

지형공간정보체계와 범용토양유실방정식을 이용한 유역의 토양유실 예측

Prediction of Soil Loss in Watershed using Universal Soil Loss Equation and Geo-Spatial Information System

양인태* 신계종** 김동문*** 유영걸***

Yang, In-Tae Shin, Ke-Jong Kim, Dong-Moon Yu, Young-Geol

Abstract

The soil loss by rainfalls or runoffs has been one of the main environment problems in 20th century. The soil loss cause the various problems those are decreasing of the agricultural productivity, desolating of pasture land and disturbing of water flowing. Therefore, it is very important to measure properly various factors those are affecting to soil loss and to recognize a seriousness of soil loss problem.

In this study, we use the USLE(Universal Soil Loss Equation) as a basic approaching way for soil loss analysis in a watershed, and the GIS(Geo-Spatial Information System) technique is applied to evaluate for factors those are related to the USLE. The results of this study are consisted of three parts those are to build up the various topographical information that is needed for analysis of wide area soil loss by using the USLE, to evaluate the factors those are needed to the USLE, to estimate the soil loss condition of subbasin in the watershed.

키워드 : 지형공간정보체계, 토양유실, 범용토양유실방정식

Keywords : GIS, soil loss, universal soil loss equation

1. 서론

강우나 물의 유출에 의한 토양유실은 20세기 전반에 걸쳐서 주요한 환경적인 문제가 되어 왔다. 토양유실은 농업 생산성을 떨어뜨리고 목초지를 손상시키며, 물의 흐름을 방해하는 등의 각종 환경적인 문제점을 야기 시키고 있다. 자연적인 토양유실은 농지나 초지에 영향을 줄 뿐 만 아니라 도시 개발, 수로 변경 등과 같은 인간의 구조적인 활동에 의해서도 가속화되며, 하상의 퇴적작용에 의한 수위 변화와 수로 변화 등 여러 가지 문제점을 노출시키고 있다.

물에 의한 흙의 침식과 퇴적은 좀처럼 눈에 띄

지 않고 농업 생산성에 느리게 작용한다. 그러므로 토양 유실의 심각성을 인식하는 일과 토양 유실에 영향을 미치는 여러 가지 인자들을 적절하게 측정하는 것이 요구되고 있다.

최근에 환경에 따른 관심이 고조되는 시점에서 토양 유실과 퇴적이 매우 중요한 위치를 차지하고 있지만 아직은 체계적인 자료의 정리와 분석을 하지 못하고 있는 실정이다.[5]

그러나 지형공간정보체계(GSIS : Geo-Spatial Information System)를 이용하여 유역내의 토양유실을 분석하면 시·공간적으로 변화하는 유역의 많은 정보를 신속·정확하게 제공할 수 있으며, 결과물들을 시각적으로 표현할 수 있다.[1]

본 연구에서는 평창강 유역의 일부를 형성하고 있는 준용하천 평창강 유역을 대상으로 토양유실 모형으로 사용된 USLE에 필요한 세부 인자들을

* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

** 충주대학교 건설도시공학과 교수, 공학박사

*** 강원대학교 대학원 토목공학과 박사과정

GSIS를 이용하여 관리, 저장, 분석, 출력하였다. USLE에서 토양유실 분석시 고려되는 요인들은 강우량의 분포, 사면길이, 사면경사, 토양의 침식률, 식생의 분포, 경작 방법 등이 있다. 이들 인자들을 GSIS를 이용하여 자료기반으로 구축한 후, 그들 각각의 인자에 대하여 USLE에서 제시한 방법에 따라 특성을 추출하였다. USLE의 각각의 인자들을 GSIS 프로그램인 ARC/INFO를 사용하여 자료기반을 구축한 후, 이들 각각의 인자들을 격자형 자료로 만들고, GRID 연산의 중첩을 통하여 유역의 토양유실량을 평가하였다.

또한 토지이용분류에 따른 토양유실 원단위를 이용하여 토양유실량을 평가하고 GSIS-USLE 방법과 비교하였다.

2. 토양유실모형

2.1 USLE

범용토양유실방정식(USLE)은 1960년대에 농경지에서의 토양손실 예측을 위해서 미국의 Wischmeier와 Smith가 개발하였다. 이 방정식은 경험적 방법에 의해 개발되었지만 방정식의 이름에서 알 수 있듯이 다른 지역에 대해 범용적으로 적용할 수 있다. 이 방정식은 유역의 기후(강우), 토양, 토지피복형태, 토지이용 등의 변수를 이용하여 유역에서의 토양유실량을 추정한다. USLE를 이용하여 추정된 토양유실량은 해당 지역에서 강우에 의해 침식되어 하류로 유실되는 토사량으로서 초기 침식량이라 한다.[6][7][8][9][10]

이 USLE는 미국의 다른 경작지와 유럽, 서부 아프리카 등지에서 많이 적용되었다. 예상되는 토양유실은 여섯가지 형태의 인자에 의해 결정이 된다. 이 여섯가지 인자는 강우분포, 토양침식률, 사면길이와 사면경사, 식생분포, 경작지 형태이다. 이 방정식은 경작지 뿐만 아니라 목초지나 삼림지역에서도 적용이 가능하다.

