

분포형 토양침식지도를 이용한 한강상류지역 토양유실 위험성 평가

박찬원 · 손연규* · 장용선* · 홍석영 · 현병근 · 송관철 · 하상건 · 문용희

농촌진흥청 국립농업과학원 토양비료관리과

Soil Erosion Risk Assessment in the Upper Han River Basis Using Spatial Soil Erosion Map

Chan-Won Park, Yeon-Kyu Sonn*, Yong-Seon Zhang*, S. Young Hong, Byung-Keun Hyun,
Kwan-Cheol Song, Sang-Keun Ha, and Young-Hee Moon

Division of Soil & Fertilizer Management, NAAS, RDA, Suwon, 441-707, Korea

This study was conducted to evaluate soil erosion risk with a standard unit watershed in the upper Han river basin using the spatial soil erosion map according to the change of landuse. The study area is 14,577 km², which consists of 10 subbasins, 107 standard unit watersheds. Total annual soil loss and soil loss per area estimated were 895×10^4 Mg yr⁻¹ and 6.1 Mg ha⁻¹ yr⁻¹, respectively. A result of analysis with a subbasin as a unit showed that annual soil losses and soil loss per area in Namhan river basins was more than in Bukhan river ones. Predicted annual soil loss according to the landuse ranked as Forest & Grassland > Upland >> Urban & Fallow area > Paddy field > Orchard. Upland area covered 6.2% of the study area, but the contribution of total annual soil loss was 40.6% and that of Forest & Grassland was 44.2%. As a evaluation of soil erosion risk using the spatial soil erosion map, we could precisely conformed the potential hazardous region of soil erosion in each unit watersheds. The ratio of regions, graded as higher "Moderate" for annual soil loss, were respectively 8.7%, 7.9% and 7.8% in 1001, 1002 and 1003 subbasins in Namhan river basin. Most landuse of these area was upland, and these area is necessary to establish soil conservation practices to reduce soil erosion based on the field observation.

Key words: USLE, Soil erosion, Han river, GIS, Landuse

서 언

토양유실에 의해 동반되는 수환경 오염문제는 토양자
원 손실의 측면에서 뿐만 아니라 오염부하물질의 동반이
동을 유발하기 때문에 국제규범에서 환경부하의 핵심문제
로 지적되고 있다 (Hayo M.G. et al., 2002). 특히, 우
리나라의 경우 전국토 73%가 경사지에 분포하고, 여름철
집중강우로 인하여 토양유실을 가속화시키고 있다. 2002
년과 2003년 태풍으로 인한 집중호우로 탁수 문제가 불
거졌던 임하댐과 2006년 7월 강원도 인제지역의 집중호
우로 인한 소양댐내 고탁수 발생 등이 대표적 예라 할
수 있을 것이다. 따라서 부영양화, 탁수발생 등과 같은
수질 악화의 중요한 요인인 토양유실을 정량적 해석하
고, 이에 대한 보전대책 마련이 수질보전을 위한 친환경
적 토지이용개발 계획을 수립하는데 있어 우선되어야 할

것이다.

우리나라에서는 수환경 보전을 위해 4대강 중심으로
물관리종합대책, 물환경관리 기본계획 등 수질개선을 위
한 정책들이 도입되어 왔다. 수질 및 수생태계 보전에 관
한 법률의 규정에 의한 법정기본계획을 담은 물환경관리
기본계획 (환경부, 2006)에 따르면 종전 대권역 중심의
유역관리 체계에서 중소유역 단위의 유역관리체계를 확
산시키고자 하고 있다. 특히 2천만 주민의 상수원인 한강
수계의 경우를 살펴보면, 대권역을 30개 중권역으로 그
리고 이를 세분하여 집수구역별 289개 소권역으로 나누
어 10년간 수질보전계획을 수립·추진하여 목표수질을 달
성하도록 하고 있다.

토양유실량의 정량적 해석을 위해서 국내에서는 일반
적으로 USLE모형을 이용하고 있으나, 일반적으로 측정
지의 규모가 커지게 되면 GIS를 이용한 모형의 구동을
위한 인자값들의 획득이 쉽지 않으므로 국내에서는 주로
소유역 정도의 단위로 토양유실량을 평가하고 있는 실정
이다 (Ko et al., 2006; 김 등, 2003; 박경훈, 2003; 김

접수 : 2010. 11. 29 수리 : 2010. 12. 21

*연락처 : Phone: +82312900338

E-mail: sonnyk@korea.kr, zhang@korea.kr

등, 2007). 본 연구에서는 농촌진흥청 국립농업과학원에서 1:25,000 수치정밀토양도를 이용하여 공간변이 분석이 가능토록 전국단위로 작성된 분포형 토양침식지도 (농과원, 2007)를 이용하여 한강 상류지역 10중권역 108소유역 (대상면적 14,577 km²)을 대상으로 소유역별 토지이용별 토양침식위험성을 평가하여 토양침식위험지를 구분하고 이를 정량화 하였다.

재료 및 방법

연구대상 지역 연구대상인 한강 상류지역은 팔당댐 상류유역 면적 23,753 km² 중 약 60%에 해당하고 있으며 총 면적은 14,577 km²이었다. 남한강 지역은 남한강상류 (1001), 평창강 (1002), 충주댐 (1003), 섬강 (1006), 홍천강 (1014)으로 총 5개 중권역 74개 소권역으로 이루어져 있으며, 북한강 지역은 평화의댐 (1009), 춘천댐 (1010), 인북천 (1011), 소양강 (1012), 의암댐 (1013)으로 5개 중권역 33개 소권역으로 이루어져 있다 (Table 1). 이중 평화의 댐 (1009), 춘천댐 (1010), 인북천 (1011) 중권의 경우 일부지역이 북한 및 민통선 지역을 포함하고 있어 이에 대한 인자값을 얻기 어려워 일부 지역을 제외하였다. 이들 지역의 행정구역을 살펴보면 영동지역을 제외한 강원도 전역과 경기도, 충청북도, 경상북도 일부지역을 포함하고 있다 (Fig. 1). 유역구분은 2002년 4월 국토해양부 “물관리정보 표준화 실무 소위원회”에서 관련부처 관계자 (건교부, 농림부, 환경부 물정보 담당자) 및 외부전문가로 구성된 공통유역도 조정업무 전담반에서 작성한 표준유역 구분도를 이용하였다 (한국수자원공사, 2007).

