

SATEEC ArcView GIS를 이용한 흥천군 자운리 유역 임의 경작지의 산림 환원에 따른 토양유실 및 유사저감 분석

장원석* · 박윤식** · 김종건*** · 김익재**** · 문유리***** · 전만식***** · 임경재*****

Soil Erosion and Sediment Yield Reduction Analysis with Land Use
Conversion from Illegal Agricultural Cultivation to Forest in
Jawoon-ri, Gangwon using the SATEEC ArcView GIS

Wonseok Jang · Youn Shik Park · Jonggun Kim · Ikjae Kim
Yuri Mun · Mansig Jun · Kyoung Jae Lim

I. 서 론 ■

II. 재료 및 방법 ■

III. 결과 및 고찰 ■

IV. 결 론 ■

참고문헌 ■

* 강원대학교 지역건설공학과(Regional Infrastructure Engineering Program, Kangwon National University)
** 강원대학교 지역건설공학과(Regional Infrastructure Engineering Program, Kangwon National University)
*** 강원대학교 지역건설공학과(Regional Infrastructure Engineering Program, Kangwon National University)
**** 한국환경정책·평가연구원(Korea Environment Institute)
***** 한국환경정책·평가연구원(Korea Environment Institute)
***** 강원발전연구원(Kangwon Development Research Institute)
***** 강원대학교 지역건설공학과(Regional Infrastructure Engineering Program, Kangwon National University)

국문요약

댐 유역내 경작지나 산림에서의 가속화된 토양유실은 하류지역의 탁수문제를 야기시킨다. 토양유실은 탁수의 증가와 생태계 파괴의 원인으로 사회적으로나 환경적으로 해결되어야만 하는 문제로 나타나고 있다. 또한 토양유실은 강우로 인하여 유출이 일어날 때 대부분의 경작지에서 발생하는데, 이는 수리 구조물을 불안정하게 만들고, 생태계를 파괴하며 취수를 악화 시키는 등 환경적·경제적 문제를 일으킨다. 이로 인해 수자원의 지속가능한 이용뿐만 아니라 하천생태계에도 많은 피해를 주고 있으나, 그동안 탁수문제는 저수지를 포함한 유역 물관리 운영에 적극적으로 고려되지는 않았다. 소양강댐 유역내 탁수의 주원인이 되는 탁수우선관리지역(우심지역) 세 개의 소유역 중 하나가 홍천에 위치한 자운리 지역이다. 특히 이 지역에서는 산림을 무허가로 밭으로 개간하여 소득작물을 재배하는 무허가 경작이 행해지고 있다. 본 연구의 목적은 Sediment Assessment Tool for Erosion Control (SATEEC) ArcView GIS를 기반으로 고해상도 위성사진과 지적도를 이용하여 현 상황을 보여주는 토지이용을 새롭게 구축하여 무허가 경작지를 산림으로 환원하였을 경우 토양유실저감을 평가하고자 함에 있다. 본 연구 결과에서 같이 무허가 경작지를 산림으로 환원한다면 17.42%의 토양유실 저감이 기대된다. 자운리 지역의 무허가 경작지는 경사도가 30%이상인 지역에서 47.48ha(30.83%), 경사도가 15%이상인 지역에서는 103.64ha(67.29%)를 차지하고 있다. 만약 모든 무허가 경작지를 산림으로 환원한다면 17.41%의 토양유실 및 유사량 감소가 기대되고, 경사도가 30%이상인 지역에서는 10.86%, 경사도가 15%이상인 지역에서는 16.15%의 감소가 기대된다. 따라서 자운리 유역에서 야기되는 토양유실과 이에 따른 탁수발생을 저감시키기 위해서는 경사지에 위치한 무허가 경작지를 우선적으로 환원시켜야만 한다.

■ **주제어** ■ 무허가 경작, 산림 환원, SATEEC, 토양유실

Abstract

The fact that soil loss causing to increase muddy water and devastate an ecosystem has been appearing upon a hot social and environmental issues which should be solved. Soil losses are occurring in most agricultural areas with rainfall-induced runoff. It makes hydraulic structure unstable, causing environmental and economical problems because muddy water destroys ecosystem and causes intake water deterioration. One of three severe muddy water source areas in Soyanggang-dam watershed is Jawoon-ri region, located in Hongcheon county. In this area, many cash-crops are planted at illegally cultivated agricultural fields, which were virgin forest areas. The purpose of this study is to estimate soil loss with current land uses (including illegal cash-crop cultivation) and soil loss reduction with land use conversion from illegal cultivation back to forest. In this study, the Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control (SATEEC) ArcView GIS was utilized to assess soil erosion. If the illegally cultivated agricultural areas are converted back to forest, it would be expected to 17.42% reduction in soil loss. At the Jawoon-ri region, illegally cultivated agricultural areas located at over 30% and 15% slopes take 47.48 ha (30.83%) and 103.64 ha (67.29%) of illegally cultivated agricultural fields respectively. If all illegally cultivated agricultural fields are converted back to forest, it would be expected that 17.41% of soil erosion and sediment reduction, 10.86% reduction with forest conversion from 30% sloping illegally agricultural fields, and 16.15% reduction with forest conversion from 15% sloping illegally agricultural fields. Therefore, illegally cultivated agricultural fields located at these sloping areas need to be first converted back to forest to maximize reductions in soil loss reduction and muddy water outflow from the Jawoon-ri regions.

■ **Keywords** ■ Jawoon-ri, Land Use, SATEEC ArcView GIS, Soil Loss, USLE

I 서론

댐 유역내 농경지나 산림에서의 가속화된 토양유실은 하류지역의 탁수문제를 야기시킨다. 이로 인해 수자원의 지속가능한 이용뿐만 아니라 하천생태계에도 많은 피해를 주고 있으나, 그동안 탁수문제는 저수지를 포함한 유역 물관리 운영에 적극적으로 고려되지 않았다. 탁수는 유역으로부터 다양한 오염원을 단시간에 저수지로 유입시킴으로써 수질악화의 원인이 될 뿐만 아니라 하천 생태계의 서식환경 문제, 저수지 퇴사, 그리고 자연하천 상태에 비해 장기간 탁수를 방류함으로써 하류에 피해를 야기한다. 그동안 토양유실로 인한 문제는 그 범위와 정도, 유실률, 그리고 토양유실과 관련된 복잡한 현상으로 인하여 정확한 사회적, 경제적, 환경적 영향을 평가받아 오지 못했다. 가속화된 토양유실은 우리나라 곳곳에서 많은 문제를 발생시키고 있다. 토양유실로 인한 산림지대의 탁수발생과 생태계 파괴 문제가 사회 문제로 화두가 되고 있고, 사면에서의 토양유실은 화학적 또는 물리적인 환경변화를 야기하는 원인으로 규명되면서 최근 관심이 높다. 자연재해 측면에서 침식에 의한 직접 피해뿐만 아니라, 침식된 퇴적물질이 하상의 높이를 상승시키고, 2차적으로 홍수와 같은 자연재해를 유발하는 요인이 되고 있어 사면의 토양유실은 중요한 문제로 부각되고 있다¹⁾. 경사지에서의 토양유실은 경사도에 따라 그 양이 뚜렷하게 차이가 나는데, 경사도 10%에 비해 20%에서는 1.5배, 30%에서는 2.9배 증가되고, 15%이상의 경사지에서는 경사도가 높을수록 토양유기물과 유효인산 함량이 감소되는 특성이 있다²⁾. 농민들은 생계를 위해서 산림을 임의로 경작지로 개간하였지만 환경적인 측면에서는 토양유실이 탁수발생의 한 요인으로 작용하기 때문에 이에 대한 규제와 대책이 절실한 실정이다. 임의 개간으로 토양유실이 가중되고 있는 반면에 임의경작지에서 발생하는 토양유실량을 줄이기 위하여 임의경작지를 조림사업을 통해 산림으로 복원할 경우 탁수저감효과에 대한 분석은 전무하다. 따라서 본 연구의 목적은 USLE 입력자료만으로 유역의 토양유실량(Soil Loss)과 유사량(Sediment Yield)을 평가할 수 있는 SATEEC ArcView GIS 를 이용하여 자운리 유역에서 발생하는 토양유실량을 산정하고 조림사업을 통해 임의 경작지를 산림으로 환원할 경우 토양유실과 유사저감효과를 분석하는 데 있다.

