

# 하천의 공간적 특성을 고려한 탁수평가 GIS DB 분석

## The Analysis of GIS DB for the Evaluation of Turbid Water Considering Spatial Characteristics of River Channel

이근상<sup>1)</sup> · 박진혁<sup>2)</sup>

Lee, Geun Sang · Park, Jin Hyeog

### Abstract

Andong and Imha reservoir adjoins each other, but turbid water shows too much different when it rains. The characteristics of geological rock in basin and agricultural area around river boundary are pointed out as the major reason of turbid water of Imha reservoir. This study analyzed rock type of topsoil layer using soil map by National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST). Among rock types, sedimentary rock affects on the occurrence of turbid water. In the analysis of sedimentary rock type, the distribution of sedimentary rock of Imha basin shows 1.87 times higher than that of Andong basin. Also, the distribution of sedimentary rock of Imha basin shows higher than that of Andong basin within 1,600m from river channel in according to the buffer zone of river boundary. And Agricultural area of Imha basin shows higher than that of Andong basin in analysis of land cover within 1,600 m from river channel. As this agricultural characteristics of Imha basin, cover management factor of Imha basin represents more higher than that of Andong basin.

Keywords : Turbid water, Making decision, Geological Rock, Land cover

### 초 록

안동호와 임하호는 서로 인접되어 있지만, 강우에 따른 탁수발생에는 큰 차이를 보이고 있다. 이러한 임하호 탁수발생의 주요원인으로는 유역내 지질암 및 하천주변의 농경지 분포특성이 지적되고 있다. 본 연구에서는 농업과학기술원에서 구축한 정밀토양도를 이용하여 탁수에 가장 큰 영향을 주는 표토층의 퇴적암의 분포특성을 분석한 결과 임하호 유역의 퇴적암 분포가 안동호 유역에 비해 1.87배 높게 나타남을 알 수 있었다. 또한 하천의 완충구역을 고려한 퇴적암의 분포특성에서는 하천으로부터 1,600m 이내에서 임하호가 안동호에 비해 탁수발생에 취약한 특성을 보였다. 그리고 토지피복 분석에서는 하천구역 1,600m 내에서 임하호의 농경지 분포가 안동호에 비해 높게 나타났으며, 이러한 농경지 분포특성으로 식생피복인자도 임하호가 안동호에 비해 높게 평가되었다.

핵심어 : 탁수, 의사결정, 지질암, 토지피복

## 1. 서 론

임하댐은 1993년 12월에 준공된 후 2001년까지 여름철 집중강우로 인한 호소내 고탁수 등의 수질오염 문제가 크게 발생하지 않았으나 2002년 태풍루사와 2003년 태풍매미에 의한 집중강우로 최고 1,221 NTU의 고탁수가 발생하였다(이근상과 조기성, 2004). 본 연구에서는 안동호와

임하호의 고탁수 현황을 파악하기 위해 2003년 3월에 촬영한 10m 해상도의 SPOT 5 Multispectral 영상을 이용하였다. SPOT 5 영상에는 Blue 밴드가 없기 때문에 RGB 합성에 의한 천연색 영상을 생성할 수 없는 문제점이 있었으며, 이를 효과적으로 개선하기 위해 자연색 발현기법(Natural Color Algorithm)으로 처리하여 천연색 영상을 생성하였다(환경부, 2005). 그림 1은 안동호와 임하호 유

1) 연결저자 · 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원(E-mail:ilovegod@kowaco.or.kr)

2) 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원(E-mail:park5103@kowaco.or.kr)

역의 SPOT 5 영상으로서 안동호에 비해 임하호의 탁수가 매우 심각함을 알 수 있다. 이러한 임하호 고탁수의 장기화는 댐기능 장애 및 댐하류에 위치하고 있는 용상정수장의 처리비용 증가 등의 문제를 가져오고 있다. 임하호 탁수발생의 문제점을 인식하고 2003년 3월 “임하호유역 수질보전대책협의회”가 구성되어 운영되고 있으며, 임하호 탁수원인조사 및 저감대책 관련 연구가 진행중에 있다(한국수자원공사, 2004).

