

토양 특성 및 토지이용에 따른 낙동강 상류지역 토양침식위험성 평가

박찬원 · 손연규* · 현병근 · 송관철 · 전현정 · 조현준 · 문용희 · 윤순강

농촌진흥청 국립농업과학원 토양비료관리과

Soil Erosion Risk Assessment by Soil Characteristics and Landuse in the Upper Nakdong River Basin

Chan-Won Park, Yeon-Kyu Sonn*, Byung-Keun Hyun, Kwan-Cheol Song, Hyun-Chung Chun, Hyun-Jun Cho, Yong Hee Moon, and Sun-gang Yun

Division of Soil & Fertilizer Management, NAAS, RDA

This study was conducted to evaluate soil erosion risk with a standard unit watershed in the upper Upper Nakdong River Basin according to soil characteristics and landuse using the spatial soil erosion map. The study area is 3,605.6 km², which consists of 2 subbasins, 35 standard unit watersheds (Andong basin 18, Imha basin 17). As a evaluation of soil erosion potential using the spatial soil erosion map, total annual soil loss and soil loss per area estimated 2,013 ×10³ Mg yr⁻¹ (Andong basin 979, Imha basin 1,034) and 6.1 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ (Andong basin 6.0, Imha basin 5.2), respectively. 54.2% of soil loss was originated from Arable land (Andong basin 49.0%, Imha basin 59.0%), and the area of regions, graded as higher “Moderate” for annual soil loss, was 201.7 km² (Andong basin 84.9, Imha basin 116.8). Average soil loss per area of unit watersheds by classification according to soil dominant parent material types ranked “Sedimentary rock group” > “Mixed group” > “Metamorphic rock group” > “Igneous rock group”. In conclusion, the results of this study inform that the classification of soil parent material type would be effective for soil erosion analysis and interpretation in the Upper Nakdong River Basin.

Key words: USLE, Soil Erosion, Parent Material, Landuse

서 언

우리나라의 경우 4대강 유역을 중심으로 물관리종합대책, 물환경관리기본계획 등 수질개선을 위한 정책들이 도입되어 왔다. 최근에는 종전 대권역 중심의 유역관리는 실제 정책집행 효과를 분석하거나 판단하기는 어려운 측면이 있어 중-소유역 단위의 유역 관리체계를 확산시키고자 하고 있다 (MOE, 2006). 우리나라는 여름철 집중강우와 전국토의 대부분이 경사지로 되어 있기 때문에 토양유실에 의한 발생하는 토양자원 손실뿐만 아니라 유입되는 현탁입자 및 영양염류는 저수용량의 감소, 부영양화 및 오염물질의 이동 등의 여러 문제를 발생시키므로 이에 토양유실이 환경에 미치는 영향에 대한 평가기술 개발이 시급한 실정이다.

낙동강 상류지역인 안동댐과 임하댐 유역은 서로 인접해 있으나, 안동댐 유역과 달리 임하댐 유역에서는 2002년 태풍 루사와 2003년 태풍 매미로 인한 집중강우의 영향으로 다량의 토양이 유실되어 심각한 탁수문제가 발생되었고,

2005년부터 2015년까지 총 2,331억 원의 예산을 배정하여 탁수저감사업을 실시하고 있다 (Jang et al., 2011). 이는 안동댐 유역에 비하여 현격한 차이를 보이는 임하댐 유역 탁수에 영향을 주는 지질 및 지형적인 요인, 토지이용의 차이로 발생한다고 보고 하였다 (Lee et al., 2006).

본 연구에서는 낙동강 상류지역인 안동댐 및 임하댐 유역을 대상으로 소유역별 토지이용에 따른 토양침식위험성을 분포형 토양유실지도를 이용하여 분석을 실시하고 이를 정량화 하고자 하였으며, 소유역별 다양한 토양특성을 그룹화하여 토양침식위험성 정도를 비교하여 중-소유역 단위의 유역 관리체계 구축시 기초자료로 이용할 수 있게 하고자 하였다.

재료 및 방법

연구대상 유역 연구대상 낙동강 상류지역은 안동댐과 임하댐 상류지역으로 총 면적은 3,605.6 km²이었다 (Table 1). 이 지역은 안동댐 유역의 경우 18개 소유역 (200101~200118), 임하댐 유역은 17개 소권역 (200201~200217)으로 이루어져

접수 : 2012. 11. 8 수리 : 2012. 11. 28

*연락처 : Phone: +82312900338

E-mail: sonnyk@korea.kr

Table 1. Area of catchment in this study area.

