

농촌유역의 산림지 면적 감소에 따른 유역 토양유실량 변화 추정

김상민 · 임상준* · 박승우**

서울대학교 농업생명과학연구원, *한국건설기술연구원, **서울대학교 농공학과

Estimation of the Forestry Area Decrease Effect on the Soil Erosion in Rural Watershed

Kim, Sang Min · Im, Sang Jun* · Park, Seung Woo**

Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University

*Korea Institute of Construction Technology · **Department of Agricultural Engineering, Seoul National University

ABSTRACT : In this paper, forestry area change effect on the soil erosion in Asan lake watershed was estimated. Temporal variations of land use in the study watershed were analyzed from Landsat-5 TM remote sensing images. Geographic Information System (GIS) combined with Universal Soil Loss Equation (USLE) was used to estimate the soil erosion of Asan lake watershed. Spatial data for each USLE factors was obtained from the Landsat-5 TM remote sensing images and 1/25,000 scale digital contour maps. Sediment yield to Asan lake was estimated by sediment delivery ratio and sediment accumulation in lake was estimated by trap efficiency. The estimation methods were validated for sediment accumulation in Asan lake. From the hydrographic survey from 1974 to 2003 for Asan lake, sediment accumulation was measured. The estimated accumulation sediment of 303,569ton/yr showed similar value with observed of 295,888ton/yr. From the validated estimation methods, the increasing amount of soil erosion when 1% of forest area in Asan lake watershed decreases was calculated from 12.91 to 1482.05ton/yr.

Key words : Asan lake, Forest area, GIS, Sediment delivery ratio, Soil erosion, Trap efficiency, USLE

1. 서론

유역에서 발생하는 토양유실은 토지이용의 변화에 따라 달라진다. 도시화의 진행 등에 따른 토지이용의 급격한 변화는 홍수량의 증가에 따른 홍수피해의 증가를 초래할 뿐 아니라 토양유실량의 증가로 저수지 내 용적 감소, 수질환경 악화 등의 영향을 미친다. 산림지는 다른 토지이용에 비해 상대적으로 낮은 토양유실량을 보이며(김상민 등, 2003), 농촌개발, 도시화의 진행과 도로 건설 등으로 인해 산림지의 면적은 1993년부터 2002년까지 10년간 연평균 5,177ha가 감소되었다(산림청, 2003). 이러한 추세를 감안하면 향후 지속적인 산림지의 감소가 예상되며, 산림지의 감소로 인해 야기될

토양유실량의 증가는 쾌적한 농촌환경을 저해할 수 있으며, 향후 농촌계획에 있어 산림지의 면적감소에 따른 토양유실량의 증가를 방지할 수 있는 대책이 마련되어야 할 것이다.

유역에서 발생하는 토양유실량의 추정은 범용토양유실공식(Universal Soil Loss Equation, USLE)을 이용하는 방법이 많이 이용되고 있다. 범용토양유실공식은 1960년대 농경지에서의 면상침식 및 세류침식에 의한 토양유실량을 추정하기 위하여 Wischmeier와 Smith(1965)가 제안하였으며, 토양유실량의 추정과 토양유실 저감대책에 따른 토양유실량의 변화를 추정하기 위해 이용되고 있다.

토양유실량의 추정을 위한 USLE의 제 인자는 위성영상과 지리정보시스템을 이용하여 광대한 면적을 차지하는 유역의 토지이용 분류 및 지상인자를 효과적으로 추출할 수 있다. 현재 국내에서는 국가 기본도를 수

Corresponding author : Kim, Sang Min

Tel : 02-880-4591

E-mail : smkim97@snu.ac.kr

치지도로 제공하고 있으며, 이를 기반으로 비교적 적은 비용으로 GIS(Geographic Information System) 자료를 구축하고, 이를 이용한 공간 분석에 응용하고 있다(정규장과 조효섭, 1998).

본 연구에서는 쾌적한 농촌환경을 조성하기 위한 기초적인 연구로 산림지의 면적변화가 유역의 토양유실량의 변화에 미치는 영향을 분석한다. 이를 위해 위성 영상자료를 이용하여 유역의 토지이용 변화를 분석하고, USLE를 이용하여 유역의 토양유실량을 추정하며, 유사운송비와 포착률을 적용하여 아산호에 퇴적되는 유사량을 추정한다. 추정된 결과의 정확도를 분석하기 위해 아산호 수심측량 결과와 추정치를 비교한다. 마지막으로 아산호의 토지이용변화가 유역의 토양유실량의 변화에 미치는 영향을 분석한다.

II. 유역 토양유실량 추정

1. 토양유실량 추정

토양유실량을 추정하기 위한 범용토양유실공식(USLE)은 다음과 같이 정의된다.

$$A = 2.24 RKLSCP \quad (1)$$

여기서, A = 연평균 토양유실량 (ton/ha), R = 강우침식능인자, K = 토양침식성인자, L = 사면장인자, S = 경사도인자, C = 작물경작인자, 그리고 P = 침식조절관행인자이다.

