

## GIS를 이용한 토양침식 위험지역 분석\*

김주훈<sup>1\*</sup> · 김경탁<sup>1</sup> · 연규방<sup>2</sup>

### Analysis of Soil Erosion Hazard Zone using GIS\*

Joo-Hun KIM<sup>1\*</sup> · Kyung-Tak KIM<sup>1</sup> · Gyu-Bang YEON<sup>2</sup>

#### 요 약

본 연구는 유역의 DEM 자료와 토양도, 토지이용도 등의 수치자료를 이용하여 유역에서 발생하는 토양유실량을 분석하고 이를 바탕으로 유역의 토양침식 위험지역을 분석하는 것을 목적으로 하고 있다. 토양유실량 분석을 위한 모형은 RUSLE를 이용하였으며, 연구대상유역으로는 금강의 제2지류인 무심천 유역으로 하였다. 수문자료는 청주관측소의 연평균 강우량 자료를 이용하였고, 지형특성에 관계된 자료는 환경부의 DEM, 농업과학기술원의 정밀토양도(1/25,000) 및 건설교통부의 토지이용현황도 자료를 이용하였다. 이들 수치자료를 이용하여 토양침식 위험지역 분석을 위한 주제도를 작성하였고, 유역의 토양유실량 및 침식 위험지역을 분석하였다. 분석결과 나대지 및 인공녹지 지역이 토양유실량이 많았으며, 산림지역의 경우에는 경사도가 토양유실에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. 침식위험지역에 대한 분석은 유역의 지면경사도가 20도 이상인 지역과 토지피복상태가 나대지 및 인공녹지로 분류되는 지역 중 약 8.5%인 193,730.3m<sup>2</sup>가 침식위험지역으로 나타났다.

주요어: GIS, 토양침식모형, 경사도, 침식위험지역

#### ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze soil erosion quantity of a basin by using DEM, soil map and landuse map and to find a soil erosion hazard zone in a basin based on this data. In this study, RUSLE was used to analyze soil loss quantity and the research area chosen is Mushim stream which branches off the Geum river. This study used a mean annual precipitation of Cheongju Meteorological Observation was used as a hydrological data and DEM, the detailed soil map(1/25,000), the landuse map collected respectively from Ministry of Environment, National Institute of Agricultural Science and Technology and Ministry of Construction and Transportation. The subject map was drawn to analyze

2003년 3월 27일 접수 Received on March 27, 2003 / 2003년 6월 2일 심사완료 Accepted on June 2, 2003

\* 본 논문은 수자원의 지속적확보기술 개발 사업단의 연구비로 연구되었음

1 한국건설기술연구원 수자원연구부 Water Resources Research Division, KICT

2 충청대학 건설환경시스템과 Department of Construction and Environmental System, Chungcheong College

\* 연락처 E-mail: jh-kim@kict.re.kr

soil erosion hazard zone by using the above data and maps. According to the results of the analysis, a lot of soil loss shows in a bare area. In case of a forest, a slope has a lot of influence on soil loss. The integration and analysis of the above gave the result that 193,730.3m<sup>2</sup> corresponding to 8.5% of the places of which the slope is over 20 degree in a bare area was found to have a higher chance of soil erosion.

**KEYWORDS:** GIS, RUSLE, Slope, Erosion Hazard Zone

## 서 론

세계 여러 지역에서 홍수와 토양침식은 매우 중요한 문제로 대두되고 있다. 침투홍수, 토양침식, 유사량 등에 대한 예측은 이러한 문제점을 이해하고 통제방법을 고안하여 홍수와 침식에 의한 위험요인을 줄이기 위한 방안을 만드는 데 필요한 것들이다. 홍수와 침식은 강우분포, 토양, 토지이용과 같은 많은 요인들에 의해 영향을 받는다. 이런 요인들은 시간과 공간에 의해 여러 가지 형태로 나타나며, 유역에서의 토양침식의 위험성을 예측하기 위한 방법으로 GIS 기법이 이용되고 있다.

GIS는 침식의 위험도나 침식량을 공간적으로 평가하여 제공할 수 있으며, 많은 연구자들은 토양침식 평가에서 DEM의 효용성을 입증하고 있다(Burrough, 1986; De Roo 등, 1989; Moore 등, 1992; 1993).

1980년대 GIS는 USLE나 USLE를 수정하여 토양침식량 계산에 이용하였으며(Jetten 등, 1988), Bork와 Hensel(1988)은 좀 더 광범위한 유역의 토양침식량을 평가하는데 GIS USLE 접근법을 이용하였다. Ferri와 Minacapilli(1995)는 USLE를 확대하여 유사이송항을 모델에 적용하여 유역으로부터 유출하는 유사량을 예측하고자 하였다. Saha(1996)는 ULSE인자에 대하여 각 인자별로 일정범위에 대하여 가중값을 주어 침식위험에 대한 평가를 한 바 있다.