탁수발생의 원인을 유역측면에서 볼 때 크게 지질학적인 원인과 지형학적인 원인으로 해석할 수 있다. 먼저, 지질학적인 측면에서 임하호 유역의 53% 이상이 도계동층에 속하는 적색의 세일, 이암 그리고 사암 등으로 구성되어 있으며, 이러한 지질적인 특성으로 인해 강우발생시 0.5~10 $\mu$ m의 탁수입자가 호소내로 유입되고 있다. 또한 지형학적인 측면에서는 하천주변에 많은 농경지들이 분포하고 있어 강우발생시 유역내 토사가 하천으로 직접 유입되어 고탁수를 유발하는 주요 원인으로 작용하고 있다(한국수자원공사, 2004). 임하호 탁수와 관련된 토사유실평가 연구로서, 이근상 등(2004)은 토탈스테인션 측량 및 선박조사를 통해 저수지사면의 토지피복 및 사면상태를 DB로 구축한 후 RUSLE(Revised Universal Soil Loss Equation) 모델을 활용하여 저수지 사면에서의 토사유실 영향을 평가한 바 있다. 또한 이용곤 등(2005)은 강우에 따른 임하호 저수지의 탁도변화를 모델링하였다. 그리고 김용보(2005)는 Echo Sounder를 활용하여 지형측량을 수행시 탁도에 따른 영향을 분석하여 제시한 바 있다. 탁도에 영향을 미치는 유역내 토사유실지역을 효과적으로 모니터링하기 위해 King 등(2005)

은 SPOT 위성영상을 활용하였으며, Angima 등(2003)은 RUSLE 모델에 기초하여 토사유실을 예측하는 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 안동호에 비해 현격한 차이를 보이고 있는 임하호 탁수에 영향을 주는 지질 및 지형적인 요인에 대한 유역대책 수립을 위한 의사결정 지원을 위해 안동호와 임하호 유역에 분포하고 있는 지질암 및 토사유실에 큰 영향을 주는 농경지의 분포특성을 평가하였다. 또한 토지피복에 따른 토사유실 영향인자인 식생피복인자의 분포특성을 하천의 지형학적인 특성을 고려하여 분석하였다.

## 2. 지질암의 분포특성

지표를 구성하는 지질학적인 특성은 강우에 따른 탁수발생에 다양한 형태로 영향을 준다. 이러한 지반의 지질구조는 지표에서 토양의 특성으로 표출되어 나타나며, 특히 지표로부터 약 1.5m 깊이까지에 해당하는 표토는 강우발생시 탁수발생에 직접적인 영향을 미친다. 따라서, 토양의 모체가 되는 지질암의 종류를 분석하는 것은 대상지역에 대한 탁수발생을 평가하는 중요한 지표가 된다(신희순 등, 2004 ; Ng 등, 2001). 지질자원연구원에서 구축한 지질도에도 이러한 지질암의 종류를 파악할 수 있는 정보가 있지만, 지질도에서 규정하고 있는 암석은 지표와 지각 등 매우 깊은 위치의 공간까지를 포함하는 개념이므로 강우발생시 탁수로 직접 연결되는 표토 부분만을 효과적으로 분석하는 데에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 농업과학기술원에서 제작한 1/25,000 정밀토양도를 입수하여 표토부분에 해당되는 지질암의 종류를 추출하여 분석하였다. 토양도에서 규정하고 있는 지질암의 종류는 주로 토양성분을 분석하여 지질도와와의 연관성을 검토하여 결정한다는 점에서 탁수평가를 위한 의사결정지원시 중요한 자료원이 된다. 그림 2와 3은 안동호와 임하호 유역의 지질암 분포도를 나타낸 것이며, 비교 분석한 결과는 표 1과 같다. 유역내 지질암의 특성을 볼 때 산성암, 제4기층, 중성암 및 수계의 점유비율은 안동호와 임하호 유역이 서로 유사하게 평가되었다. 반면 변성암은 안동호 유역이 임하호 유역에 비해 2.67배 높게 나타났으며, 퇴적암은 임하호 유역이 안동호 유역에 비해 1.87배 높게 나타났다. 강우에 따른 풍화 및 침식에 가장 약한 암석은 퇴적암으로서, 임하호 유역에 높게 분포하고 있는 퇴적암은 강우발생시 토사로 인한 하천 및 호소로의 유입이 많