우리나라의 지역별 강우침식능인자(R)은 정필균 등(1983)이 전국 주요축후소(51개소)의 강우를 분석하여 얻은 R 값을 이용하였으며, 아산만 유역의 경우 평균 6,000MJ/ha · mm/hr을 적용하였다.

아산만의 토양침식성인자(K)를 구하기 위해 1/25,000 도엽별로 토지이용에 따른 토양통을 2, 3가지로 구분하였으며 가장 구성비가 높은 토양통을 대표토양통으로 하였으며, 도엽별로 토양통과 토양통의 개략적인 비율을 고려하여 토양침식성인자를 계산하였다.

사면장과 경사도가 토양유실에 미치는 영향을 나타내는 인자는 각각 L 과 S 이며, 이들은 각각을 구분하지 않고 흔히 지형인자(topographic factor) LS 로 나타내고 있다. USLE의 제 인자는 표준포를 기준으로 하며, 지형인자는 다음의 식 (2)로부터 계산된다.

$$LS = \left(\frac{x}{22.13}\right)^m (0.065 + 0.045s + 0.0065s^2) \quad (2)$$

여기서, x = 사면장, s = 지면경사도(%), m = 무차원 지수로 경사도에 따라 변한다.

본 연구에서는 수치표고모델(DEM)을 이용하여 경사도를 추출하였으며, 사면장은 표 1의 값을 이용하였다. 나지, 주거지/도로와 기타에서는 격자의 크기에 따라 70~100의 값을 이용하였으며, 산림에서는 10m의 값을 이용하였다.

작물경작인자(C)는 강우 · 토양 · 지형조건이 동일한 경우에 특정한 작물이나 피복조건에서 발생한 토양유실량과 표준포의 상태에서 휴경과 경운조건에서 발생한 토양유실량의 비로 결정된다. 작물경작인자는 경사지의 피복상태 · 윤작조건 · 수확량의 수준 · 재배기간 · 경운방법 · 작물잔재상태 · 강우분포 등의 복합적인 영향을 표시한다. 작물경작인자는 USDA(Wischmeier와 Smith, 1978)에서 제시한 값을 이용하여 토지이용에 따른 적절한 작물경작인자를 선택하였으며, 표 2에서 보는 바와 같이 논과 밭의 경우 0.03, 산림 0.001, 초지 0.01, 나지 0.1, 주거지/도로의 경우 0.01의 값을 적용하였다.

침식조절관행인자(P)는 특정한 침식조절관행인자에 의한 토양유실량과 표준포에서 적용한 상하경방법에 따른 유실량의 비이다. 침식조절관행에는 등고선경작(contouring), 등고선대상재배(contour strip cropping), 테라스공법(terracing) 등이 포함된다. 침식조절관행인자(P)는 Wischmeier(1972)가 제시한 값을 이용하여 토지이용에 따른 인자를 적용하였다. 논, 밭의 침식조절관행인자(P)는 테라스 경작 조건을 이용하였으며, 밭과 초지의 경우 등고선 경작조건을 적용하였다. 다음의 표 3은 아산만 상류 유역에 대한 침식조절관행인자(P)를 정리한 결과를 보여주고 있으며 논, 밭, 초지의 경우 지면경사도에 따라 다른 값을 적용하였다.

표 1. 토지이용에 따른 사면장

토지이용	논	밭	산림	초지	나지	주거지/도로	기타
사면장(m)	70	50	10	15	70~100	70~100	70~100

표 2. 아산만의 작물경작인자(C)

토지이용	논	밭	산림	초지	나지	주거지/도로	기타
작물경작인자	0.03	0.03	0.001	0.01	0.1	0.01	0

표 3. 아산만의 침식조절관행인자(P)

토지이용	논	밭	산림	초지	나지	주거지/도로	기타
침식조절관행인자	0.10~0.18	0.5~0.9	1	0.5~0.9	1	1	1

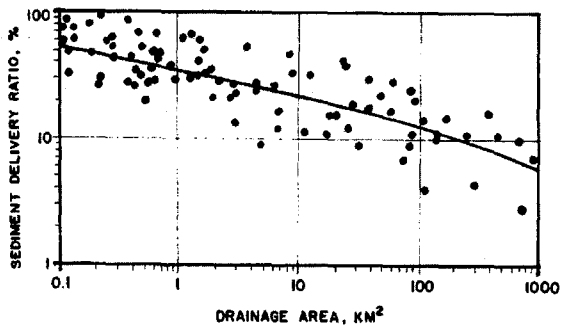


그림 1. 유역면적-유사운송비 관계

2. 유사운송비법

상류에서 발생한 토양유실량이 유역의 출구로 운송되는 양을 추정하는 방법으로 유사운송비법(sediment delivery ratio, SDR)을 이용하였다. 유사운송비는 Roehl (1962)이 제시한 유역면적과 유사운송비의 관계를 이용하였으며, 다음의 그림 1은 유역면적-유사운송비 관계를 보여주고 있다.