국내의 토양유실에 대한 연구로는 김윤중 등(1994)은 토양유실에 대한 환경영향 평가 분석에서 GIS 및 USLE기법을 적용한 바 있으며, 이근상 등(2001)은 토양침식에 영향을 미

치는 인자를 GIS 공간분석기법을 활용하여 추출하였다. 우창호와 황국웅(1998)은 USLE의 LS인자 산정방법과 Quinn 등(1991)이 개발한 다유하방향(multiple flow) 알고리즘을 이용하여 지형인자의 자동계산 방법에 관한 연구를 수행하였다. 박무종과 김양수(2001)는 실무에서 적용 가능한 모형인 USLE, TRB, MUSLE, SLEMA, Morgan과 Finney 모형을 실 유역에서 토양유실량을 예측 비교하여 모형의 적용성을 검토하였으며, 손광익(2001a; 2001b)은 RUSLE와 MUSLE에 대하여 국내의 적용 가능성을 검토하였다. 오덕근 등(2002)은 확률강우량 자료를 이용하여 빈도별에 따른 강우-유출 침식성 인자를 산정하여 빈도별 토양유실량을 산정하였다.

본 연구는 무심천 유역의 DEM 자료와 토양도, 토지이용도 등의 수치자료를 이용하여 유역에서 발생하는 토양유실량을 산정하고, 이를 바탕으로 유역의 토양침식이 가장 많이 발생할 수 있는 지역을 분석하는 것을 목적으로 하고 있다.

## 연구대상 유역

연구대상유역으로는 금강의 제2지류인 무심천 유역으로 하였다. 무심천은 청원군에서 발원해 남서쪽으로 흐르다가 남일면 상대리에 서 북쪽으로 방향을 바꾸어 청주시내 한가운 데를 가로질러 미호천에 합류하는 전체 길이 34.5km, 유역면적 177.71km<sup>2</sup>의 지방2급 하천이다. 본 연구에서는 미호천과 합류하기 전인 금강홍수통제소의 수위관측소가 있는 지점(유역

면적 167.3km<sup>2</sup>)까지를 연구대상구역으로 하였다 (그림 1).

강우-유출 침식성 인자 산정을 위한 수문 자료는 청주관측소의 연평균 강우량 자료를 이용하였고, 지형특성 수치자료는 환경부의 DEM, 농업과학기술원의 정밀토양도(1/25,000) 및 건설교통부의 토지이용현황도 자료를 기본도로 하여 구역의 토사발생량 분석을 위한 주제도를 작성하였고, 이 분석된 자료를 이용하여 구역의 토양침식 위험지역을 평가하였다.

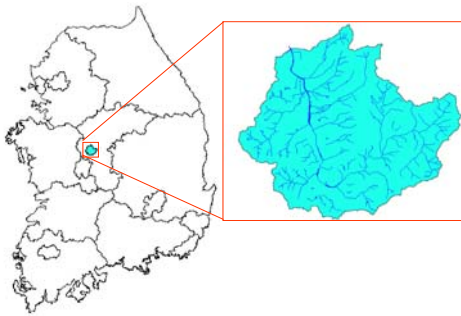


FIGURE 1. Location of study area

## 토양침식량 분석

USLE 모형은 농업지역의 토양유실량을 산정하기 위하여 Wischmeier와 Smith(1965)에 의해 강우에 의한 토립자의 이탈 및 운송에 의한 개념을 기초로 하여 처음 제안하였고, 1978년에 수정식을 제안하였다. 이 공식은 Wischmeier 등(1971)에 의해 건설 현장에 확대 적용되었다. USDA(1996)는 개발목장이나 삼림과 같은 실험 지점 이외의 토양조건에 대한 토사침식량 산정을 위해 기후인자의 수정, 계절적 변화에 대한 토양의 침식성 인자의 개발, 사면의 길이 및 경사에 대한 수정과 피복식생 인자를 산정하는 새로운 계산과정의 개발 등을 추가한 개정범용토양손실공식(RUSLE ;

revised universal soil loss equation)을 발표하였다.

RUSLE는 USLE의 방정식 구조를 그대로 사용하고 있지만 토양 유실의 형태가 변화되면서 각 인자들의 관계도 갱신되고 있다. 이 모형은 모의 강우와 실제 유출 자료 및 침식 이론으로부터 파생된 경험식이며, 광범위한 지역까지 적용될 수 있게 되었다.

USLE 및 RUSLE 식은 다음과 같다.