1) 이진영 외, 2006. "북하천 유역의 토양유실량 및 경작지의 상관 분석" 「한국지리정보학회지」 9(1): 56-65.

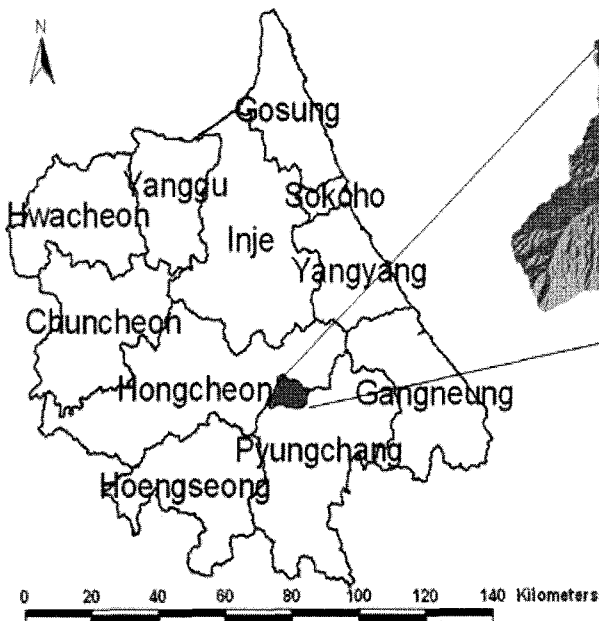
2) 강원도, 2005. 「고령지 발 휴탕을 저감 중장기 프로젝트」.

II 재료 및 방법

1. 연구지역 선정

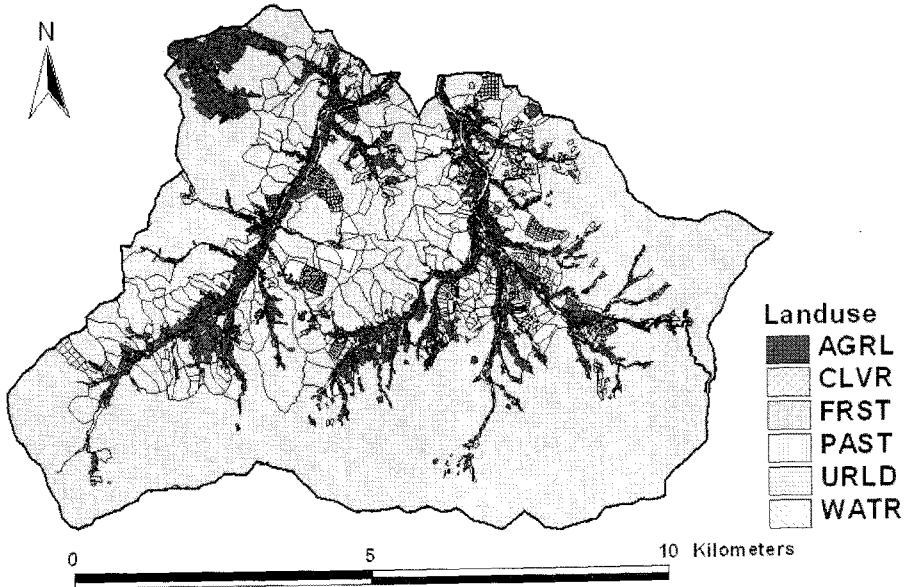
자운리 유역의 총 면적은 6,973 ha(69.73 km²)이고 유역의 평균고도는 824m이며 평균 경사도는 38.5%이다<그림 1>. <그림 2>는 자운리 유역의 토지이용현황이며 산림(FRST)이 82.93%를 차지하고 있고, 농경지(AGRL)가 12.32%, 수역(WATR)이 2.02%, 초지(PAST)가 1.62%, 저밀도 주거지(URLD)가 1.09%를 차지하고 있다. 자운리 유역 내에서는 생산성 극 대화를 위해 지목상 임야인 지역을 임의 개간하여 고령지 농업을 수행하는 곳이 많아 고농도 탁수 발생의 원인을 제공하고 있다³⁾.

그림1 Location of the Jawoon-ri Watershed at Hongcheon, Kangwon-Do



3) 강원도, 2005. 「고령지 밭 흙탕물 저감 중장기 프로젝트」.

그림 2 Landuse at the Jawoon-ri watershed



2. USLE / SATEEC ArcView GIS 이용한 자운리 유역에서의 토양유실량 및 유사량 예측

본 연구에서는 자운리 유역의 현재 토양유실량 및 유사량을 예측하고, 임의 경작지의 산림 환원시 유사 저감 효과분석을 위해 USLE (Universal Soil Loss Equation) / SATEEC ArcView GIS 모형⁴⁾을 이용하였다. USLE 모형은 농경지에서 면상침식(Sheet erosion)과 세류침식(Rill erosion)을 모의할 수 있는 시험포단위 모형(Field-scale)이다. 따라서 USLE 모형은 농경지에서 유실된 토양이 하루 하천으로 얼마나 흘러 들어가 하루 수계의 탁수발생과 이에 따른 수질악화에 얼마나 기여하는지 평가하는데 이용될 수 없다. 농경지에서 발생한 토양 유실에 따른 하루 수계의 탁수 및 비점오염 문제를 해결하기 위해서는 유실된 토양이 얼마나 하루하천으로 유입되는지 평가해야 한다. 이러한 유사 발생 및 이동을 모의하기 위하여 SWAT⁵⁾, HSPF, WEPP, EUROSEM 등과 같이 많은 수문/유사 모형이 개발

4) Lim et al. 2005. "GIS-based sediment tool". *Catena* 64: 61-80.

5) Arnold et al. 1998. "Large are hydrologic modeling and assessment part I: model development" *Journal of American Water Resources Association* 34(1): 73-89.

되어 왔으나, 이러한 모형들은 상당히 많은 입력 자료를 요구한다. 방대한 양의 입력 자료를 구축하는 데는 많은 시간과 인력이 필요하다. 그러나 경우에 따라서는 측정할 수 없는 입력 자료들도 있기 때문에, 많은 모형들은 실무에 직접적으로 이용되지 못하는 경우가 많이 있다. 따라서 토양 유실 관련 많은 연구자들이 유역의 토양 유실 문제를 파악하고 해결하는 데 USLE 모형을 이용하는 경우가 많이 있다. USLE⁶⁾의 기본식은 식(1)과 같고, 단위 면적당 연간 토양 유실량을 R, K, LS, C, P값의 총 곱으로 산정한다.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \dots\dots\dots (1)$$

A : 연간 토양 유실량($MT/ha^{-1}yr^{-1}$)

R : 강우인자

K : 토양침식인자

LS : 지형인자

C : 토지피복인자

P : 작물경작인자

USLE 모형은 앞에서 언급 되었듯이 농경지에서의 토양유실량을 예측하는데 사용될 수 있으나, 유역단위 토양유실량을 평가하는데 사용될 수 없다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control (SATEEC) ArcView GIS⁷⁾가 개발되어 이용되어 오고 있다. <그림 3>에서 보이는 바와 같이 USLE 모형의 입력자료만을 이용하여 누구나 손쉽게 유역 내 토양유실 및 유사발생을 모의할 수 있는 시스템이다. 이 SATEEC ArcView GIS 는 유역면적에 따른 유달률을 산정하여 유역에서 유실된 토양이 얼마만큼 하류로 유달되는지를 모의할 수 있다. 또한 유역 경사도에 의한 유달률도 산정할 수 있어 지형적인 특성을 좀 더 다양하게 분석 할 수 있게 개발되었다<그림 4>. SATEEC ArcView GIS 는 유역 내 임의의 지점에서 토양유실 방지대책을 수행하였을 경우 하류하천에 얼마나 유사 발생을 저감시킬 수 있는 지를 모의하는 시스템으로 유역 단위(Watershed scale)로 적용시킬 수 있는 장점이 있으며 현재 전 세계 11개국에서 연구 및 실무에 사용되고 있다.