3. 포착효율법

유역의 출구가 담수호인 경우 유역의 출구로 운송된 유사 중 일부는 담수호로 퇴적되며 일부는 담수호의 배수갑문을 통해 외해로 배제된다. 담수호로 유입된 유사 중 호 내에 퇴적되는 유사량의 비율을 포착효율(trap efficiency)이라 하며, 실측자료가 없을 경우 포착효율 곡선으로부터 포착효율을 추정할 수 있다. 다음의 그림 2는 Brune(1953)이 제시한 포착효율 곡선으로 유효저수량과 유입량의 비를 이용하여 포착효율을 추정할 수 있다.

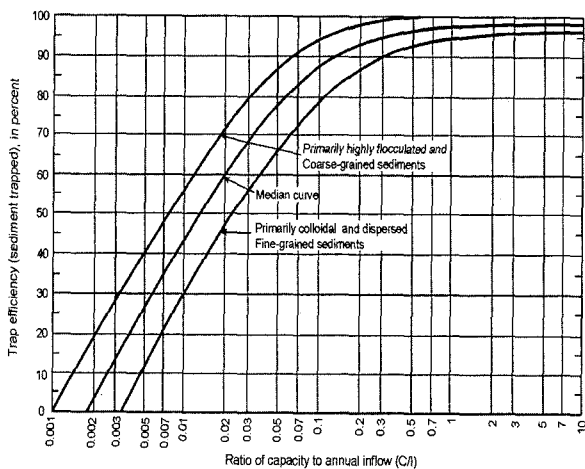


그림 2. 저수지 포착효율 곡선 (Brune, 1952)

III. 대상유역

1. 아산호 유역

본 연구에서는 토양유실량의 추정결과를 실측자료와 비교할 수 있는 조사대상지구로 아산호 유역을 선정하였다. 아산호 유역은 아산호를 유역의 출구로 하고 있으며, 농업기반공사에서 아산호의 배수갑문 조작 자료를 관리하고 있으며, 환경부에서 아산호의 수질측정을 정기적으로 수행하고 있다. 아산호 배수갑문 조작 자료와 환경부 유사측정 자료를 이용하여 아산호에서 외해로 배제되는 양을 추정할 수 있다. 또한, 농업기반공사에서 정기적으로 아산호 내용적을 측량하고 있어 아산호 유사퇴적량을 조사할 수 있어 아산호 유역에서 발생한 토양유실량 추정결과를 비교할 수 있다. 다음의 그림 3은 아산호 유역의 개요를 보여주고 있다.

2. 토지이용 변화

본 연구에서는 대상유역의 토지이용을 분류하기 위하여 Landsat-5 TM 영상 자료를 이용하였다. Landsat-5 TM 영상을 대상으로 최우도법에 의한 무감독분류를 수행하여 토지이용을 분류하였으며, 위성영상의 전처리와 분석은 ERDAS IMAGINE 8.4 소프트웨어를 사용하였다. Landsat-5 위성은 1984년에 발사되었으며, 상공 700~900km, 회전주기 16일, 분광밴드는 7개이며, 공간 해상력은 30m×30m이다. 다음의 표 4는 본 연구에서 이용된 영상자료에 대한 특성을 보여주고 있다.

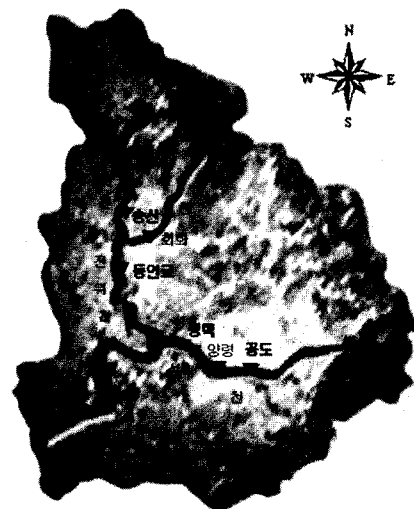


그림 3. 아산호 유역 개요도

표 4. 아산만 해역 위성 영상 자료의 현황 및 특징
(Path 116/ Row34)

영상 번호	날짜	시간	운량(%)	자료크기(Mb)	비고
A_000320	00/03/20	01:45:02	2	279.9	TM
A_861211	86/12/11	01:29:42	2	279.9	TM

본 연구에서는 아산호 유역의 토지이용을 산림(Forest), 초지(Grass), 논(Paddy), 밭(Upland), 시가지(Urban), 물(Water) 등의 여섯 가지로 분류하였다. 토지이용의 변화를 고찰하기 위하여 Landsat-5 위성이 발사된 후 2년이 경과한 1986년 자료와 비교적 최근의 자료인 2000년 자료를 대상으로 토지이용을 분류하였다. 다음의 그림 4, 5는 1986년과 2000년에서 대한 토지이용을 분류한 결과를 보여주고 있으며, 표 5는 분류된 토지이용 결과를 비교하여 보여주고 있다. 표 5에서 보는 바와 같이 아산호 전체 유역면적은 1693.9km²으로 1986년 기준으로 산림 38.5%, 논 31.1%, 밭 13.8%, 시가지 7.5%의 분포를 보였다. 아산호 유역의 토지이용 변화를 살

