

## 금강유역 토양 유실 분석을 위한 GIS 응용연구

김윤종\* · 김원영\* · 유일현\* · 이석민\*\* · 민경덕\*\*

### GIS Technology for Soil Loss Analysis

Youn-Jong Kim · Won-Young Kim · Il-Hyon Yu,  
Suk-Min Lee · Kyung-Duck Min

#### 요 약

GIS를 이용하여 토양 유실에 대한 환경영향 분석과 평가가 부여군의 금강유역을 대상으로 실시되었다. 수작업 계산으로 처리되고 있는 지금까지의 토양 유실량 산출방법은 토양 유실을 야기시키는 여러 자연환경 요소들의 정량적 분석과 또한 이러한 요소들의 복잡한 상관 관계들을 명쾌하게 규명하기에는 많은 어려움이 있다. 금번 연구에서 GIS의 활용은 이러한 환경분석 기술들을 변화시키고 자료들을 조직화할 뿐만 아니라, 기존의 분석과정들을 자동화시키는 이상의 변화를 가져오게 할 수 있었다. 연구지역에서 아주 경제적으로 생산된 최종 토양 유실 분석도는 여러 사용자들에게 GIS의 유용성과 활용성을 보여주는 계기를 제공하고 있다. 본 연구에서 도입된 토양 유실 공식(USLE)은 분수계내에서 실제 유실량 계산을 목적으로하고 있으나, 금번에 개발된 토양 유실 계수(Soil Loss Index)는 위의 공식 적용에 있어서 야기될 수 있는 자료들의 부정확성을 보완할 수 있음은 물론, 다른 분수계들에 대해서 상대적 토양 유실 분석에도 활용될 수 있다. 동시에 본 연구결과는 토사 유실에 따른 대책 수립에 커다란 기여가 예상되며, 지질 재해 예방에 적극 활용될 것이다. 앞으로 국내에서는 본 연구를 기초로 환경관리 분야에 대한 GIS 응용기술의 적극 개발과 환경 분석 전문가 시스템 개발이 요구될 전망이다.

**ABSTRACT** : Soil loss was estimated by using universal soil loss equation(USLE) through GIS technique in Buyeu area. The expected soil loss is determined from six environmental factors : rainfall, erodibility of selected soil, length and steepness(gradient) of ground

\* 한국자원연구소 (Korea Institute of Geology, Mining & Materials, 30 Kajung-dong, Yusung-ku, Taejon, Korea, 305-350, Tel. (042)868-3057)

\*\* 연세대학교 지질학과 (Department of Geology, Yonsei University, 134 Shinchon-dong, Sudaemoon-ku, Seoul, Korea, 120-749, Tel. (02)361-2667)

slope, crop grown in soil, and land practices used. A scoring system for assessing soil loss risk has been developed for calculating SLI(Soil Loss Index) by GIS. The scores of six factors multiplied to give a total score which was compared with an chosen classification system to categorize areas of low, moderate and high risk. Finally, a soil loss assessment map was produced by GIS cartographic simulation technique, and this map could be applied in the establishment of regional land use planning.

## 서론

분수계내에서의 토양 유실(soil loss)과 실토사 퇴적량의 분석연구는 환경지질학적으로 아주 중요한 연구이다. 금번 연구에서는 GIS를 이용한 토양 유실량 계산을 위하여 일반적 경험식인 토양의 유실 공식(USLE: Universal Soil Loss Equation; Wischmeier, 1978)을 이용하였다. 이 공식을 위한 기본 환경요소들은 강우, 토양 침식률, 사면 길이와 지형 경사, 식생 분포와 관리, 농작물 경작형태 등이다. GIS는 이러한 요소들의 정량적인 분석과 평가를 지도모형기술을 통하여 아주 효과적으로 수행케 하였으며, 최종적으로 부여군 일대의 금강유역을 대상으로 토양 유실 분석도의 자동 생산을 가져오게 하였다. 지금까지 환경영향 분석과 평가를 위한 토양 유실량 및 토사 퇴적량의 계산은 상기 요소들에 대한 각각의 개별 평가와 분석으로 많은 시간과 정확성의 문제가 야기되었다. 그러나 본연구에서 도입된 GIS기술은 이러한 문제들을 최소화시켜주는 물론 아주 경제적인 분석을 가능하게 하였다. 또한 최종 작성된 토양 유실 분석도의