이 USLE는 강우분포, 토양특성, 식생 또는 토지피복형태 및 토양관리상태 등과 관련된 인자들을 이용하여 다음과 같은 방정식으로 표현된다.[12]

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

- A : 연평균 토양유실량(t/ha/yr)
- R : 강우침식인자(10^7 J/ha · mm/hr)
- K : 토양침식인자(t/ha/R)
- LS : 지형인자(dimensionless)
- C : 식생피복인자(dimensionless)
- P : 침식조절인자(dimensionless)

이 방정식을 개발하기 위하여 Wischmeier와 Smith는 표준밭(unit plot)이라고 하는 길이 72.6ft(22.1m)와 9% 경사를 가진 밭작물을 위한 나지에서 자료를 대규모로 수집·분석하였다. 따라서 USLE의 토양침식인자(K)는 표준밭에서 단위 강우침식인자당 해당 토양의 침식량을 의미한다. 경사장 인자(L)는 같은 조건하에서 실제 경사면 길이에서의 토양유실량과 표준밭에서의 유실량의 비율이며, 경사인자(S)도 마찬가지로 실제 경사에서의 토양유실량과 표준밭에서의 유실량의 비율이다. 식생피복인자(C)와 침식조절방법인자(P) 또한 각각 해당 조건에서의 단위 면적당 유실량과 표준밭의 단위면적 당 유실량과의 비율을 나타낸다.

2.2 USLE 적용에 필요한 인자

(1) 강우침식인자(R)

강우침식인자(R)는 정상년 강우의 침식능력을 말하며, 강우의 시간적인 분포와 특성으로부터 구한다. 강우에 의한 침식률은 총 강우량과 강우의 강도로 표시되며, 후자가 침식률에 더욱 더 커다란 영향을 미친다. 따라서 계절적인 강우의 분포는 토양유실을 결정하는데 매우 중요하다.[3][4] USLE는 원래 정상년의 강우침식인자를 기준으로 연평균 토양유실량을 추정하도록 개발되었다. 연평균 강우침식인자 값의 추정은 과거의 강우 기록자료를 이용하여 각각의 강우 사상에 대해 강우침식인자를 산정하여 그 해의 평균 강우침식인자 값을 구하고 이를 다시 연도에 대해 평균하여 구해진다. 강우침식인자에 대한 경험적인 산정 방법은 아래와 같다.[6]

① Roose의 강우침식인자(1975)

$$\text{연평균침식도}(EI_{30}) = \text{연평균강우량} \times 50 \quad (2)$$

$$\text{강우침식인자}(R) = \frac{\text{연평균침식도}(EI_{30})}{100} \quad (3)$$

② A.G.Toxopeus의 강우침식인자

(Cibodas Biosphere Reserve, Indonesia, 1998)

$$R = 38.5 + 0.35 \times P \quad (4)$$

여기서 R은 강우침식인자이고, P는 연평균 강우량(mm/year)이다. 본 연구에서는 이 방법을 이용하여 강우관측소 자료를 이용하여 티센 다각망을 구축하여 부 유역별 연평균 강우량을 산정하여 강우침식인자를 결정하였다.

(2) 토양침식인자(K)

토양침식인자(K) 값은 토양의 네 가지 특성인 조직, 유기물 함량, 토양의 구조, 토양의 투수성에 의해 결정되며, 토양의 분류는 미국 농무성의 분류법에 따른다. 토양의 조직은 미사와 입자의 크기가 매우 작은 사토의 조성비와 보다 굵은 사토의 조성비로 나타낸다.[2] 토양침식인자 값을 구하기 위한 토양의 구조와 투수성의 분류는 표 1과 같이 분류된다.

표 1. 토양 구조와 토양 투수성에 따른 분류 기준

Soil texture		Permeability	
1	Very fine granular	1	Very slow
2	Fine granular	2	Slow
3	Medium or coarse granular	3	Slow to moderate
4	Blocky, platy, massive	4	Moderate
		5	Moderate to rapid
		6	Rapid

토양침식인자 값은 그림 1같은 Wischmeier의 토양침식인자 값 Nomograph에 의해 산정하거나 Wischmeier와 Smith 그리고 Erickson의 삼각형 도표 및 보정표 등을 이용하여 추정할 수 있다.

