model in Imha basin and examined soil erosion source area using SPOT 5 high-resolution satellite image and land cover map. As a result of analysis, dry field showed high-density soil erosion area and we could easily investigate source area using satellite image. Also we could examine the suitability of soil erosion area by applying field survey method in common areas such as dry field and orchard area those are difficult to confirm soil erosion source area using satellite image.

*keywords* : RUSLE, Soil Erosion, Satellite Image, Land Cover Map

### 요 지

강우에 따른 토사유실은 호소내 저수용량 감소 및 탁수 등의 수질오염을 유발하기 때문에 유역관리 측면에서 중요한 인자가 된다. 최근 GIS를 활용한 토사유실평가 연구가 진행되고 있으나, 토사유실 원인지역에 대한 검토는 고려하지 않고 있다. 본 연구에서는 GIS 기반 토사유실모델을 활용하여 임하호 유역의 토사유실량을 산정하였으며, SPOT 5 고해상도 위성영상과 토지피복도 자료를 활용하여 토사유실원인지역을 검토하였다. 분석결과 토사유실이 높게 나타나는 지역의 대부분이 밭으로 확인되었으며 그 위치를 영상에서 효과적으로 확인할 수 있었다. 또한 위성영상에서 경계를 확인하기 곤란했던 밭과 과수원이 공통으로 나타나는 지역은 현장확인을 통해 그 적정성을 검토할 수 있었다.

**핵심용어** : 수정범용토사유실공식, 토사유실, 위성영상, 토지피복도

\* 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원  
Senior Researcher, Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation.  
(e-mail: ilovegod@kowaco.or.kr, Tel.:+82-42-860-0354)

\*\* 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원  
Senior Researcher, Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation.  
(e-mail: park5103@kowaco.or.kr)

\*\*\* 한국수자원공사 수자원연구원 연구원  
Head Researcher, Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation.  
(e-mail: ehhwang@kowaco.or.kr)

\*\*\*\* 한국수자원공사 수자원연구원 수석연구원  
Head Researcher, Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation.  
(e-mail: dkkoh@kowaco.or.kr)

## 1. 서론

강우발생에 따른 유역내 토사유실은 하천의 통수능력을 저하시키고 호소내 탁수와 같은 수질오염의 주요 원인이 되고 있다. 1993년 준공된 임하댐은 2001년까지 최고탁도 100~250NTU의 수질을 유지하였으나, 2002년 태풍 루사와 2003년 태풍 매미에 의한 집중강우로 인해 최고 1,221 NTU 까지 탁도가 증가하였다. 임하호 탁수발생은 하류지역 주민들의 생활용수 공급을 위한 정수처리비용의 증가를 가져왔으며 특히 물에 대한 주민들의 인식이 과거에 비해 많이 나빠지고 있다.

이러한 탁수발생은 크게 지질학적 측면과 지형학적 측면으로 나누어 그 요인을 살펴볼 수 있다. 먼저 지질학적 측면을 볼 때 임하호 유역의 53% 이상이 셰일, 실트암, 사암 및 화산 쇄설물로 구성되어 있어 강우발생 시 0.5~10 $\mu$ m의 탁수입자가 호소내로 유입되어 고탁수를 유발시키고 있다. 또한 지형학적 요인으로는 인근의 안동호 유역과 비교하여 하천 주변에 너무 많은 농경지들이 분포하고 있어 강우발생시 토사유실의 직접적인 원인이 되고 있다.

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 쉐단위로 분석하여 유역대책 우선지점 선정시 기초자료로 활용할 필요성이 있다(이근상과 조기성, 2004).

기존의 GIS를 이용한 토사유실 연구에서는 소유역 및 하천별로 토사유실량을 평가하여 제시하는 수준이었으며, 일부 연구에서는 토사유실이 많이 발생하는 지역에 대한 Mapping을 시도한 바 있다(Lufafa, 2003; Matthew, 2005). 이러한 연구들은 GIS를 이용하여 유역내 토사유실량을 산정했다는 점에서는 의미를 갖지만, 실제 토사유실원인지역에 대한 현장조사를 병행하고 있지 않아 토사유실에 직접적인 영향을 주는 원인인자를 검토하는 데에는 어려움이 있다고 본다.

본 연구에서는 임하호 유역을 대상으로 GIS 기반 토사유실모델을 활용하여 분석한 토사유실량의 정량적 검토를 위해 1997년 수행한 퇴사량 조사자료와 비교하였으며, 또한 토사유실 원인지역에 대한 적정성 확보를 위해 SPOT 5 고해상도 위성영상과 토지피복도를 연계 활용하여 해석하였다. 강우사상에 따른 토사유실량을 현장에서 실측하기는 현실적으로 무리가 있으므로, 본

연구에서는 이를 보완하기 위한 방법으로 고해상도 위성을 이용하여 토사유실량이 높게 나타나는 지역을 육안으로 확인하였으며 토사유실 원인으로 주로 지적되고 있는 토지피복의 현황을 함께 검토하였다.