토양유실량 산정 토양유실량 추정은 농촌진흥청

국립농업과학원에서 구축한 공간변이 분석이 가능한 전국 단위 분포형 토양침식지도를 이용하였다 (농과원, 2007). 분포형 토양유실지도는 강우인자, 토양침식성 인자 등 USLE의 5개 인자에 대한 수치지도를 이용하여 계산되었다 (Wischmeier and Smith, 1965, 1978; Renard et al., 1997). 강우인자 (R factor) 산정은 기상청 ‘73 - ‘00 강우량 자료를 이용하여 강우인자를 산정하여 토양침식량 계산에 이용하였다 (Jung et al., 1983; Park et al., 2000). 토양침식성 인자 (K factor)는 토양구 단위로 세분하여 유기물 함량, 자갈함량 등급을 이용하여 계산하였으며 (Jung et al., 1999; Jung et al., 2004), 지형인자 (LS factor)는 수치지형도 (DEM)와 1:5,000 세부정밀토양도에서 간접 측정된 경사장 인자를 이용하여 계산하였다. 식생피복인자 (C factor)는 Wischmeier and Smith (1965, 1978)의 초지와 임지에 대한 값을 기존의

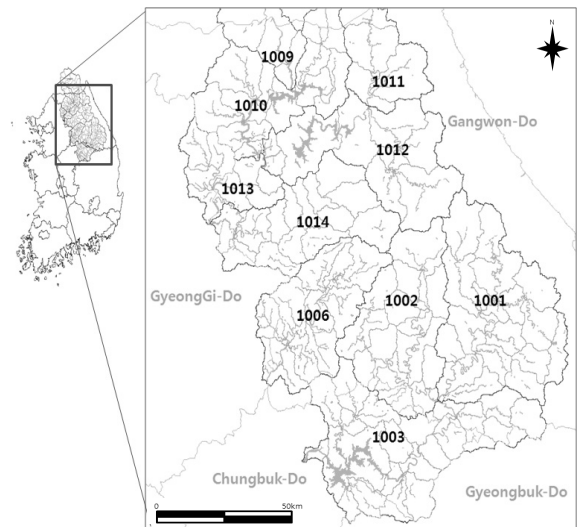


Fig. 1. Location of this study area.

Table 1. Area and number of subbasin in this study area.

Subbasin	Name	Subbasin Code	Area (km ²)	No. of watershed
Namhan river	Upper Namhan river	1001	2,448	17
	Pyeongchang river	1002	1,773	13
	Chungju-dam	1003	2,484	20
	Seom river	1006	1,491	10
	Hongcheon river	1014	1,566	14
subsum			9,762	74
Bukhan river	Pyeonghwau Dam	1009	129	3
	Chuncheon Dam	1010	1,344	11
	Inbul stream	1011	768	4
	Soyang-river	1012	1,852	8
	Uiam Dam	1013	722	7
subsum			4,815	33
Sum			14,577	108

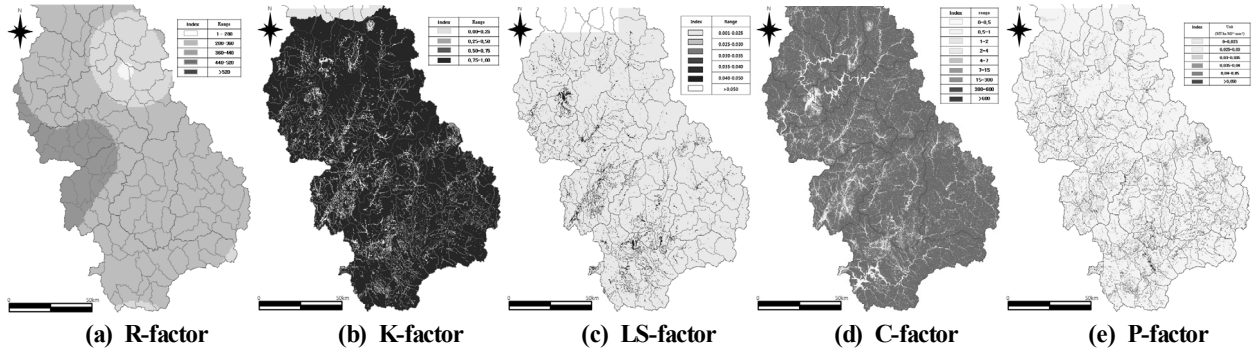


Fig. 2. USLE factor maps of this study area.

값과 비교 검토하였고, 환경부 토지피복분류도에 근거한 토지피복 분류별 식생피복인자를 13개로 구분하여 인자 값을 적용하였다. 그리고 토양보전인자 (P factor) 값은 환경부 토지피복분류도를 이용하여 임지, 초지, 과수원: 1, 논: 0.1 (계단전), 밭: 0.5 (등고선 재배)를 적용하여 수치지도화 하였다.