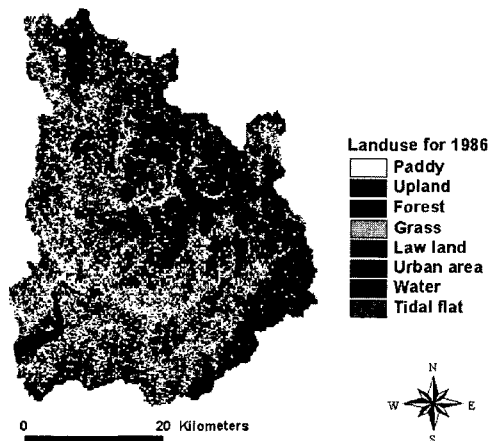


그림 4. 아산호 유역 토지이용 (1986)

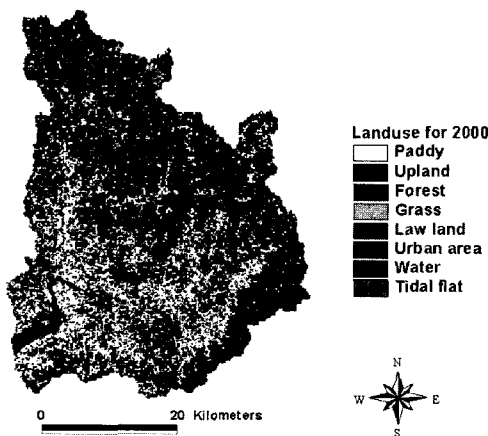


그림 5. 아산호 유역 토지이용 (2000)

표 5. 아산호 유역 토지이용 변화

연도	토지이용 면적 (km ²)							합계
	논	밭	산림	초지	나지	시가지	물	
1986	526.6	233.8	683.4	36.8	40.6	127.6	45.1	1693.9
2000	439.3	207.3	651.6	65.9	55.9	224.2	49.7	1693.9
면적변화	-87.3	-26.5	-31.8	29.1	15.3	96.6	4.6	-
면적변화율	-5.2%	-1.6%	-1.9%	1.7%	0.9%	5.7%	0.3%	-

펴보면 1986년에 비해 2000년 논, 밭, 산림의 면적은 감소하였으며, 초지, 나지, 시가지, 물의 면적은 증가하였다. 1986년부터 2000년까지 14년간 아산호 전체 면적 대비 논 5.2%, 밭 1.6%, 산림 1.9%가 감소한 것으로 조사되었다.

3. GIS 주제도 구축

범용토양유실공식(USLE)을 이용하여 토양유실량을 추정하기 위하여 대상유역의 GIS 자료를 구축하였다. 지형자료의 구축은 국립지리원에서 구축한 NGIS 수치지도를 이용하여 불규칙삼각망(TIN) 자료를 생성하고 이로부터 수치표고모델(DEM)을 생성하였다. 수치표고 모델로부터 지형경사도, 경사방향도 등을 생성하였다. 구축된 지형자료와 위성영상 자료로부터 얻어진 토지이용 자료를 이용하여 USLE의 각 인자에 대한 주제도를 구축하였다.

GIS 자료의 격자크기는 Maidment(1996)가 제시한 적용유역의 범위에 따른 격자의 크기를 참조하였으며, 본 연구에서는 유역의 크기와 격자의 수를 고려하여 아산호 유역의 격자크기를 180m로 결정하였다.

다음의 그림 6~11은 아산호 유역을 대상으로 구축된 USLE 주제도를 보여주고 있다. 그림 6, 7은 USLE

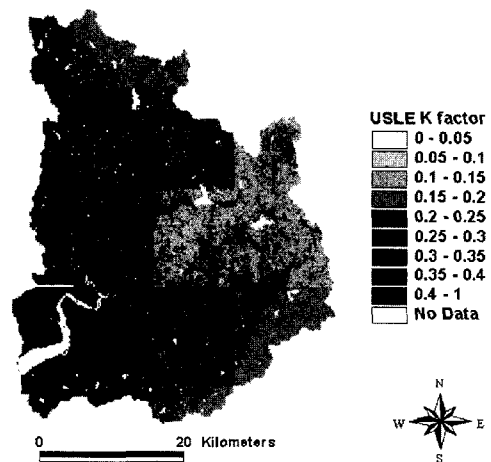


그림 6. 아산호 유역 USLE K 인자

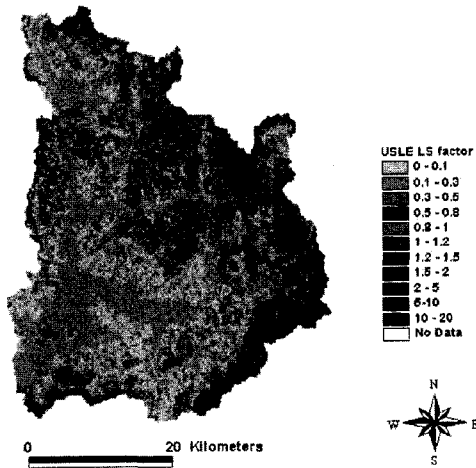


그림 7. 아산호 유역 USLE LS 인자

K, LS 인자도를 보여주고 있으며, 그림 8~11은 토지이용 변화에 따른 1986년과 2000년의 USLE C, P 인자를 보여주고 있다.

