

GIS 및 RUSLE 기법을 활용한 금호강 유역의 토양침식위험도 평가

박경훈^{1*}

Soil Erosion Risk Assessment of the Geumho River Watershed using GIS and RUSLE Methods

Kyung-Hun PARK^{1*}

요 약

본 연구는 유역규모에서의 토양침식위험도를 평가하기 위해서 GIS 및 수정범용토양유실공식(RUSLE)을 활용하였다. 토양유실량 예측공식인 RUSLE 인자를 생성하기 위하여 토지이용도, 지형도, 토양도, 그리고 강수량 등의 자료들을 사용하였고, 최종적으로 grid 기반의 10m 셀의 격자형 데이터로 구축한 RUSLE 인자들의 중첩분석을 통하여 연간 토양유실량을 예측할 수 있었다. 분석 결과에 따르면, 대상지의 83.5%는 연간 토양유실량이 1ton/ha 미만으로 비교적 낮은 것으로 나타났으나, 농업지역은 30% 이상이 연간 토양유실량 10ton/ha 이상으로 다른 토지이용에 비해 토양침식위험도가 상대적으로 높은 것으로 평가되었다. 따라서 이들 지역에 대한 철저한 현장조사를 토대로 토양침식의 위험도를 최소화하기 위한 토양보전계획의 수립이 필요하리라 판단된다.

주요어: 토양침식, RUSLE, GIS, 토지이용, 유역관리

ABSTRACT

This study integrates the revised universal soil loss equation(RUSLE) with a grid-based GIS method to assess the potential risk of soil erosion at the watershed scale. Data used in this study to generate the RUSLE factors include several thematic maps such as land use, topographic and soil maps, together with tabular precipitation data. Based on the RUSLE estimation for all the grids(10m cells) in the corresponding watershed, a cumulative histogram for the annual soil loss can be constructed. As the results, it shows that the 83.5% value of the annual soil loss for the watershed is less than 1ton/ha. However, the above 30% of agricultural land is defined as a medium or very high-risk area(more than 10ton/ha/yr). So it is necessary to establish soil conservation practices to

2003년 10월 16일 접수 Received on October 16, 2003 / 2003년 11월 22일 심사완료 Accepted on November 22, 2003

¹ 경북대학교 환경과학연구소 Environmental Science Institute, Kyungpook National University

* 연락처 E-mail: landpkh@hanmail.net

reduce soil erosion based on the field observations.

KEYWORDS: Soil Erosion, RUSLE, GIS, Land Use, Watershed Management

서 론

최근 들어 대규모의 택지조성을 위한 국토의 난개발 및 토지보상비용의 절감 등을 이유로 한 산림지역에서의 도로건설로 인하여 잠재적인 토양침식의 위험도가 더욱 높아지고 있다. 더욱이 기상이변에 따른 최근의 국지성 집중호우로 인해 유역내의 토사들이 하천이나 저수지, 댐 등에 퇴적됨에 따라 수로의 통수능이 저하됨에 따라 홍수범람을 비롯한 저수용량의 감소에 영향을 미치고 있다(이근상 등, 2003). 또한, 농경지에서 발생하는 토사는 인이나 질소와 같은 각종 오염물질 등이 흡착되어 강이나 하천, 저수지 등으로 유입되면서 수질 오염의 직·간접적인 원인으로 작용하고 있다. 이러한 토양침식은 과거에는 그 중요성을 인식하지 못했으나, 점차 환경에 대한 관심이 고조되면서 토양보전에 대한 대책 및 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 유역규모에서의 각종 환경압력요인으로 야기되고 있는 수환경의 악화를 해결하기 위한 대안으로 우리나라 주요 4대강 중심으로 오염총량관리제, 수변구역의 지정 등과 같은 유역관리정책이 적극적으로 추진되고 있는 시점에서, 수환경에 부정적 영향을 미치는 토양침식을 사전에 예측하고, 이에 따른 환경영향을 최소화하기 위한 연구의 필요성이 제기되고 있다(환경부, 2001).

유역규모에서의 토양유실량 예측을 위해서 GIS와 RUSLE의 활용성이 국내·외적으로 증대되고 있는데, 최근의 국내연구로서 김주훈 등(2003)은 금강의 무심천 유역을 대상으로 토양침식 위험지역을 분석하였고, 이근상 등(2003)은 토양침식량 산정에서 토양도 축척에 따른 적정 해상도 분석에 관한 연구를 실시하였고, 이진덕 등(2002)은 GIS를 활용하여 토양

유실에 따른 산사태 발생가능성을 보정하였다. 국외에서는 Shi 등(2003)은 중국을 대상으로 유역의 토양보전계획을 수립하기 위해서 RUSLE와 GIS 기법을 활용하였고, Christopher와 Chandra(1998)는 농촌유역의 농경지 및 산림관리를 위해서 RUSLE를 활용하여 토양유실량을 예측하였다. 한편, 토양유실량 예측을 위한 지형인자, 즉 경사도와 경사길이를 계산하는데는 많은 시간과 복잡한 과정을 필요로 하는데, 국내의 우창호와 황국웅(1998)은 다유하방향(multiple flow) 알고리즘을 이용한 USLE 지형인자의 자동계산방법에 관한 연구를 수행하였고, Remortel 등(2001)은 유역과 같은 광역적 공간규모에서의 토양유실량 예측을 위한 RUSLE의 지형인자를 자동계산하기 위한 프로그램을 개발하였다.