토지이용에 따른 토양침식 위험성 평가 대상 지역에 대한 토양침식의 위험성을 평가하기 위하여 Jung et al. (2005)와 같이 각각 “매우적음 (Very tolerable, 0-2 Mg ha⁻¹ yr⁻¹)”, “적음 (Tolerable, 2-6 Mg ha⁻¹ yr⁻¹)”, “약간적음 (Low, 6-11 Mg ha⁻¹ yr⁻¹)”, “보통 (Moderate, 11-22 Mg ha⁻¹ yr⁻¹)”, “약간심함 (High, 22~33 Mg ha⁻¹ yr⁻¹)”, “심함 (Severe, 33~50 Mg ha⁻¹ yr⁻¹)”, “매우심함 (Very severe, > 50 Mg ha⁻¹ yr⁻¹)”의 7등급으로 구분하여 토양침식위험지를 구분하여 평가하였다.

또한, 토지이용에 따른 침식위험성 평가를 위해 토지 이용도와 토양유실지도를 중첩분석을 통하여 토양침식 위험성을 평가하였다. 이때 토지이용은 1:25,000 환경부 토지피복 분류도를 이용하였다. 환경부 토지피복도의 경우 23개 중분류 항목으로 구성되어 있으나 본 연구에서는 “밭”, “논”, “과수, 산림/초지”, “도심/대지”, “기타”로 단순화하여 대상 연구지역에 대하여 소권역 단위까지 토양침식 위험성을 평가하였다.

결과 및 고찰

USLE 인자별 특성 Figure 2는 토양유실량을 산정을 위한 USLE 모형의 5개 인자값의 지도이다. 먼저 강우인자 (R-factor)의 경우 인제군 지역 즉 소양강 (1012) 중권역의 중심, 인북천 (1011) 중권역의 하류 지역이 낮은 반면, 의암댐 (1013), 홍천강 (1014), 섬강 (1006) 중권역의 하류지역이 높게 나타났다. 토양침식성 인자 (K-factor)의 경우는 농경지, 도심/초지의 경우가 높았다.

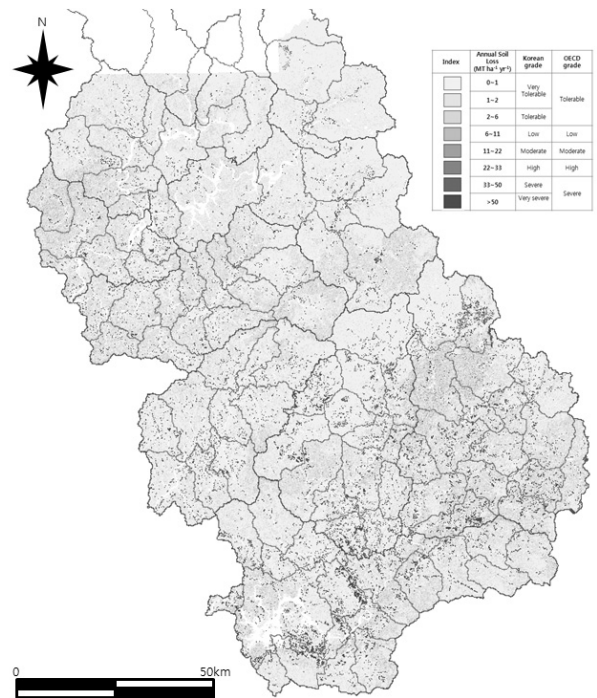


Fig. 3. Soil erosion map of the study area.

특히 춘천댐 (1003)과 소양강 (1012) 중권역의 하류, 횡성군과 원주시를 통과하고 있는 섬강 (1006), 평창강 (1009) 중유역 충주댐 (1003) 중권역 하천인근 토양에서 매우 높았다. 대상유역의 경우 대부분 산림지대 (84%)로서 전체면적 83%지역에서 경사인자 (LS-factor) 30이상의 값을 나타내었으며, 토양관리인자 (P-factor) 또한 87%가 1의 값을 가진 지역이었다. 마찬가지로 식생피복인자 (C-factor) 또한 88%가 0.005이하 값을 나타내고 있었다.

권역별 토양유실량 산정 및 침식위험성 한강상류 지역의 토양유실량을 산정을 위한 USLE 모형의 5개 인자값 지도는 30 m × 30 m의 격자형 자료형태를 가지며, 최종적인 토양유실지도는 Fig. 3과 같이 이들의 곱으로 산정하였다.

대상유역 총 토양유실량은 894.9만 Mg yr⁻¹ 로 측정

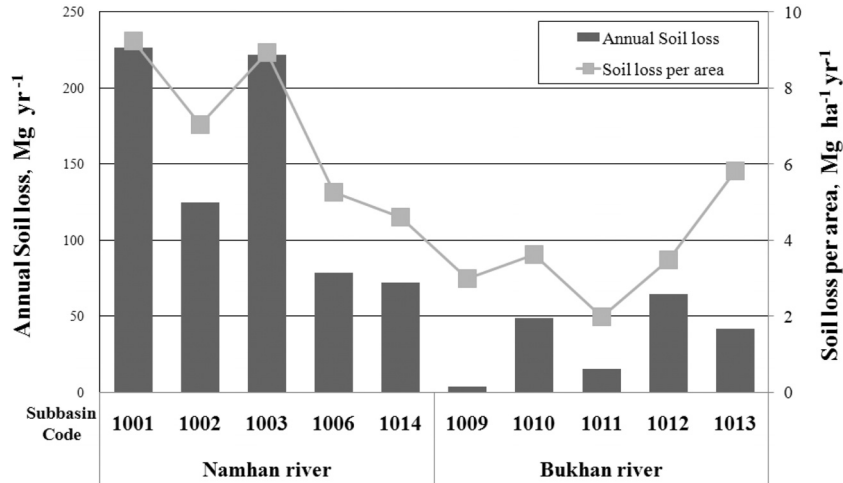


Fig. 4. Annual Soil loss and soil loss per area estimated according to subbasin.