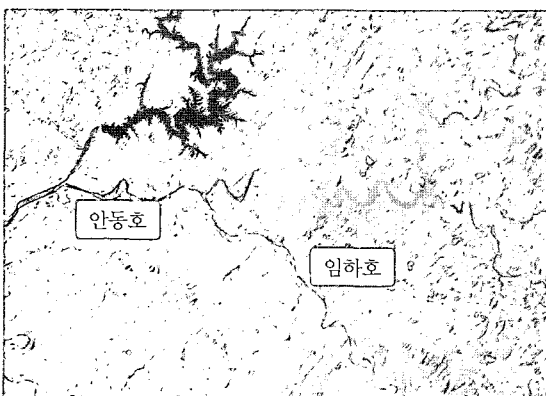


그림 1. SPOT 5 위성영상(Multispectral)

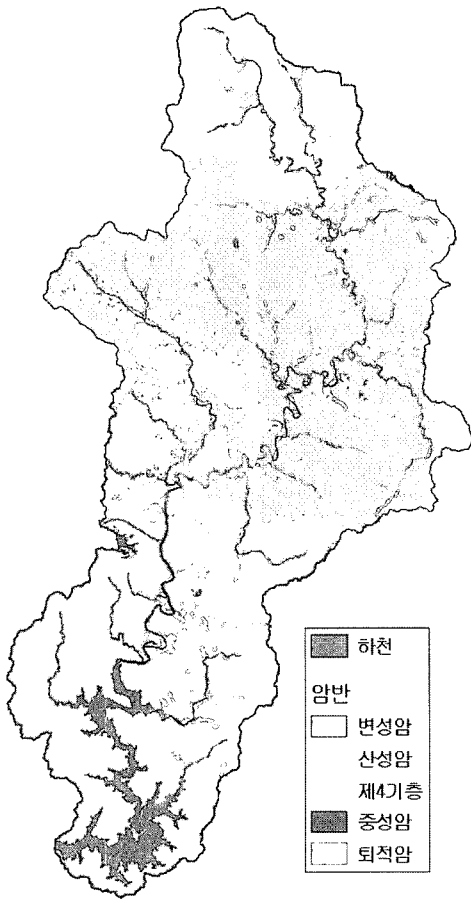


그림 2. 안동호 지역의 지질암 분포도



그림 3. 임하호 지역의 지질암 분포도

표 1. 안동 임하호 지역 지질암의 종류 비교분석

지질암의 종류	안동호 지역		임하호 지역	
	면적(km <sup>2</sup> )	점유비율(%)	면적(km <sup>2</sup> )	점유비율(%)
변성암	619.68	38.96	199.77	14.61
산성암	539.36	33.91	504.31	36.88
제4기층	31.89	2.00	51.81	3.79
중성암	4.52	0.28	2.00	0.15
퇴적암	356.63	22.42	576.73	42.02
수계	38.58	2.43	32.88	2.56
계	1590.66	100.00	1367.51	100.00

음을 유추할 수 있으며 특히 퇴적암의 경우 부유사가 토사의 상당부분을 차지하게 되어 탁수형태로 호소내로 유입되는 특성을 갖는 것으로 판단된다.

하천의 지형학적인 특성을 고려한 지질암의 분포특성

을 파악하는 것은 강우시 하천내 탁수발생의 직접적인 영향을 검토하는 중요한 자료원이 된다. 본 연구에서는 하천으로부터의 거리를 고려한 퇴적암의 분포특성을 분석하기 위해 지방하천까지를 하천구역으로 선정하고, GIS Buffering 기법을 적용하여 하천으로부터 200m 간격으로 최대 5,000m까지 Grid 분석을 위한 완충구역 레이어를 구축하였다. 이러한 완충구역 레이어와 퇴적암을 공간 중첩하여 하천으로부터의 거리를 고려한 퇴적암의 점유면적 분포도를 그림 4와 같이 제시하였다.

그림 4의 결과와 같이 하천 전구간에 걸쳐 안동호에 비해 임하호지역의 퇴적암의 분포가 높게 나타났으며, 특히 하천으로부터 약 1,600m까지 임하호지역의 퇴적암 면적은 441km<sup>2</sup>로서 기울기도 높게 나타난 반면, 안동호지역은 226km<sup>2</sup>로서 기울기도 비교적 완만한 것으로 나타났다. 이러한 특성은 임하호지역내 하천주변에서의 지질암

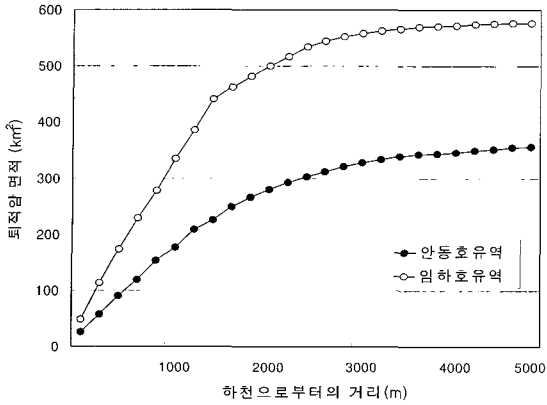


그림 4. 하천으로부터의 거리를 고려한 퇴적암의 점유면적 분포도

의 분포특성이 안동호유역에 비해 탁수발생 측면에서 취약한 구조를 가지고 있음을 의미한다.