## 2. 유역현황 및 자료구축

### 2.1 유역현황

토사유실 평가를 위해 선정된 임하호 유역은 낙동강 북동쪽에 위치하고 있으며, 1,361km<sup>2</sup>의 유역면적과 반변천을 기준으로 약 98km의 유로연장을 가지고 있다(한국수자원공사, 2003).

임하댐을 유출구로 하는 유역도를 구축하기 위해 국토지리정보원의 1/5,000 수치지형도 340도엽으로부터 생성한 DEM 자료를 이용하였다. DEM 자료로부터 이근상 등(2002)이 제시한 Voronoi Diagram 알고리즘을 이용하여 유역을 추출하였다.

### 2.2 자료구축

임하호 유역의 토사유실량을 산정하기 위해 Table 1과 같은 자료를 구축하였다.

임하호 각 지천별 토사유실지역을 분석하기 위해서는 토지피복도의 정밀도가 중요한 변수가 된다. 강우유출 분석을 비롯한 기존의 수자원 연구에서는 주로 Landsat 영상을 활용하여 분류한 30m 해상도의 토지피복도를 이용하였다. 그러나, 본 연구에서는 보다 정밀한

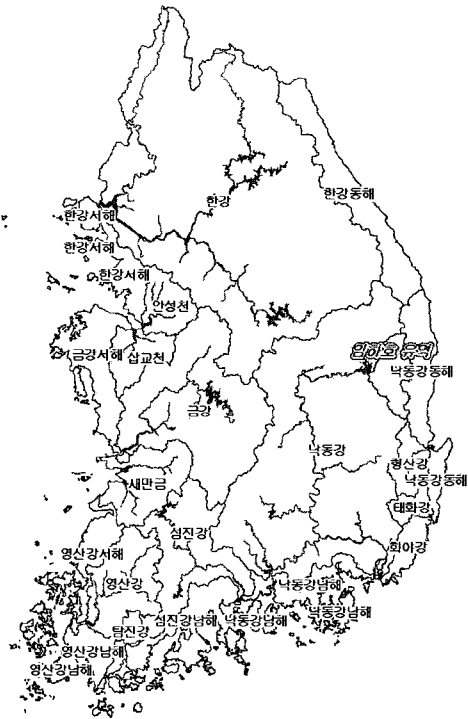


Fig. 1. Study site

Table 1. Database

Database	Scale	Source
Digital Map	1/5,000	National Geographic Information Institute
Landcover		Ministry of Environment
Soil Map	1/25,000	National Institute of Agricultural Science and Technology
SPOT 5 image	2.5m	
Rainfall		KOWACO

셀 기반의 분석을 위해 SPOT 5 영상을 비롯하여 수치지형도(1/5,000), 임상도 그리고 생태자연도를 이용하여 구축한 환경부의 토지피복도 중분류 자료를 이용하였다. 중분류체계의 토지피복도를 Merge한 후 하천주변에 분포하고 있는 농경지를 중심으로 현장토지피복조사를 병행하여 변화된 피복상태를 수정하였다. Fig. 2는 최종 구축한 토지피복도이며, 각 토지피복별 분포특성은 Table 2와 같다.

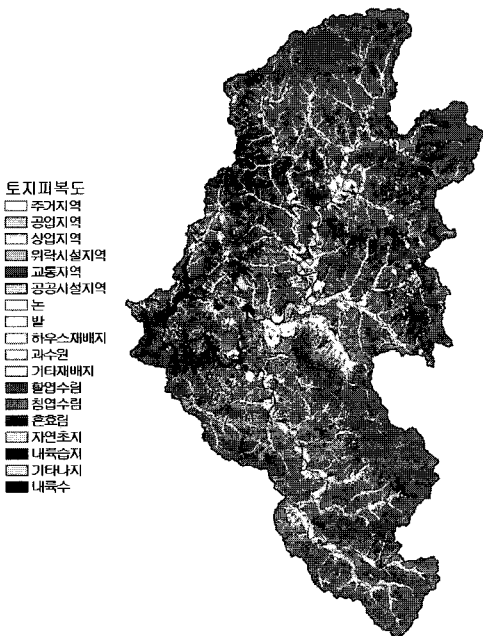


Fig. 2. Landcover Map

본 연구에서는 셀 단위로 분석되는 토사유실 원인지역을 검토하기 위해 2003년 3월 20일 촬영한 SPOT 5 위성영상을 이용하였다. SPOT 5 위성영상은 2.5m 해상도의 Panchromatic과 10m 해상도의 Multispectral로 구성되어 있다. Fig. 3은 임하호 유역 일부지역에 대한 SPOT 5 Multispectral 영상에 대해 밴드 조합에 의한 Image Stretching 기법을 이용하여 제작한 영상으로 인