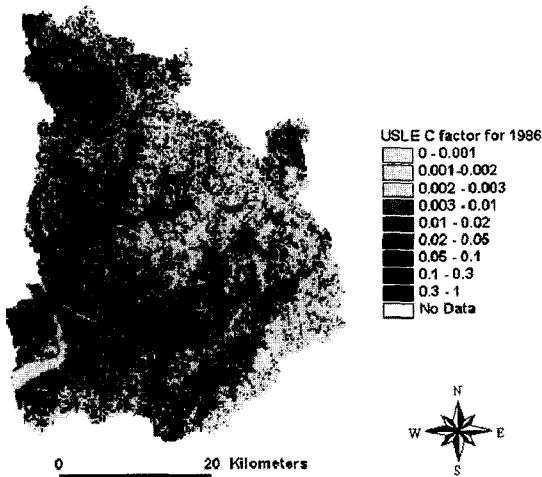


그림 8. 아산호 유역 USLE C 인자 (1986)

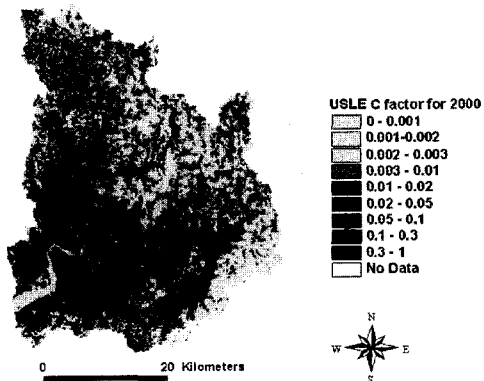


그림 9. 아산호 유역 USLE C 인자 (2000)

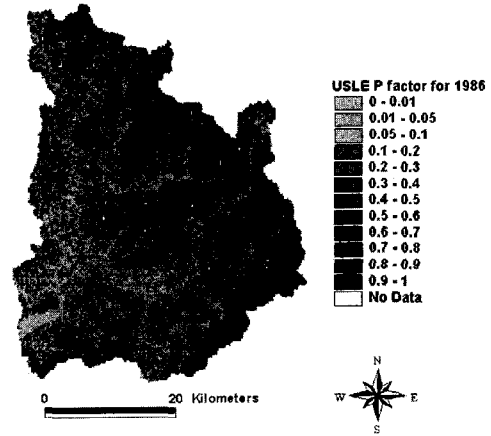


그림 10. 아산호 유역 USLE P 인자 (1986)

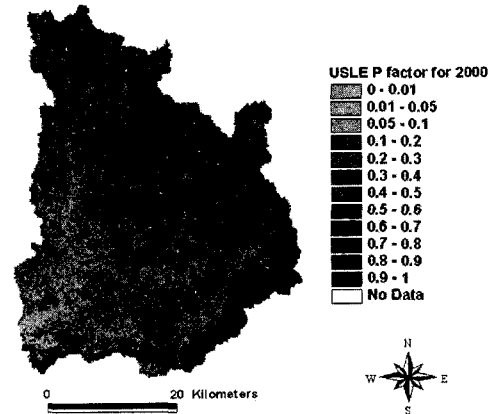


그림 11. 아산호 유역 USLE P 인자 (2000)

V. 토양유실량 추정결과와 검토

1. 토양유실량 추정

GIS를 이용해 구축한 각각의 USLE 주제도로부터 추출된 입력자료를 이용하여 USLE(Universal Soil Loss Equation)를 이용하여 아산호 유역을 대상으로 토양유실량을 추정하였다. 토양유실량은 토지의 이용상태에 따라 변화하며, 본 연구에서는 1986년, 2000년을 대상으로 분석된 토지이용자료를 이용하여 토양유실량을 추정하였다. 그림 12, 13은 1986년, 2000년 토지이용을 기준으로 산정한 단위면적당 토양유실량을 보여주고 있다.

아산호 유역에서 발생한 토양유실량은 표 6에서 보는 바와 같이 1986년, 2000년 토지이용을 기준으로 각각 2,181,226ton/yr, 2,763,785ton/yr로 1986년에 비해 2000년의 토양유실량이 582,559ton/yr이 증가한 것으로 추정되었다. 1986년 토양유실량 대비 2000년의 토양유실량은 각각 28% 증가하였다.