또한 다음 추정식을 이용할 수도 있다.[11][12]

$$100K = 2.0 \times 10^{-4} M^{1.14} (12 - a) + 3.25(b - 2) + 2.5(c - 3) \quad (5)$$

M : (실트와 극세사의 백분율) × (100-점토의 백분율)

a : 유기물 함량(%), b : 토양구조 코드(1~4), c : 투수도 등급(1~6)

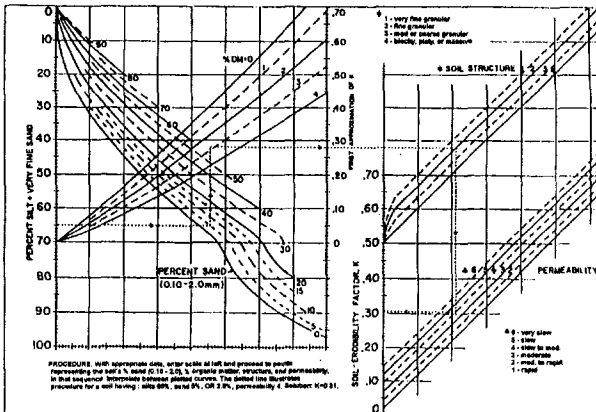


그림 1. 토양침식인자 값을 결정하기 위한 Nomograph

(3) 지형인자(LS)

USLE에는 유역의 길이(L)와 유역의 경사(S)인 두 가지 지형인자(LS)값이 고려된다. 유역의 길이와 경사에 따른 단위 면적 당 예상되는 토양유실

의 비율을 말한다. 유역의 길이는 지표 월유수가 발생되기 시작하는 지점으로부터 경사가 줄어서 퇴적이 일어나는 지점까지의 거리이거나 유출이 뚜렷하게 나타나는 형태인 수로나 지류로 합류되는 지점까지로 규정되며, 경사는 일정 구역의 지표면 경사로서 보통 수평거리에 대한 고저차의 백분율로 표시된다.

Foster/Wischmeier와 Smith는 다음과 같은 지형인자 값의 산정방정식을 제안하였다.

$$LS = \left(\frac{l}{22.1}\right)^m \left(\frac{65.4S^2}{S^2 + 10,000} + \frac{4.6S}{\sqrt{S^2 + 10,000}} + 0.065 \right) \quad (6)$$

l = 경사길이(m)

S = 경사(%)

m = 경사지수

= 0.2, S < 1%, = 0.3, 1 < S < 3%

= 0.4, 3 < S < 5%, = 0.5, S > 5%

(4) 식생피복인자(C)

식생피복의 영향은 시간이 지남에 따라 변화한다. 특정 지역에서의 식생피복인자 값들은 식생의 종류, 식생이 성장하는 상태, 경작형태와 관리 요소들에 의하여 좌우된다. 식생피복인자 값의 비율은 식생이 성장하기 전의 맨 땅에서와 같은 지역에서는 약 1.0으로 높은 값을 가진다. 그리고 삼림이 밀집된 지역이나 곡물의 밀도가 높은 지역에서는 0.1 이하로 낮은 값을 가진다. 표 2는 미국 농무성에서 발표된 식생피복인자 값들을 나타낸 것이다. 표 3은 삼림지역에서의 식생피복인자 값을 나타낸 것이다.

표 2. 식생피복인자 결정 기준

Vegetation condition	C 값
Cotton after cotton, seedbed, 80% soil cover	0.64
Corn mulch, 40% of soil actually covered, no-till	0.21
Corn mulch, 90% of soil actually covered, no-till	0.03
Soybean mulch, 40% of soil actually covered, no-till	0.26
Grain stubble, 40% of soil actually covered	0.30
Undisturbed forest, 90~100% duff cover	0.001
Undisturbed forest, 40~70% with 5cm duff	0.003
Pasture of range, 40% grass cover	0.20
Pasture of range, 40% grass cover	0.10
Pasture of range, 80% grass cover	0.013
Brush 25% puls 40% grass cover	0.09
Brush 75% puls 40% grass cover	0.08
Trees 25% puls 20% covered by weeds and broadleaf plant	0.23
Trees 75% puls 20% covered by weeds and broadleaf plant	0.20
Trees 25% with no ground cover	0.42
Urban, 21-27% impervious surface	0.01

표 3. 삼림의 식생피복인자

tree canopy (% of area)	% of area covered by > 2 inches of forest litter	undergrowth	C values
100-75	100-90	Grazing and burning controlled Heavily grazed and burned	0.001 0.003-0.011
70-40	80-75	Grazing and burning controlled Heavily grazed and burned	0.002-0.004 0.01-0.04
35-20	70-40	Grazing and burning controlled Heavily grazed and burned	0.003-0.009 0.02-0.09
<20	Treated as grassland or cropland		

(5) 침식조절인자(P)

침식조절인자(P)는 특정한 침식조절에 의한 토양 유실량과의 비율로서 정의되는데 즉, 지표면상에서의 여러 가지 경작지에 따른 토양유실의 비를 말한다. 침식조절인자는 침식을 통제할 수 있는 중요한 요소로 해석되고 있으며 상하경에서의 토양유실량을 1로 하였을 때 토양보전 농법을 적용하여 감소되는 토양유실량의 비율이다. 표 4는 경작지 형태와 경작지가 논인지 밭인지에 따라서 토양유실량 차이를 보이고 있는 침식조절인자 값을 나타낸 것이다.