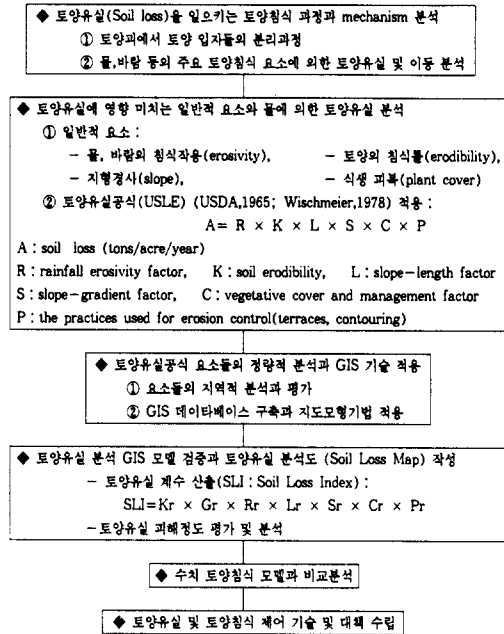
정확도는 토양 유실 공식에 이용되는 환경요소들의 정확도에 기인되며, GIS 지도모형기술은 연구지역의 특성을 고려하여 이러한 환경요소들의 합리적인 조합방법을 개발시켰다. GIS를 이용한 금번 연구에서는 실 토양 유실량 대신에 토양 유실 계수(Soil Loss Index)를 계산하여 도면화 시켰으며, 이 방법은 연구지역 전체를 동시에, 빠르게 분석하는데 아주 경제적이다. 토양 유실 계산을 위한 기본적 요소중 제일 중요한 토양 침식률(K) 계산은 1/25,000 정밀도양도(농업진흥청, 1978)와 Wischmeier의 도표(1978)를 이용하여 정량적으로 분석하였다. 강우 요소는 강우량의 운동에너지(Kinetic energy)가  $25\text{jm}^{-2}\text{mm}^{-1}$  인 경우의 Morgan(1979) 계산 공식이 도입되었다. 또한 식생분포 및 경작지 형태 관련 요소들은 인공위성 영상(TM 영상, 1993.4)과 지형도 및 야외 관찰을 토대로 작성된 토지이용도가 활용되었다. 결국 금번 연구에서 GIS 지도모형기술을 통하여 개발된 토양 유실 분석의 GIS모델은 대상 지역에서의 환경분석을 아주 경제적, 합리적으로 수행케 하였으며, 현재 당 연구그룹에서 구현중인 환경지질 정보시스템의 활용성을 극대화 시켰다.

## 토양 유실 방정식과 환경 요소 분석

### 토양 유실 방정식과 토양 유실 계수

토양 침식에 의하여 야기되는 토양 유실은 토양이 실트나 세립질 모래의 함량이 클수록, 그리고 지형 경사가 심하며 사면의 길이가 길수록, 강우의 양이 심한 지역일수록 잘 일어나는 것이 보통이다. 이러한 토양 유실 분석을 위하여는 일반적으로 Wischmeier와 Smith (1978)의 수정된 토양 유실 공식(USLE)이 사용되고 있으며, 본연구에서도 경험적인 본 토양 유실 공식이 활용되어 토양 유실 계수(SLI : Soil Loss Index)가 산출되었다. 물론 토양 유실 공식은 계속적으로 수정되어지고 있으며, 지역적으로 혹은 해당 요소별로 많은 제한이 따르고 있으나 현시점에서는 가장 보편화된 경험적 토양 유실의 분석방법이다. 그러나 이러한 공식의 사용에 있어서 가장 문제가 되는 것은 실제 토양 유실량(tons/acre/year) 계산을 위하여 적용하여야만 되는 여러 환경요소(Table 1)들의 정확도이다. 왜냐하면 잘못 계산된 토양 유실량은 환경영향평가의 법적 문제가 제기됨은 물론, 토목공사 설계비의 증감과 자연 재해를 유발할 수 있기 때문이다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 금번연구에서 개발된 토양 유실 계수는 분석되는 환경요소들에 대하여 상대적 평가 방법(범위와 등급 구분)을 사용하였기 때문에 최종 결과치에 대한 오차를 줄일 수있음은 물론, 대상 연구지역의 자연 환경 특성을 충분히 고려할 수 있다. 즉 금번연구에서는 토양 유실 공식에는 고려되지 않은 지질학적요소(G) 등을 분석, 삽입하여 최종 토양 유실 계수를 산출하였다.