6) Wischmeier et al. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning*. Agriculture Handbook 537.

7) Lim et al. 2005. "GIS-based sediment assessment tool" *Catena* 64: 61-80.

그림3 Overview of the SATEEC ArcView GIS (Lim et al., 2005)

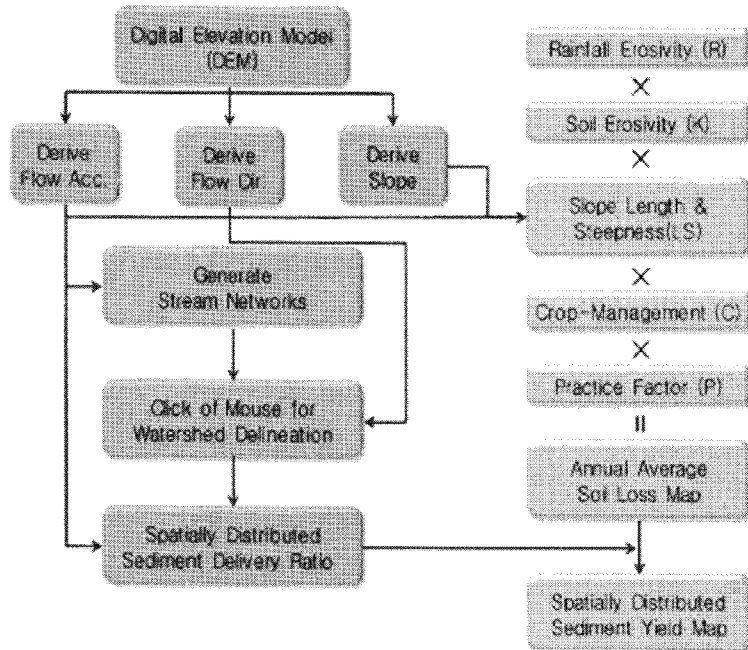
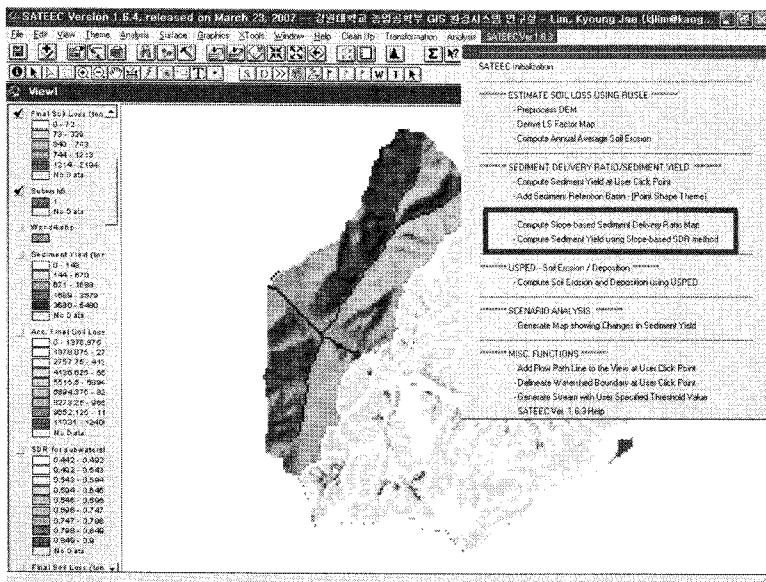


그림4 Interface of SATEEC ArcView GIS (Lim et al., 2005)



SATEEC ArcView GIS 는 USLE 입력자료중 경사장 (L)과 경사도 (S)입력값을 추출하기 위하여 이용된 Digital Elevation Model (DEM) 지형자료를 이용하여 유역경계를 자동으로 추출한다. SATEEC ArcView GIS 는 각 셀 (Cell) 별 산정된 유역면적을 이용하여 식 (2), (3), 그리고 (4)의 방법으로 유달률을 산정할 수 있으며 이를 이용하여 유사량 평가 및 분석이 가능하다.

$$SDR = 0.4724 A^{-0.125} \quad (\text{Vanoni, 1975}) \dots\dots\dots (2)$$

$$SDR = 0.3750 A^{-0.2382} \quad (\text{Boyce, 1975}) \dots\dots\dots (3)$$

$$SDR = 0.5656 A^{-0.11} \quad (\text{USDA, 1972}) \dots\dots\dots (4)$$

where, Sediment Delivery Ratio (SDR) = Sediment Yield / Gross Erosion
A = watershed area (km²)

SATEEC ArcView GIS 는 USLE에 의한 토양 유실량에 유역의 경사도에 따른 유달률과 면적에 의한 유달률을 적용하여 최종 유출구에서의 유사량을 모의할 수 있다⁸⁾. 본 연구에서는 면적에 의한 유달률을 적용하였고, 3개의 유달률식 중에서 중간값에 해당하는 식 (2)의 방법으로 유사량을 모의하였다.

1) USLE / SATEEC ArcView GIS 입력자료 구축

① 강우인자

본 연구에서는 정영상 등(1999)에 의해 산정된 행정구역별 강우인자(R) DB를 이용하여 자운리 지역의 강우인자 DB를 구축하였다. <표 1>은 강원도 지역의 행정구역별 R값을 나타내며, 본 연구에서는 홍천군에 해당하는 R값 417을 사용하였다<그림 5(a)>.

8) 박윤식 외. 2007. "SATEEC 시스템을 이용한 면적/경사도에 의한 유달률 산정 방법에 따른 유사량 분석" 「한국물환경학회논문집」 23(5): 650-658.