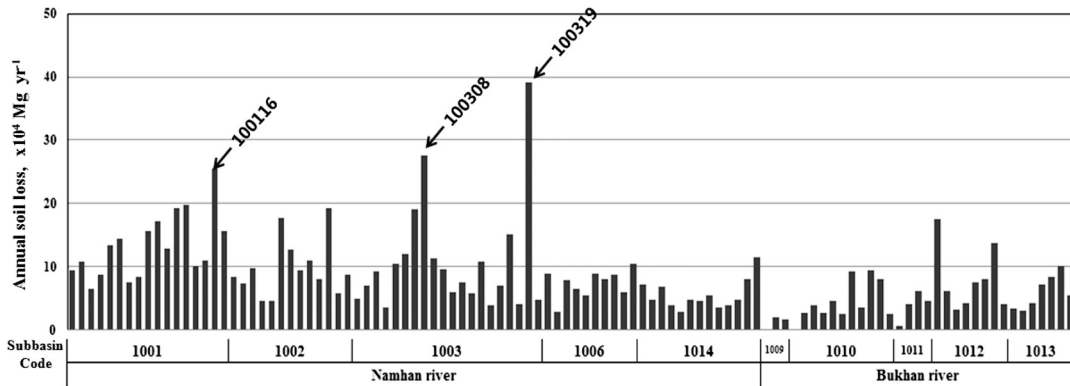


Fig. 5. Annual Soil loss estimated according to standard unit watershed.

되었으며 면적당 평균 토양유실량은 $6.1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 이었다. 중권역 단위로 살펴보면 토양유실량은 남한강상류 (1001) > 충주댐 (1003) >> 평창강 (1002) > 섬강 (1006) > 홍천강 (1014) > 소양강 (1012) > 춘천댐 (1010) > 의암댐 (1013) > 인북천 (1011) > 평화의댐 (1009) 순이었으며, 면적당 평균 토양유실량 또한 남한강 (1001) > 충주댐 (1003) > 평창강 (1002) > 의암댐 (1013) > 섬강 (1006) > 홍천강 (1014) > 춘천댐 (1010) > 소양강 (1012) > 평화의댐 (1009) > 인북천 (1011) 순으로 비슷한 경향을 나타냈다 (Fig. 4). 주로 소유역 개수 및 면적이 넓은 유역을 지니고 있으며 퇴적암지대에 위치하고 있는 남한강 권역에서 토양유실량이 많았다. 또한, 소유역별 예측된 토양유실량 분석 결과인 Fig. 5를 살펴보면 남한강 지역이 전체적으로 북한강 소유역에 비하여 토양유실량이 더 높았다. 특히 소권역 중 남한강상류 석항천 (100116)은 25.4 만 Mg yr^{-1} , 충주댐 매포천 (100308)은 27.6 만 Mg yr^{-1} , 충주댐 (100319)은 39.1 만 Mg yr^{-1} 으로 가장 높았다. 이는 북한강 권역의 경우 화강암 및 화강편마암이 주요 모재인 반면에 남한강 권역의 경우 토양모재가 퇴적암을 많이 포함하고 있어 토양침식성 인자 (K factor)와

경사인자 (LS factor)가 상대적으로 높고, 남한강 지역의 경우 농경지 토양이 상대적으로 많이 분포하고 있기 때문에 판단된다.

토양침식의 위험성을 평가하기 위하여 OECD 농업환경 지표에서는 “Tolerable, Low, Moderate, High, Severe”의 5등급으로 제시하고 있다. 그러나 우리나라의 경우 유실이 매우 적은 형태의 논이 전체 농경지의 60% 이상 차지하고 있는 반면 밭의 경우 대부분의 경사지에 위치하고 있어 토양유실 정도가 양극화 되고 있다 (농과원, 2006). 따라서 OECD 농업환경지표에서 제시한 5개의 등급중 Tolerable을 2등급으로 나누고, Severe를 2등급으로 나누어 “매우적음 (Very tolerable)”, “적음 (Tolerable)”, “약간적음 (Low)”, “보통 (Moderate)”, “약간심함 (High)”, “심함 (Severe)”, “매우심함 (Very severe)”의 7등급으로 토양침식 위험성을 분석하였다. 토양등급별 분포를 살펴보면 (Table 2), “매우적음”과 “적음”에 해당하는 면적이 $13,414 \text{ km}^2$ 로 전체면적의 90.1%를 차지하고 있었으며, 우리나라 농경지 토양유실 목표치인 $11 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ (1년에 약 1 mm)로 규정할 때 토양침식위험성이 “보통” 이상으로 높은 지역은 전체면적의 5.6%에 해당하고

Table 2. Distribution of this study area with Soil erosion grade.

Korean Soil erosion grade		Very tolerable	Tolerable	Low	Moderate	High	Severe	Very severe
Annual Soil loss (Mg ha ⁻¹ yr ⁻¹)		0-2	2-6	6-11	11-22	22-33	33-50	>50
		----- km ² -----						
Namhan river	1001	1,082	946	206	52	24	29	108
	1002	1,142	434	58	30	21	24	64
	1003	1,350	839	101	29	21	29	115
	1006	991	381	34	19	13	15	37
	1014	777	653	82	14	8	9	23
Bukhan river	1009	78	47	3	0.3	0.01	0.01	0.4
	1010	866	407	35	9	5	6	16
	1011	655	97	4	4	2	2	4
	1012	1,215	547	42	10	8	9	21
	1013	337	295	58	10	4	4	15
Total		8,495	4,646	622	176	107	128	404
OECD Soil erosion grade		Tolerable		Low	Moderate	High	Severe	

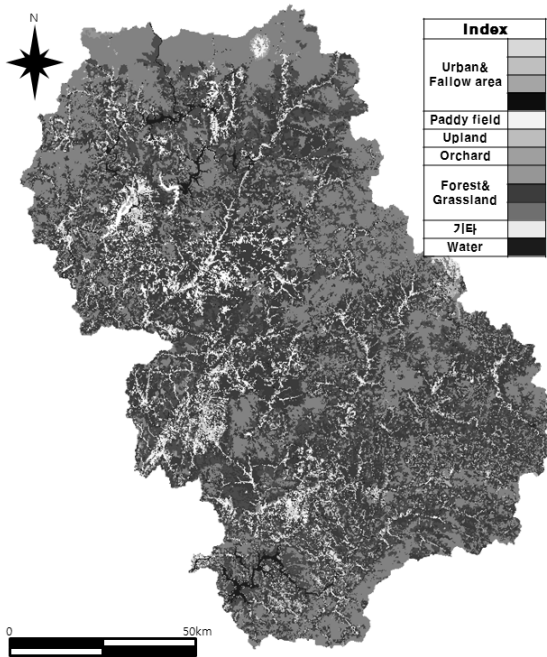


Fig. 6. Land cover map of the study area.