Table 1. Soil loss analysis using GIS



결국 이 계수는 토양 유실 공식에 이용되는 각 요소들의 값들을 연구 지역의 토양 침식 정도에 따라서 등급 구분을 한 후, 그 값들의 총 곱합으로 표시된다. Table 1은 토양 유실 및 유실 계수 공식을 이용하여 GIS 내에서 연구 지역에 대한 토양 유실 분석을 위한 전체 연구 흐름도이다. 다음은 토양 유실과 유실 계수 산출 공식 및 그 계산을 위한 기본 요소들이며, 연구 지역에 대한 분석과 내용이 아래에 설명되었다.

◎ 토양 유실 공식(Wischmeier et al, 1978) :

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

(A : 토양 유실량(tons/acre/year), 각 요소 설명은 Table 1과 아래 참조)

◎토양 유실 계수 공식(Kim et al, 1994) :

$$SLI = Kr \times Gr \times Rr \times Lr \times Sr \times Cr \times Pr$$

SLI : 토양 유실 계수, Kr : 토양 침식 등급, Gr : 지질 등급

Rr : 강우, Lr, Sr : 사면 길이와 지형 경사의 등급,

Cr : 토지 피복 등급, Pr : 경작 형태 구분.

**토양침식률(K factor : soil erodibility)**

토양 침식률(K)은 일반적으로 토양 조직(texture), 유기물 함량, 토양 구조(structure), 투수성 등에 지배되며, 연구 지역의 K 값을 평가하기 위하여는 Wischmeier의 침식률 계산표(soil erodibility nomograph, 1978)가 이용되었다. 이 계산표에서 토양은 그 특성에 따라 실트와 모래질(입자; 0.10-2.0mm)의 함량(soil texture), 유기물(OM%), 그리고 토양 구조(texture)는 침식에 약한 순서에 따라 ①very fine granular, ②fine granular, ③medium or coarse granular, ④blocky-platy or massive 로, 투수성은 ①very slow, ②slow, ③slow to moderate, ④moderate, ⑤moderate to rapid, ⑥rapid 로 구분한 후, 대상 토양에 대하여 상대적인 K값이 계산된다. 연구지역의 토양 분류는 정밀토양도(농촌진흥청, 1979)와 야외조사, 실내 실험 등을 통하여 이루어졌다. Table 2는 Wischmeier 계산표에 의하여 최종적으로 산출된 연구지역의 K값들이며, 0.03-0.54의 넓은 범위를 보여주고 있다. 토양 유실 계수의 계산을 위하여 K값들은 Table 3과 같이 재배열된 후, GIS 지도모형연구를 위한 등급(rating) 구분이 이루어졌다.

어졌다.

Table 2. Soil Erodibility(K factor)(Buyeu area, 1994)

번호	silt and very fine sand (%)	Sand (%)	OM(%) (organic)	soil structure	투수성	K value
1	82.8	1.0	2.59	2	4	0.39
2	49.1	47.4	0.72	3	2	0.385
3	78.0	7.2	1.45	3	4	0.52
4	16.7	79.6	0.66	3	1	0.10
5	28.5	66	0.37	4	1	0.23
6	55	15	2.21	2	4	0.28
7	60.5	2.6	1.14	2	1	0.29
8	82	8	1.40	4	3	0.54
9	64	16	0.72	1	5	0.45
10	64.8	17.3	1.40	2	4	0.42
11	65.9	20.6	2.40	4	3	0.44
12	61.7	1.6	0.62	2	1	0.27
13	40.1	44	1.19	3	1	0.24
14	68.5	16.6	0.26	2	1	0.42
15	65.2	19	2.64	4	1	0.42
16	40.6	49.8	0.40	3	1	0.28
17	78	5.6	2.07	3	1	0.44
18	52.3	36	0.63	4	1	0.39
19	64.8	17.3	1.40	2	4	0.44
20	40.1	44	1.19	3	1	0.24
21	41.6	43.2	0.50	3	1	0.29
22	40.6	49.8	0.40	3	1	0.28
23	5.91	31.9	1.71	2	1	0.03
24	5.91	31.9	1.71	3	1	0.03