Table 2. Analysis result of landcover types

Landcover type		Area(km <sup>2</sup> )	(%)
Large Class	Middle Class		
Urban	Residential	12.0	0.88
	Industrial	0.3	0.02
	Commercial	0.7	0.05
	Transportation	4.6	0.34
	Public facility	1.1	0.08
Agriculture	Paddy	45.4	3.33
	Dry field	138.5	10.17
	Greenhouse	0.4	0.03
	Orchard	19.4	1.42
Forest	Broad-leaf	202.4	14.87
	Coniferous	609.2	44.77
	Mixed	274.5	20.17
Grass	Grass	5.5	0.40
Wetland	Wetland	6.2	0.45
Barren	Barren	8.2	0.61
Water	Water	32.7	2.41
Σ		1361.0	100.00

근 안동호에 비해 임하호의 수역이 탁수의 영향으로 인해 붉게 나타나는 것을 확인할 수 있다. Fig. 4는 그림 3의 사각형 박스로 표시한 지역에 대한 2.5m 해상도의 SPOT 5 Panchromatic 영상으로서 토사유실원인지역을 검토하기 위해 활용하였다.

### 3. GIS를 이용한 토사유실량 평가

적정한 토사유실모델을 선정하는 것은 매우 중요하다. 본 연구에서는 먼저, 유역에 적용이 가능하고 최신의 토지피복자료의 활용이 가능하도록 원격탐사와의 연계가 가능한 모델을 검토하였다. 또한 토사유실원인지역 평가에 용이한 셀 기반의 GIS 자료를 활용할 수 있는 모델도 함께 검토한 결과, RUSLE 모델이 임하호 유역의 토사유실량 산정에 가장 적합한 모델로 판단되었

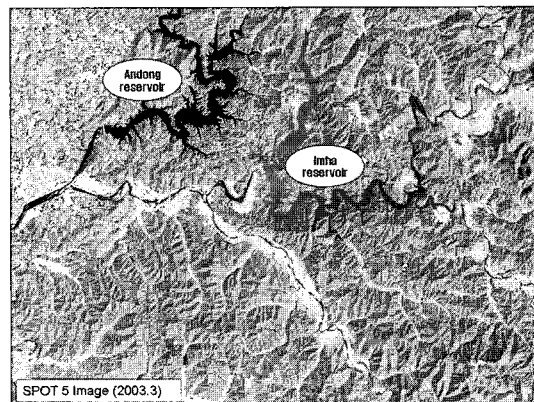


Fig. 3. SPOT 5 image (Multispectral)

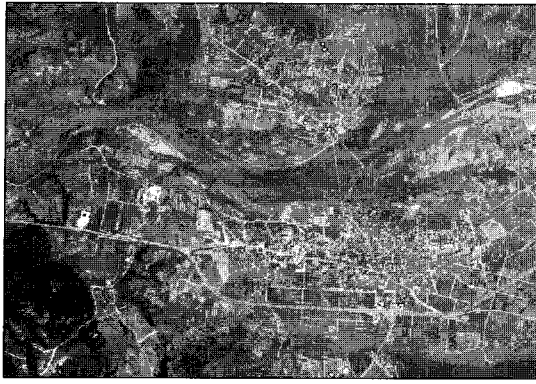


Fig. 4. SPOT 5 image (Panchromatic)

다. RUSLE 모델은 강우침식인자(R), 토양침식인자(K), 지형인자(LS), 식생피복인자(C) 그리고 경작인자(P)로 구성되어 있으며 A는 토사유실량이다.

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

먼저, 강우침식인자는 연평균 강우의 침식능력으로서 Table 3과 같은 임하호 지역의 강우관측소별 2003년도 강우량 자료로부터 스플라인 보간을 통해 강우분포도를 산정한 후, Toxopeus 식에 적용하여 강우침식인자를 계산하였다. Toxopeus 식은 정필균 등(1983)이 제시한 국내의 등강우침식선도와 유사한 값을 나타낸다.

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

여기서 R은 강우침식인자(J/m<sup>2</sup>)이고, P<sub>yr</sub>는 연평균 강우량(mm/yr)이다.

토양침식인자는 강우발생시 지표를 구성하는 토립자의 입경분포, 토양조적, 유기물함량 그리고 투수계수 등에 따라 변화하는 특성을 나타내는 지수로서, 본 연구에서는 농업과학기술원에서 구축한 1/25,000 정밀토양

도의 입경분포를 분석하여 Erickson(1997)의 삼각형 도표에 적용하여 계산하였다. 정밀토양도에 기초한 토양 침식인자 기준은 기존의 개략토양도에 기초한 토양침식인자에 비해 매우 정밀한 자료제공이 가능하므로 토사 유실원인지역을 보다 세부적으로 분석하는데 매우 효과적이다.