있었다. 중권역 단위로 평가시 남한강권역의 남한강 상류(1001), 평창강(1002), 충주댐(1003) 권역에서 각각 토양침식위험성이 “보통”이상으로 높은 지역이 각각 8.7%, 7.9%, 7.8%로 평균보다 높았다.

토지이용별 토양침식위험성 분석 토지이용에 따른 침식위험성 평가를 위해 환경부 토지피복분류도와 토양유실지도의 중첩분석을 통하여 소권역 단위까지 토양침식 위험성을 평가하였다. Figure 6은 본 연구에서 사용되었던 토지피복분류도로 대상지역의 대상지역의 토지이

용을 살펴보면 산림/초지가 대부분으로 면적이 84%를 차지하고 있었으며 농경지의 경우 10.7%를 차지하고 있었다. 농경지 중 밭은 58.1%, 논은 40.3%이었다.

Table 3은 대상구역의 토지이용별 연평균 토양유실량을 소유역별로 분석한 결과를 살펴보면, 산림/초지(395.7만 Mg yr⁻¹) > 밭(363.7만 Mg yr⁻¹) >> 도심/대지(13.9만 Mg yr⁻¹) >> 논(4.4만 Mg yr⁻¹) > 과수(1.2만 Mg yr⁻¹) 순으로 분석 대상구역 중 10.7%를 차지하고 있는 농경지에서 유실되는 토양의 추정량은 41.3%이었으며, 이중 6.2% 면적을 차지하는 밭이 40.6%으로 44.2%의 산림/초지와 비슷한 수준이었다. 면적당 추정 토양유실량을 살펴보면 전체 대상구역의 경우 밭(47.0 Mg ha⁻¹ yr⁻¹) >> 도심/대지(5.3Mg ha⁻¹ yr⁻¹) > 과수(4.3Mg ha⁻¹ yr⁻¹) > 산림/초지(2.9Mg ha⁻¹ yr⁻¹) > 논(0.5Mg ha⁻¹ yr⁻¹) 순이었으며, 이는 밭의 경우 대부분 경사지에 위치하고 있기 때문이고 이에 대한 보전방안이 강구될 필요가 있다.

Figure 7과 Table 4는 최근 집중강우시 토양유실로 인한 탁수발생으로 문제가 되었던 홍천군 내면 내린천 상류지역(101201)에 대한 토양유실도와 소유역 단위로 토지이용별 토양침식 위험성을 평가한 예이다. 이 지역에는 대규모 고령지 채소단지가 위치하고 있지만, 대부분의 지역은 토지이용이 산림/대지로 93.8%를 차지하고 있었다. 토양유실지도와 이 지역의 항공사진을 비교해 보면, 토양유실지도는 이 지역에 대한 토양유실에 대한 공간적인 정보를 확실하게 표현하여 주고 있다. 토양유실의 목표치 11 Mg ha⁻¹ yr⁻¹이상인 토양침식 위험성이 “보통”이상의 농경지 면적이 2.1% (832 ha)로 이 지역에는 적절한 별도의 토양보전농법이 필요하다. Oh et al. (1991)과 Jung et al. (2004)은 이랑 높임재배, 부초,

Table 3. Annual soil loss of study watershed according to Landuse.