Table 3. Range and ratings of K value

K value (0.03-0.54)	rating
0-0.1	1
0.1-0.2	2
0.2-0.3	3
0.3-0.4	4
0.4-0.5	5
0.5이상	6

**지질(G factor)**

지질요소는 토양 유실 공식에 포함된 요소가 아니지만, 연구지역의 자연 환경 조건이 고려된 토양 유실 계수 산출을 위해서 그 분석은 필수적이다. 토양은 지표의 암석들이 물리, 화학적 풍화작용에 의하여 생성되는 것으로써, 토양 특성은 근원암의 암상에 절대적으로 지배된다. 또한 Wischmeier의 수정된 토양 유실 공식(1978)과 최근에 사용되고 있는 공식들은(Donovan,1991; Mitchell et al,1993) 그 적용을 낮은 경사지역의 경작지뿐만 아니라, 분수계 전체 분석에 확대 적용하고 있다. 이러한 관점에서 본연구를 위한 지질 요소의 도입은 토양 유실 계수의 산출을 위하여 필수적이다. Table 4는 연구지역의 지질 구분에 따른 등급표이다. 대동계 퇴적암류(Jk, Jgt,Jga,Jg,Jha)들을 화강암류(Biotite granite)와 맥암류(Quartz porphyry)들이 관입한 형태, 그리고 맨 하부에는 선캠브리아기의 변성 퇴적암류(Granitic gneiss, Mica schist)가 넓게 분포

하고 있다. 특히 연구지역의 대동계 퇴적암류들은 아주 신선하며, 변성 퇴적암류들은 가장 풍화에 약한 암종으로 분류된다.

**강우 (R factor)**

강우에 의한 토양 유실 요소 R(rainfall erosivity factor)은 이론적으로 연구지역의 30분동안 강우의 최고 운동에너지로 정의되며, EI<sub>30</sub>(Wischmeier index, 1978)의 계산을 통하여 산출될 수 있다(EI<sub>30</sub>=total kinetic energy × maximum 30-min intensity of rainfall). 그러나 EI<sub>30</sub>의 산출에 따르는 어려움을 최소화하기 위하여 Morgan(1978)과 Roose의 경험식(R=(년평균강우량×50)/100)이 실제로 많이 활용되고 있으며, 본 연구에서도 후자를 이용하여 연구지역 R의 개략치가 계산되었다(720.85 J m<sup>-2</sup>.mm h<sup>-1</sup>) 이러한 정량적 분석은 수정된 토양 유실 방정식에서 강우에 의한 유역에서의 실 유실량 계산 등에 적용되고 있으나, 금번 연구에서 개발된 토양 유실 계수를 위하여는 전체 분수계에 대하여 일정한 R의 가중치(2)가 부여되었다.

Table 4. Rating system of geology

NO	geology	rating
1	Mica-schist(PreCm)	4
2	Granite-gneiss(PreCgn)	5
3	Biotite-granite	3
4	Quartz-porphyry	1
5	개화리역암(J <sub>k</sub> )	1
6	월명산층(Jgt) 가비산층(Jga) 옥마산층(Jg) 백마산층(Jha)	2
7	Alluvium(Qa)	7

**사면 길이 및 지형 경사(LS factor)**

사면 길이(slope length)와 지형 경사(steeptness) 분석은 전체 분수계를 몇개의 부분수계(small catchments)로 구분하여 지형 경사와 길이 관계표(Fig.1, Wischmeier, 1978)에서 그들에 대한 합리적 값들이 추출되었다(Table 5). 이 요소는 분수계내의 사면 길이와 지형 기복이 토양 유실에 미치는 영향을 분석하는 요소로써, 실유실량의 계산을 위하여는 표준 경사(reference slope;