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 Desmet and Govers(1996)가 제안한 Eq. (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<sub>ij</sub>는 격자에 대한 침식사면의 길이인자이며 A<sub>ij-m</sub>는 격자에 유입되는 상류 기여면적이다. 또한 D는 격자크기이고 m은 침식사면길이의 멱지수이고, θ는 경사이며, x<sub>ij</sub>는 흐름방향에 직교하는 등고선 길이로서 (|sinα<sub>ij</sub>| + |cosα<sub>ij</sub>|)로서 표시가 가능하다. 그리고 α<sub>ij</sub>는 격자방향이다.

임하호 지역은 풍화암의 웨일층 및 점토성 지질로 주로 구성되어 있어 강우발생시 흙탕물 형태로 이송되는 토사의 거동을 효과적으로 모의하기 위해서는 물의 흐름방향까지도 추적 가능한 지형인자 선정이 매우 중요하다. 이러한 측면에서 경사 및 흐름방향 그리고 대상격자로 유입되는 상부기여면적을 고려하는 다중흐름 알고리즘의 구현이 가능한 Desmet and Govers(1996) 식은 큰 의미를 갖는다. 사면의 경사인자는 토양침식에

Table 3. Yearly rainfall in 2003 by rain gauge station

Station Name	Longitude	Latitude	Rainfall (mm/yr)
Cheongsong	129-02-38	36-25-42	1,503
Budong	129-08-42	36-22-34	1,635
Bunam	129-04-19	36-19-47	1,649
Jinbo	129-04-17	36-31-28	1,541
Seokbo	129-08-36	36-32-33	1,674
Yeongyang	129-06-32	36-39-01	1,350
Subi	129-12-15	36-41-40	1,557
Ilwol	129-05-19	36-44-54	1,640

대한 경사의 영향을 나타내는 인자로서, Nearing(1997)이 제안한 Eq. (4)를 활용하였다.

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

여기서,  $\theta$ 는 경사이다.

지표를 구성하고 있는 식생의 종류 및 상태에 따라 달라지는 식생피복인자를 계산하기 위해 환경부에서 구축한 중분류 체계의 토지피복도를 활용하였으며, 이 자료를 USGS에서 제시한 Table 4의 토지피복별 식생피복인자 기준에 적용하였다(박경훈, 2003).

경작인자는 토지피복도와 DEM 자료를 기반으로 Table 5의 기준에 적용하여 계산하였다. 농경지중 밭은 등고선대상방식을 적용하였고 논은 테라스방식을 적용하였다.

**Table 4. Cover management factor according to landcover types**

Landcover type		C
Large Class	Middle Class	
Forest	Coniferous	0.009
	Broad-leaf	0.004
	Mixed	0.007
Agriculture	Dry field	0.400
	Paddy	0.300
	Orchard	0.200
Grass	Grass	0.050
Urban	Low density	0.002
	High density	0.001
	Industrial	0.000
	Road	0.000
Barren	Barren	1.000
Water	Stream, Reservoir	0.000

**Table 5. Support practice factor in according to cultivation method and gradient**

Gradient(%)	Contouring	Cropping	Terracing
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

RUSLE인자 및 토사유실량 통계분석 내용은 Table 6과 같다. 강우침식인자는 585.420 Joule의 평균값을 보였으며 표준편차는 18.740으로 평균값에 비해 매우 낮

게 평가되었다. 강우침식인자의 표준편차가 낮게 평가된 것은 임하호 유역의 연평균 강우량에 기초한 강우분포 특성이 비교적 균일하다는 것을 반영하는 것이다.

토양침식인자의 평균값은 0.333의 값을 나타냈으며 표준편차는 0.090으로 평균에 비해 낮게 평가되었다. 토양침식인자의 평균값은 다른 유역들과 비교하여 약간 높은 값으로서 임하호 유역의 토양특성이 토사유실에 전반적으로 취약하다는 것을 보여준다. 또한 낮은 표준편차는 임하호 유역의 토양특성이 강우침식인자와 마찬가지로 비교적 균일하다는 것을 의미한다.

지형인자를 구성하는 침식사면의 길이인자와 경사인자의 평균값은 1.696과 6.889이며 각각의 표준편차는 0.833과 3.969로서 평균값에 비해 상당히 높은 표준편차를 보였다. 이러한 결과는 유역에서 주로 나타나는 특성으로서, 유역을 구성하는 산지와 평야지역에서의 경사 변화의 차이가 지형분석에 반영된 것으로 판단된다.

식생피복인자의 평균값은 0.066으로서 상당히 낮게 평가되었다. 이러한 특성은 Table 2에서 제시된 바와 같이 유역의 79.80%가 산림으로 구성되어 있기 때문에 산림에 의한 식생피복인자의 값이 크게 반영된 것으로 해석된다. 또한 식생피복인자의 표준편차는 0.147로서 평균값에 비해 매우 높게 평가되었는데, 이것은 토사유실에 영향을 미치는 식생피복의 구성이 상당히 다양하게 분포하고 있다는 것으로 해석된다.