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

여기서  $A$ 는 강우-유출 침식성인자( $R$ )의 해당기간 중 단위면적에서 침식되는 토양유실량(ton/ha/yr),  $R$ 은 강우-유출 침식성인자(rainfall-runoff erosivity factor),  $K$ 는 토양수식성인자(soil erodibility factor),  $LS$ 는 지면특성인자(slope-length and steepness factor,  $L$ 은 침식 경사면의 길이,  $S$ 는 침식 경사면의 경사),  $C$ 는 식생피복인자(cover management factor)이며,  $P$ 는 토양보존인자(support practice factor)이다.

### 1. 강우-유출 침식성인자( $R$ )

강우-유출 침식성 인자는 강우사상(storm event)별 빗방울에 의한 타격에너지와 강우의 운동에너지(kinetic) 그리고 최대강우강도(maximum 30-minute rainfall intensity)에 의해 결정되는 인자이다. 강우-유출 침식성 인자를 산출하는 방법은 여러 방법이 있으나, 신계중(1999)의 연구에서 인용한 Toxopeus(1998)의 식은 다음과 같다.

$$R = 3.85 + 0.35 \times P \quad (2)$$

여기서,  $R$  = 강우-유출 침식성

$P$  = 연평균 강우량(mm/yr) 이다.

본 연구에서는 청주기상관측소의 연평균 강우량인 1,207.8mm/yr를 이용하여 산정하였다.

TABLE 1. *K*'s value of RUSLE for soil series

번호	토양통	<i>K</i> 값	세부분류(토양부호)	번호	토양통	<i>K</i> 값	세부분류(토양부호)
1	안릉	0.45	AnB, AnC, AnD, ArB, ArC, ArD	42	종곡	0.38	JFB, JFC
2	반천	0.30	BcB, BcC2	43	장산	0.27	JRF2, JZE2, JZF2
3	백산	0.30	BeB, BeC	44	파천	0.18	KcB
4	부곡	0.39	BqB	45	괴산	0.19	KDE2, KDF2, KQD2, KQE2, KQF2, KXF2
5	청산	0.29	CaE2, CaF2, CmF2	46	파림	0.40	KIF2, KzE2
6	칠곡	0.29	CGB, CGC	47	매곡	0.24	MoB, Moc
7	청원	0.28	Cw	48	미원	0.41	Mw, MwB
8	도산	0.07	DjE2, DjE3	49	낙동	0.38	Nd
9	대곡	0.30	DKB(DkB), DLB	50	남계	0.21	Ng, Ny
10	덕산	0.16	DpF2	51	뇌곡	0.21	NkB
11	덕천	0.36	Dq	52	납평	0.61	Np
12	대산	0.34	DvC2, DvD2, DvE2, DvF2, DXF2	53	옥천	0.31	OcB
13	덕평	0.45	Dy	54	오산	0.20	OnC2, OnD2, OnE2, OnE3
14	음곡	0.31	EgB, EgC, EoC	55	외산	0.29	OsE2, OsF, OsF2
15	감천	0.30	GcB, GcC	56	평창	0.24	PbE
16	강동	0.27	GdB, GdC	57	평택	0.58	Pt
17	관악	0.08	GeF2, GnE2, GnF, GnF2	58	풍천	0.21	PuB,PxB
18	금곡	0.26	GmB, GmC	59	상주	0.23	SAB, SAC, SuB, SuC
19	고평	0.35	GpB	60	사촌	0.26	ScC, ScD, SfB, SfC
20	가천	0.34	Gq	61	석천	0.53	SE
21	극락	0.31	Gr	62	삼가	0.26	SgC, SgC2, SgD, SgD2, SgD3, SgE2, SgE3, SgE4, SgF2, Smd2, Smd3, Sme2, Sme3, SmF2, SmF3, SVE2, SVF2, SVF3
22	강서	0.53	Gt	63	신흥	0.51	Sh
23	규암	0.55	Gy	64	수계	0.34	Sk
24	고천	0.30	Gz	65	신답	0.09	Sn
25	함창	0.54	Ha	66	송산	0.31	SND2, SNE2, SNF2, SRF2
26	화동	0.33	HdB, HdC, HdB	67	수북	0.18	SpB
27	회곡	0.23	HEB, HEC	68	수암	0.25	SqB, SqC, SqD
28	화봉	0.27	Hf, Hw	69	석토	0.24	StC, StD
29	호계	0.43	HgB	70	성산	0.31	SzB(SZB), SzC(SZC)
30	함창	0.54	Hh	71	우곡	0.38	UoB
31	황룡	0.26	Hk, Hr	72	방곡	0.46	VaB, VaC
32	하모	0.06	HmB(HMB)	73	원곡	0.45	WaB, WaC
33	화수	0.35	HT	74	월곡	0.30	WoB, WoC
34	흑석	0.51	HXB, HXC, HXD	76	예산	0.30	YaC2, YaD2, YaE2
35	학곡	0.17	HYB	77	연곡	0.41	YcB, YcC, YgB, YgC
36	입곡	0.33	IgB	78	예천	0.39	YdB, YdC, YeB
37	이현	0.63	Ih	79	용지	0.35	YjB, YjC
38	진목	0.45	JBB, JBC	80	용곡	0.28	YxB
39	장천	0.13	Jc	81	지곡	0.11	JoB, JoC
40	중동	0.43	Jd	82	지산	0.31	JiB, JiC
41	제천	0.50	JEB, JEC, JED				