Andong subbasin		Imha subbasin	
Watershed	Area (km ²)	Watershed	Area (km ²)
200101	129.7	200201	92.7
200102	60.3	200202	70.7
200103	72.1	200203	152.7
200104	62.0	200204	14.1
200105	82.8	200205	143.5
200106	90.0	200206	68.4
200107	50.2	200207	124.7
200108	104.7	200208	113.6
200109	63.8	200209	186.4
200110	41.0	200210	150.8
200111	85.9	200211	60.6
200112	11.7	200212	189.4
200113	232.5	200213	11.2
200114	64.1	200214	270.0
200115	75.0	200215	186.6
200116	81.6	200216	62.9
200117	284.6	200217	77.3
200118	38.0		
subsum	756.6.0		966.8
Sum		3605.6	



Fig. 1. Location and watershed code of this study area.

있다. 이들의 행정구역을 살펴보면 안동댐 유역은 강원도 태백시, 경상북도 봉화군, 안동시 일부를, 임하댐 유역은 경상북도 영양군, 청송군, 안동시, 포항시 일부지역을 포함하고 있다 (Fig. 1). 유역구분은 2002년 4월 국토해양부 “물관리정보 표준화 실무 소위원회”에서 관련부처 관계자 (건교부, 농림부, 환경부 물정보 담당자) 및 외부전문가로 구성된 공동유역도 조정업무 전담반에서 작성한 표준유역 구분도를 이용하였다.

토양유실량 추정 및 침식위험성 평가 토양유실량 추정은 농촌진흥청 국립농업과학원에서 구축하여 작성된 공간변이 분석이 가능한 전국단위 분포형 토양침식지도를 이용하였다 (NIAST, 2007). 분포형 토양유실지도는 강우인자, 토양침식성 인자 등 USLE (Universal Soil Loss Equation)의 5개 인자에 대한 수치지도를 이용하여 계산되었다 (Wischmeier and Smith, 1965, 1978; Renard et al., 1997). 강우인자 (R factor) 산정은 기상청 ‘81 - ‘10 강우량 자료를 이용하여 강우인자를 산정하여 토양침식량 계산에 이용하였다 (Park et al., 2011). 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 경사각 인자를 이용하여 계산하였다. 식생피복인자 (C factor)는 Wischmeier and Smith (1965, 1978)의 초지와 임지에 대한 값을 기존의 값과 비교 검토하였고, 환경부 토지피복분류도에 근거한 토지피복 분류별 식생피복인자를 13개로 구분하여 인자값을 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. 대상 지역에 대한 토양침식의 위험성을 평가하기 위하여 Jung et al. (2005)와 같이 각각 “매우적음 (Very tolerable)”, “적음 (Tolerable)”, “약간적음 (Low)”, “보통 (Moderate)”, “약간심함 (High)”, “심함 (Severe)”, “매우심함 (Very severe)”의 7등급으로 구분하여 토양침식위험지를 구분하여 평가하였다. 토지이용 및 토양특성에 따른 토양침식 위험성 평가를 위해 토지이용 및 토양특성 자료는 1:25,000 환경부 토지피복 분류도와 농촌진흥청 토양도를 중첩분석하여 실시하였다.

결과 및 고찰

USLE 인자 및 토양유실량 산정 Fig. 2는 토양유실량을 산정을 위한 USLE 모형의 5개 인자값의 지도이다. 먼저 강우인자 (R-factor)의 경우 평균 2,992 MJ mm ha⁻¹ yr⁻¹ hr⁻¹ 로 우리나라 평균 4,147 MJ mm ha⁻¹ yr⁻¹ hr⁻¹ (Park et al., 2011)보다 낮은 수준이었고, 북부지역이인 안동댐 유역이 임하댐 유역보다 큰 값을 나타내었고, 반대로 평균 토양침식성 인자 (K-factor)의 값 경우는 임하댐 유역이 보다 큰 값을 나타내고 있었으며, 일반적으로 하천인근 토양에서 매우 높았다. 전체 대상유역의 경우 대부분 산림지대 (80.0%)로서 전체면적 81.4%지역에서 경사인자 (LS-factor)가 300이상의 값을 나타내었으며, 토양관리인자 (P-factor) 또한 88.0%가 1의 값을 가진 지역이었다. 마찬가지로 식생피복인자 (C-factor) 또한 83.9%가 0.005이하 값을 나타내