Watershed Code	Landuse ($\times 10^4$ Mg yr ⁻¹)						Sum	
	Upland	Paddy field	Orchard	Forest& Grassland	Urban& Fallow area	Othres		
1001	(01)	4.85	0.002	-	4.19	0.0286	0.43	9.51
	(02)	4.72	0.016	-	5.47	0.1830	0.34	10.74
	(03)	3.24	0.010	0.00037	3.00	0.1120	0.08	6.44
	(04)	4.87	0.009	-	3.22	0.0336	0.69	8.83
	(05)	7.27	0.010	-	3.57	0.0738	2.55	13.48
	(06)	6.44	0.004	0.00159	7.39	0.0367	0.59	14.46
	(07)	4.08	0.009	0.00001	2.89	0.1803	0.45	7.60
	(08)	4.03	0.027	-	3.68	0.0758	0.60	8.42
	(09)	5.05	0.008	0.00006	9.90	0.1258	0.53	15.62
	(10)	12.84	0.003	-	4.11	0.1202	0.06	17.13
	(11)	7.46	0.003	-	4.63	0.1418	0.74	12.97
	(12)	11.11	0.004	-	6.90	0.2113	1.10	19.33
	(13)	8.94	0.0002	-	5.83	0.2039	4.83	19.80
	(14)	4.54	0.004	0.00008	3.89	0.1584	1.54	10.13
	(15)	6.32	0.003	-	3.86	0.1541	0.62	10.96
	(16)	17.01	0.004	0.00394	5.67	0.4278	2.30	25.42
	(17)	9.02	0.0003	0.00359	5.02	0.2223	1.34	15.60
Subsum	121.80	0.117	0.0097	83.23	2.4893	18.80	226.4	
1002	(01)	4.29	0.047	0.00030	3.04	0.0661	0.97	8.42
	(02)	3.55	0.013	0.00183	2.00	0.0493	1.71	7.33
	(03)	5.87	0.019	0.00195	3.45	0.0269	0.47	9.84
	(04)	2.77	0.005	0.00032	1.53	0.0389	0.32	4.65
	(05)	2.60	0.014	0.00143	1.72	0.0328	0.19	4.56
	(06)	6.67	0.021	0.00165	6.65	0.2419	4.16	17.75
	(07)	7.34	0.058	0.01567	2.03	0.0325	3.30	12.78
	(08)	5.61	0.035	-	3.40	0.0381	0.43	9.51
	(09)	3.67	0.033	0.00275	6.51	0.1287	0.57	10.91
	(10)	3.96	0.055	0.01146	2.09	0.0273	1.84	7.99
	(11)	7.31	0.050	0.08794	1.97	0.3042	9.65	19.37
	(12)	2.37	0.014	0.00047	2.57	0.0758	0.84	5.87
	(13)	4.84	0.019	0.00327	1.90	0.1464	1.78	8.68
Subsum	60.84	0.384	0.1290	38.88	1.2089	26.22	127.7	
1003	(01)	3.04	0.001	0.00126	1.59	0.0795	0.17	4.88
	(02)	2.39	0.000	-	3.62	0.0475	1.05	7.10
	(03)	4.31	0.005	-	4.15	0.2192	0.52	9.21
	(04)	0.66	0.000	-	2.65	0.0217	0.30	3.64
	(05)	5.21	0.012	0.00015	3.94	0.1604	1.15	10.47
	(06)	6.38	0.009	0.00993	4.21	0.1735	1.23	12.01
	(07)	12.92	0.030	-	5.72	0.3953	0.07	19.14
	(08)	6.04	0.049	-	3.14	0.2367	18.10	27.56
	(09)	5.33	0.017	0.09577	3.98	0.1675	1.71	11.30
	(10)	4.94	0.011	0.03373	3.32	0.0524	1.26	9.62
	(11)	3.41	0.006	0.02814	2.26	0.0465	0.25	6.00
	(12)	5.63	0.011	0.01428	1.22	0.0340	0.68	7.59
	(13)	1.51	0.066	0.02958	3.50	0.0300	0.60	5.74
	(14)	3.86	0.127	0.17658	2.01	0.1442	4.45	10.77
	(15)	1.79	0.043	-	1.19	0.0319	0.93	3.97
	(16)	3.82	0.045	0.00618	2.73	0.0893	0.28	6.97
	(17)	11.67	0.020	-	3.22	0.0810	0.18	15.17
	(18)	1.24	0.003	0.00514	1.64	0.0132	1.18	4.08
	(19)	23.40	0.065	0.07690	12.23	0.4718	2.87	39.12
	(20)	2.48	0.018	0.16624	0.84	0.1468	1.06	4.71
Subsum	110.01	0.538	0.6439	67.17	2.6423	38.04	219.0	
1006	(01)	4.38	0.064	0.00276	4.10	0.0184	0.29	8.85
	(02)	1.31	0.026	-	1.34	0.0111	0.25	2.93
	(03)	2.87	0.075	-	3.84	0.1291	1.05	7.96
	(04)	2.24	0.109	0.00028	3.39	0.1288	0.68	6.54
	(05)	2.42	0.090	0.05290	1.80	0.0924	1.03	5.49
	(06)	2.89	0.099	0.03732	2.72	0.1898	3.00	8.94
	(07)	2.93	0.062	-	2.69	0.0714	2.27	8.03
	(08)	2.78	0.079	0.00099	4.24	0.1304	1.46	8.69
	(09)	0.01	0.083	0.03295	2.99	0.3809	2.48	5.97
	(10)	3.86	0.114	0.00611	3.29	0.3452	2.88	10.50
Subsum	25.69	0.801	0.13330	30.40	1.4974	15.38	73.9	

Table 3. Continued.