## 2. 지형특성인자

### 1) 토양침식성 인자(K)

토양침식성인자는 토양이 강우에 의한 침식에 대해 저항하는 능력을 나타내는 척도로써, 토양입자 및 분포, 구조, 공극크기, 유기물 함량 등에 관계된다. 이 인자는 토양의 물리·화학적 성질에 따라 좌우되는데 K값의 측정은 22.1m 길이와 9%의 경사도를 가진 기본 모형이 기준이 되어 측정되었다(Wischmeier와 Smith, 1978). 토양유실에 영향을 미치는 두 가지 중요한 물리적 특성은 투수 능력과 토양 입자의 구조적인 안정성이다. 투수능력은 입자의 구조적인 안정성에 의해 가장 크게 영향을 받으며, 유기물 함량, 토양조직, 점토광물의 함량과 종류, 토양의 깊이, 지표면의 기복 등도 투수 능력에 영향을 미친다.

토양침식인자 값은 Wischmeier의 K값 추정도표를 이용하거나 Wischmeier와 Smith/Erickson(1978)의 삼각형 도표 및 보정표 등을 이용하여 추정할 수 있다.

그림 2(a)는 연구 대상유역인 무심천 유역에 대한 토양침식성 인자를 나타낸 것으로 이 자료는 1/25,000의 정밀토양도(농업과학기술원)를 이용하여 구축한 자료이다. 이 정밀토양도를 이용하여 토양의 침식에 대한 저항력을 나타내는 지표인 토양침식성인자를 토양통에 따라 Wischmeier 방법으로 적용하였다. 무심천 유역은 총 82개 토양통으로 각 토양통별 K값은 표 1에 나타내었다.

### 2) 사면경사인자(S)

지형학적 특성을 나타내는 인자는 세류 및 세류간 침식에 미치는 영향을 반영하고 있는 무차원 인자 L과 S를 이용하여 산정한다. 사면경사인자 S는 사면경사가 토양손실에 미치는 영향을 예측하는데 활용된다. 사면의 길이가 15ft 이상인 경우에 대하여 S 인자는 식 (3)와 (4)를 통해 산정된다.

$$S = 10.8 \sin \theta + 0.03, \sin \theta < 0.09 \quad (3)$$

$$S = 16.8 \sin \theta - 0.5, \sin \theta \geq 0.09 \quad (4)$$

여기서  $\theta$  는 사면경사각이다.

사면경사가 84%까지 교란된 토양에 대한 S에 대해서도 식 (4)의 적용이 가능하다는 연구결과가 있다. 반면 사면길이가 15ft 미만인 경우 세류작용이 발생하지 않기 때문에 S와 사면경사와의 상관관계는 미약하며 이 경우의 관계식은 식 (5)로 이루어진다(Renard, 1996).

$$S = 3.0(\sin \theta)^{0.8} + 0.56 \quad (5)$$

### 3) 사면길이인자(L)

사면길이 인자의 산정공식은 USLE의 식 (6)과 같이 동일하게 유지된다.

$$L = \left( \frac{\lambda}{22.1} \right)^m \quad (6)$$

여기서  $\lambda$ 는 m단위의 평면에 투영된 사면의 길이이며, 상수 22.1은 표준 침식밭의 미터 단위 길이이다. m은 식 (7)과 같이 세류 및 세류간 침식비  $\beta$ 와 관련이 있다.

$$m = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad (7)$$

$$\beta = \frac{11.16 \sin \theta}{3.0(\sin \theta)^{0.8} + 0.56} \quad (8)$$

RUSLE에서의 토양은 침식가능성이 미약한 토양, 보통인 토양, 강한 토양으로 구분하고 있으며 보통의 경우 식 (8)을 이용하여  $\beta_{mod}$ 를 구할 수 있다. 침식가능성이 미약한 토양의  $\beta$ 는  $2.0\beta_{mod}$ 이다.

본 연구에서는 지형특성인자 LS값을 사면경사인자(S)와 사면길이인자(L)로 구분하여 산정하였다. DEM 자료로부터 각 격자별 경사각을 추출하여 식 (4)와 (5)에 의해 사면경사인자(S)를 산정하여 그림 2(c)와 같이 도시하였다.