표 4. 침식조절인자 결정기준

Slope (%)	Contour tillage	Contour strip cropping	Terrace systems
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

2.3 원단위 방법

토양유실량을 추정하는 개략적인 방법으로 원단위 방법이 사용되기도 한다. 그러나 원단위 방법은 토양유실에 영향을 미치는 인자들에 세부적인 기준이 분명하게 나타나 있지 않으므로 실제의 토양유실 예측에는 부적합하다. 표 5는 원단위 기준표이다.

표 5. 토양유실량 원단위

지표상태	토양유실량 t/ha/year
나지, 황폐지	200-400
초지	15
택밭지	2
삼림	1

3. 적용 및 분석

3.1 연구대상지역

본 연구를 수행하기 위한 연구대상지역은 준용 하천으로 분류된 평창강 상류 유역으로 선정하였다. 표 6은 수자원공사에서 관리하고 있는 유역내의 강우관측소 현황을 나타낸 것이다. 표 7은 본 연구에 이용된 자료들을 나타내었다.

유역의 토양유실 분석에 필요한 GIS DB를 구축하기 위해서 각각의 자료층(layer)에 대한 자료원은 지형도, 토양도, 식생도, 토지이용도 등을 이용하였다.

표 6. 연구지역의 강우관측소

관측소명	위 치	경 도	위 도	해발고 (ELM)	관측개시일
봉 평	평창군 봉평동 원길 2리	128° 21' 36"	37° 37' 20"	300	1985. 08. 30
진 부	평창군 진부면 상진부리	128° 34' 50"	37° 39' 37"	480	1985. 08. 30
수 향	정선군 진부면 수향리 98	128° 33' 53"	37° 33' 40"	490	1992. 08
대 화	평창군 대화면 대화리	128° 42' 30"	37° 39' 34"	500	1985. 08. 30
방 립	평창군 방림면 제촌리	128° 27' 07"	37° 29' 16"	680	1985. 08. 30
창 촌	홍천군 내면 창촌리	128° 23' 25"	37° 45' 30"	690	1972. 08. 11

표 7. 평창강 유역에 대한 입력 자료

지도명	레이어	축척	발행기관	자료형	속성내용
지형도	등고선	1:50,000	국립지리원	선	고도값
	표고점			점	고도값
토양도	토양	1:25,000	농업진흥청	면	토양그룹
식생도	식생	1:50,000	산림청	면	식생명
토지이용도	토지이용	1:25,000	국립지리원	면	토지이용상태

3.2 GIS의 자료구축

USLE를 이용하여 토양유실량 평가를 위한 GIS 자료기반 구축에 사용된 하드웨어는 SparcStation II (Graphic Processor & 20 inch monitor, 64MB Main Memory, 4.5GB Hard Disk), PC 펜티엄 300, Calcomp 9100 A1 규격의 Digitizer, Tangent Scanner 등이다. 소프트웨어로는 관계형 자료기반 GIS인 ARC/INFO 7.0.3, MICROSTATION, IRASB, GEOVEC 등을 이용하였다.

그림 2는 연구대상지역에 대한 개략적인 그림을 나타낸 것이다. 그림 3은 본 연구의 진행과정과 분

석에 대한 흐름도를 나타낸 것이다.

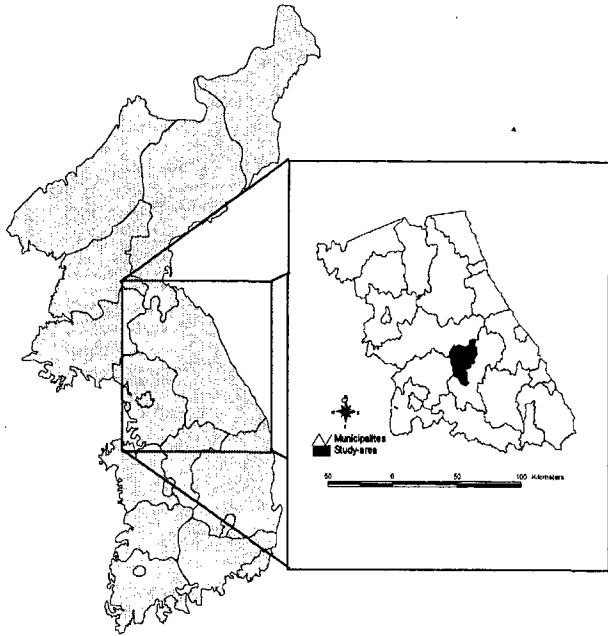


그림 2. 연구대상지역(준용하천 평창강유역)