이와 같이 유역규모에서의 토양유실량 예측을 위한 RUSLE 모형의 유용성은 전술한 다양한 국내·외 연구사례에서 입증되고 있으나, 아직까지 30m의 공간해상력을 가지는 Landsat TM 영상자료에서 생성된 토지이용(피복)도 또는 축척 1:250,000의 개략토양도의 소속척 공간자료를 사용하거나, 수작업에 의한 지형인자의 계산 등과 같은 한계점들이 있다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 최근 유역관리정책이 활발히 추진되고 있는 낙동강의 제1지류이자, 주된 오염원으로 작용하고 있는 금호강 유역을 대상으로 토양유실량 예측 공식인 RUSLE 인자의 생성을 위한 공간정보를 grid 기반의 10m 공간해상력을 가지도록 구축하여 보다 정밀한 분석결과를 도출하도록 하며, 최종적인 금호강 유역의 토양유실량 예측을 토대로 소유역별 침식위험도를 평가하고자 한다.

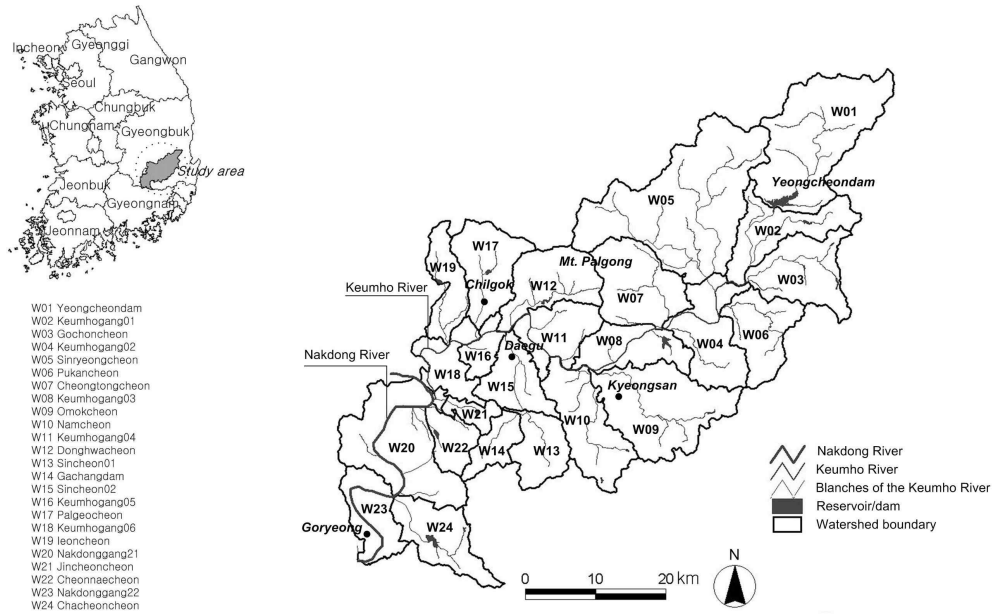


FIGURE 1. Geographical location of the study area

연구대상지 및 분석방법

1. 연구대상지

연구대상지는 그림 1과 같이 행정구역상 대구광역시와 경상북도 영천시, 경산시, 고령군 등에 위치하면서 낙동강 중류에 분포하는 24개 소유역으로 대상지의 중심을 흐르는 금호강은 포항시 죽장면 가사령에서 발원하여 약 118km를 흘러 달성군 화원읍에서 낙동강과 합류된다(대구지방환경청, 2000). 소유역 경계는 환경부에서 낙동강을 비롯한 주요 4대강 수계를 대상으로 구축한 배수구역도를 기준으로 금호강 본류 및 그 지류에 해당하는 19개의 소유역(W01~W19)과 낙동강 본류와의 합류지점에 위치하는 5개 소유역(W20~W24)으로 구분하였다. 대상지의 총면적은 약 2,577km²로 낙동강 유역(23,326km²)의 약 11% 정도에 해당하고, 소유역 크기는 하천 연장이 가장 긴 신령천 유역(W05)이 340km²(13.2%)로 가장 크고, 대구광역시 달서구와 달성군 화원읍에 위

치한 진천천 유역(W21)이 약 24km²(0.9%) 정도로 가장 작다.

2. 토양유실량 모형

농업지역의 토양유실에 대한 실험을 통하여 도출된 범용토양유실방정식(universal soil loss equation, USLE)은 Wischmeier와 Smith(1965)에 의해 처음 제안되었는데, 이 모형이 개발될 당시 강우에 의한 토립자의 이탈 및 운송에 의한 개념을 기초로 하여 강우에 의한 침식성에 보다 많은 연구가 집중되었다. 경사가 완만하고 경사길이 짧은 경우에는 강우에 의한 토립자의 이탈과정이 주요한 침식기작이 될 수도 있지만, 실제 유역에서는 이와 같은 환경만이 존재하는 것은 아니다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Renard 등(1996)은 USLE의 지표, 토양수분상태 등과 관련된 일부 인자를 보완하여 수정범용토양유실방정식(revised universal soil loss equation, RUSLE)을 제시하였으며, 그 방정식은 아래와 같다.

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

여기서, A: 토양유실량(ton/ha/yr), R: 강우침식인자, K: 토양침식인자, C: 식생피복인자, LS: 지형인자(경사도-경사길이), P: 침식조절인자

강우침식인자(R)는 연평균 강우의 침식능력으로서 강우의 시간적 분포와 특성으로부터 얻어진다. 강우에 의한 토양유실은 총 강우량과 강우강도로 표시되며, 특히 강우강도에 보다 많은 영향을 받는다. R값은 연평균침식도(mean annual erosivity, EI30)에 근거하여 계산되며, EI30은 강우가 지표면에 떨어질 때의 힘, 즉 운동에너지와 30분 동안 최대 강우량을 나타낼 때의 강도의 곱에 의해 좌우된다. 토양침식인자(K)는 토양침식에 영향을 주는 토양의 고유한 특성을 설명하는 인자로서 토양층의 미사, 모래함량, 토양구조, 유기물 함량, 투수성 등과 관련이 있다. 일반적으로 K값은 0~0.6 범위를 가지게 되는데, 그 값이 낮을수록 토양에 사질토 성분이 많고 투수성이 높다는 것을 의미한다. 지형인자(LS)는 경사길이(L)와 경사도(S)가 토양유실에 미치는 영향을 설명하는 인자로서 LS에 따른 단위구획당 예상되는 토양유실량의 비를 말한다. 경사길이는 초기 강우에 의해 흐름이 시작되는 지점으로