사면길이인자(L)의 경우는 식 (7)의  $\lambda$ 값을 격자길이 30m로 적용하였으며, 각 격자별 경

사각에 따른 식 (7)의  $m$ 값과 식 (8)의  $\beta$ 값을 산정함으로써 각 격자별 사면길이인자( $L$ )를 그림 2(b)와 같이 나타내었다.

#### 4) 식생피복인자( $C$ )

식생피복인자는 경작의 종류와 식생의 상태 즉, 지표침식을 제어하는 요인인 지상식물의 크기, 지표면 부근의 상태, 지하의 식물 뿌리, 지표면 조도, 토양의 함수량 등에 따라서 달라지는 피복인자로 지상(above-ground) 효과, 지표(surface) 효과, 지표하(below-ground) 효과를 포함한다.

지상효과는 나무와 같은 키가 큰 식물들이 강우를 차단하여 강수입자의 낙하 에너지를 흡수한다. 차단된 물은 나무의 줄기를 타고 흘러 내려가거나 나무로부터 지상으로 떨어진다. 이는 토양의 침식을 저감시킨다. 강수입자의 낙하에너지에 의한 토양에의 충격과 유출로부터 발생하는 지표면의 전단응력에 대한 지표면 피복의 영향은 지표효과에 포함된다. 즉 지표효과는 유출수의 침식토사의 운반능력에 대한 지표조건의 영향을 포함하는 것이다.

지하효과는 토양중의 식물 뿌리와 그 밀도, 토양의 다짐도, 토양의 치밀도, 선행지표상태, 토양의 함수량 등이 침식에 미치는 영향을 포함하는 것으로서, 이러한 특성이 계절에 따라 변화하므로 정량화하는 것이 매우 어렵다.

식생피복인자 값의 비율은 식생이 성장하기 전의 나대지와 같은 지역에서는 약 1.0으로 높은 값을 가진다. 그러나 산림이 밀집된 지역이나 곡물의 밀도가 높은 지역에서는 0.1이하로 낮은 값을 갖는다. 신계중(1999)은 논외의 경우 0.3, 밭은 0.4, 산림은 0.1, 초지는 0.2, 그리고 물이나 시가화지역은 0으로 제시하고 있다.

식생피복인자는 건설교통부/한국건설기술연구원에서 구축한 토지이용현황도를 이용하여 토지이용별 적용 매개변수를 신계중(1999)의 연구내용을 인용하여 적용하여 그림 2(d)와 같이 나타내었다.

#### 5) 토양보존인자( $P$ )

토양보존인자는 어떤 토양보존대책을 세운 사면의 상·하 방향 경사지로부터의 토양보존 대책에 대한 토양유실의 비로 정의한다. 이것은 등고선 경작, 등고선 대상재배, 등고선 단구효과, 지표하 배수, 건조한 농경지의 조도의 효과를 평가하기 위해서 사용된다.

토양보존대책을 수립한 사면의 상하방향 경사지로부터의 토양유실과 아무 대책이 없는 토양 유실량의 비로 정의된다. 경작지 형태에는 등고선 경작, 등고선대상경작, 테라스 경작 등이 있으며, 침식을 통제할 수 있는 중요한 요소로 해석되고 있다. 경작인자는 경작지 형태와 더불어 경사에도 영향을 받게 된다. 국립방재연구소(1998)는 다음과 같이 경작지 형태와 경사도에 따라 구분하여 제시하였다.

토양보전인자는 DEM 자료를 분석한 사면 경사인자( $S$ )와 토지이용현황도를 이용하여 국립방재연구소(1998)에서 제시한 자료를 이용하여 그림 2(e)와 같이 나타내었다.

TABLE 2.  $P$  value of RUSLE

지면경사(%)	등고선 경작	등고선대상 경작	테라스 경작
1~3	0.6	0.30	0.12
3~9	0.5	0.25	0.10
9~13	0.6	0.30	0.12
13~17	0.7	0.35	0.14
17~21	0.8	0.40	0.16
21~25	0.9	0.45	0.18

### 3. 토양유실량 분석

유역에 대한 토양유실량 분포는 그림 3에 나타난 바와 같다. 무심천 유역에서 토양유실량 분석결과 최고 토양유실량은 839.2ton/ha·yr이고 평균 14.8ton/ha·yr이 토양유실량으로 추정되었다.