Watershed Code	Landuse ($\times 10^4$ Mg yr ⁻¹)						Sum	
	Upland	Paddy field	Orchard	Forest & Grassland	Urban & Fallow area	Othres		
1014	(01)	0.46	0.141	-	6.42	0.0849	0.07	7.18
	(02)	0.47	0.070	0.00038	4.01	0.0675	0.10	4.71
	(03)	0.73	0.067	0.01036	5.81	0.1422	0.13	6.89
	(04)	0.40	0.053	0.00167	3.26	0.1021	0.11	3.92
	(05)	0.15	0.048	0.00013	2.61	0.0101	0.02	2.84
	(06)	0.26	0.090	0.00116	4.14	0.1490	0.18	4.81
	(07)	0.41	0.146	0.00189	3.89	0.0702	0.07	4.58
	(08)	0.50	0.112	0.00305	4.32	0.3875	0.12	5.45
	(09)	0.20	0.071	0.00033	3.17	0.1221	0.07	3.63
	(10)	0.31	0.071	0.00019	3.06	0.1267	0.29	3.86
	(11)	0.46	0.166	0.00010	3.93	0.2175	0.09	4.86
	(12)	0.56	0.149	0.00036	6.73	0.3573	0.27	8.07
	(13)	1.24	0.237	0.00099	9.69	0.2179	0.18	11.56
Subsum	6.15	1.421	0.0206	61.04	2.055	1.29	72.4	
1009	(01)	-	-	-	0.03	0.0000	0.00	0.03
	(02)	-	0.000	-	1.35	0.0162	0.65	2.01
	(03)	-	0.001	-	1.70	0.0015	0.04	1.74
Subsum	-	0.002	-	3.07	0.0177	0.68	3.78	
1010	(01)	-	-	-	0.04	0.0004	0.00	0.04
	(02)	0.21	0.032	-	1.92	0.0207	0.49	2.67
	(03)	0.85	0.111	-	2.45	0.0972	0.47	3.98
	(04)	0.23	0.045	-	2.05	0.0241	0.41	2.76
	(05)	1.02	0.054	-	2.79	0.0246	0.77	4.66
	(06)	0.52	0.012	-	1.62	0.0131	0.30	2.46
	(07)	2.77	0.056	-	5.10	0.2548	1.03	9.21
	(08)	1.15	0.027	-	2.17	0.0374	0.23	3.61
	(09)	2.74	0.052	-	5.09	0.2559	1.31	9.45
	(10)	2.28	0.012	0.00786	4.77	0.0883	0.96	8.13
	(11)	0.81	0.023	0.00247	1.37	0.0653	0.23	2.50
Subsum	12.60	0.425	0.0103	29.37	0.8817	6.18	49.5	
1011	(01)	-	-	-	0.69	0.0004	0.02	0.71
	(02)	0.77	0.060	-	2.63	0.0430	0.54	4.04
	(03)	1.25	0.022	-	4.33	0.0636	0.56	6.22
	(04)	1.63	0.016	-	2.30	0.1114	0.55	4.61
Subsum	3.65	0.098	-	9.96	0.2183	1.67	15.6	
1012	(01)	4.99	0.039	0.00095	11.32	0.1913	1.01	17.54
	(02)	1.76	0.034	-	4.10	0.0462	0.26	6.20
	(03)	1.27	0.004	-	1.16	0.0195	0.79	3.24
	(04)	1.09	0.005	-	2.64	0.0166	0.45	4.20
	(05)	2.66	0.013	0.00148	3.97	0.0466	0.82	7.51
	(06)	2.49	0.023	-	4.66	0.1246	0.77	8.07
	(07)	4.07	0.014	0.00774	8.59	0.1404	0.93	13.75
	(08)	1.35	0.051	0.02087	1.62	0.1028	0.86	4.01
Subsum	19.68	0.183	0.0310	38.06	0.6880	5.89	64.5	
1013	(01)	0.44	0.063	0.08615	1.84	0.8781	0.15	3.46
	(02)	0.33	0.060	0.00361	2.27	0.2542	0.10	3.02
	(03)	0.37	0.045	0.03740	3.62	0.1487	0.11	4.33
	(04)	0.62	0.081	0.00299	6.17	0.1421	0.26	7.28
	(05)	0.34	0.024	0.01703	7.71	0.2353	0.16	8.49
	(06)	0.69	0.075	0.07663	8.55	0.3506	0.44	10.18
	(07)	0.49	0.048	0.03147	4.40	0.2100	0.24	5.41
Subsum	3.27	0.396	0.2553	34.55	2.2191	1.47	42.2	
Total	363.68	4.364	1.2331	395.72	13.9179	116.02	894.9	

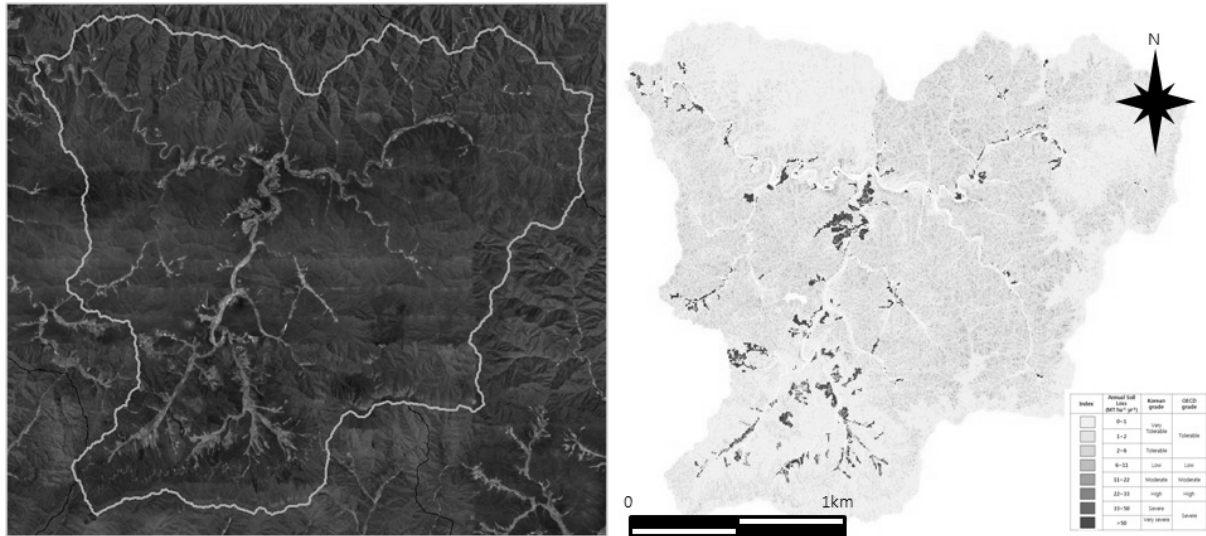


Fig. 7. Aerial image and soil erosion map of 101201 standard unit watershed.

Table 4. Analysis of soil erosion risk with 101201 standard unit watershed.