### 3. 토지피복 및 식생인자 분포특성

지표를 구성하는 토지피복 형태는 강우에 따른 토사유

실 및 그로 인한 탁수발생에 중요한 변수로 작용한다. 국내에서는 Landsat 위성영상자료를 이용하여 화소값을 군집화하거나 사용자의 지정에 의한 감독분류 방법을 이용한 토지피복도 구축방법을 이용해 왔으며(환경부, 2002), 분류정확도를 향상시키기 위해 퍼지기법이나 신경망 이론등을 함께 접목하는 연구도 활발히 진행되었다(Gamba와 Houshmand, 2001 ; Hung과 Ridd, 2002). 최근에는 기존의 토지피복도를 효과적으로 개선하기 위해 고해상도 위성영상과 연계한 연구 및 사업 등이 시행되고 있다(환경부, 2005). 본 연구에서는 기존의 30m 해상도를 갖는 Landsat 영상의 한계를 극복하고자 2003년 3월 20일 촬영한 SPOT 5 영상에서 분류한 환경부의 토지피복도를 기반으로 하천주변 농경지에 대한 현지조사를 수행하여 수정 보완하였다. 이미지형태의 토지피복도를 Grid로 변환하여 Merge 함으로서 5m 해상도를 갖는 안동호와 임하호유역의 토지피복도를 구축하였다. 중분류체계의 토지피복도는 기존 Landsat 영상에 의한 피복클래스보다 매우 정밀한 형태의 토지피복정보를 포함하고 있으며, 단순한 영상분류기법이 아닌 지형도, 생태지연도 등과 함께 연계하여 해당전문가에 의한 직점도화 방식으로 구축되