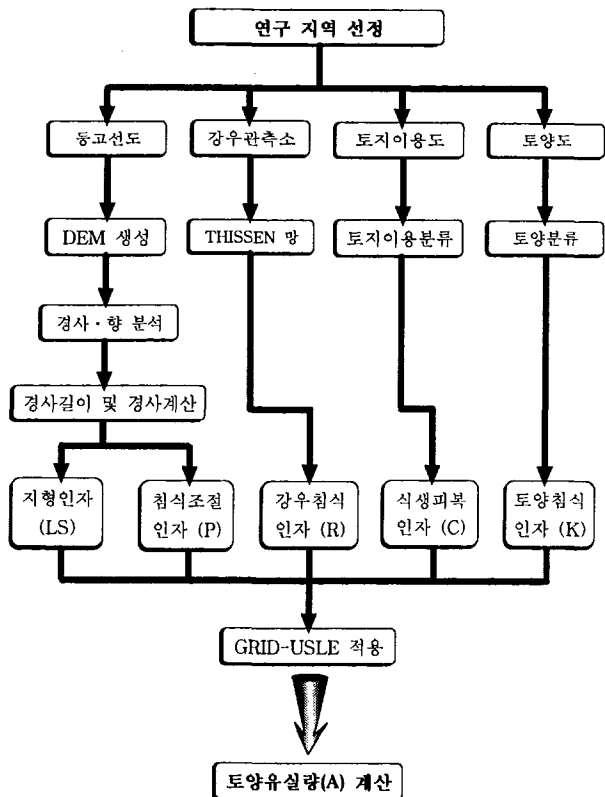


그림 3. 토양유실량 분석 흐름도

3.3 USLE의 인자값 결정

(1) 강우침식인자(R)

강우침식인자 결정방법은 1998년 인도네시아의 Cibodas Biosphere Reserve에서 제시한 방정식을 이용하여 결정하였다. 준용하천 평창강 유역에 영향을 미치는 6개의 강우 관측소별 자료를 이용하여 연평균 강우량을 계산하였다. 본 연구에서는 강우 관측소의 위치를 점 자료로 입력하고 티센다각형망 기법을 이용하여 부 유역별 우량관측소의 면적을 산출한 후 유역에 대한 연 평균강우량을 산정하였다. 표 8은 부 유역별 연평균 강우량을 기준으로 강우침식인자 R값을 추출한 것이다.

표 8. 평창강 유역에 대한 강우침식인자 값

부 유역 명	sub1	sub2	sub3	sub4	Total
연평균강우량	1195.1	1210.2	1200.0	1185.0	1199.6
강우침식인자(R)	456.8	462.1	458.5	453.3	458.4

(2) 토양침식인자(K)

연구대상지역의 정밀토양도 토양통별 분류부호를 이용하여 토양침식인자 값을 산출하였다. 그림 4는 이 기준에 따라 부 유역별 토양침식인자 값을 결정한 그림이다.

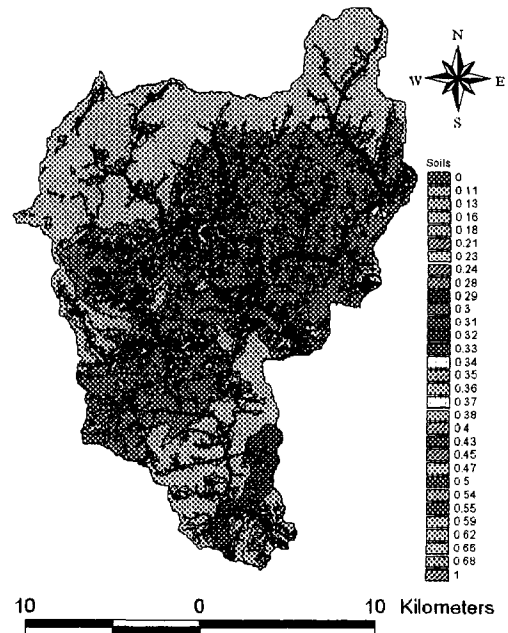


그림 4. 토양침식인자도

(3) 지형인자(LS)

지형도에 표고값을 입력하고 불규칙삼각망을 생성한 후 100m의 격자형 DEM을 구축하였다.