경작인자의 평균값은 0.859로서, 이것은 유역면적의 79.80%를 차지하고 있는 산림지역에서의 높은 경사값과 산림지역에 대한 경작형태인 등고선 방식이 복합적으로 작용하여 나타난 결과로 해석된다. 또한 경작인자의 표준편차는 0.250으로서 평균값에 비해서는 비교적 작게 나타났으며, 이 또한 산림의 구성비율이 높기 때문에 상대적으로 논과 밭의 경작형태인 등고선 대상 및 테라스 방식의 효과가 낮게 반영된 것으로 해석된다.

Table 6의 토사유실량 분석결과는 5m 해상도의 셀 자료를 기반으로 정리한 것이며 임하호 유역면적인 1,361km<sup>2</sup>로 환산하기 위해, GIS Zonal 함수와 통계처리

**Table 6. Analysis result of RUSLE factors**

	Min	Max	Mean	StD
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

를 수행한 결과 5,782,829 ton/yr의 토사유실량을 얻을 수 있었다.

강우발생에 따른 유역내 토사유실량을 현장에서 계측하는 것은 비용이나 시간측면에서 한계가 있다. 따라서 일반적으로 저수지 퇴사량 실측치 자료와 유역특성을 고려한 유사운송비(SDR; Sediment Delivery Ratio) 개념을 고려하여 토사유실량의 적정성을 평가하게 된다. 임하댐관리단에서는 1997년 에 Echo-Sounding과 GPS 장비를 이용하여 실시한 퇴사량조사에서 연평균 퇴사량 578,000 ton/yr를 얻었다. 강우시 유실된 토사는 유역의 지형학적 영향을 받으며 저수지로 유입되어 퇴적되는데, 이러한 유역내 토사가 저수지로 전달되는 비율을 유사운송비라고 한다. 우리나라 유역의 경우 지형경사나 형태가 비슷하다고 볼 때 유사운송비는 일반적으로 유역의 면적에 가장 큰 영향을 받게 된다. 임하호 유역과 같이 1,000km<sup>2</sup> 이상의 유역에서는 유사운송비가 7%로 알려져 있다(윤태훈, 1999). 이러한 유사운송비는 유역의 평균치이며, 임하호 유역은 지질특성이 세일과 점토질로 구성되어 있어 강우시 토사유실에 취약한 구조를 가지고 있기 때문에 유사운송비가 10%까지 증가할 것으로 판단된다. 따라서 토사유실량에 유사운송비 10%를 고려할 때 예상되는 퇴사량은 578,283 ton/yr이며 이것은 1997년에 실시한 퇴사량 실측값인 578,000 ton/yr과 비교할 때 매우 유사한 결과임을 알 수 있다. 하지만, 본 연구에서는 평가한 토사유실량은 2003년도 강우자료를 기반으로 한 것이기 때문에 1997년 퇴사량 자료와의 유사성 부분은 향후 임하호 퇴사측정이 수행된 후 검토되어야 할 것으로 생각되며 본 연구에서는 토사유실의 정량적 분석보다는 토사유실 원인지역에 대한 효과적인 검토를 위해 위성영상과 토지피복도를 연계 활용하는 데에 목적을 두었다.

#### 4. 토사유실원인지역 검토를 위한 위성영상과 토지피복도 활용

토사유실에 의한 탁수발생을 효과적으로 저감시키기 위해서는 취수탑을 통한 탁수의 선택적 배제와 더불어 사방댐건설 및 사면식재 그리고 농경지 보강과 같은 다양한 유역대책이 마련되어야 한다. 이를 위해서는 RUSLE 모델을 이용하여 분석한 토사유실량 뿐만 아니라 토사유실 원인지역을 세부적으로 평가해야 한다. 토사유실 원인지역으로 분석된 곳의 적정성을 확보하기 위해서는 전유역에 대한 현장조사를 실시하는 것이 바람직하지만, 임하호와 같이 대상유역이 광범위한 유역의 경우 분석된 토사유실원인지역을 다 조사하기에는

너무 많은 시간과 비용이 소요되므로 현장조사를 보완할 수 있는 새로운 방법이 요구된다. 이러한 측면에서 고해상도 위성영상은 유역의 개괄적인 형상을 파악하고 토사유실 원인지역에 대한 적정성을 평가하는데 매우 유용하며, 아울러 유역대책으로 계획중인 경작지 정리, 수변구역내 토사유출방지 사업, 고랭지 지역 비점오염원 저감사업 및 산비탈 정비 등의 사업추진시 대상범위 및 예산을 편성하기 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

토사유실원인지역과 토지피복간의 관계를 분석한 결과, 토사유실원인지역의 대부분이 토지피복도에서 밭과 같은 농경지로 확인되었으며 2.5m 해상도를 갖는 SPOT 5 위성영상에서도 그 형상을 쉽게 확인할 수 있었다. 다만, 토사유실이 높게 나타나는 밭 주변에 분포하고 중규모 정도의 토사유실량을 보이는 과수원 지역이 영상에서 쉽게 확인하기가 곤란한 경우가 있었다. 본 연구에서는 Fig. 5와 같이 임하호 일부지역인 A지역을 대표적으로 설명하고자 한다.