Soil erosion grade	Upland	Paddy field	Orchard	Forest& Grassland			Urban& Fallow area	Othres	Sum
				km ²					
Very tolerable	2.7	8.18	0.002	183.2	1.05	2.18	197.3		
Tolerable	1.0	0.06	0.001	171.0	0.12	0.05	172.3		
Low	0.7	0.01	0.004	22.8	0.03	0.02	23.5		
Moderate	1.2	-	0.004	0.9	0.01	0.01	2.1		
High	1.3	-	-	0.1	0.01	0.01	1.4		
Severe	1.6	-	-	0.1	0.02	0.01	1.8		
Very severe	4.2	-	-	0.3	0.10	0.47	5.1		

초생대, 자갈대, 승수로, 계단전 같은 주요 토양보전농법 별 보전관리인자 값을 정량화하였는데, 이를 적용하면, “보통”, “약간심함”에 해당하는 245 ha (0.6%)에는 이랑높 임 재배, 부초와 같은 농경적 토양보전농법을 이용하고, “심함”과 해당하는 164 ha (0.4%)에는 승수로, 계단전 등의 토목적 토양보전농법을 이용하면 토양유실의 목표치를 달성할 수 있으나, 토양침식 위험성이 “매우심함”인 423 ha 농경지는 이러한 토양보전농법을 적용하더라도 유실량 저감에는 한계가 있을 것으로 판단된다. 이러한 정보는 토양자원의 합리적인 관리 보전을 위해 토양 표토 보존 및 유실 방지를 위한 정책마련에 기초자료로 활용 가능할 것으로 판단된다.

요 약

본 연구에서는 1:25,000 정밀토양도 등 가용한 공간 자료를 이용하여 작성된 토양유실도를 이용하여 한강 상류지역 10개 중권역 108 소유역에 대하여 토양유실량 평가하고 토지이용별 토양유실 위험지역을 분석하였다.

대상유역 총 토양유실량은 895만 Mg yr⁻¹으로 예측되었으며, 면적당 평균 토양유실량은 6.1 Mg ha⁻¹yr⁻¹이었다. 중소유역 단위로 살펴보면 남한강지역이 북한강지역의 유실량 뿐만 아니라 면적당 유실량이 더 많았다. 이는 북한강 권역의 경우 화강암 및 화강편마암이 주요 모재인 반면에 남한강 권역의 경우 토양모재가 퇴적암지대를 많이 포함하여 토양침식성 인자 (K factor)와 경사 인자 (LS factor)가 상대적으로 높고, 남한강 지역의 경우 농경지 토양이 상대적으로 많이 분포하고 있기 때문으로 판단된다.

대상유역의 토지이용별 연평균 토양유실량을 분석한 결과 산림/초지 > 밭 >> 도심/대지 >> 논 > 과수의 순으로 분석 대상유역 중 10.7%를 차지하고 있는 농경지에서 유실되는 토양의 추정량은 41.3%이었으며, 이중 6.2% 면적을 차지하는 밭이 40.6%으로 44.2%의 산림/초지와 비슷한 수준이었다.

한강상류지역 토양유실 위험성 평가시 분포형 토양침식지도와 항공사진을 비교한 결과 토양유실에 대한 공간인 정보를 확실하게 보여주고 있으며, 토양침식위험성은

남한강권역의 남한강 상류 (1001), 평창강 (1002), 충주댐 (1003) 권역에서 각각 토양침식위험성이 “보통” 이상으로 높은 지역이 각각 8.7%, 7.9%, 7.8%로 평균인 5.9%보다 높았으며, 이에 대한 보전방안이 강구될 필요가 있고 판단된다.

인 용 문 헌

- Hayo M.G., van der Werf., and J. Petit. 2002. Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 93: 131-145.
- Jung, K.H., W.T. Kim, S.O. Hur, S.K. Ha, P.K. Jung, and Y.S. Jang. 2004. USLE/RUSLE factors for national scale soil loss estimation based on the digital detailed soil map. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37:199-206.
- Jung, K.H., Y.K. Sonn, S.Y. Hong, S.O. Hur, and S.K. Ha. 2005. Assessment of National Soil Loss and Potential Erosion Area using the Digital Detailed Soil Maps. *Korea J. Soil Sci. Fert.* 38:59-65.
- Jung, Y.S., Y.K. Kwon, H.S. Lim, S.K. Ha, P.K. Jung, and J.E. Yang. 1999. R and K factors for an application of RUSLE on the slope soils in Kangwon-Do, Korea. *J. Korean Soc. Soil. Sci. Fert.* 32:31-38.
- Ko, J.Y, J.S. Lee., K.Y. Jung, E.S. Yun, Y.D. Choi, C.S. Kim, S.T. Park, and B.J. Kim. 2006. Soil Erosion Risk Assessment of Arable Land in Seonakdong River Watershed using GIS, RS and USLE. *Korean J Soil Sci. Fert.* 39:173-183.
- Oh, S.J., P.K. Jung, and Y.H. Kim. 1991. Studies on soil erosion control with soil management in sloped farming land. *Res. Rept. RDA (S & F)* 33:68-72.
- Park, J.H., H.S. Woo, C.K. Pyun, and K.K. Kim. 2000. A study of distribution of rainfall erosivity in USLE/RUSLE for estimation of soil loss. *J. Korea Water Resour. Assoc.* 33:603-610.
- Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D K. McCool, and D.C. Yoder. 1997. Prediction soil erosion and water: A guide to conservation planning with the revised USLE, US. Dep. Agric., *Agric. Handbook No. 703.*
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1965. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: A guide for selection of practices for soil and water conservation. US. Dep. Agric., *Agric. Handbook No. 282.*
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall-erosion losses: A guide to conservation planning. US. Dep. Agric., *Agric. Handbook No. 537.*
- 김주훈, 김경탁, 연구방. 2003. GIS를 이용한 유역의 침식 위험지역 분석. *한국지리정보학회지* 6:24-36.
- 김주훈, 이충대, 김경탁, 최윤석. 2007. WAMIS 토지피복도를 활용한 토양유실량 분석. *한국지리정보학회지* 10:122-131.
- 농과원. 2006. 시험연구보고서.
- 농과원. 2007. 시험연구보고서.
- 박경훈. 2003. GIS 및 RUSLE 기법을 활용한 금호강 유역의 토양침식위험도 평가. *한국지리정보학회지* 6:24-36.
- 환경부. 2006. 물환경관리기본계획.
- 환경부. 2009. 상수원상류지역의 토양 및 지하수 오염실태조사(1).
- 한국수자원공사. 2007. 한국하천유역도.