부터 경사가 충분히 작아져서 퇴적이 일어나는 지점까지의 거리, 혹은 유출이 뚜렷하게 나타나는 형태인 수로나 지류로 합류되는 지점까지의 거리이다. 식생피복인자(C)는 강우, 토양, 지형조건이 동일할 때 식생의 피복상태에 따른 토양유실량의 비를 말하는데, 일반적으로 식생은 강우의 충격으로부터 토양표면을 보호하고 강우에 의한 토양 유출을 감소시킬 수 있다. 침식조절인자(P)는 지형조건에 따른 경작지의 형태가 토양유실에 미치는 영향을 설명하는 인자로서, 경작지 형태는 주로 등고선 경작, 등고선 대상 경작, 계단식(terrace)으로 구분되고, 상향 경사에서의 토양유실량을 1로 하였을 때 토양보전농법을 적용하여 감소되는 토양유실량의 비율을 의미한다(Renard 등, 1996).

3. 데이터베이스의 구축

RUSLE 모형의 적용은 그림 2와 같은 과정으로 이루어지는데, 금호강 유역과 같은 광역적 공간규모에서 강우침식인자를 비롯한 5개 인자에 대한 공간 및 속성자료를 수집하고, 이를 통합적으로 분석하는데 상당한 시간과 노력이 요구된다.

따라서, 본 연구에서는 공간모델링과 광역환경의 해석 및 분석을 위해서 적극적으로 활

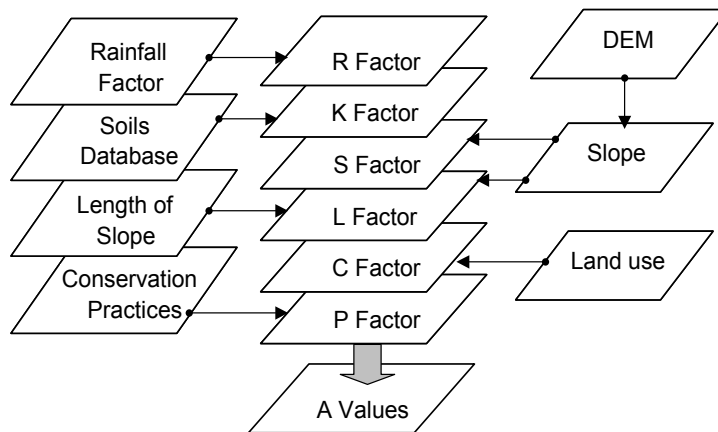


FIGURE 2. A database scheme for the RUSLE implementation in a GIS

용되고 있는데, GIS 기법을 활용하여 ArcInfo 8.1과 ArcView 3.0(ESRI Inc., 1999)에서 5개의 RUSLE 인자의 주제도를 동일한 10m 셀의 래스터(raster)형 데이터로 구축하고, 최종적으로 grid 모듈의 중첩기능에 이용하여 대상지의 토양유실량을 산출하였다.

TABLE 1. Data inventory for the RUSLE

Data layer	Data type	Scale
Land use	Vector	1:25,000
Slope	Raster	10m cell
Slope length	Raster	10m cell
Soils	Vector	1:25,000
Meteorological observatory	Point	1:25,000
Mean monthly rainfall	Text	1990~2001

토양유실량 예측을 위한 각 인자별 주제도를 생성하기 위해서 표 1에 제시된 공간 및 속성자료를 수집하여 데이터베이스화하였다. 먼저, 공간자료에는 각 인자별 주제도를 생성하기 위한 기본도로서 국립지리원에서 제작한 수치지형도(1:25,000)와 수치토지이용도(1:25,000), 농업과학기술원에서 제작한 수치정밀토양도

(1:25,000)가 있다. 지형분석은 수치지형도에서 10m 간격의 고도값을 가지는 등고선을 추출하여 불규칙삼각망(triangulated irregular network, TIN)으로 변환시킨 후, ArcInfo 8.1의 TINLATTICE 명령어를 이용하여 래스터 형태의 DEM(digital elevation model)자료를 생성하였다. DEM 자료는 LS 인자, 즉 경사길이와 경사도 인자를 생성하는데 활용하였다. 다음으로 강우침식인자 주제도를 생성하기 위해서 대상유역에 분포하는 기상청 및 한국수자원공사의 22개 관측소에 대한 위치정보와 각 지점별 1990~2001년도의 월평균 강우자료를 수집한 후 Microsoft사의 Excel 프로그램을 활용하여 데이터베이스화하였다.