Fig. 5의 A지역에서 과광색으로 표현된 부분은 하천 주변 지역중 토사유실량이 많이 발생하는 곳으로서 Fig. 6의 토지피복도에서 확인한 결과 토사유실원인지역의 대부분이 토지피복 상태가 밭으로 확인되었다. 또한 노랑색으로 표현된 중간정도의 토사유실량을 보이고 있는 지역은 토지피복 상태가 과수원으로 나타났다. 토사유실 원인지역의 적정성을 평가하기 위해서는 토지피복도의 정확도가 무엇보다도 중요하다. Fig. 5의 A지역에 대한 SPOT 5 영상은 Fig. 7과 같다. Fig. 6에서 밭과 과수원으로 나타난 지역을 Fig. 7의 위성영상에서 확인한 결과 토지피복 형태를 정확하게 구분하기는 어려운 문제가 있었다. 이것은 SPOT 5 영상이 2003년 3월에 촬영되어 가을철 과수원에서 보여지는 풍성한 잎과 열매의 형상이 영상에 제대로 반영이 되지 않은 것

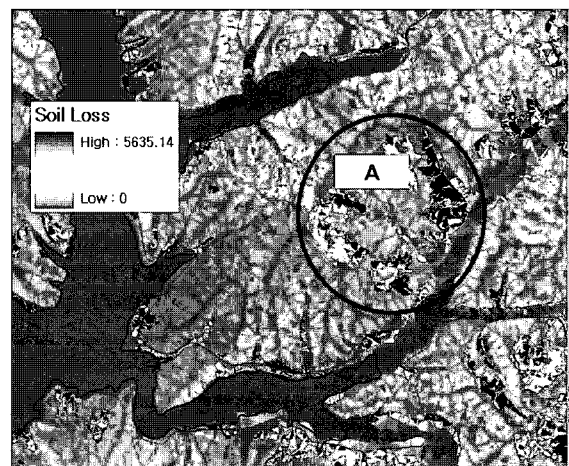


Fig. 5. Soil erosion map

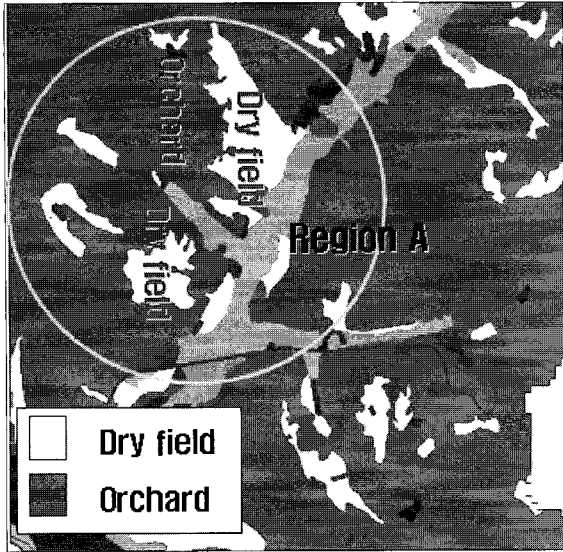


Fig. 6. Landcover map of region 'A'

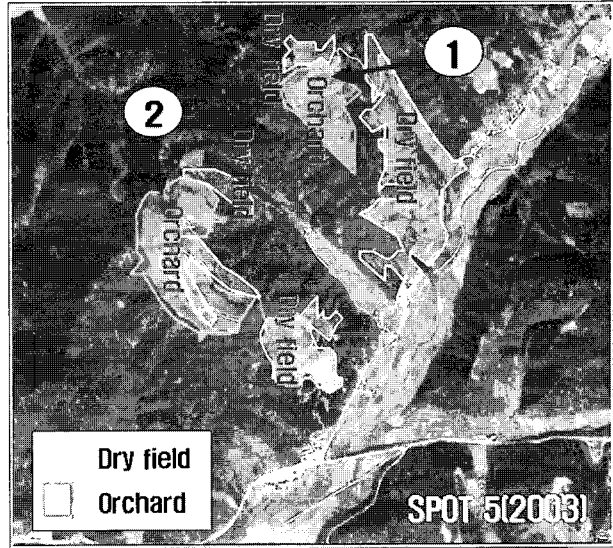


Fig. 7. SPOT 5 image of region 'A'