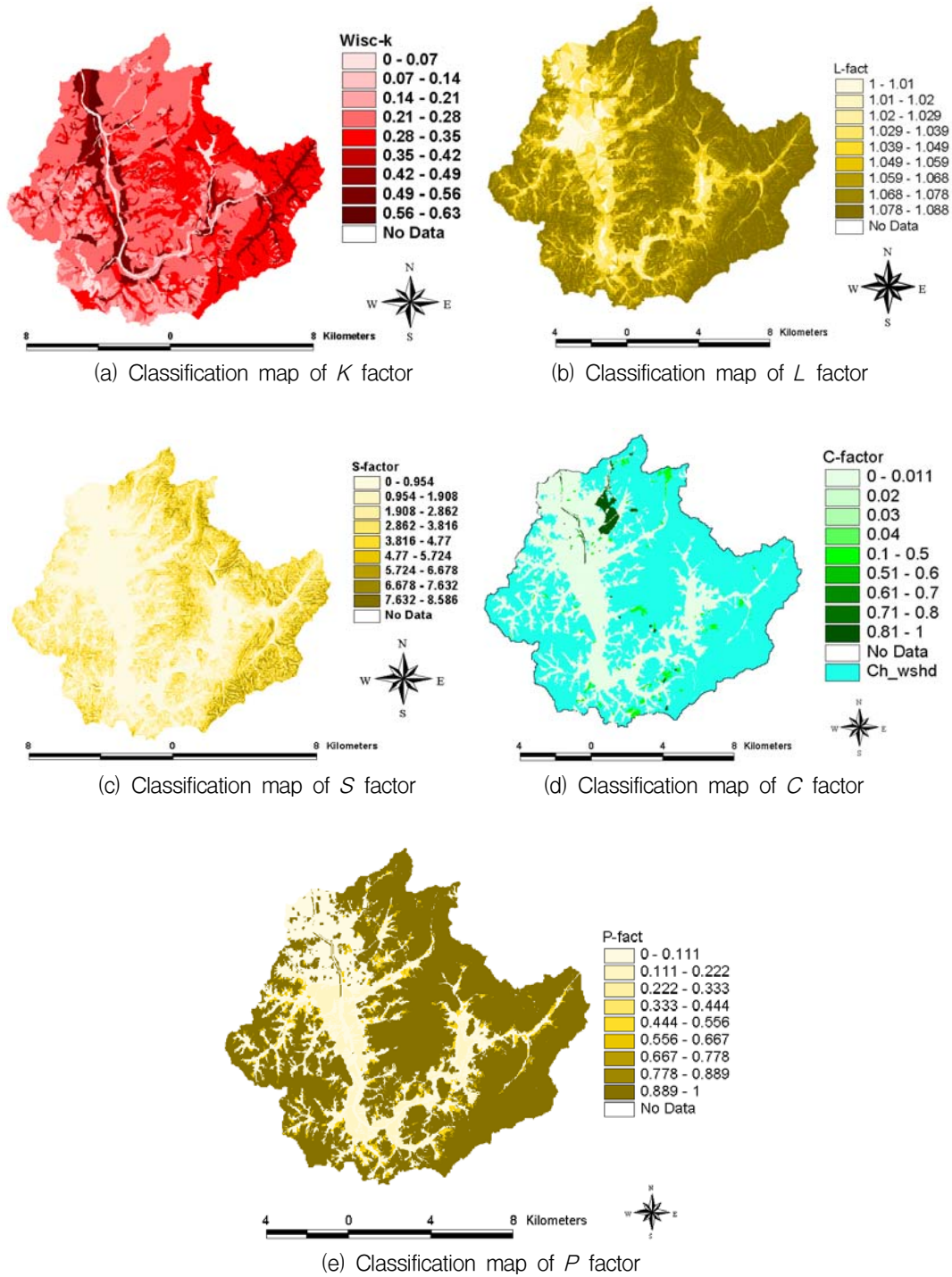


FIGURE 2. Thematic maps of RUSLE factors

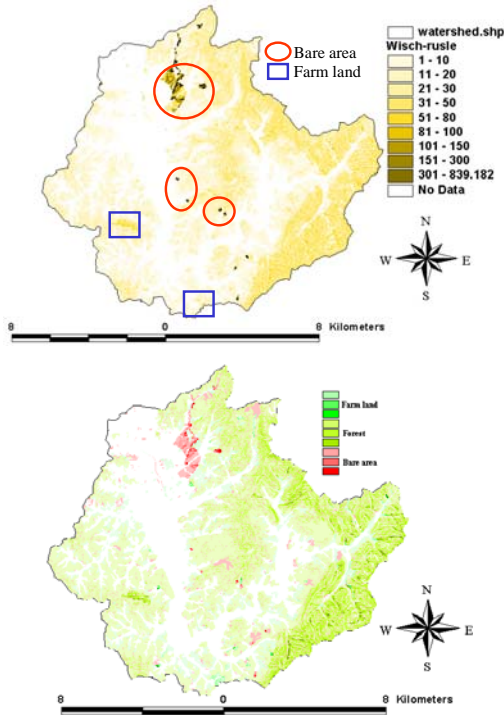


FIGURE 3. Quantity map of soil losses

그림 3에서 왼쪽 그림은 유역의 토사발생량 분포를 나타낸 것이고, 오른쪽 그림은 나대지, 산림지역, 그리고 과수원과 목초지의 세 개 토지이용에 따른 토사발생량 분포를 나타낸 것이다. 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 나대지, 산림지역, 그리고 과수원 목초지 등의 경작지 지역에서 대부분의 토사가 발생하고 있음을 알 수 있다.