분석 및 고찰

1. RUSLE 인자의 생성

1) 강우침식인자

강우침식인자(R)를 계산하기 위해서 요구되는 강우강도의 자료부족으로 정필균 등(1983)이 전국의 51개 기상 관측소에서 1960~1980

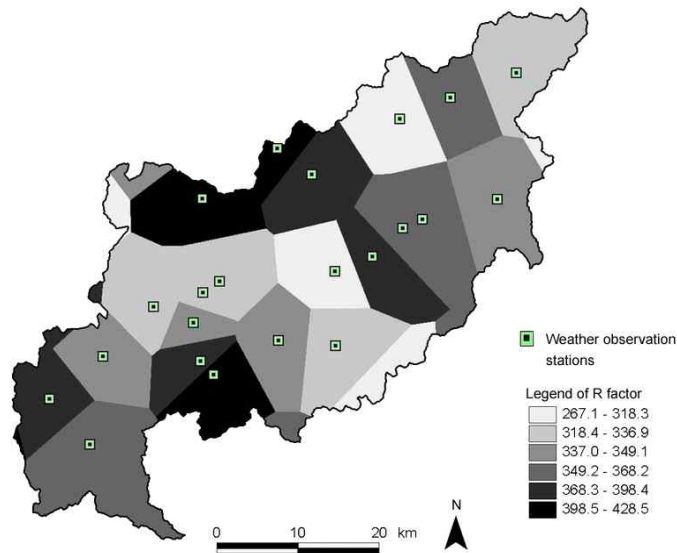


FIGURE 3. R-factor values of the study area

년대에 걸쳐 6~12년간의 강우자료에 의한 지점별 R값과 월평균 강우량의 회귀분석에 의해서 도출된 회귀식 $Y(\text{월평균 R값})=0.0378 X(\text{월평균 강우량})^{1.4190}$ ($r=0.78, p<0.01$)을 강우침식인자를 산출하는데 활용하였다. 연구대상지에 분포하는 기상청 및 한국수자원공사의 22개 관측소에서 1990~2001년까지 측정된 월평균 강우량자료를 수집하여 전술한 회귀식으로 월평균 R값을 계산한 후, 각 연도별로 1월부터 12월까지의 R값을 합산하고 이를 다시 평균하여 지점별 연평균 R값을 산출하였다. 최종적인 유역평균의 R값은 ArcInfo의 GRID 모듈에서 Thiessen 명령어를 사용하여 그림 3과 같이 지점별 R값을 속성값으로 하는 Thiessen 망도를 생성하였다.

2) 토양침식인자

토양침식인자(K)는 Wischmeier(1971)의 K값 추정도표를 이용하거나 Erickson(1997)의 삼각형 도표 및 보정표 등을 이용하여 계산할 수 있다. 본 연구에서는 한국건설기술연구원(1992)에서 제시한 토양통별 K값을 기준으로

하였다. 토양통별 K값은 수치정밀도양도(1:25,000)의 속성값으로 입력하여 그림 4와 같이 토양침식인자에 대한 주제도를 생성하였다. 대상지의 K값에 따른 면적과 구성비율을 살펴보면, K값 0.13 이하인 지역이 전체의 5.5% 해당하는 142.6km²이며, 0.14~0.26인 지역이 전체의 47%로 가장 많은 면적을 차지하는 것으로 나타났다. 한편, 0.53 이상으로 가장 높은 범위에 속하는 지역은 82.4km²로 전체면적의 3% 정도에 해당하는 것으로 나타났다(표 2).

TABLE 2. Area and rate from K factor categories

Range	Area(km ²)	Rate(%)
0.13 ≤	142.6	5.5
0.14 ~ 0.26	1,208.8	46.9
0.27 ~ 0.39	973.7	37.8
0.40 ~ 0.52	169.4	6.6
0.53 ~ 0.66	82.4	3.2

3) 지형인자

지형인자(LS)는 10m 셀의 DEM 자료를 입력자료로 하여 Remortel 등(2001)에 의해서 개발된 LS인자 AML(Arc Macro Language) 프

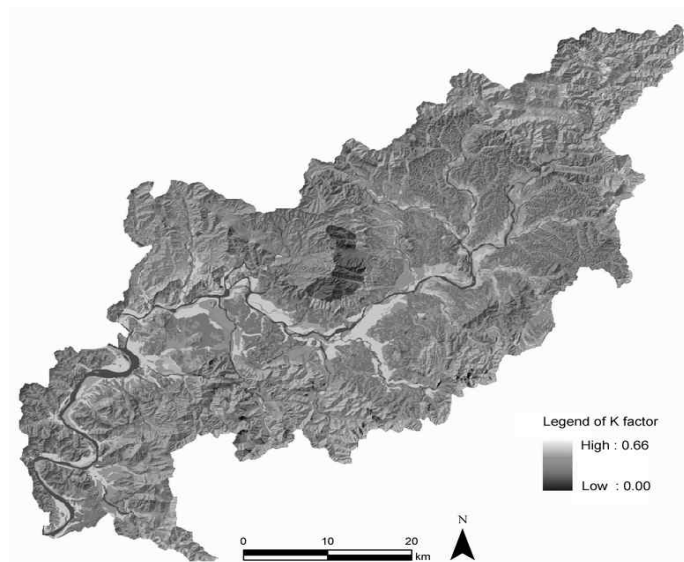


FIGURE 4. K-factor values of the study area

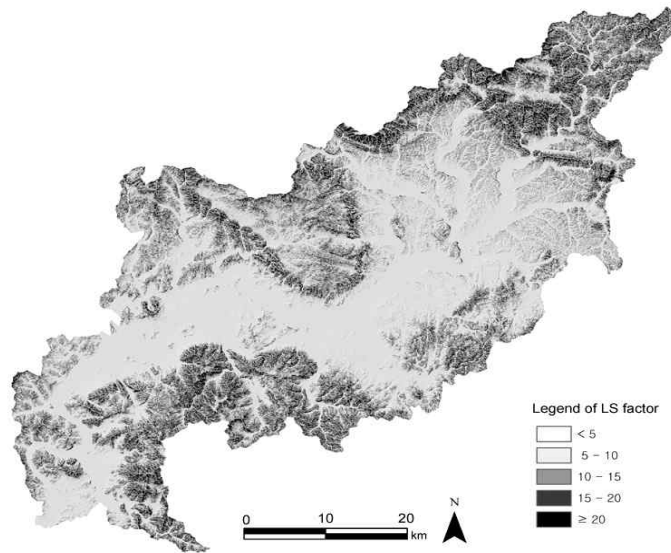


FIGURE 5. LS-factor values of the study area

로그를 사용하여 자동추출하였다. 경사길이(L)와 경사도(S)를 이용하여 생성된 LS 값은 표 3과 같이 10 이하인 지역이 전체의 71%에 해당하는 1,822km²로 평균 경사길이는 29.1m이고, 경사도는 10.7°로 나타났다.