구축된 DEM으로부터 지형인자 계산 알고리즘을 매크로 언어로 프로그래밍화하여 자동 계산하였다.

```

/* For slopes 5% and over
else if (sl_slope >= 2.862405)
ls_amount = pow((ls_length div 72.6), 0.5) * ~
((65.41 * pow((sl_slope div deg), 2)) / (pow((sl_slope div deg),
2)+10000)) + ~
(4.56 * (sl_slope div deg)) / (sqrt(pow((sl_slope), 2) + 10000))
+ 0.065)
/* For slopes 3% to less than 5%
else if ((sl_slope >= 1.718358) and (sl_slope < 2.862405))
ls_amount = pow((ls_length div 72.6), 0.4) * ~
((65.41 * pow((sl_slope div deg), 2)) / (pow((sl_slope div deg),
2)+10000)) + ~
(4.56 * (sl_slope div deg)) / (sqrt(pow((sl_slope), 2) + 10000))
+ 0.065)
/* For slopes 1% to less than 3%
else if ((sl_slope >= 0.572939) and (sl_slope < 1.718358))
ls_amount = pow((ls_length div 72.6), 0.3) * ~
((65.41 * pow((sl_slope div deg), 2)) / (pow((sl_slope div deg),
2)+10000)) + ~
(4.56 * (sl_slope div deg)) / (sqrt(pow((sl_slope), 2) + 10000))
+ 0.065)
/* For slopes under 1%
else
ls_amount = pow((ls_length div 72.6), 0.2) * ~
((65.41 * pow((sl_slope div deg), 2)) / (pow((sl_slope div deg),
2)+10000)) + ~
(4.56 * (sl_slope div deg)) / (sqrt(pow((sl_slope), 2) + 10000))
+ 0.065)
    
```

그림 5는 지형인자를 결정하기 위한 경사에 따른 지형인자 값의 분류 기준에 따라 각각의 부유역별로 DEM으로부터 경사분석을 수행하여 결정된 지형인자 LS값의 분포를 나타낸 것이다.

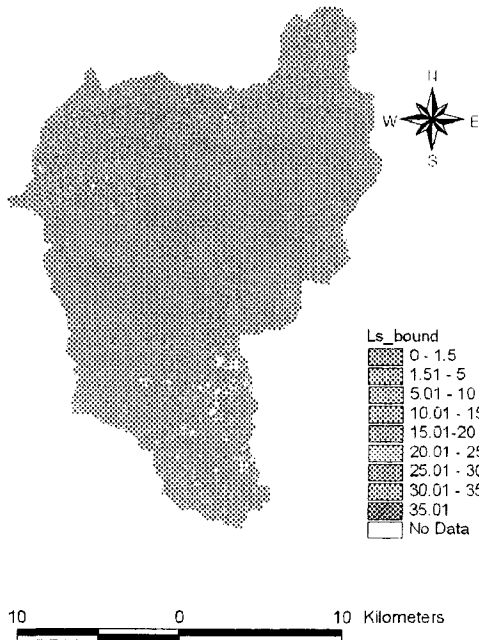


그림 5. DEM으로부터 결정된 지형인자도

(4) 식생피복인자(C)

토지이용도를 이용하여 7개의 분류항목으로 재분류하고 식생피복인자를 결정하여 표 9와 그림 6에 나타내었다.

표 9. 식생피복인자 결정 기준과 분포 면적

Landuse	C-value	Subbasin (km ²)					total
		sub1	sub2	sub3	sub4		
paddy field	0.03	2.3	5.3	1.7	1.1	10.4	
cropland	0.21	16.0	17.3	11.5	13.4	58.2	
forest	0.001	99.0	123.6	48.4	57.1	328.1	
pasture	0.20	0.2	-	-	-	0.2	
water	0	0.9	1.1	0.8	0.8	3.6	
settlement	0.01	-	0.2	-	-	0.2	
wasteland	1.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.5	

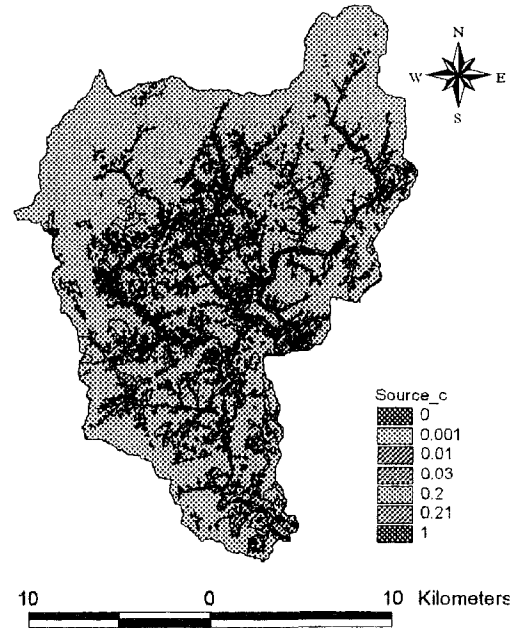


그림 6. 식생피복인자도

(5) 침식조절인자(P)

침식조절인자 값은 경작지 형태에 따라 분류하는 것으로 본 연구대상지역의 경작지 형태는 논인 경우는 데라스 방식이고, 밭의 경우는 등고선 경작 방식으로 나타내었다. 이에 대한 토양유실은 경사에 대한 비율로서 선정하였다. 표 10과 그림 7은 경사에 의한 부유역별 침식조절인자의 분포도이다. 삼림은 1.0, 물은 0의 값을 사용하였다.