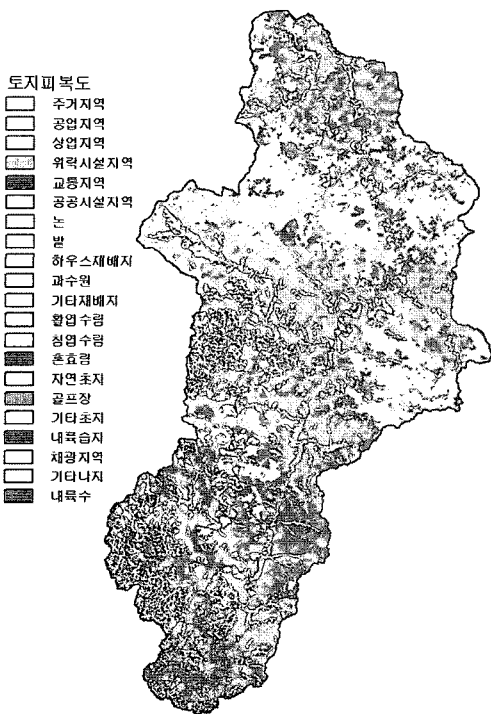


그림 5. 안동호 유역 토지피복도

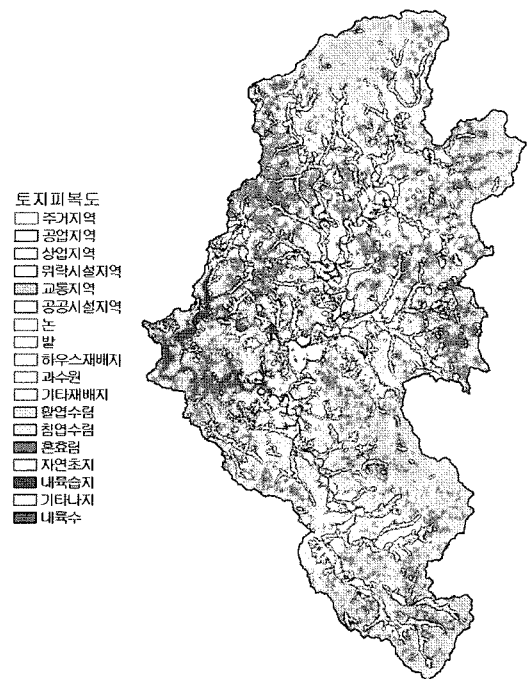


그림 6. 임하호 유역 토지피복도

표 2. 안동 임하호 유역의 토지피복 분석결과

분류항목	안동호 유역		임하호 유역	
	면적(km <sup>2</sup> )	비율(%)	면적(km <sup>2</sup> )	비율(%)
주거지역	12.251	0.770	12.044	0.881
공업지역	0.870	0.055	0.265	0.019
상업지역	1.574	0.099	0.741	0.054
위락시설지역	0.377	0.024	0.045	0.003
교통지역	6.503	0.409	4.619	0.338
공공시설지역	0.957	0.060	1.105	0.081
논	43.750	2.752	45.607	3.335
밭	123.763	7.784	138.085	10.098
하우스재배지	0.277	0.017	0.362	0.026
과수원	18.687	1.175	19.516	1.427
기타재배지	2.467	0.155	1.043	0.076
활엽수림	371.797	23.383	203.319	14.868
침엽수림	681.280	42.848	612.122	44.762
혼효림	254.698	16.019	275.818	20.169
자연초지	2.904	0.183	5.492	0.402
골프장	0.040	0.002	0.000	0.000
기타초지	3.600	0.226	0.000	0.000
내륙습지	9.813	0.617	6.179	0.452
채광지역	2.835	0.178	0.000	0.000
기타나지	13.632	0.857	8.268	0.605
수계	38.587	2.427	32.880	2.404
계	1,554.075	100.000	1,367.510	97.596.000

어 매우 정확한 토지피복정보를 갖는 장점이 있다(환경부, 2005). Grid 형태의 토지피복도의 고유코드를 이용하여 토지피복 클래스별 점유면적을 분석하여 표 2에 제시

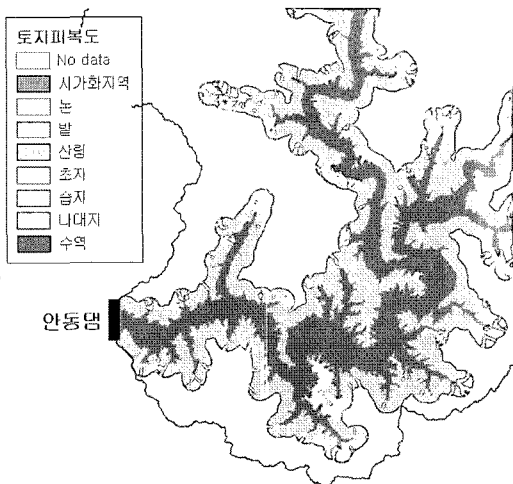


그림 7. 토지피복도(안동호 하천주변)

표 3. 안동호와 임하호 유역의 토지피복 비교 분석

토지피복	안동호 유역		임하호 유역	
	면적(km <sup>2</sup> )	백분율(%)	면적(km <sup>2</sup> )	백분율(%)
시가화지역	22.532	1.417	18.819	1.376
논	43.750	2.750	45.607	3.335
밭	145.194	9.128	159.006	11.627
산림	1,307.775	82.215	1,091.259	79.799
초지	6.544	0.411	5.492	0.402
습지	9.813	0.617	6.179	0.452
나대지	16.467	1.035	8.268	0.605
수역	38.587	2.427	32.880	2.404
계	1,537.608	100.000	1367.510	100.00

하였으며, 이를 대분류 기준으로 정리하여 표 3에 제시하였다. 안동호와 임하호 유역의 토지피복을 대분류로 통합하여 상호 비교 분석한 결과, 강우발생시 탁수발생에 가장 큰 영향을 주는 농경지 점유비율이 안동호 유역은 11.878%인데 비해 임하호 유역은 14.962%로 임하호 유역이 안동호 유역에 비해 3.084%로 약간 높게 평가되었다. 따라서 유역 전체적으로 볼 때는 임하호 유역과 안동호 유역간의 농경지 비율에는 큰 차이가 없는 것으로 평가되었다.