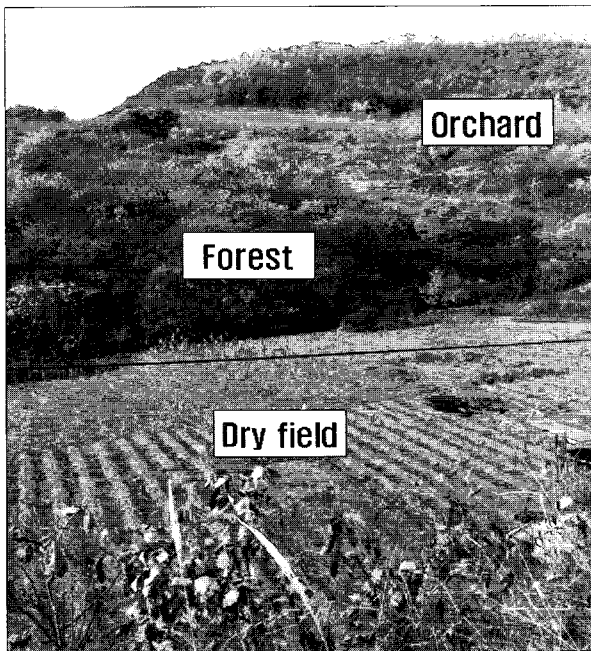


Fig. 8. Picture of region ①

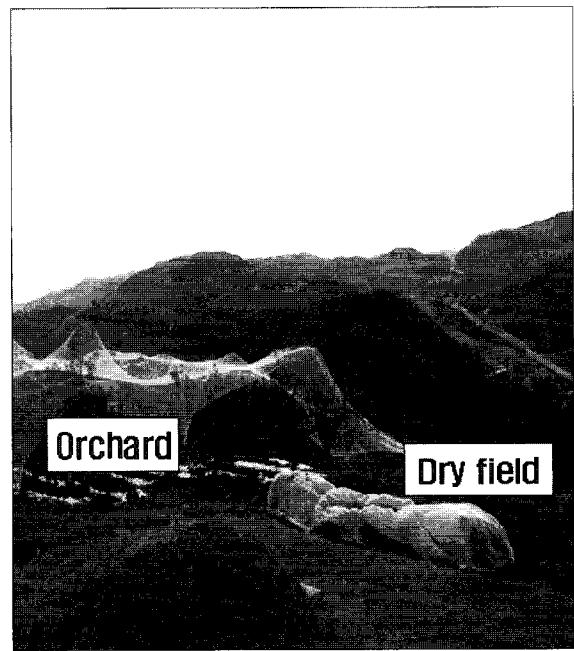


Fig. 9. Picture of region ②

으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 토지피복도의 정확도를 확인하기 위해 현지조사를 실시하였다.

Fig. 7의 ①과 ②지점에서 촬영한 사진은 각각 그림 8, 9와 같다. 먼저 ①지점에서 촬영한 사진인 그림 8을 보면 밭과 과수원의 형상 및 밭과 과수원 사이의 산림이 Fig. 6에서 보여지는 토지피복도와 일치함을 확인할 수 있었다. 또한 ②지점에서 촬영한 사진인 그림 9의 경우, 촬영지점이 산 정상 부근중 경사가 급하게 변하는 지역으로서 주위에 높은 지역이 없어 촬영시 과수원의 형상만 촬영되었고 과수원 밑에 위치하고 있는 밭의 형상은 효과적으로 촬영되지 않았다. 그러나, 과수원

밑에 Fig. 6의 토지피복도와 같은 형상의 밭이 있음을 현장에서 확인할 수 있었다. 이 외에도 토사유실이 높은 밭 지역과 중간정도의 토사유실을 보이는 과수원 지역이 나타나는 지역중 위성영상에서 확인이 곤란했던 반변천 및 용전천 20개 지역을 대상으로 현장조사를 실시한 결과 토지피복도 자료와 모두 일치함을 확인할 수 있었다. 토사유실 발생지역이 주로 강우침식에 취약한 밭과 같은 농경지에서 발생한다고 볼 때, 본 연구에서 분석한 토사유실 원인지역의 결과는 실제 현장의 상황을 비교적 잘 반영하고 있다고 평가할 수 있다.

기존의 연구에서는 하천별 토사유실량 산정에 관한

연구를 중심으로 진행되어 왔으며, 실제로 토사유실 발생지역에 대한 원인 검토 및 토사유실량 산정의 적정성을 확보하려는 노력은 부족했던 것이 사실이다. 본 연구에서는 임하호 탁수발생에 영향을 주는 유역내 토사유실량을 산정하고, 현장조사시 소요되는 시간과 비용 절감을 위해 SPOT 5 고해상도 위성영상과 토지피복도를 연계 활용하여 토사유실 원인지역을 검토하여 GIS 기반 토사유실량 산정 결과의 적정성을 평가해 보았다. 밭과 과수원이 인접되어 있는 일부지역의 경우는 토지피복의 경계를 구분하기가 어려웠으나, 향후 시계열적 고해상도 위성영상을 활용할 경우 밭과 과수원의 경계 부분도 효과적으로 구분할 수 있으리라 판단된다.