한편, LS값이 40 이상으로 가장 높은 범주에 해당하는 지역은 평균 경사도 33.1°, 경사길이 437.7m로 지형적 특성에 따른 토양침식의 위험성이 상대적으로 높은 지역으로 도로건설 등과 같은 각종 개발사업시 지형적 영향을 충분히 고려해야 할 것으로 판단된다(박경훈, 2003).

TABLE 3. Area and rate from LS factor categories

LS factor values	Length (m)	Steepness (degree)	Area (km ²)	Rate (%)
< 10	29.1	10.7	1,822	70.7
10 ~ 20	93.7	26.8	580	22.5
20 ~ 30	174.6	30.5	153	5.9
30 ~ 40	286.4	31.8	20	0.8
40 ≤	437.7	33.1	2	0.1

4) 식생피복인자

식생피복인자(C)를 계산하기 위해서 국립지리원에서 제작한 수치토지이용도(1:25,000)를

이용하였으며, 토지이용형태는 경작지 및 식생 유형에 따른 영향을 반영하기 위해서 중분류(level II)를 기준으로 하였다. 각각의 토지이용형태별 C값은 국내·외의 관련문헌을 토대로 하여 표 4와 같이 지정한 후, 이 값을 토지이용도의 속성값으로 입력하여 식생피복인자에 대한 주제도를 그림 6과 같이 생성하였다.

가장 높은 C값을 가지는 나지는 전체 면적의 2.2%(55.8km²), 밭은 7.2%(185.3km²) 정도를 차지하는 것으로 나타났다. 한편, 산림 피복에 의한 침식방지효과가 가장 높은 것으로 밝혀져 있는 침엽수림의 C값은 0.004로서 전체 면적의 31.3%를 차지하고, 그 다음의 혼효림은 0.007로 전체 면적의 12.2%를 차지하는 것으로 나타났다. 지표면의 피복특성을 고려해 볼 때, 나지 또는 농경지와 같은 경우는 지형, 강우, 주변의 토지이용상태 등에 따른 토양침식의 발생위험도를 최소화할 필요성이 있다. 즉, 나지에는 침식을 최소화하기 위해서 초지를 조성하거나, 또는 농경지의 토양 내에 축적된 비료 등의 화학물질이 토사와 함께 하천으로 직접 유입되는 것을 차단할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

TABLE 4. C factor values from land use types

Land use types		Value	Area(km ²)	Rate(%)
Level I	Level II			
Forest	Coniferous	0.004	807.0	31.3
	Broad-leaf	0.009	454.7	17.6
	Mixed	0.007	313.7	12.2
Agriculture	Field	0.240	227.5	8.8
	Paddy	0.300	185.3	7.2
	Orchard	0.200	166.8	6.5
Grass	Park cemetery, pasture	0.050	2.9	0.1
Urban	Low density	0.002	93.3	3.6
	High density	0.001	17.1	0.7
	Industrial area	0.000	34.3	1.3
	Road/railroad	0.000	55.6	2.2
Barren	Mining, playground	1.000	55.8	2.2
Water	Stream, dam	0.000	92.6	3.6
Others		0.000	70.2	2.7
Total			2,576.8	100.0

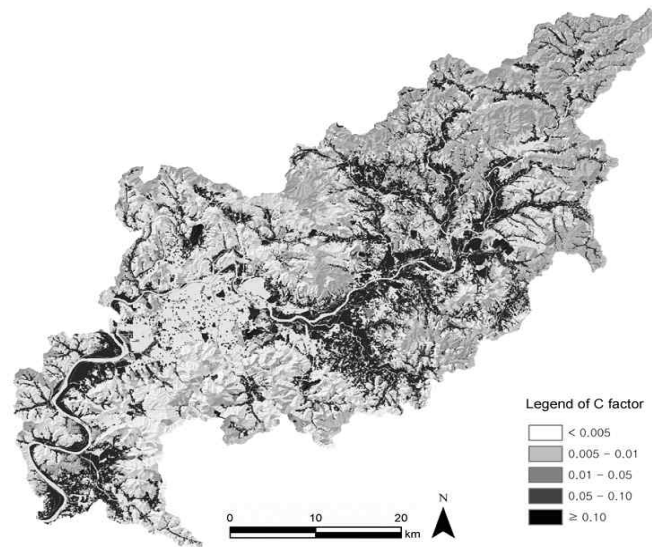


FIGURE 6. C-factor values of the study area

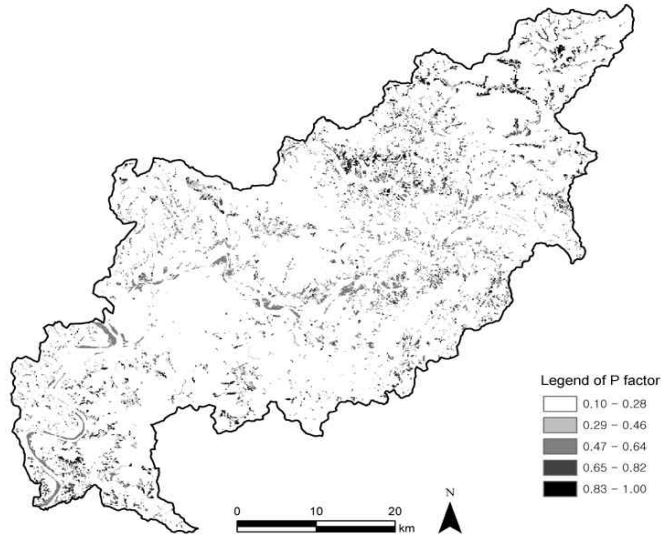
5) 침식조절인자

침식조절인자(P)는 농경지의 경작형태에 따른 토양침식의 영향을 평가하기 위한 것으로, 우리나라는 밭과 과수원은 주로 등고선을 따라 경작하므로 등고선 경작, 경지정리된 논은 대부분 계단식의 테라스 경작, 그리고 미경지