표 10. 침식조절인자의 결정 기준과 분포 면적

slope(%)	P-value	Subbasin (km ²)					total
		sub1	sub2	sub3	sub4		
0.0~7.0	cropland	0.55	2.4	3.0	1.3	1.2	7.9
	paddy field	0.10	1.1	3.1	0.8	0.7	5.7
7.0~11.3	cropland	0.60	4.3	3.4	-	1.1	8.8
	paddy field	0.12	0.8	1.1	-	0.1	2.0
11.3~17.6	cropland	0.80	4.9	4.7	3.0	2.6	15.2
	paddy field	0.16	0.5	0.7	0.3	0.1	1.6
17.6~26.8	cropland	0.90	4.8	4.1	3.6	4.3	16.8
	paddy field	0.18	0.2	0.3	0.2	0.1	0.8
26.8 이상	cropland	1.0	1.5	2.0	1.7	4.5	9.7
	paddy field	0.20	-	0.1	-	0.1	0.2

연구대상지역에서의 토양유실량은 최대 값 399.7 t/ha/yr이었고, 평균 토양유실량은 10.7 t/ha/yr이며, 총 토양유실량은 331520.8 t/yr이었다. 부유역별 토양유실량에 대한 내용은 표 11에 나타내었다. 그림 8은 연구지역에 대한 토양유실량의 분포도를 나타낸 것이다.

또한 토지이용도를 이용하여 원단위 방법에서 제공하는 기준을 적용하여 토양유실량을 산정하였다. 그림 9는 원단위 방법으로 산정한 토양유실량의 분포를 나타내는 그림이다.

표 12는 USLE 방법과 원단위 방법으로 산정된 토양유실량과 통계 값을 비교한 것이다.

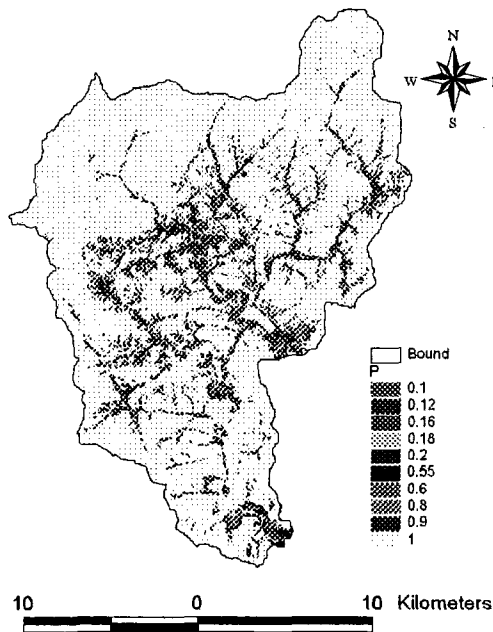


그림 7. 침식조절인자도

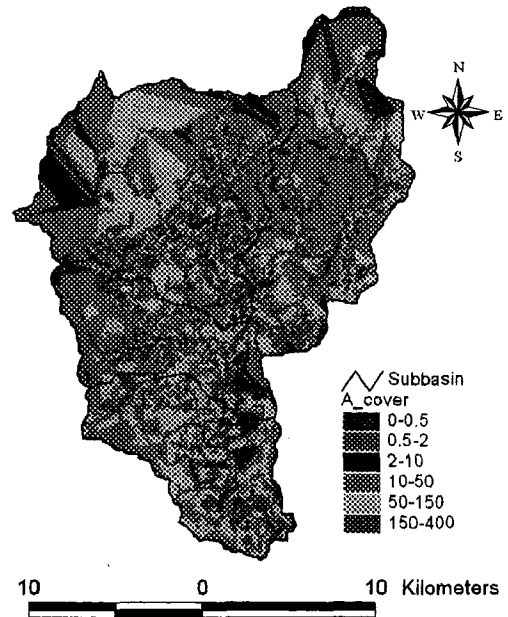


그림 8. USLE 방법에 의한 토양유실량 분포도

3.4 토양유실량(A)의 산정

본 연구에서 이용된 USLE에 필요한 강우침식인자(R), 토양침식인자(K), 지형인자(LS), 식생피복인자(C), 침식조절인자(P)에 대하여 GIS 자료기반을 구축하여 각각의 커버리지를 생성하였으며, 각각의 인자에 대하여 GIS 분석과 연산을 통하여 수치화하였다. 수치화된 각각의 커버리지를 100m 크기의 격자형 자료로 변환한 후, ARC/INFO의 GRID 분석을 통하여 토양유실량을 산정하기 위해 수치연산을 수행하였다.