그러나, 강우발생시 탁수 및 토사유실에 직접적인 영향을 주는 구역은 하천주변지역이며, 따라서, 하천주변에 대한 토지피복 분포특성을 파악하는 것은 탁수발생원을 추정하는데 매우 중요하다. 그림 7과 8은 안동호와 임하호 유역에 대한 하천주변 300m 이내의 토지피복도이며,

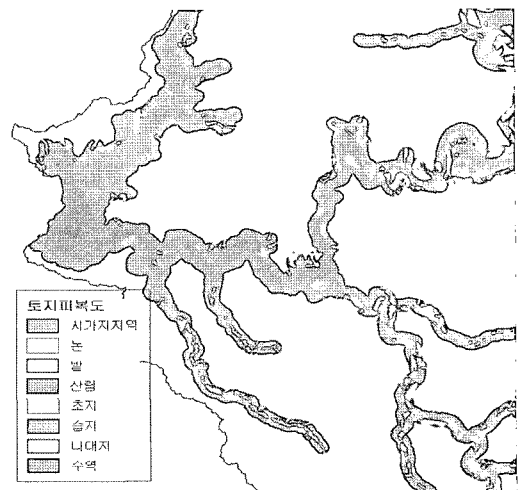


그림 8. 토지피복도(임하호 하천주변)

표 4. 안동호와 임하호 유역의 토지피복 비교 분석(하천주변)

토지피복	안동호 유역		임하호 유역	
	면적(km <sup>2</sup> )	백분율(%)	면적(km <sup>2</sup> )	백분율(%)
시가화지역	11.909	3.895	11.208	4.175
논	12.890	4.216	27.726	10.328
밭	42.620	13.940	58.834	21.917
산림	176.569	57.753	125.973	46.927
초지	2.153	0.704	1.898	0.707
습지	9.611	3.144	5.936	2.211
나대지	12.293	4.021	6.440	2.400
수역	37.684	12.327	30.428	11.335
계	257.752	100.000	233.575	100.000

점유면적을 분석한 결과는 표 4와 같다.

분석결과 안동호 유역의 농경지 비율은 18.156%인데 비해 임하호 유역은 32.245%로 임하호가 안동호 유역에 비해 농경지 비율이 14.089%로 매우 높게 평가되었다. 따라서 하천주변 공간에서는 임하호의 농경지 비율이 안동호 유역에 비해 매우 큰 비율 분포를 보였으며, 이는 임하호가 안동호 유역에 비해 강우발생시 탁수 및 토사유실을 유발하기 쉬운 토지피복 형태를 가지고 있음을 알 수 있다. 특히 현장조사 결과 임하호 유역의 상류하천에는 상당부분의 농경지가 제방을 가지고 있지 않은 것으로 조사되었으며, 이는 대부분 제방을 갖추고 있는 안동호 유역과는 크게 구별되었다. 임하호 하천주변지역의 무제부 구간에 위치하고 있는 농경지는 강우시 토사가 직접 하천에 유입되어 고탁수를 유발하게 된다. 따라서, 무제부 구간이 대규모로 위치하고 있는 지역에 대해 토사유실 평가를 수행하여 토사유실원인지역을 세부적으로 결정할 필요가 있으며, 분석된 지역에 대해서는 발기반 정비, 돌림수로 설치, 밭포장 설치 등의 유역대책 수립이 필요하다(한국수자원공사, 2004).

하천으로부터의 거리를 고려한 농경지의 분포특성을 보다 상세하게 분석하기 위해, GIS Buffering 기법에 의한 하천구역 자료를 이용하여 200m 간격으로 최대 5,000m 까지 농경지 토지피복의 점유면적 특성을 그림 9와 같이 분석하였다. 분석결과, 하천 전구간에 걸쳐 안동호에 비해 임하호유역의 농경지 점유면적이 높게 나타났으며, 특히 임하호유역의 경우 하천으로부터 약 1,600m까지의 농경지 점유면적이 184km<sup>2</sup>로서 기울기도 높게 나타난 반면, 안동호유역은 146km<sup>2</sup>로서 기울기도 비교적 완만한

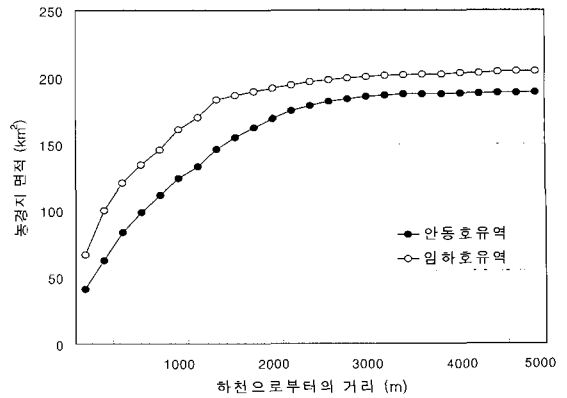


그림 9. 하천으로부터의 거리를 고려한 농경지 점유면적 분포도

것으로 나타났다.