정리된 논은 등고선 대상경작의 형태를 가진다(Renard 등, 1996; 신계중, 1999; 이근상 등, 2001). 이러한 기준에 의해 농경지를 경작형태에 따라 분류한 후, 이를 경사분포에 따라 재분류하여 표 5와 같이 각 유형별 P값을 부여하였다. 침식조절인자의 주제도는 토지이용도

TABLE 5. P factor values according to slope and tillage patterns

Slope(%)	Cropland practices	P-value	Area(km ²)	Rate(%)
0.0~ 7.0	Terrace systems	0.10	106.2	25.7
	Contour strip cropping	0.27	3.7	0.9
	Contour tillage	0.55	1.2	0.3
7.0~11.3	Terrace systems	0.12	0.4	0.1
	Contour strip cropping	0.30	0.2	0.0
	Contour tillage	0.60	76.4	18.5
11.3~17.6	Terrace systems	0.16	13.3	3.2
	Contour strip cropping	0.40	12.4	3.0
	Contour tillage	0.80	8.3	2.0
17.6~26.8	Terrace systems	0.18	5.5	1.3
	Contour strip cropping	0.45	83.4	20.2
	Contour tillage	0.90	16.3	4.0
26.8 <	Terrace systems	0.20	24.8	6.0
	Contour strip cropping	0.50	29.9	7.2
	Contour tillage	1.00	30.9	7.5

**FIGURE 7.** P factor values of the study area

에서 추출된 농경지 및 경사분포도를 서로 중첩하여 표 5의 기준에 따라 P값을 부여하여 생성하였다(그림 7).

침식조절인자의 P값이 0.1 이하인 지역은 경사도 7% 미만의 계단식 경작지로서 전체 경작지의 25.7%(106.2km²)를 차지하는 것으로 나타났다. P값이 1.0 이상으로 경작형태에 따

른 토양침식의 위험도가 가장 높은 지역은 경사도 26.8% 이상의 등고선 경작형태를 가지며 전체 농경지의 7.5%에 해당하는 30.9km²로 나타나, 향후 경작형태의 개선을 통해 토양침식의 위험성을 최소화하는 방안이 고려될 필요성이 있을 것으로 사료된다.

2. 토양유실량 산정

금호강 유역의 토양유실량의 예측공식인 RUSLE을 적용하기 위해서 구축된 5개 인자들은 10m×10m의 격자형 자료형태를 가지며, 최종적인 연평균 토양유실량(A)은 ArcInfo의 GRID 모듈을 사용하여 산출되었다. 연속형 자료로 산출된 토양유실량을 시각적으로 구분이 용이하도록 표 6과 같이 5개 등급으로 구분하였으며, 공간적 분포패턴은 그림 8과 같다. 토양침식의 위험도에 따른 분류등급별 분포특성

TABLE 6. Derivation of the ordinal categories of soil erosion risk

Category	Numeric range (ton/ha/yr)	Area(km ²)	Rate(%)
Class I	< 1	2,150.9	83.5
Class II	1~10	239.8	9.3
Class III	10~30	78.3	3.0
Class IV	30~100	57.9	2.3
Class V	100 <	48.5	1.9

을 살펴보면, 토양유실량이 1ton /ha/yr 이하인 Class I은 전체면적의 83.5%에 해당하는 2,151km²로 나타났다.

Class II는 전체 면적의 9.3%에 해당하는 240km²로 공간적으로 낙동강 본류 및 금호강 중류 유역에 집중적으로 분포하며, 논농사 중심지의 농경지가 70% 이상을 차지하는 것으로 나타났다(그림 9). Class III은 전체면적의 3%에 해당하는 78.3km²이며, 밭이 60% 이상으로 가장 높고, 그 다음으로 논이 30% 정도를 차지하는 것을 나타났다. Class IV는 연평균 토양유실량이 30ton/ha이상인 지역으로 점유면적은 57.9km²로 전체의 2.3%에 해당하며, 토지이용패턴은 80% 정도가 밭이고, 나머지 20%는 논으로 구성되어 있는 것으로 나타났다. 공간적인 분포패턴은 대부분이 경사지에 분포하는 밭농사 지역으로 분석되었다. 마지막으로 토양유실량이 100ton/ha/yr 이상으로 가장 높은 Class V는 전체면적의 2% 정도에 해당하는 48.5km²로 나타났다.

한편, Morgan(1995)은 토양유실 추정치 10ton/ha/yr를 농업전문가들이 관심을 가져야 될 적절한 수준이라고 주장하였는데, 이를 수용하여 본 연구 대상지의 토양유실 예측치와 비교하면, 그 이상인 지역이 184.7km²이고 토지