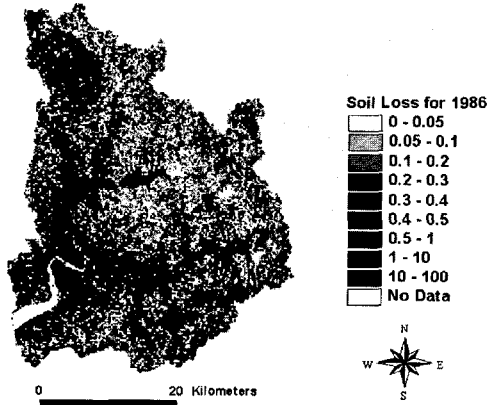


그림 12. 아산호 유역 토양유실량 (1986)

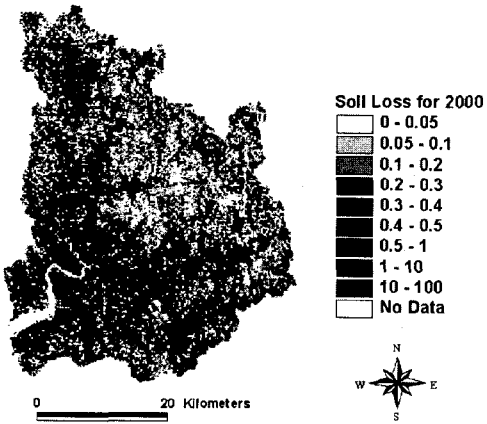


그림 13. 아산호 유역 토양유실량 (2000)

한편, 하천구간에서 발생하는 토양유실량은 하천구간에서의 홍수기와 저수기의 부유물 농도와 유량을 이용하여 산정하였다. 안성천의 홍수기와 저수기의 유사량을 각각의 유량과 부유물 농도로부터 구하여 비교하면 저수기의 유사량은 홍수기의 7.7% 정도로 나타난다. 홍수기의 유사량 증가의 대부분은 유역으로부터 유입되는 유실량이 대부분을 차지하므로 이 비율을 총유실량에 대한 하상침식량의 비로서 가정할 수 있다. 이로부터 연간 하천구간 침식량은 1986년 167천 ton/yr, 2000년 212천 ton/yr으로 추정되었다.

2. 단위면적당 토양유실량

토양유실량은 토지이용에 따라 편차를 보이며 토지

표 7. 토지이용별 단위면적당 토양유실량

연도	단위면적당 토양유실량 (ton/ha)					
	논	밭	산림	초지	나지	시가지
1986	3.81	53.05	0.21	47.81	132.24	1.03
2000	3.95	49.13	0.21	35.90	227.66	2.19

이용의 변화에 따른 토양유실량의 변화를 정량적으로 분석하기 위해 토지이용별로 단위면적당 평균 토양유실량을 비교하였다. 표 7에서 보는 바와 같이 단위면적당 평균 토양유실량은 1986년 논 3.8ton/ha/yr, 밭 53.0 ton/ha/yr, 산림 0.2ton/ha/yr, 초지 47.8ton/ha/yr, 나지 132.4 ton/ha/yr, 시가지 1.0ton/ha/yr에서 2000년 논 3.9ton/ha/yr, 밭 49.1ton/ha/yr, 산림 0.2ton/ha/yr, 초지 35.9ton/ha/yr, 나지 227.8ton/ha/yr, 시가지 2.2ton/ha/yr으로 추정되었다.

1986년에 비해 2000년 토양유실량이 28% 증가한 원인은 단위면적당 토양유실량이 낮은 논과 산림의 면적이 감소한 반면, 단위면적당 토양유실량이 높은 초지, 나지, 시가지 면적이 건설공사, 도시화 등으로 증가하였기 때문이다.

3. 아산호 유입 유사량

본 연구에서는 아산호 유역에서 발생한 토양유실량이 아산호로 유입되는 양을 추정하기 위하여 유사운송비법을 이용하였다. 그림 1의 유역면적-유사운송비 관계 그래프를 이용하여 아산호 유역의 유사운송비를 추정한 결과 아산호 유역의 유사운송비는 12%로 추정되었다.

담수호로 유입된 유사량 중 담수호에 퇴적되는 유사량의 비율은 포착효율법을 이용하여 추정하였으며, 아산호의 포착효율은 그림 2의 Brunel(1953)이 제시한 유효저수량-유입량 비에 따른 포착효율 그래프를 이용하여 추정하였다. 아산호의 유효저수량 82,892천 ton과 연간 유입량 834,662천 ton을 이용하여 아산호의 포착효율을 95%로 추정하였다.

USLE를 이용한 토양유실량 추정과 유사운송비법에 의한 아산호 유입 유사량 추정, 포착효율법에 의한 아산호 퇴적 유사량과 서해로 방류되는 유사량을 추정한 결과는 다음의 표 8과 같다.

표 6. 토지이용변화에 따른 토지이용별 토양유실량 추정 결과

연도	토양유실량 (ton)							백분율 (%)
	논	밭	산림	초지	나지	시가지	합계	
1986	200,769	1,240,326	14,166	175,950	536,910	13,105	2,181,226	100
2000	173,484	1,018,510	13,499	236,558	1,272,604	49,129	2,763,785	128

표 8. USLE, 유사운송비, 포착효율법에 의한 아산호 퇴적량 추정결과

연도	총 토양유실량 (ton)			유사 운송비	아산호 유입유사량 (ton)	포착 효율	아산호 퇴적유사량 (ton)
	토양유실량 (ton)	하천토양 유실량 (ton)	총토양유실량 (ton)				
1986	2,181,226	167,954	2,349,181	12%	281,902	95%	267,807
2000	2,763,785	212,811	2,976,596		357,192		339,332
평균	2,472,505	190,382	2,662,888	12%	319,547	95%	303,569

아산호 유역에서 발생하는 총 토양유실량은 1986년, 2000년 각각 2,349,181ton/yr, 2,976,596ton/yr으로 추정되었으며, 아산호로 유입되는 유사량은 각각 281,902 ton/yr, 357,192ton/yr로 추정되었으며, 이 중 아산호에 퇴적되는 유사량은 각각 267,807ton/yr, 339,332ton/yr로 추정되었다.