#1 USLE R factors for administrative districts in Gangwon province (Jung et al., 1999)

Administrative district	R factor	Administrative district	R factor
Kangnung	297	Kosung	250
Samchok	215	Sokcho	255
Yangyang	255	Yongwol	350
Wonju	578	Inje	294
Cheolwon	400	Chuncheon	464
Hwacheon	450	Hongcheon	417
Yanggu	350	Pyongchang	269
Chongson	250	Hoengsung	400

② 토양침식인자

토양침식인자(K)는 어떤 토양의 고유한 침식성을 정량적으로 표시한 것으로 유실량은 토양 침식에 영향을 끼치는 인자가 동일한 경우 토양 특성의 차이로 인하여 달라진다. Wischmeier and Smith(1978)은 토양에서의 미사(Silt)와 극세사(Very fine sand)의 함량과 모래, 유기물, 토양구조, 투수성 등의 토양특성에 따라 K값을 결정하는데 다음과 같은 식(5)을 제안하였다. 본 연구지역인 자운리와 같이 산림이 많은 지역에서는 Zhang Jin-Chi 등(2008)이 연구한 FUSLE 모형에서의 산림지역에서의 Litter를 고려한 K값으로 산정해야 좀 더 정확한 모의가 가능하다. FUSLE 모형의 K값을 적용하려면 유역내 여러 시험포에서의 장기 모니터링 자료(Litter를 걷어낸 Plot과 Litter를 걷어내지 않고 그대로 둔 Plot의 비교 데이터)가 필요하지만, 자료의 부족으로 Litter를 고려한 K값을 적용하지 못하고 기존 방식대로 K값을 적용하였다.

$$K = \left(\frac{2.1}{100}\right) M^{1.14} (10^{-4}) (12 - a) + 3.25 (b - 2) + 2.5 (c - 3) \dots (5)$$

Where, $M = (slit(\%) + vfs(\%)) \times (100 - clay(\%))$

$a = OM(\%), b = Structure\ Code(1 \sim 4),$

$c = Permeability\ Code(1 \sim 6)$

본 연구에서는 농업토양 정보시스템⁹⁾에서 제공하는 정밀토양도(1:25000)에 의해 계산된 K 값을 산정하였고, 자운리 유역의 K값은 <그림 5(b)>와 같다.

③ 작물경작인자

작물경작인자(P)는 보전영농시설과 경작방법 등에 의한 토양 침식량의 감소를 설명하는 값이고, 평균 연간 토양유실량의 정도를 보존경작방법에 따라서 달리 보여준다. 본 연구에서는 Wischmeier and Smith(1978)에 의해서 제시된 P값을 경작 방법과 경사도에 따라 이용하였다<그림 5(c)>. <표 2>는 경작 방법-경사도별 작물경작인자 값을 나타내고 있다.

표 2 P factor for percent slope and practice types (Wischmeier and Smith, 1978)

Practice	Slope (%)	P factor	Practice	Slope (%)	P factor
Irrigated Terracing	$0 \leq S \leq 2$	0.1	Contour Strip Cropping	$0 \leq S \leq 2$	0.25
	$2 \leq S \leq 8$	0.1		$2 \leq S \leq 8$	0.25
	$8 \leq S \leq 13$	0.12		$8 \leq S \leq 13$	0.3
	$13 \leq S \leq 19$	0.16		$13 \leq S \leq 19$	0.4
	$19 \leq S \leq 24$	0.18		$19 \leq S \leq 24$	0.45
	$24 \leq S$	1		$24 \leq S$	1
Contour Furrows	$0 \leq S \leq 2$	0.25	Contouring	$0 \leq S \leq 2$	0.5
	$2 \leq S \leq 8$	0.25		$2 \leq S \leq 8$	0.5
	$8 \leq S \leq 13$	0.3		$8 \leq S \leq 13$	0.6
	$13 \leq S \leq 19$	0.4		$13 \leq S \leq 19$	0.8
	$19 \leq S \leq 24$	0.45		$19 \leq S \leq 24$	0.9
	$24 \leq S$	1		$24 \leq S$	1
None	-	1			

④ 지형자료(DEM)와 지형인자(LS)

USLE에서 경사장 인자(L)과 경사도 인자(S)를 합쳐서 지형인자(LS)라고 표기한다. 경사장 인자(L)은 단일 경사라고 할 수 있는 지형의 길이와 표준 시험포의 길이인 22.13 m 의 비로 나타내어진다. 경사도 인자(S)는 단일 경사라고 할 수 있는 지형의 경사도와 표준 시험포의 경사도인 9%의 비로 나타내어진다. 이 경사장과 경사도 인자를 SATEEC ArcView GIS 는 DEM을 이용하여 Moore and Burch(1986a, 1986b)에 의해 제안된 식(6)을 이용하

9) ASIS, <http://asis.rda.go.kr/> (2008. 11. 17)

여 계산한다. DEM을 이용하여 LS값을 산정할 때<그림. 5(d)>, RUSLE User Guide¹⁰⁾에 따르면 경사장의 최대 길이는 10.7 m (35 ft)에서 91.4 m (300 ft)이며, 최대 경사장은 122 m (400 ft)라고 제시하였다. 본 연구에서는 유역에서의 최대 경사장을 122 m (400 ft)라고 가정하여 LS값을 산정하였다¹¹⁾.

$$LS = \left(\frac{A}{22.13} \right)^{0.6} \left(\frac{\sin \theta}{0.0896} \right)^{1.3} \dots\dots\dots (6)$$

⑤ 식생피복인자

식생피복인자(C)는 식생의 종류, 식생이 성장하는 상태, 경작형태와 관리요소들에 의하여 좌우된다. C 값의 비율은 식생이 성장하기 전의 나지에서와 같은 지역에서는 약 1.0으로 높은 값을 가지는 반면, 삼림이 밀집된 지역에서는 상대적으로 낮은 값을 갖는다<그림 5(e)>. 본 연구에서는 정필균 등(1984)에 의해 제시된 토지 피복별 식생피복인자 기준을 적용하였다<표 3>. 토지이용이 산림일때는 침엽수와 활엽수가 섞인 혼효림으로 0.007, 시가화 일때는 0.002 등 각각의 토지이용에 따라서 지적도상의 지목들을 분류하고 각 지목별로 값을 입력하여 C값을 적용하여 산정하였다.

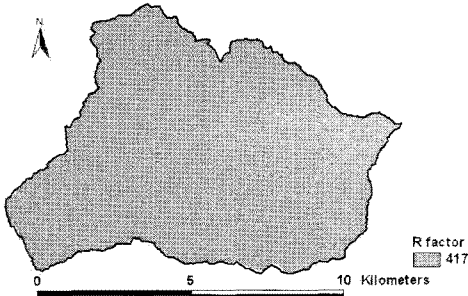
표 3 C factor for various land uses (Jung et al., 1984)

Forms of cover-management factor(C factor)		C factor
Forest	mixed needle & broad-leaf tree	0.007
Farmland	paddy field	0.350
Pasture	pasture, public garden	0.050
Urban district	low density area	0.002
Bare land	bare land	1.000
water system	lake, reservoir	0.000

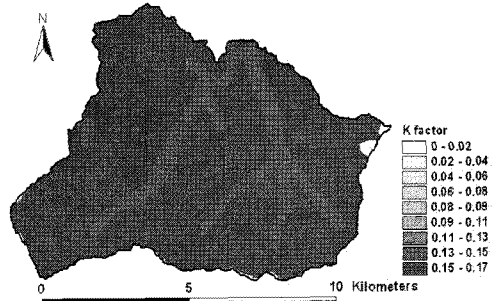
10) Foster et al. 1996. *User's Guide*. Soil & Water Cons. Soc.

11) Lim et al. 2005. "GIS-based sediment assessment tool" *Catena* 64: 61-80.