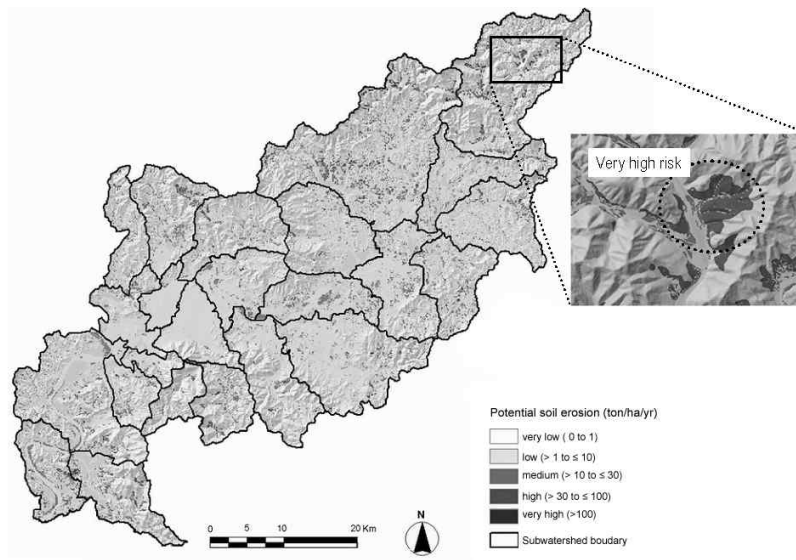


FIGURE 8. Predicted annual soil erosion by RUSLE

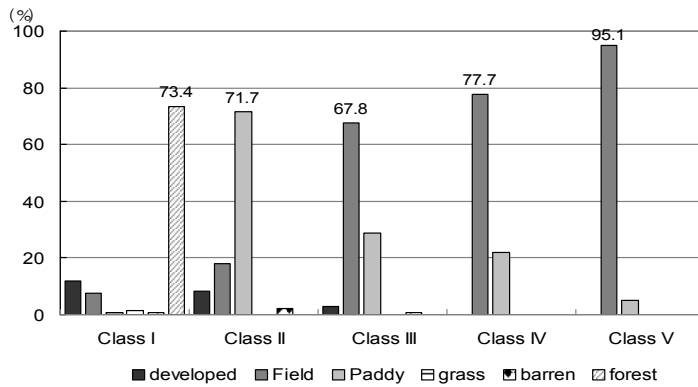


FIGURE 9. Distribution patterns of soil loss by land use types

이용패턴은 밭이 78% 이상을 차지하는 것으로 분석되었다. 물론, 이러한 토양침식위험도는 현장 조사를 통한 검증작업이 뒷받침되어야 할 것이며, 향후 도로건설을 비롯한 산림벌채, 농경지 경작 등에 따른 토양침식의 잠재적 위험도를 사전에 예측하거나, 이를 최소화하기 위한 대책을 계획단계에서 수립하는데 기초자료로 활용 가능하리라 판단된다.

3. 소유역별 토양침식 위험도평가

소유역별 토양침식 위험도를 평가하기 위해서 농업전문가들이 관심을 가져야 될 적절한 수준으로 제시되고 있는 토양유실량 10ton/ha/yr을 기준(Morgan, 1995)으로 그 이상인 지역의 면적률을 소유역별로 계산하였다. 소유역별 평가결과를 그림 10에서 살펴보면,

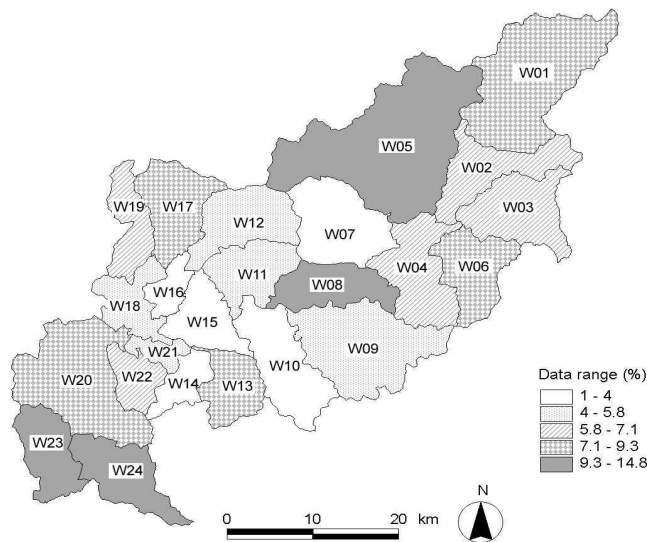


FIGURE 10. Proportion of subwatershed with potential soil loss greater than 10ton/ha/yr

낙동강 본류22 유역(W23)이 15%로 가장 높은 면적률을 가지는 것으로 나타났고, 그 외의 신령천 유역(W05), 금호강03 유역(W08), 차천천 유역(W24)이 10% 정도의 비율을 가지는 것으로 나타났다. 이와는 달리 가장 낮은 면적률을 보이는 소유역은 도시적 특성을 가지는 신천02 유역(W15), 금호강05 유역(W16) 등은 2% 미만의 면적률을 가지는 것으로 나타났는데, 이들 유역은 대부분이 평지 또는 완만한 지형으로 토양피복에 비해 인공포장면의 비율이 상대적으로 높아 토양유실량이 낮은 것으로 사료된다. 이상의 소유역별 평가결과는 토양환경, 특히 토양침식으로 야기되는 수환경의 악화를 최소화하기 위한 유역관리정책을 수립하는데 유용하게 활용될 수 있으며, 이를 현실화하기 위해서는 침식위험도가 높은 지역에 대한 현장조사를 실시하여 구체적인 대책마련이 필요할 것으로 사료된다.

결 론

본 연구는 오염총량관리제를 비롯한 유역관리제가 활발히 추진되고 있는 금호강 유역을 대상으로 토양침식에 따른 환경영향을 최소화하기 위해서 GIS 및 RUSLE 기법을 활용하여 토양유실량을 예측하였고, 이를 토대로 소유역별 토양침식 위험도를 효율적으로 평가할 수 있었다. 특히, 강우침식인자를 비롯한 RUSLE의 5개 인자들은 토양유실량 예측결과의 정확도와 상세한 정보제공을 위하여 grid 기반의 10m 공간해상력을 가지도록 하였고, 대상지의 광역성으로 인하여 상당한 시간이 소요되는 지형인자의 경사길이는 AML 프로그램을 활용하여 자동적으로 계산하는 것이 가능하였다.