4. 아산호 퇴적 유사량 검정

아산호 유역을 대상으로 추정된 토양유실량과 아산호 유입유사량으로부터 아산호 퇴적 유사량을 추정하였다. 추정된 아산호 퇴적 유사량을 아산호에 대한 수심측량 결과로부터 얻어진 실측 퇴적 유사량 자료와 비교하여 추정된 결과의 정확도를 분석하였다.

수심측량 결과는 체적단위로 정리되어 있으며, 본 연구에서 추정한 중량 단위의 퇴적유사량과 비교하기 위하여 체적단위로 측정된 아산호 수심측량 결과로부터 얻어진 퇴적량을 중량단위로 환산하였다. 이를 위해 아산호 퇴적토사의 단위중량을 추정하였다. 일반적으로 저수지나 호소 내에 퇴적토사의 단위중량은 육상부의 토사 단위중량보다 작은 값을 보인다. 저수지 퇴적토사의 단위중량 조사 결과, 저수지 퇴적토사의 단위중량은 0.5~1.57ton/m³의 범위를 나타내며, 수면하의 퇴적토사의 중량은 1.0ton/m³ 미만이며 일정기간 이상 대기에 접촉하는 곳의 단위중량은 1.0ton/m³ 이상의 값을 보였다. 아산호의 퇴적량은 대부분 관리수위 이하의 침전물로서 본 연구에서는 아산호 단위중량을 0.8ton/m³으로 추정하여 적용하였다.

표 9는 아산호 수심측량결과로부터 얻어진 아산호 퇴적량 산정결과를 보여주고 있다. 1974년부터 2003년까지의 조사기간 동안 총 퇴적량은 11,095천m³으로 연평균 369,860m³/yr이 퇴적되었으며, 이를 중량단위로 환산하면 295,888ton/yr이 퇴적된 것으로 조사되었다. 이 값은 표 8에서 보여준 아산호 퇴적량 추정치 303,569 ton과 유사한 것으로, 본 연구에서 이용한 USLE, 유사운송비법, 포착효율법을 이용한 아산호 퇴적량 추정방법이 적용성이 있는 것으로 평가되었다.

표 9. 아산호 수심측량결과 퇴적량

조사 기간	퇴적량 (m ³)	연 평균 퇴적량	
		체적단위 (m ³ /yr)	중량단위 (ton/yr)
1974~1986	4,022,454	309,420	247,536
1987~1993	2,836,467	405,210	324,168
1994~1996	1,768,685	589,562	471,649
1997~2003	2,468,196	352,599	282,080
1974~2003	11,095,802	369,860	295,888

VI. 산림지 면적변화에 따른 토양유실량 변화 추정

본 연구에서 토양유실량을 추정하기 위해 이용된 USLE를 토대로 산림지 면적변화가 토양유실량의 변화에 미치는 영향을 분석하였다. 표 7에서 살펴본 바와 같이 산림지에서의 단위면적당 토양유실량은 0.2ton/ha로 다른 어떤 토지이용에 비해 낮은 토양유실량이 발생하며, 산림지를 다른 용도의 토지이용으로 전용할 경우 이에 따른 토양유실량의 증가가 예상된다. 아산호 유역의 경우 14년간 산림지의 면적이 31.8ha 감소하여 연간 1.06ha가 감소한 것으로 조사되었다. 본 연구에서는 산림지가 다른 토지이용으로 전용되었을 경우의 토양유실량 변화를 추정하였으며, 다음의 표 10은 그 결과를 보여주고 있다. 산림지 1ha가 감소될 경우 변화되는 토지이용에 따라 토양유실량은 1.98~227.45ton/yr가 증가할 것으로 추정되며, 1%가 감소될 경우 토양유실량은 12.91~1482.05ton/yr가 증가할 것으로 추정된다.

표 10. 산림지 면적감소에 따른 토양유실량 증가

산림지 면적 감소	산림->논	산림->밭	산림->초지	산림->나지	산림->시가지
1ha 감소	3.74	48.92	35.69	227.45	1.98
1% 감소 (6.51ha)	24.36	318.78	232.53	1,482.05	12.91
5% 감소 (32.58ha)	121.82	1,593.88	1,162.67	7,410.23	64.55
10% 감소 (61.56ha)	243.64	3,187.77	2,325.33	14,820.46	129.10

VII. 요약 및 결론

본 연구에서는 유역에서 발생하는 토양유실량을 추정하기 위하여 아산호 유역을 대상으로 USLE, 유사운송비법, 포착효율법을 이용하여 토양유실량과 아산호 퇴적 유사량을 추정하고 이를 아산호 수심측량을 이용해 얻어진 실측 퇴적 유사량과 비교하였다. 또한, 아산호 유역을 대상으로 산림지 면적 변화에 따른 유역의 토양유실량 변화를 추정하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 산림지 면적변화에 따른 토양유실량의 변화를 분석하기 위하여 아산호 유역을 대상유역으로 선정하였다. 대상유역의 토지이용 변화를 분석하기 위하여 1986년, 2000년 Landsat-5 TM 위성영상을 분석한 결과 논, 밭, 산림지 면적은 감소한 반면, 초지, 나지, 시가지, 물의 면적은 증가한 것으로 나타났다.