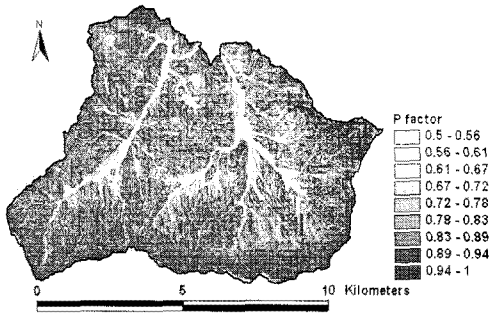
그림5 SATEEC's Input Data of Jawoon Watershed



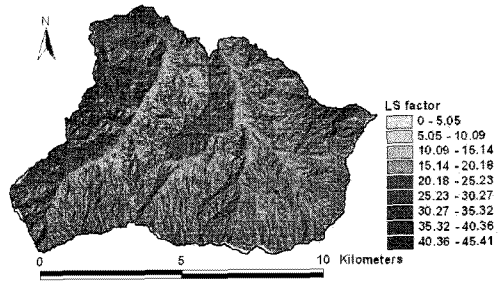
(a) R factor at the Jawoon-ri watershed



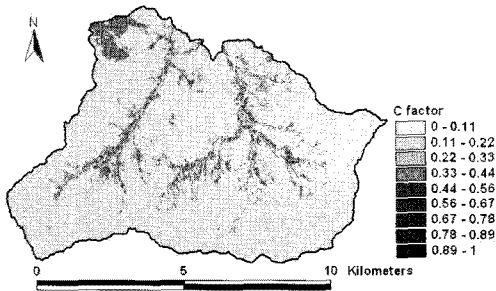
(b) K factor at the Jawoon-ri watershed



(c) P factor at the Jawoon-ri watershed



(d) LS factor at the Jawoon-ri watershed



(e) C factor at the Jawoon-ri watershed

3. 자운리 유역에서의 임의 경작지 분석

본 연구에서는 고해상도 위성영상¹²⁾과 편집지적도<그림 6>를 이용하여 자운리 지역의 임의경작지 현황을 파악하였다. 이를 통해 현재의 농경지의 현황을 파악할 수 있었으며 지적도 지목상 임야인 지역이 현재 농경지로 이용되고 있는 지역을 파악하여 임의 경작지 DB를 구축하였다<그림 7>.

그림6 Cadastral Survey Map

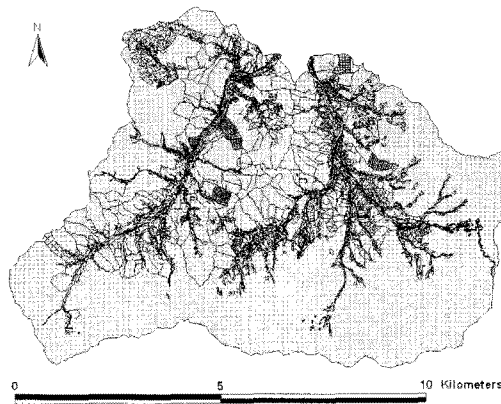
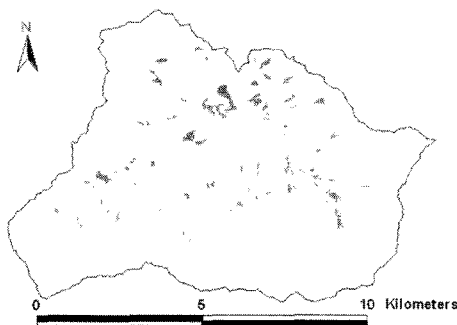
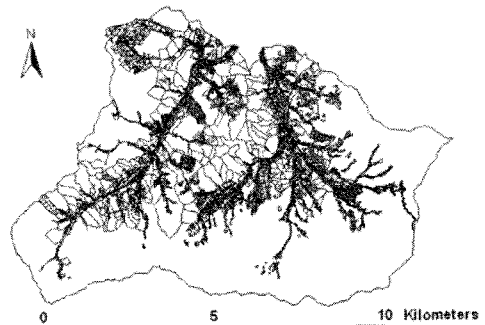


그림7 Illegally Cultivated Agricultural Area Mapping



(a) Illegally Cultivated Agricultural Area Mapping

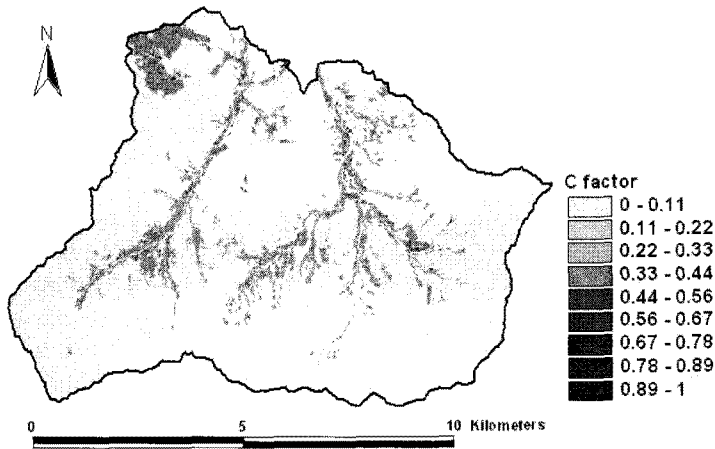


(b) Current Agricultural Areas including Illegally Cultivated Agricultural Areas

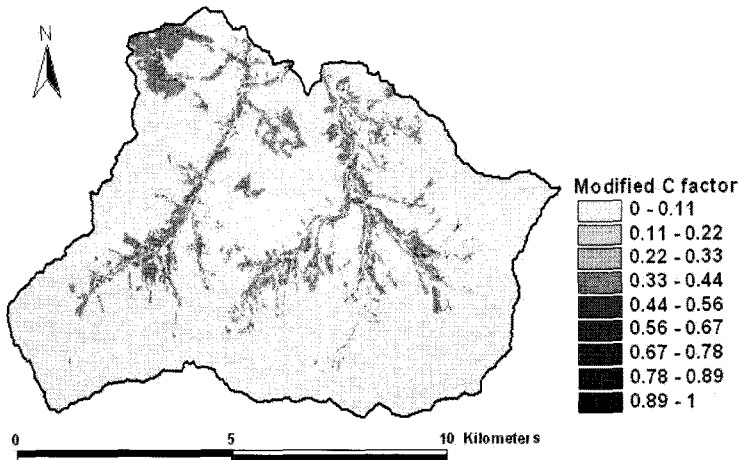
12) Congnamul Internet Map Portal, <http://www.congnamul.com/> (2008. 10. 7)

본 연구에서는 경사도별 임의 경작지의 산림 환원 효과를 분석하기 위해 임의 경작지중 경사도 30%이상인 지역, 15%이상인 지역에 대한 DB를 구축하였다. 현재의 자운리 유역에서 발생하는 토양유실량과 임의경작지를 조림사업을 통해 산림으로 환원하였을 경우의 토양유실량 및 유사저감 효과 분석을 위해 현재 토지이용도와 임의경작지를 고려한 USLE C값을 구축하였다<그림 8>.

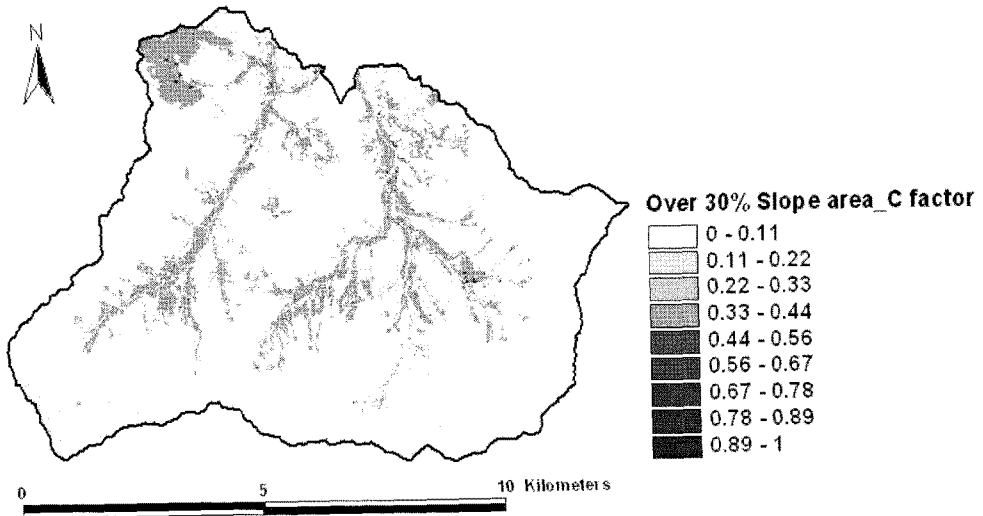
그림8 C factors at the Jawoon-ri watershed