RUSLE에 의한 토양유실량의 분석결과를 요약하면, 토양유실량 1ton/ha/yr 이하로 침식 위험도가 낮은 지역은 전체 대상지의 80% 이상을 차지하는 것으로 나타났고, 대부분 산림 또는 인공포장재로 피복된 도시지역으로 규명되었다. 이에 반해, 토양유실량 10ton/ha/yr 이

상으로 토양보전대책이 요구되는 지역은 전체 대상지의 7.2%(184.7km²)로 토지이용형태는 대부분 논·밭 등의 농경지에 해당하는 것으로 분석되었다. 특히, 토양유실량이 100ton/ha/yr으로 침식 위험도가 매우 높은 지역은 90% 이상이 밭농사 중심의 농경지가 차지하는 것으로 나타나, 향후 철저한 현장조사를 토대로 급경사지 또는 하천에 인접하여 분포하는 밭지역에 대해서는 경작방법의 개선, 친환경농법의 적용, 완충수림대의 조성 등과 같은 대책을 통해 토양침식에 따른 환경영향을 최소화할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

소유역별 토양침식 위험도를 평가한 결과에 따르면, 평지 및 완만한 지형으로 형성되거나 자연피복율이 높은 소유역들은 토양침식의 잠재적 위험도가 높은 지역이 비교적 적은 반면, 금호강과 낙동강이 합류된 후에 형성된 낙동강 본류, 신령천, 금호강03, 차천천 유역 등과 같이 농업지역의 점유율이 높은 소유역에 있어서는 토양유실량 10ton/ha/yr 이상인 지역의 면적률이 10~15%로 비교적 높게 나타나, 이들 소유역에 있어서는 토양침식방지를 위한 지속적인 관리가 요구된다고 하겠다.

한편 본 연구를 수행하면서 도출된 문제점과 향후과제로서, 먼저 유역규모에서의 토양유실량 예측을 위한 인자들의 적용값, 즉 식생피복인자(C), 침식조절인자(P)는 미국 농무성에서 제시한 값을 기준으로 하기 때문에 국내에서의 실험치를 통한 적절한 보정이 필요하며, 이와 함께 강우침식인자를 계산하는데 요구되는 강우강도와 같은 측정자료의 축적이 이루어져야 할 것으로 사료된다. 향후에는 토양침식의 위험도가 높게 나타난 지역, 특히 농경지를 중심으로 철저한 현장조사를 실시하여 토양침식으로 인해 질소나 인산 같은 영양염류와 영양성분과 같은 독성물질이 침식퇴적물에 흡착되어 수계로 유입되는 것을 사전에 차단하고, 각종 개발사업의 수행에 앞서 실시되는 사전환경성 검토에 있어서 급경사지의 농경지,

상수원보호구역, 하천 인접지역, 산불발생지역 등과 같은 환경민감지역에 대한 토양유실 또는 침식위험도 등이 평가항목으로 추가될 필요성이 있을 것으로 사료된다. **KAGIS**

참고문헌

- 김성준. 2001. 토양침식 및 유사운송 모델링. 농생명과학연구동향 1(2):9-17.
- 김주훈, 김경탁, 연규방. 2003. GIS를 이용한 토양침식 위험지역 분석. 한국지리정보학회지 6(2):22-32.
- 대구지방환경청. 2000. 금호강의 어제와 오늘 그리고 미래.
- 박경훈. 2003. GIS 및 RS 기법을 활용한 낙동강 유역의 통합환경평가. 경북대학교 박사학위논문. 149쪽.
- 신계중. 1999. 지형공간정보체계를 이용한 유역의 토양유실분석. 강원대학교 박사학위논문. 116쪽.
- 우창호, 황국웅. 1998. GIS를 이용한 USLE 지형인자(LS) 자동계산 방법에 관한 연구. 한국조경학회지 26(3):162-177.
- 이규성. 1994. 산림유역의 토양유실량 예측을 위한 지리정보시스템의 범용토양유실식(USLE)에의 적용. 한국임학회지 83(3):322-330.
- 이근상, 이환주, 임승현, 조기성. 2001. GIS를 활용한 토양침식모형에서 지형인자의 영향 분석. 측량 및 지형공간정보공학회지 21(4):545-554.
- 이근상, 장영률, 조기성. 2003. 토양침식량 산정에서 토양도 축척에 따른 적정 해상도 분석에 관한 연구. 한국지리정보학회지 6(3):1-10.
- 이진덕, 연상호, 김성길, 이호찬. 2002. 산사태 발생가능지 예측을 위한 GIS의 적용. 한국지리정보학회지 5(1):38-47.
- 정필균, 고문환, 임정남, 김기태, 최대웅. 1983. 토양유실량 예측을 위한 강우인자의 분석. 한국토양비료학회지 16(2):112-118.
- 환경부. 2001. 표토보전 및 침식(유실)방지 대책에 관한 연구.
- Christopher, C. and M. Chandra. 1998. Application of geographic information systems in watershed management planning in St. Lucia. Computers and Electronics in Agriculture 20(3):229-250.
- Erickson, A. J. 1997. Aids for estimating soil erodibility - K value class and soil loss tolerance. U.S. Department of Agriculture. Soil Conservation Service. Salt Lake City of Utah.
- Morgan, R.P.C. 1995. Soil erosion and conservation. Longman Group Ltd.
- Remortel, V.R., M. Hamilton and R. Hickey. 2001. Estimating the LS factor for RUSLE through iterative slope length processing of DEM elevation data. Cartography 30(1):27-35.
- Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool and D.C. Yoder. 1996. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation(RUSLE). USDA Agriculture Handbook No. 703.
- Shi, Z.H., C.F. Cai, S.W. Ding, T.W. Wang and T.L. Chow. 2003. Soil conservation planning at the small watershed level using RUSLE with GIS: a case study in the three of Gorge Area of China. CATENA(In press).
- Wishmeier, W.H. 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. Journal of Soil and Water Conservation 26:189-193.
- Wishmeier, W.H. and D.D. Smith. 1965. Predicting rainfall erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains. USDA Agricultural Research Service. Agricultural Handbook No.537. **KAGIS**
- 환경부. 2001. 표토보전 및 침식(유실)방지 대