## 5. 결 론

GIS를 이용한 하천별 토사유실량 평가 제시에만 국한되었던 기존의 연구를 보완하고자 본 연구에서는 퇴사량 실측자료와 유사운송비 개념을 도입하여 토사유실량 결과의 정량적인 검토를 시도하였다. 또한 위성영상 및 토지피복도 자료를 연계하여 분석된 토사유실 원인지역에 대한 적정성을 평가하였다. 주요 결론은 다음과 같다.

- (1) 탁수저감을 위한 유역대책을 효과적으로 수립하기 위해서는 정밀한 형태의 토사유실량 분석 결과가 요구되며, 이를 위해서는 GIS 셀기반의 토사유실모델 운영 및 모델에 입력되는 기초자료의 정밀구축이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 1/5,000 수치지형도를 이용하여 5m 해상도의 DEM 자료를 구축하여 지형인자를 계산하는데 활용하였으며, 또한 1/25,000 정밀도양도 및 SPOT 5 영상에서 구축한 5m 해상도의 토지피복도를 활용함으로써 기존의 개략도양도 및 Landsat 영상에서 추출했던 토지피복도에 비해 매우 정밀한 형태의 기초자료를 생성할 수 있었다.
- (2) 임하호 유역은 세일 및 점토질로 구성되어 있는 중생대 백악기의 도계동층이 전유역의 53% 이상을 차지하고 있기 때문에 강우시 토사가 흙탕물 형태로 하천 및 저수지로 유입된다. 본 연구에서는 DEM을 기반으로 다중흐름알고리즘의 구현이 가능한 지형인자를 GIS 셀기반으로 구현함으로써 세일 및 점토질로 구성되어 있는 임하호 유역의 지질특성을 효과적으로 모의할 수 있었다.
- (3) GIS기반 RUSLE 모델을 활용하여 분석한 토사유실량은 5,782,829 ton/yr로서 임하호 지질특성

을 고려하여 결정한 유사운송비 10%를 적용할 경우 저수지에 유입될 것으로 예상되는 퇴사량은 578,282 ton/yr로서 이는 1997년에 Echo-sounding과 GPS를 이용하여 수행한 임하호 퇴사량 실측자료인 578,000 ton/yr과 유사한 결과를 얻었다. 따라서, 본 연구에서 적용한 GIS 기반 토사유실모델이 임하호 유역의 토사유실량을 모의하는데 효과적임을 알 수 있었다.

- (4) 토사유실량의 정량적인 검토와 함께 셀단위로 분석된 토사유실 원인지역에 대해 현장조사를 모두 실시하는데에는 많은 시간과 비용이 소요되는 어려움이 있다. 이러한 문제를 개선하고자 본 연구에서는 SPOT 5 고해상도 위성영상과 5m 해상도의 토지피복 자료를 연계하여 평가함으로써 토사유실 원인지역의 적정성을 검토하였다. 토사유실량이 높게 나타나는 지역에 대한 토지피복 현황을 검토한 결과 대부분이 밭으로 확인되었으며, 해당 지역을 고해상도 위성영상에서 대부분 쉽게 확인할 수 있었다. 다만, 위성영상에서 확인이 곤란했던 밭과 과수원이 복합적으로 나타나는 일부지역의 경우에는 현장조사를 병행하여 보완하였으며 향후 다중시기 고해상도 위성영상을 활용할 경우 보다 효과적으로 토사유실원인지역을 검토할 수 있으리라 판단된다.

## 참 고 문 헌

- 박경훈 (2003). "GIS 및 RUSLE 기법을 활용한 금호강 유역의 토양침식위험도 평가." **한국지리정보학회지**, 제6권, 제4호, pp. 24-36.
- 윤태훈 (1999) 응용수문학, 청문각.
- 이근상, 전형섭, 임승현, 조기성 (2002). "GIS 기반 Voronoi Diagram을 이용한 하천인식 DEM 생성에 관한 연구." **한국GIS학회지**, 제10권, 제3호, pp. 439-454.
- 이근상, 조기성 (2004). "탁수자료를 이용한 GIS 기반 토사유실량 평가." **지형공간정보학회지**, 제12권, 제4호, pp. 1-7.
- 정필균, 고문환, 임정남, 임기태, 최대웅 (1983). "토양유실량 예측을 위한 강우인자의 분석." **한국토양비료학회지**, 제16권, 제2호, pp. 112-118.
- 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.
- Lufafa A., Tenywa M.M., Isabirye M., Majaliwa M.J.G., and Woomer P.L. (2003). "Prediction of soil erosion in a Lake Victoria basin catchment using a GIS-based Universal Soil Loss model" *Journal of Agricultural System*, Vol. 76, pp. 883-894.
- Matthew J. Cohen, Keith D. Shepherd, Markus G. Walsh (2005). "Empirical reformulation of the universal soil loss equation for erosion risk assessment in a tropical watershed" *Journal of Geoderma*, Vol. 124, pp. 235-252.
- 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.

(논문번호:05-82/접수:2005.06.21/심사완료:2005.09.26)