지표를 구성하는 식생피복은 강우발생에 따른 토사유실을 저감하는 매우 중요한 영향인자가 된다(Gilley 등, 1986). 본 연구에서는 안동호와 임하호유역의 토지피복이 토사유실에 미치는 영향을 평가하기 위해 USLE 토사유실모델중 토지피복에 따른 식생피복인자(C)를 하천으로부터의 지형학적 특성을 고려하여 평가하였다(Dissmeyer와 Foster, 1981; Fernandez 등, 2003). 표 5는 토지피복별 식생피복인자(C) 기준이며(박경훈, 2003), 보다 정밀한 분석을 위해 하천으로부터 50m 간격으로 최대 5,000m까지 토지피복도를 추출한 후 식생피복인자를 Grid 분석을 통해 계산하였다. 그림 10의 결과와 같이, 하천구역내 50m

표 5. 토지피복별 식생피복인자

토지피복 형태		식생피복인자 (C)
대분류	중분류	
산림	침엽수	0.009
	활엽수	0.004
	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

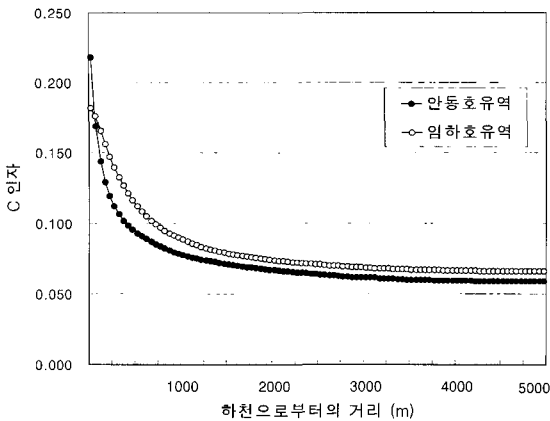


그림 10. 하천으로부터의 거리를 고려한 식생피복인자(C) 분포도

지역을 제외하고는 하천 전구간에서 임하호유역이 안동호에 비해 높은 식생피복인자를 보였으며, 이는 임하호유역의 토지피복특성이 안동호에 비해 토사유실에 취약한 구조를 가지고 있음을 의미한다. 또한 두 유역 모두 하천으로부터 약 1,000m까지 식생피복인자의 기울기가 매우 급하게 나타났으며, 이는 하천 주변의 농경지 분포특성이 영향을 미친 것으로 해석된다. 이와 같은 하천의 지형학적 특성을 고려한 식생피복인자를 평가함으로써 하천 주변지역에서의 토지피복의 영향특성을 분석할 수 있었으며, 이는 토사유실평가를 위한 다른 인자와의 연계를 통해 유역 및 하천 주변의 탁수평가를 지원할 수 있게 된다.

## 5. 결 론

본 연구는 임하호 탁수발생의 주요 원인으로 지적되고 있는 지질 및 지형적인 특성을 파악하고자 인근의 안동호 유역과의 지질암의 종류 및 토지피복 특성을 상호 비교함으로써 다음의 결론을 얻었다.

1. 지질자원연구원에서 구축한 지질도의 공간적 범위의 한계를 극복하고자 농업과학기술원의 1/25,000 정밀도야도에 기초한 표토부분의 지질암의 종류를 비교한 결과 강우발생시 풍화 및 토사유실에 가장 취약한 퇴적암의 분포가 임하호 유역이 42.02%, 안동호 유역이 22.42%로 임하호 유역이 안동호 유역에 비해 1.87배 높게 나타났다. 이러한 결과는 임하호 유역의 지질적인 암석특성이 안동호 유역에 비해 탁수 및 토사유실에 취약한 구조를 가지고 있음을 보여주는 것으로 해석할 수 있다.

2. 하천의 지형학적인 특성을 고려한 퇴적암의 분석에서도, 임하호 유역이 하천 전구간에서 안동호유역에 비해 높게 평가되었으며 특히 하천으로부터 1,600m 내에서 임하호의 퇴적암 점유면적 그래프의 기울기가 안동호유역에 비해 높게 평가되었다.