Wischmeier and Smith, 1978)가 활용된다. 이것은 사면 길이가 22.1 미터, 경사각이 9% 인 모델의 LS값을 1로 책정하여 각 분수계의 LS값들을 비례적으로 계산하는 것이다. 결국 긴 사면 길이와 큰 경사 지형을 가지고 있는 분수계는 상대적으로 많은 토양 유실이 일어나며, 오목한 지형은 위의 표준 경사표를 참고 하였을때, 볼록한 지형보다 많은 토양 유실을 유발한다.

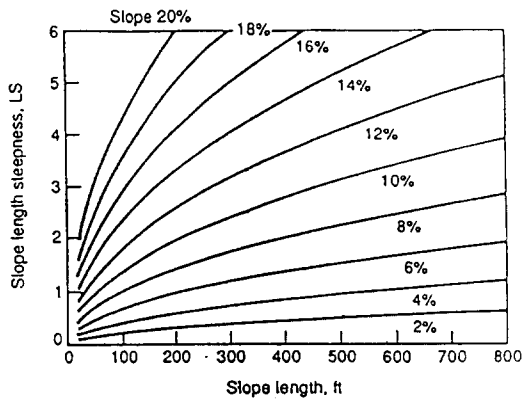


Fig. 1 Slope length steepness factor LS (from Wischmeier)

Table 5. LS factor(Buyeu area)

Slope(%)	LS value	rating
0-1.0	0.14	1
1.0-2.0	0.4	1
2.0-4.0	0.7	2
4.0-8.0	1.41	3
8.0-12.0	1.80	5
12.0-16.0	2.10	7
16.0-20.0	2.88	9
20.0-30.0	5.8	10
30.0-40.0	9.5	11
40이상	12.2	12

### 토지피복 (C factor)

경작지 종류와 경작물의 밀도가 토양 유실에 미치는 영향이 토양 유실 공식의 C 요소(land cover and management factor)이다. 본 요소를 분석하기 위하여 인공위성 영상(1993년 TM영상)을 수치 영상처리 기법을 이용하여 1차적으로 토지이용 현황도를 작성한 후, 현장 조사와 지형도(1/25,000, 1/50,000)를 이용하여 분류 요소들의 경계선을 수정 및 통합하였다. 인공위성 영상 해상도의 한계(30미터)로 감독분류기법(supervised classification)의 결과가 아주 만족치는 못하였으나, U.S.G.S의 연구내용(Anderson,1976)을 기초하여 분류된 대분류(경작지, 식생지, 초지, 나대지, 물)의 토지이용 현황도는 현장 실측을 통하여 수정과 보완작업을 거쳐서 GIS의 새로운 자료층을 구성시켰다. Table 6는 미국 농무성(USDA & Wischmeier, 1978)에서 산출한 C값을 연구지역의 토지 이용도에 맞게 일부 수정한 후, 각각의 토지 피복 요소에 등급이 부여된 표이다.

Table 6. The cover and management factor (C factor)

Landuse	C value (USDA, 1978)	rating (부여)
agricultural lands(rice fields : tillage)	0.20-0.30	3
agricultural lands(fields : no tillage)	0.30-0.40	4
vegetation	0.0 -0.10	1
grass	0.10-0.20	2
water	0	1

### 경작형태 (P factor)

이 요소(parctice factor)는 특히 경사면에

서의 경작지 형태(countring planting), 경작 물의 배열상태(strip cropping), 계단 경작(terracing) 및 그들의 복합적 형태 등이 토양 유