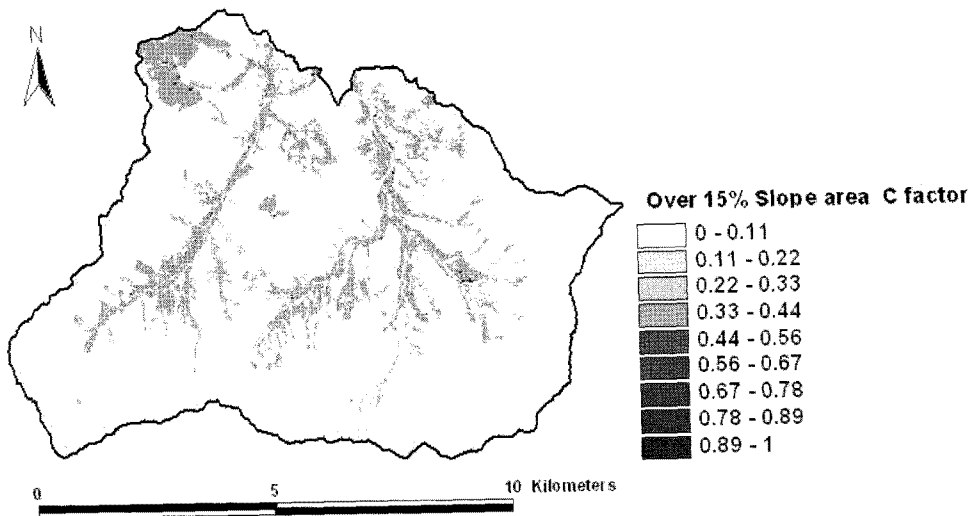
(a) C factor including illegally Cultivated Agricultural Areas Located at over 30% Slope



(b) C factor including Illegally Cultivated Agricultural Areas



(c) P factor at the Jawoon-ri watershed



(d) C factor including Illegally Cultivated Agricultural Areas Located at over 15% Slope

Ⅲ 결과 및 고찰

자운리 유역 총면적 6,973 ha 중 농경지는 859 ha (전체 자운리 유역의 12.3%)를 차지하며, 이중 임의 경작지 면적은 154 ha (전체 자운리 유역의 2.2%)로 전체 농경지의 17.9%를 차지하고 있다<그림 9>. 자운리 유역내 임의 경작지 중 경사도 30%이상인 지역은 47.48 ha (전체 자운리 유역의 0.7%)로 전체 임의 경작지의 30.83%를 차지하고, 경사도 15%이상인 지역은 103.64 ha (전체 자운리 유역의 1.5%)로 전체 임의 경작지의 67.29%를 차지하고 있다<그림 10>.

그림9 Landuse comparison using Cadastral Survey Map and Digitized Map including Illegally Cultivated Agricultural Areas

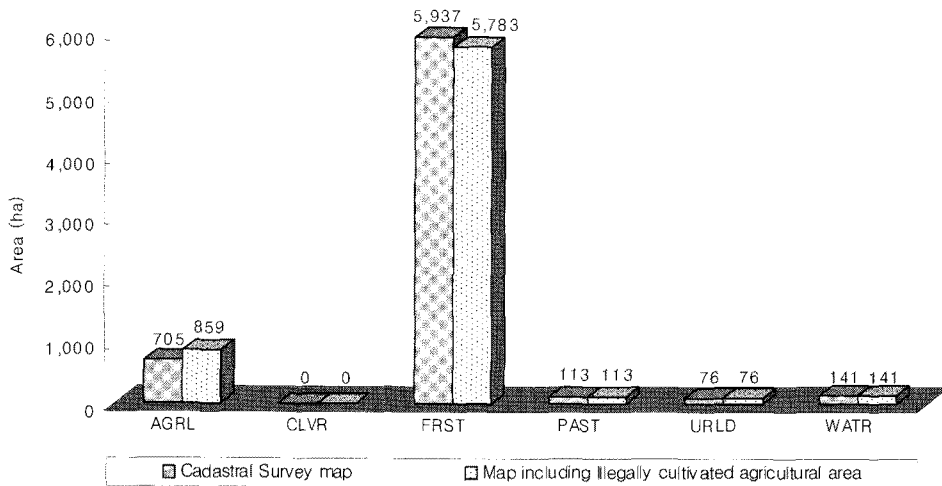
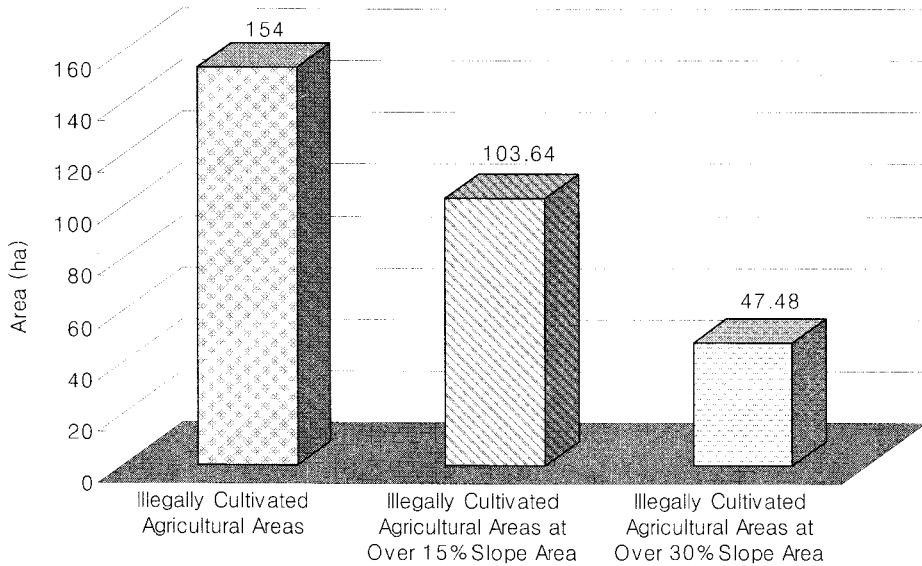


그림10 Comparison of Landuse area with Digitized Map including Illegally Cultivated Agricultural areas, over 15% Slope Area and over 30% Slope Area



SATEEC ArcView GIS 을 이용하여 임의 경작지를 포함한 자운리 전체 지역의 토양유실량을 모의한 결과 토양유실량이 374,501 ton/year (53.71 ton/ha/year)로 다른 일반 유역에 비해서 상당히 많은 토양유실량이 발생하는 것으로 분석되었다. 본 연구에서는 자운리 유역에서의 토양유실량을 줄이기 위한 방안으로 임의경작지를 산림으로 환원 하였을 때 토양유실 및 유사발생 저감효과를 분석하였고 그 중에서 경사도가 30% 이상인 지역과 15% 이상인 지역을 추가로 분석해보았다. 자운리 유역에서의 토양유실량과 유사발생량은 각각 374,501 ton/year (53.71 ton/ha/year), 113,537 ton/year이며, 경사도 30%이상인 임의 농경지 (47.48 ha)를 산림으로 환원하였을 때 337,795 ton/year (48.45 ton/ha/year), 102,409 ton/year로 10.86%의 토양유실 및 유사저감효과가 있는 것으로 분석되었고, 경사도 15%이상인 임의 농경지 (103.64 ha)를 산림으로 환원하였을 때 토양유실량 및 유사발생량이 322,420 ton/year (46.23 ton/ha/year), 97,748 ton/year로 16.15%의 토양유실저감이 있으며, 전체 임의경작지 (154 ha)를 산림으로 환원하였을 때 토양유실량이 318,957 ton/year (45.74 ton/ha/year), 96,698 ton/year로 17.41%의 토양유실저감을 기대할 수 있다<그림 11, 그림 12>.