산림지역에서의 토양유실량 분포는 그림 4에

서 보는바와 같이 유역의 지표면 경사(그림 5)가 크게 나타나는 지역이 토사가 많이 발생하는 지역으로 나타나고 있으며, 산림지역의 토사발생량의 크기와 지면경사도의 크기가 같은 형태로 나타나고 있어 지면경사의 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

토지이용형태별 최대 토양유실량 및 평균 토양유실량은 표 3과 같다.

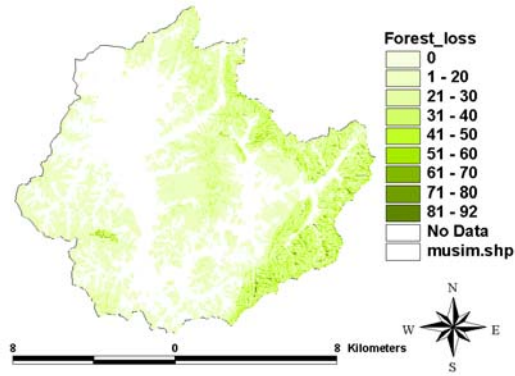


FIGURE 4. Soil losses in forest

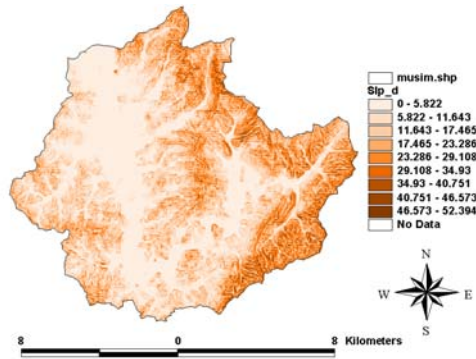


FIGURE 5. Slope gradient in watershed

TABLE 3. Soil losses for each land use

토지이용현황	최대토양유실량 (ton/ha · yr)	평균토양유실량 (ton/ha · yr)
산림지역	91.849	21.694
과수원, 목초지 등	108.682	6.444
나대지 및 인공녹지	839.2	125.725
전체유역	839.2	14.8



## GIS를 이용한 침식위험지역 분석

그림 3의 토사 발생량 분포에서 토사발생이 크게 나타나는 지역은 표 3과 같이 나대지 및 인공녹지지역으로 나타났다. 이 지역에서의 평균토양유실량은 다른 토지이용현황도의 최대토양유실량보다 더 많은 토사가 발생하는 것으로 분석되었다. 따라서 지면의 피복상태나 경작지의 경작상태에 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

토사가 가장많이 발생하는 나대지 및 인공녹지 지역 중에서 지면 경사도가 20도 이상인 면서 토사 발생량이 300ton/ha·yr 이상 발생하는 지역을 조사한 결과 면적이 193,730.3m<sup>2</sup>으로 분석되었다. 이는 나대지 및 인공녹지 면적 2,266,162.1m<sup>2</sup>의 8.5%에 해당하는 면적이다. 본 연구에서는 위와같은 결과를 바탕으로 그림 6과 같이 지면피복상태가 불량한 지역(나대지 지역)과 지면 경사도가 20도 이상인 지역을 침식위험지역으로 판단하였다.