실에 미치는 영향이 고려된 것이다. 미국 농무성(1978)에 의하여 경험적으로 개발된 본 요소값들의 범위는 0.25-0.9 의 다양한 분포를

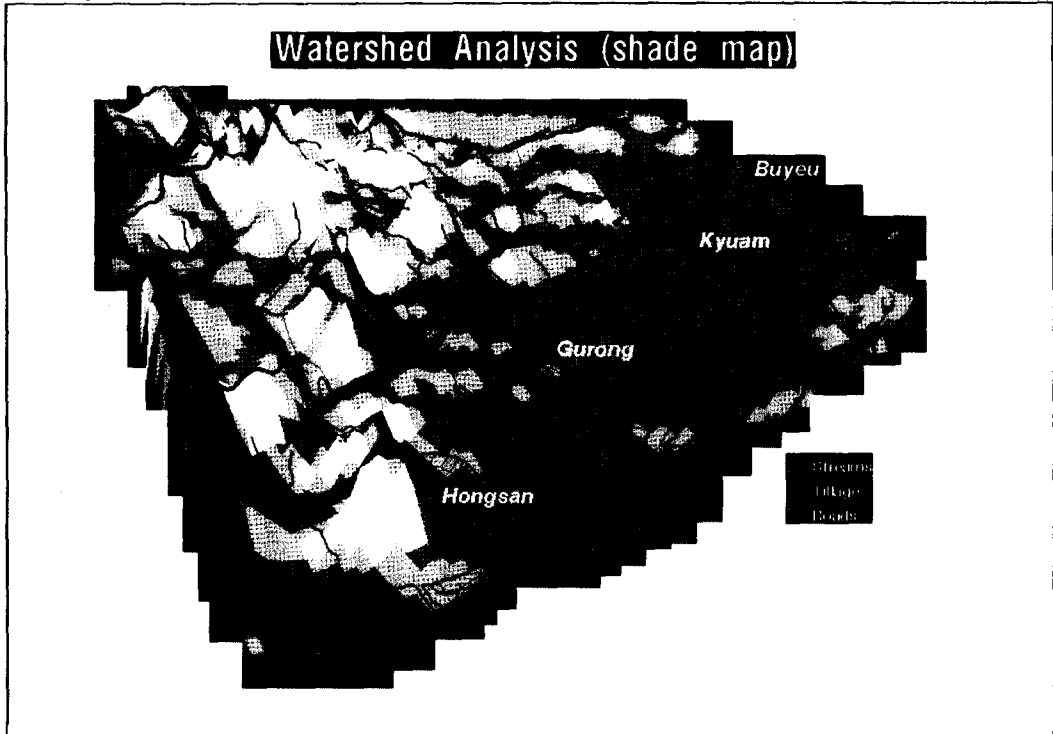


Fig. 2 A shade map of the study area (tillage area)

Table 7. P value(Practice factor)for contour-farmed terraced fields in relation to slope gradient

slope(%)	contour factor	stripcrop factor	rating (부여)
1-2	0.60	0.30	1
3-8	0.50	0.25	2
9-12	0.60	0.30	2
13-16	0.70	0.35	3
17-20	0.80	0.40	4
21-25	0.90	0.45	5

(Wischmeier and Smith, 1978 : Kim et al, 1994)

보여주고 있다. 특히 이 요소는 지형 경사가 고려되어야만 그 분석에 의의가 크다. 결국 연구지역의 경작지 분포(Fig.2의 tillage지역)는 경사가 약 2% 미만지역에 거의 국한되므로 이 값들은 앞절의 LS 요소와 더불어서 동시에 분석되었다. Table 7는 연구지역 P요소들을 등급 구분한 것이다.

### 토양 유실 계수(Soil Loss Index)의 계산과 분석

Table 8은 앞절에서 분석된 여러 요소들을 이용하여 토양 유실 분석을 위한 GIS 지도모형연구를 실시키 위해 정리된 각 요소들의 실제 값 범위와 등급 구분표이다. 토양 유실 계수(SLI)의 계산은 앞절에서 설명된 공식에 의

하여 각 요소 등급 구분 값들의 총 곱합으로 계산되며, 최종 유실 계수의 분포는 1-2184 범위를 나타내었고, 그값이 높을수록 토양 유실이 많은 지역으로 분석된다. 토양 유실 계수들의 구분을 위하여 그들 면적에 대한 누적곡