3. 유역내 토지피복특성을 분석한 결과, 유역전체에서의 농경지 면적은 안동호와 임하호 유역이 유사하게 나타났지만, 탁수 및 토사유실에 직접적인 영향을 주는 하천의 지형학적인 특성을 고려한 평가에서는 하천으로부터 1,600m 내에서 임하호의 농경지 점유면적 그래프의 기울기가 안동호유역에 비해 높게 평가되었다. 이는 하천구역 1,600m 내에서 임하호의 토지피복 분포특성이 안동호유역에 비해 탁수발생에 취약한 구조를 가지고 있음을 의미한다.

4. 또한 토지피복에 따른 토사유실 영향인자인 식생피복인자를 평가한 결과에서도 임하호유역이 안동호에 비해 높은 값을 나타냈으며, 특히 하천구역내 농경지 특성이 반영되어 하천으로부터 1,000m 내에서 임하호의 식생피복인자 그래프의 기울기가 안동호에 비해 높게 나타남을 알 수 있었다.

## 참고문헌

- 김용보 (2005), 탁도에 따른 Echo Sounder 관측 한계분석, 한국측량학회지, 제23권, 제2호, pp. 197-204.
- 박경훈 (2003), GIS 및 RUSLE 기법을 활용한 금호강 유역의 토양침식 위험도 평가, 한국지리정보학회지, 제6권 제4호, pp. 24-36.
- 신희순, 선우춘, 이두화 (2004), 지질조사 및 암반분류, 구미서관, pp. 8-31.
- 이근상, 조기성 (2004), 탁수자료를 이용한 GIS기반의 토사유실량 평가, 한국지형공간정보학회지, 제12권, 제4호, pp. 75-81.
- 이근상, 박진혁, 황의호, 고덕구 (2004), GIS 기반 토사유실모형을 이용한 저수지 사면의 토사유실 영향분석, 한국지리정보학회지, 제7권, 제 3호, pp. 108-117.
- 이용근, 고덕구, 민병환, 황재충 (2005), 강우와 저수지 탁도변화, 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 2406-2409.
- 한국수자원공사 (2004), 임하댐 탁수저감방안 수립, 연구보고서, pp. 279-426.
- 환경부 (2002), 인공위성영상 자료를 이용한 토지피복도 구축, 연구보고서, pp. 9-83.
- 환경부 (2005), 인공위성영상 자료를 이용한 토지피복도 구축, 연구보고서, pp. 11-39.
- Angima, S.D., Stott, D.E., O'Neill, M.K., Ong, C.K. and Weesies, G.A. (2003), Soil erosion prediction using RUSLE for central Kenyan highland conditions, *Agriculture Ecosystems & Envi-*

- ronment, Vol. 97, pp. 295-308.
- Dissmeyer, G. E. and Foster, G.R. (1981), Estimating the cover management factor in the USLE for forest conditions, *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol. 36, No. 4, pp. 235-240.
- Fernandez, C., Wu, J.Q., McCool, D.K. and Stockle, C.O. (2003), Estimating water erosion and sediment yield with GIS, RUSLE, and SEDD, *Journal of Soil Water Conservation*, Vol. 58, pp. 128-136.
- Gamba, P. and Houshmand, B. (2001), An efficient neural classification chain of SAR and optical urban images, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 22, No. 8, pp. 1535-1553.
- Gilley, J.E., Finkner, S.C., Spomer, R.G. and Mielke, L.N. (1986), Runoff and erosion as affected by crop, *Transactions of the American Association of Agricultural Engineers*, Vol. 29, No. 1, pp. 157-160.
- Hung, M.C. and Ridd, M.K. (2002), A subpixel classifier for urban land cover mapping based on a maximum likelihood approach and expert system rules, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 68, No. 11, pp. 1173-1180.
- King, C., Baghdadi, N., Lecomte, V. and Cerdan, O. (2005), The application of remote-sensing data to monitoring and modelling of soil erosion, *CATENA*, Vol. 62, pp. 79-93.
- Ng, C.W.W., Guan, P. and Shang, Y.J. (2001), Weathering mechanisms and indices of the igneous rocks of Hong Kong, *Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, Geological Society*, Vol. 34, pp. 133-151.

---

(접수일 2005. 11. 29, 심사일 2005. 12. 13, 심사완료일 2006. 1. 31)