표 11. 부유역별 토양유실량 통계값

	sub1	sub2	sub3	sub4
Area(ha)	11849.2	14764	6241	7261.8
Maximum value(t/ha/yr)	257	389.8	379.4	399.7
Mean value(t/ha/yr)	7.5	6.1	11.8	17.3
Total soil loss(t/yr)	77825.8	74239.3	65918	113557.7
Standard deviation	24.3	21.4	33.7	48.2

해서는 GIS-토양유실모형 인터페이스 프로그램의 개발이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 김연준, "지형공간정보체계를 이용한 유역분석", 강원대학교 토목공학과 박사학위논문, 1999.
- [2] 건설부, "댐 설계를 위한 유역단위 비유사량 조사·연구", 1992.
- [3] 정필균 외, "토양유실량 예측을 위한 강우인자의 분석", 한국토양비료학회지. 제16권. 제2호, pp. 112-118, 1983.
- [4] 조국광, 박성우, "경사지에서의 토양유실", 한국농공학회지. 제23권 제2호, pp. 54-60, 1981.
- [5] 환경부, "비점오염원 조사연구사업", 1995.
- [6] De Roo, A.P.J., L. Hazelhoff & P. A. Burrough, "The Use of Monte Carlo Simulations to Estimate the Effects of Spatial Variability of Infiltration on the Output of a Distributed Hydrological and Erosion Model", *Hydrological Processes*, Vol. 6, No. 2, pp. 127-143, 1989.
- [7] Forster, G. R., W. H. Wischmeier, "Evaluating Irregular Slopes for Soil Loss Prediction", *Transaction of the ASAE*. 17, pp. 305-309, 1974.
- [8] Kirkby, M. J., "The Problem and Modelling Water Erosion Process", *Soil erosion*, pp. 1-16, 183-216, 1980.
- [9] Moore. I. D. and G. J. burch., "Modelling Erosion and Deposition: Topographic Effects", *Transactions of the ASAE*. 29.(6), pp. 1624-1630, 1986.
- [10] Morgan, R. P. C., "Topic in Applied Geography Soil Erosion", pp. 41-56, 1979.
- [11] Smith, R. E., "A Kinematic Model for Surface Mine Sediment Yield", *Transactions of the ASAE*, pp. 1508-1514, 1981.
- [12] Wischmeier. W. H., "Use and Misuse of the Universal Soil Loss Equation", *Journal of Soil and Water Conservation*, 31(1), pp. 5-9, 1976.

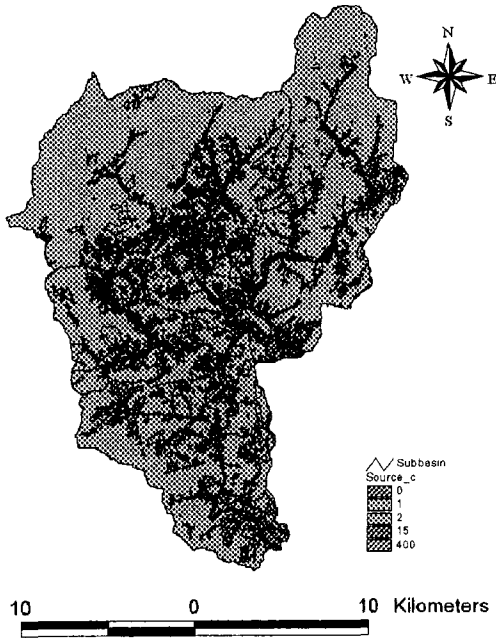


그림 9. 원단위 방법에 의한 토양유실량 분포도

표 12. USLE와 원단위 방법의 비교

	USLE	원단위
Maximum value(t/ha/yr)	399.7	400
Mean value(t/ha/yr)	10.7	3.7
Total soil loss(t/yr)	331520.8	152401.4
Standard deviation	31.9	15.1

4. 결 론

연구대상지역에 대한 부유역별 토양유실량 산정을 위해 USLE에 필요한 인자들을 GIS 기법을 이용하여 구축·분류한 후 GRID 분석으로 평가하여 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 평창강 유역에 대한 토양유실량 평가를 통해 부 유역별로 토양유실량을 관리할 수 있는 방안을 제시하였다.

둘째, USLE 모형에 필요한 각각의 인자들을 GIS 기법을 이용하여 신속 정확하게 추출·분류할 수 있었다.

셋째, USLE에서 가장 큰 비중을 차지하는 지형인자(LS)를 매크로언어로 자동 계산하여 신뢰성을 높일 수 있었다.

넷째, 미계측 지역에 대한 토양유실량 예측을 위