Table 8. Factors influencing soil loss and scoring system in the study area(Kim et al, 1994)

factors	range of value	rating
rainfall factor(R)	(720.85)	(2)
soil erodibility(K)	0.03-0.54	1-6
slope length and steepness factor(LS)	0.14-12.2	1-12
vegetation cover and management factor(C)	0.1-0.4	1-4
practice factor(P)	0.5-0.9	1-5
geology(G)		1-7

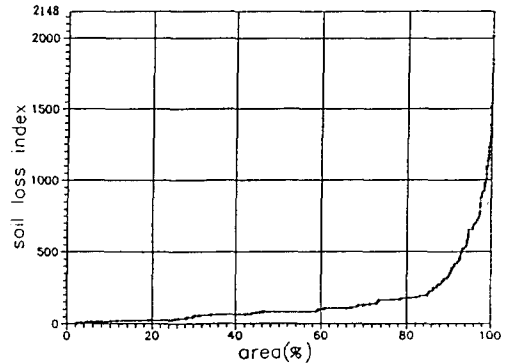


Fig. 3 Percentage cumulative curve (area vs. soil loss index)

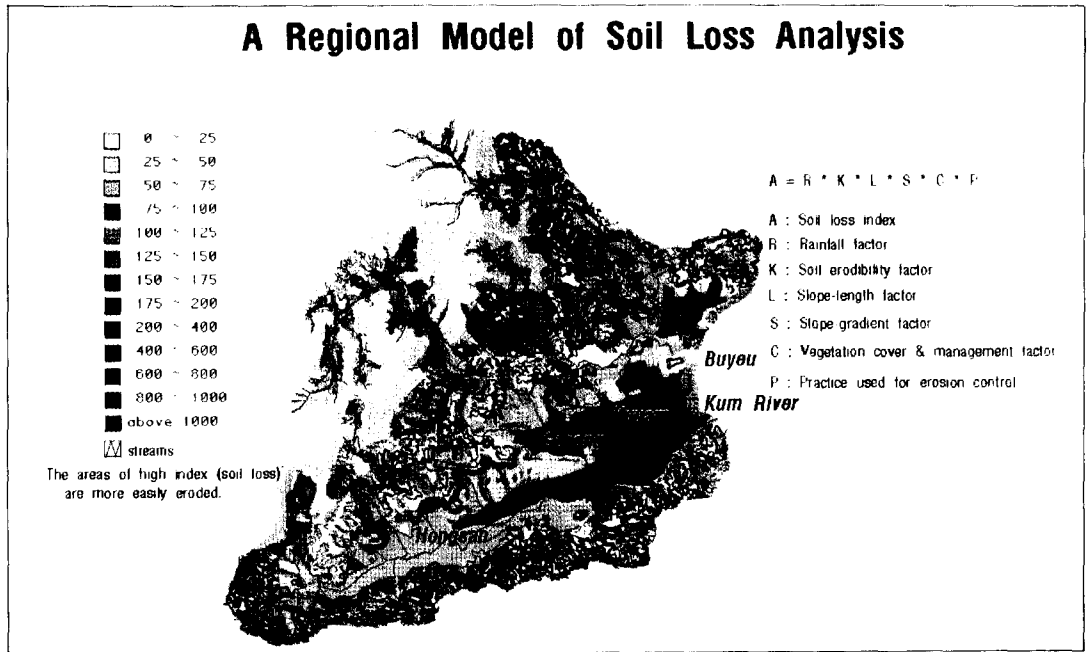


Fig. 4 A regional model of soil loss analysis (Buyeu area)