2) 아산호 유역의 토양유실량을 추정하기 위하여 범용토양유실공식(USLE)을 이용하였으며, 토지이용도와 NGIS 수치지도의 지형자료를 이용하여 대상유역에 대한 USLE 각 인자별 주제도를 구축하였다.

3) 아산호 유역을 대상으로 토양유실량을 추정한 결과, 단위면적당 평균 토양유실량은 1986년 논 3.8ton/ha/yr, 밭 53.0ton/ha/yr, 산림 0.2ton/ha/yr, 초지 47.8ton/ha/yr, 나지 132.4ton/ha/yr, 시가지 1.0ton/ha/yr에서 2000년 논 3.9ton/ha/yr, 밭 49.1ton/ha/yr, 산림 0.2ton/ha/yr, 초지 35.9ton/ha/yr, 나지 227.8ton/ha/yr, 시가지 2.2ton/ha/yr으로 추정되었다.

4) 아산호 유역에서 발생한 토양유실량은 2000년 토양유실량은 2,763,785ton으로 1986년 2,181,226ton에 비해 28%가 증가한 것으로 추정되었다. 이는 단위면적당 토양유실량이 낮은 논과 산림의 면적이 감소한 반면, 단위면적당 토양유실량이 높은 초지, 나지, 시가지 면적이 건설공사, 도시화 등으로 증가하였기 때문이다.

5) 아산호 유역에서 발생한 토양유실량이 아산호로 유입되는 양을 추정하기 위하여 유사운송비법을 이용하였으며, 담수호로 유입된 유사량 중 담수호에 퇴적되는 유사량의 비율은 포착효율법을 이용하여 추정하였다. 아산호 유역의 유사운송비는 12%, 아산호의 포착효율은 95%로 추정하였다.

6) 아산호로 유입되는 유사량은 각각 281,902ton/yr, 357,192ton/yr로 추정되었으며, 이 중 아산호에 퇴적되는 유사량은 각각 267,807ton/yr, 339,332ton/yr로 추정되었다.

7) 추정된 아산호 퇴적 유사량을 아산호에 대한 수심측량 결과로부터 얻어진 실측 퇴적 유사량 자료와 비교하여 추정된 결과의 정확도를 분석하였다. 1974년부터

2003년까지의 수심측량 결과, 조사기간 동안 연평균 퇴적량은 295,888ton/yr으로 아산호 퇴적량 추정치 303,569ton과 유사한 것으로 나타났다.

8) 아산호 유역의 산림지 면적변화에 따른 유역 토양유실량의 변화를 추정한 결과, 아산호 유역의 산림지 1ha가 감소될 경우 전용되는 토지이용에 따라 토양유실량은 1.98~227.45ton/yr가 증가할 것으로 추정되며, 산림지 1%가 감소될 경우 토양유실량은 12.91~1482.05ton/yr가 증가할 것으로 추정된다.

참고문헌

1. 김상민, 박승우, 강문성, 2003, GIS와 USLE를 이용한 아산만 유입 유사량 추정, 한국수자원학회지 논문집 36(6) : 1059-1068
2. 산림청, 2003, 산림기본통계, 2002
3. 정규장, 조효섭, 1998, 수자원 실무분야에서의 국내 GIS활용 사례, 한국수자원학회지 31(1) : 70-78
4. 정필균, 고문환, 임정남, 윤기대, 최대웅, 1983, 토양유실량 예측을 위한 강우인자의 분석, 한국토양비료학회지 16(2) : 112-118
5. Brune, G. M., 1953, Trap Efficiency of Reservoirs, Transactions of the American Geophysical Union 34(3) : 407-418
6. Dunne, T. and L. B. Leopold, 1978, Water in Environmental Planning. W. H. Freeman : 506-543
7. Maidment, D. R., 1996, GIS and Hydrologic Modeling - an Assessment of Progress, In : Proceedings of the Third International Conference in Integrating GIS and Environmental Modeling, CD-ROM. National Center for Geographical Information and Analysis, Santa Barbara, CA.
8. Roehl, J. W., 1962, Sediment Source Areas, Delivery Ratios and Influencing Morphological Factors, Publ. No. 59, Internat. Assoc. Hydrol. Sci. : 202-213
9. Wischmeier, W. H., 1972, Upslope Erosion Analysis, Environmental Impact on Rivers, Edited by Shen, H. W., Water Resources Publications, Littleton, Colorado.
10. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith, 1965, Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Handbook 282.
11. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith, 1978, Predicting Rainfall Erosion Losses-A Guide to Conservation Planning, USDA Agriculture Handbook 537.