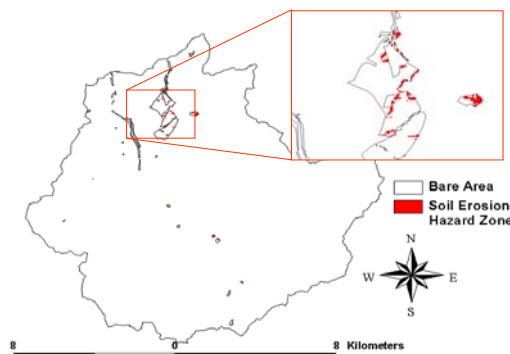


FIGURE 6. Soil erosion hazard zone

## 결 론

본 연구는 토양침식 모형인 RUSLE를 이용하여 토양유실량 및 토양 침식 위험지역을 분석하는 것을 목적으로 하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. RUSLE 모형의 입력자료 중 토지이용상태, 토양의 구성, 그리고 지면기복상태 등의 자료는 DEM과 토양도, 토지이용현황도를 이용하여 분포형으로 5개의 인자에 대하여 GIS 기법을 이용하여 주제도를 작성하였다.
2. 작성된 주제도와 유역의 연평균 강수량 자료를 이용하여 토양유실량 분포도를 작성하였다. 분석결과 대부분의 토양유실이 발생하는 지역은 나대지 및 인공녹지, 밭작물 재배지역, 산림지역에 해당하는 지역에서 토양유실이 발생하고 있다.
3. 토양유실량 분석에서 나대지와 같은 토지피복상태(C) 및 밭작물 재배지역의 지면경사에 따른 경작지 이용상태(P) 등의 인자가 토양유실에 많은 영향이 있는 것으로 나타났다. 따라서 RUSLE 및 USLE 모형 적용시 C 및 P 인자에 대한 적용에 더 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.
4. 산림지역의 토양유실량 분석에 있어서 지면 경사도가 토양유실에 크게 기여하는 것으로 분석되었다.
5. 침식지역에 대한 분석결과 나대지 및 인공녹지가 가장 많은 토양유실량이 발생하였으며, 이들 지역 중에서 지면경사도가 20도 이상인 지역인 8.5% 정도가 침식위험이 큰 지역으로 분석되었다.

## 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 1-2-1)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 국립방재연구소. 1998. 개발에 따른 토사유출량 산정에 관한 연구(I). 313쪽.
- 김윤중, 김원형, 유일현, 이석민, 민경덕. 1994.

- 금강유역 토양 유실 분석을 위한 GIS응용 연구. 한국GIS학회지 2(2):165-174.
- 박무중, 김양수. 2001. 개발지역에서의 토사발생규모와 모형의 적용성 연구. 한국수자원학회논문집. 34(1):3-17.
- 손광익. 2001a. 해외 토사유출량 산정공식의 국내 적용성 검토(I) - RUSLE를 중심으로. 한국수자원학회 논문집 34(3):199-208.
- 손광익. 2001a. 해외 토사유출량 산정공식의 국내 적용성 검토(II) - MUSLE를 중심으로. 한국수자원학회 논문집 34(3):209-216.
- 신계중. 1999. 지형정보체계를 이용한 유역의 토양유실 분석. 강원대학교 박사학위논문.
- 오덕근, 김주훈, 심순보. 2002. GIS를 이용한 유역 토양유실량 분석(II). 대한토목학회 논문집 22(4-B):421-428.
- 우창호, 황국웅. 1998. GIS를 이용한 USLE 지형인자(LS) 자동계산 방법에 관한 연구. 한국조경학회지 26(3):162-177.
- 이근상, 류성곤, 김지은, 장영률. 2001. GIS 공간분석기법을 활용한 토양침식 잠재성 평가. 한국GIS학회 학술대회논문집.
- Bork, H.R. and H. Hensel. 1988. Computer-aided construction of soil erosion and deposition maps. Geol. Jahr. A104:357-371.
- Burrough, P.A. 1986. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Clarendon Press, Oxford. 193pp.
- De Roo, A.P.J. 1998. Modelling runoff and sediment transport in catchment using GIS. Hydrological Process 12:905-922.
- De Roo, A.P.J., L. Hazelhoff and P.A.Burrough. 1989. Soil erosion modelling using 'ANSWERS' and geographical information systems. Earth Surface Process and Landforms 14:517-532.
- Ferri, V. and M.Minacapilli, 1995. Sediment delivery processes at the basin scale. Hydrological Science Journal 40:703-717.
- Jetten, V., E.J. Henkens and S.M. De Jong. 1988. The Universal Soil Loss Equation. Version 1.0, release 1.0, distributed. Department of Physical Geography, Utrecht University, The Netherlands.
- Moore, I.D., A.K. Turner, J.P. Wilson, S.K. Jenson and L.E. Band. 1993. GIS and land-surface-subsurface process modelling. In: M.F.Goodchild et al.(eds), Environmental modelling with GIS. pp. 213-230.
- Moore, I.D., P.E. Gessler and G.A. Nielsen. 1992. Validation of AGNPS for small watersheds using an integrated AGNPS/GIS system. Paper No. 92-2532. ASCE. 14pp.
- Quinn, P.F., K.J. Beven, P. Chevallier and O. Planchon. 1991. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models. Hydrological Processes 5:59-79.
- Saha, S.K. 1996. Integrated use of remote sensing and GIS for soil erosion hazard modeling - A case study. <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1996/ss/ss1005.shtml>
- TRB. 1980. Design of sedimentation basins. National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice No.70, Transport Research Board.
- USDA. 1996. Predicting soil erosion by water : A guide to conservation planning with the RUSLE. Agriculture Handbook No.703.
- Wischmeier, W.H., C.B. Johnson and B.V. Cross. 1971. A soil erodibility nomograph for farm and conservation sites. Journal of Soil and Water Conservation 26(5):189-193.

Wischmeier, 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.

Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978.  
Predicting rainfall erosion losses. USDA  
Agricultural Handbook No. 282. [KAGIS](#)