선(Fig.3)을 그린 후 변곡점들이 추출되었으며, 전체분포 면적중 약 85% 가 유실 계수 200 미만 지역에 분포하고 있다. 이러한 지역(규암면)들의 대부분이 실제로 중요한 토양 유실 지역임에도 불구하고 그값이 약간 낮은 이유(50-125)는 지형 경사(2%미만 : LS요소)와 농작물 경작형태(P요소)의 낮은 등급 때문이다. 최종 결과 분석도(Fig.4)는 전체 연구지역의 토양 침식에 따른 유실이 약간 심각하며(SLI : 100-400, moderate-high), 특히 산 하부지역의 경사 변곡점 등의 심한 토양 유실지역(SLI : 400이상 지역; 주황색-갈색 지역)들에 대한 적절한 방지 대책이 요구되고 있음을 보여주고 있다. 대상지역에서 토양 유실 공식 적용의 근본 목적은 실 토양 유실량의 산출이다. 그러나 금번 연구에서 사용된 토양 유실 계수는 대상지역들에 따른 상대적 수치이나, 전체적인 분석과 평가를 위해서는 실 유실량 계산보다 더 합리적으로 연구지역을 평가할 수 있다. 왜냐하면 실유실량 계산을 위해서는 토양 유실 공식 적용을 위한 각 요소들의 실제 정확도 평가와 분석에 많은 어려움이 따르기 때문이다.

## 결 론

토양 유실 분석을 위하여 수치 데이터베이스 시스템인 GIS의 활용은 분석에 대한 경제성은 물론 분석 과정의 자동화를 이룩하였다. 금번 연구를 통하여 개발된 토양 유실 계수(Soil Loss Index)는 분석의 단순화 및 환경요소들의 정량적 분석을 위해서도 아주 필요하며, 이러한 분석을 위해서는 결국 GIS의 이

용이 필연적으로 요구되고 있다. GIS의 응용 기술 연구는 앞으로 환경관리 분야에서 더욱 더 확대될 전망이며, 환경분석 전문가 시스템 개발이 시급한 실정이다. 금번 연구결과와 활용은 강, 호소 등에 대한 수질환경 개선 대책(비점원 오염 분석)은 물론 홍수 피해와 지질 재해 분석에도 이용될 수 있다. 본 연구는 당 연구그룹에서 현재 시행중인 환경지질도 작성 연구의 GIS 목적 도면이며, 동시에 백제 문화권 종합개발 계획의 중심지인 연구지역을 대상으로 종합 환경지질도 작성의 필요성이 대두되고 있다. 이러한 분석을 체계적, 종합적으로 시행하기 위해서는 국가 여러 기관들의 통일된 노력이 필요하며, 공동 노력에 의하여 완성된 통합 GIS 데이터베이스의 이용은 앞으로 본 지역에서 개발사업 시행중과 후의 시설물 관리 및 새로운 토지 이용 계획 등에 아주 유용하게 활용될 수 있다.

## 참 고 문 헌

- 김윤종의, 1994, 지반의 지질공학적 특성 분석을 위한 GIS 활용연구, 한국GIS학회지, 제2권 제1호, pp.39-46.
- 김윤종의, 1993, 수자원 관리와 보호를 위한 GIS 활용연구, 지질공학회지, 제3권 제3호, pp.253-266.
- 정밀토양도(부여군,청양군),1978, 농업진흥청, 농업기술연구소.
- Anderson,J.R., et al, 1976, A landuse and land cover classification system for use with remote sensor data, U.S.G.S. professional paper, 964.

- Donahue et al, 1983, Soils an introduction to soils and plant growth, 5th Edition, pp.421-439.
- Donovan,J.K., 1991, The U.S.EPA's Rangeland project : Intergration of GIS and a non point source pollution model, '91 ESRI(11th) user conference, Vol.2, pp.261-272.
- Hendrix,W.G, and Price,J.E., 1986, Application of GIS for assessment of site index and forest management constraints, GIS workshops, pp.263-272.
- Kreznor,W.R., Olson,K.R., and Johnson,D. L., 1992, Field evaluation of methods to estimate soil erosion, Soil Science, Vol.153, No.1, pp.69-81.
- Maidment,D.R., 1992, Handbook of hydrology, McGRAW-Hill Inc., pp.12/45-12/55.
- Mitchell,J.K., et al, 1993, Using an intergrated AGNPS/GIS system for validation of small watersheds, Hydro GIS '93, pp.141-151.
- Morgen,R.P.C., 1979, Soil erosion, Longman London & New York,pp.1-69.
- Wischmeier,W.H., and Smith,D.D., 1978, Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning, U.S. Department of Agriculture handbook No.537.
- U.S.D.A, 1975, Soil conservation service, Engineering field manual, pp.2-3 to 2-29.