그림11 Soil Loss Reduction with Map including Illegally Cultivated Agricultural Areas, over 15% Slope Area and over 30% Slope Area

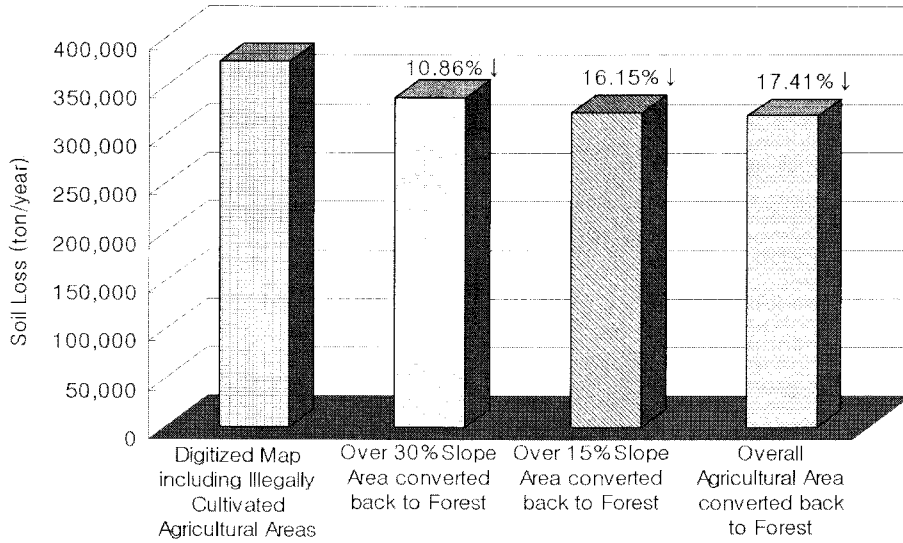
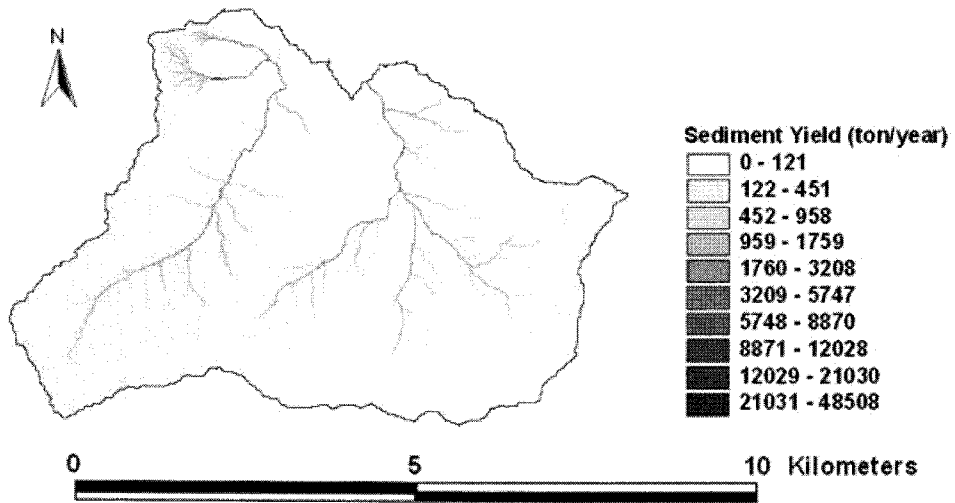
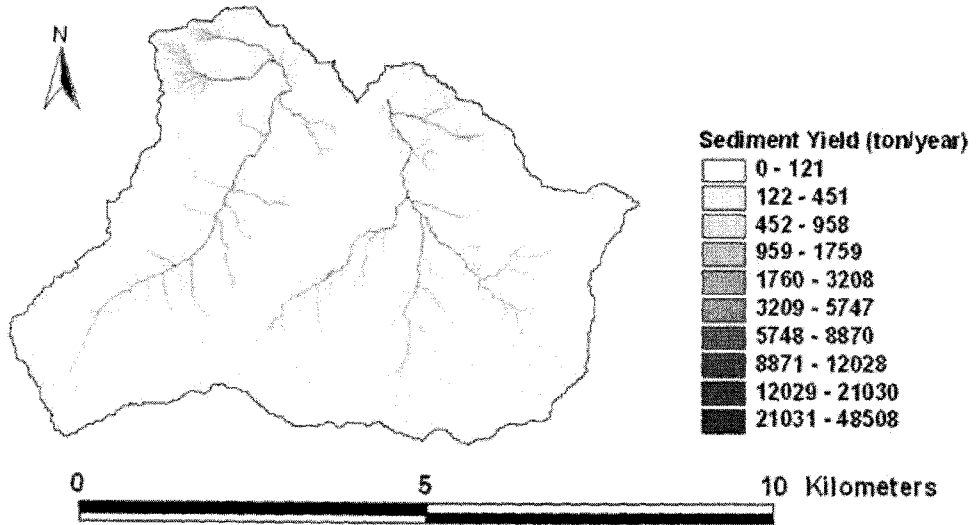


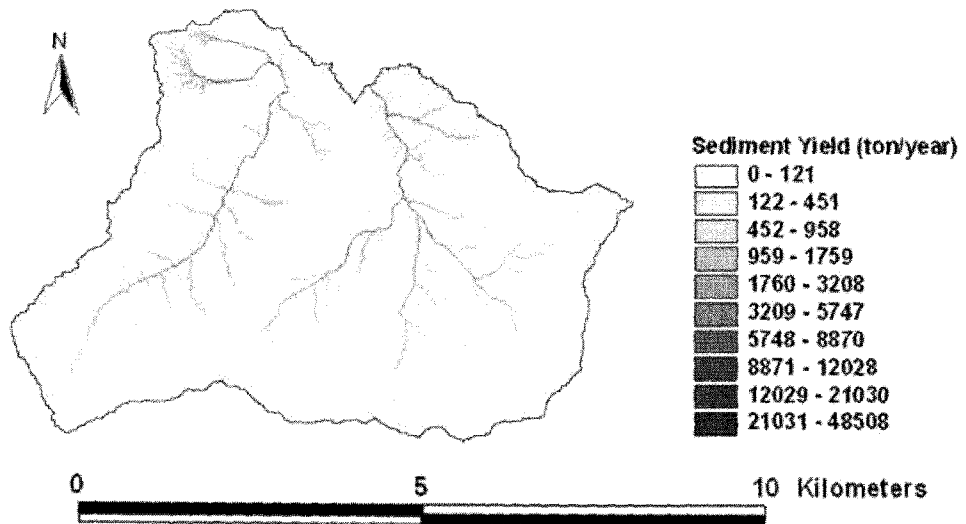
그림12 Sediment Yield at the Jawoon-ri watershed



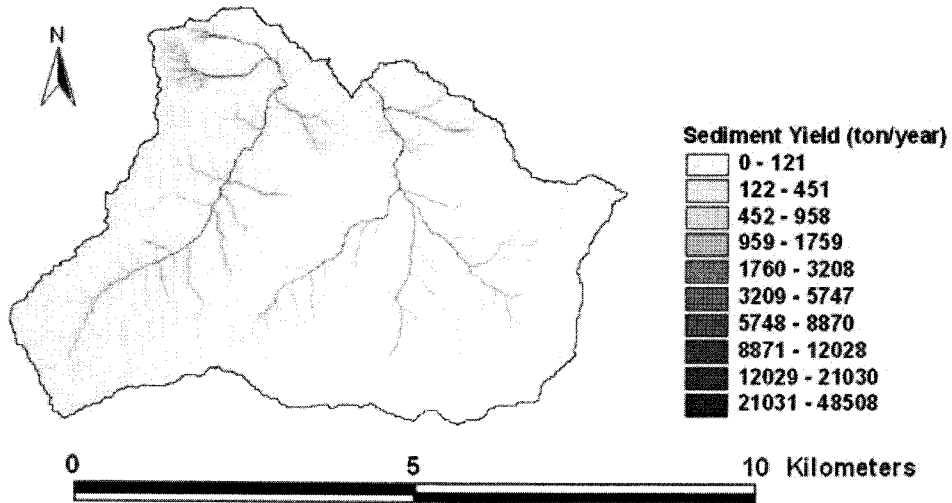
(a) Sediment Yield with Cadastral Survey Map



(b) Sediment Yield with Land Use including Illegally Cultivated Agricultural Areas



(c) Sediment Yield with Land Use including Illegally Cultivated Agricultural Areas Located at over 30% Slope



(d) Sediment Yield with Land Use including Illegally Cultivated Agricultural Areas Located at over 15% Slope

IV 결론

소양강댐 유역의 탁수 발생의 최대 원인은 하천주변에 주로 분포하고 있는 고랭지 밭이다. 본 연구에서는 소양강댐 유역 중 탁수문제가 심한 자운리 유역을 대상으로 하여 산림이 농경지로의 임의 전용 지역에 대한 분석을 수행하였다. 현재 자운리 유역의 토지이용(임의 경작지 포함)에서의 토양유실량은 374,501 ton/year (53.71 ton/ha/year)이고, 임의경작지 면적 154 ha (전체 자운리 유역의 2.2%)를 조림사업을 통해 산림화하였을 경우의 토양유실량은 318,956 ton/year (45.71 ton/ha/year)로 약 17.41%의 토양유실 저감효과를 기대할 수 있다. 본 연구지역인 자운리 유역의 15%이상 경사도의 농경지는 전체 자운리 지역의 1.49% (임의 경작지의 67.29%)를 차지하고 있고, 30%이상 경사도의 농경지는 전체 자운리 지역의 0.7%(임의 경작지의 30.83%)를 차지하고 있다. 탁수오염 우심지역인 자운리 유역에서의 임의경작지 중 경사도 30%이상인 지역과 15%이상인 지역을 산림으로 환원을 할 경우는 각각 약 10.86%와 15.79%의 토양유실 저감효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 임의 경작지는 조림사업을 통해 지적도 지목상의 산림으로 바꾸는 것이 환경적인 측면에서 매우 고무적일 것이다. 앞에서 언급하였듯이 경사도 10%에 비해 20%에서는 1.5배, 30%에

서는 2.9배가 증가된다. 또한 본 연구결과에서도 알 수 있듯이 경사도가 30%이상인 임의경작지와 15%이상인 임의경작지를 우선적으로 산림화한다면 토양유실 저감 효과가 뛰어날 것이다. 그리고 본 연구의 결과는 경제적이면서 효과적인 토양유실량의 저감 대책수립에 관한 연구 및 정책 개발에 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 현재 우리나라의 환경규제 또는 오염물질 배출저감 노력은 사후처리적 관리에 머물러왔지만, 이러한 접근방법으로는 환경 개선효과에 있어서 제한적일 수밖에 없어 예방적인 환경관리의 필요성이 강조되고 있다. 본 연구의 목적과 같이 자운리 유역에서 발생하는 토양유실량을 산정하고 조림사업을 통해 임의 경작지를 산림으로 환원 할 경우 토양유실과 유사저감효과를 분석하여 향후 발생하는 토양유실량을 예측하여 미리 예방할 수 있는 환경 정책적인 근거를 제시할 수 있을 것이라 사료된다. 본 연구를 수행하는데 있어서 한 가지 아쉬운 점은 실측값의 부족으로 인해 연구유역에 대해 모형의 검·보정이 이루어지지 않았다는 점이다. SATEEC ArcView GIS 의 예측치와 실측치의 비교를 통해 모형의 검증을 수행하기 위해서는 장기간의 모니터링이 수행되어야 하나, 실측자료의 부족으로 SATEEC ArcView GIS 의 입력자료인 USLE 입력변수들은 기존 연구자료를 활용하여 토양유실과 유사량 평가에 있어서 어느 정도 정확성을 기대할 수 있을 것이라 사료되고, 향후 SATEEC ArcView GIS 를 실측자료가 풍부한 지역을 대상으로 보정 및 검정 작업을 통해 좀 더 정확한 분석을 할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 강원도. 2005. 「고랭지 밭 흙탕물 저감 중장기 프로젝트」.
- 박윤식, 김종건, 김남원, 김기성, 최중대, 임경재. 2007. "SATEEC 시스템을 이용한 면적/경사도에 의한 유달률 산정 방법에 따른 유사량 분석" 「한국물환경학회논문집」 23(5): 650-658.
- 이진영, 양동운, 김주용, 홍세선, 김진관. 2006. "북하천 유역의 토양유실량 및 경작지의 상관 분석" 「한국지리정보학회지」 9(1): 56-65.
- 정영상, 권영기, 임형식, 하상건, 양재익. 1999. "강원도 경사지 토양 유실예측용 신 USLE의 적용을 위한 강수 인자와 토양 침식성인자의 검토" 「한국토양비료학회지」 32(1): 31-38.
- 정필균, 고문환, 엄기태. 1984. "토양유실량 예측을 위한 작부인자검토" 「한국토양학회지」 18(1): 7-13.
- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S. and Williams, J. R. 1998. "Large are hydrologic modeling and assessment part I: model development" *Journal of American Water Resources Association* 34(1): 73-89.
- ASIS, Agricultural Soil Information System, <http://asis.rda.go.kr/> (2008. 11. 17).
- Boyce, R. C. 1975. "Sediment Routing with Sediment Delivery Ratios". *In: Present and Prospective Technology for ARS*, Washington, D. C.: USDA.
- Congnamul Internet Map Portal, <http://www.congnamul.com/> (2008. 10. 7).
- Foster, G. R., Renard, K. G., Yoder, D. C., McCool, D. K. and Weesies, G. A. 1996. *User's Guide*. Soil & Water Cons. Soc.
- Lim, K. J., Sagong, M., Engel, B. A., Zhenxu, T., Choi, J. D., and Kim, K. S. 2005. "GIS-based sediment assessment tool" *Catena* 64: 61-80.
- Moore, I., and Burch, G. 1986a. "Physical Basis of the Length-Slope Factor in the Universal Soil Loss Equation" *Soil Science Society of America Journal* 50: 1294-1298.
- Moore, I., and Burch, G. 1986b. "Modeling Erosion and Deposition: Topographic Effects" *TRANS of ASAE* 29(6): 1624-1640.
- USDA, 1972. *Sediment Source, Yields and Delivery Ratios*. National Engineering Handbook Section 3 Sediment.

- Vanoni, V. A. 1975. "Sedimentation Engineering". *American Society of Civil Engineers, Manual and Report No. 54.*
- Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning.* USDA, Agriculture Handbook No.537.
- Zhang J., Zhuang J., Su J., Nakamura H., Ishikawa H., Cheng P., Fu J. 2008. "Development of GIS-based FUSLE model in a Chinese fir forest sub-catchment with a focus on the litter in the Dabie Mountains, China" *Forest Ecology Management* 225(7): 2782–2789.