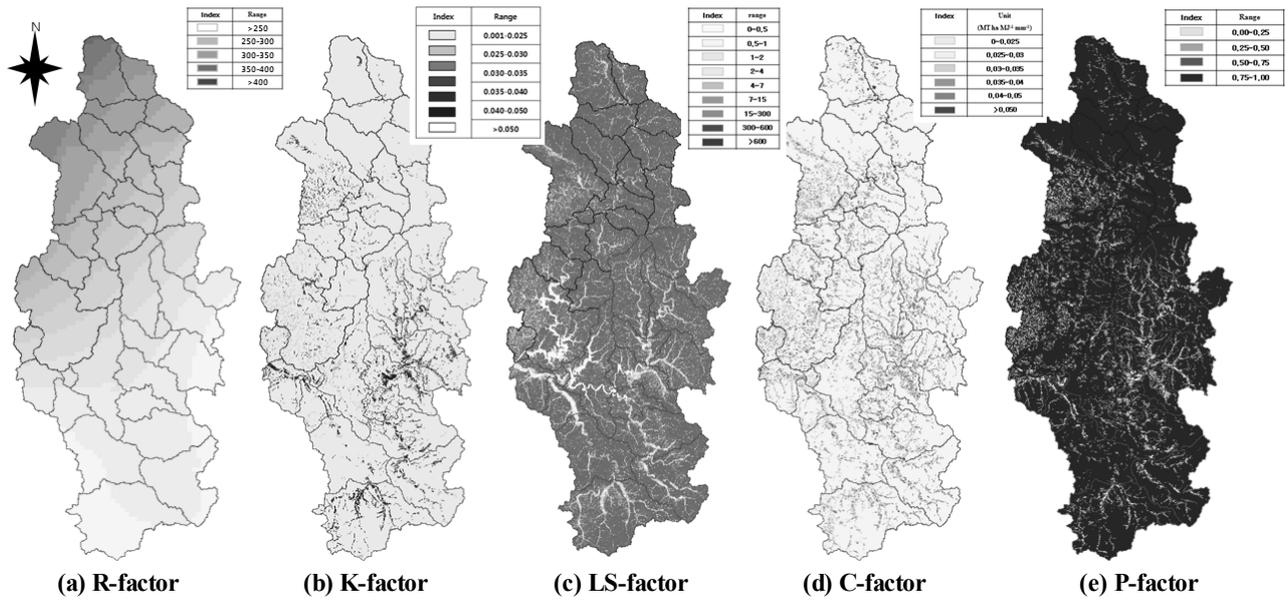


Fig. 2. USLE factor maps of this study area.

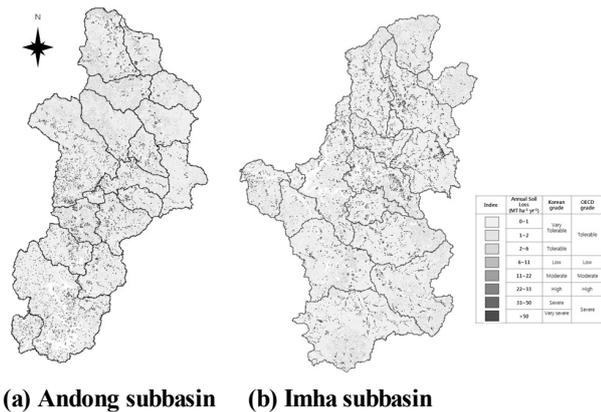


Fig. 3. Soil erosion potential map of the study area.

고 있었다.

권역별 토양유실량 산정 및 침식위험성 낙동강 상류지역의 토양유실량을 산정을 위한 USLE 모형의 5개 인자값 지도는 30m x 30m의 격자형 자료형태를 가지며, 최종적인 토양유실지도는 이들의 곱으로 산정하였다. 토양침식의 위험성을 평가하기 위하여 OECD 농업환경지표에서 제시한 5개의 등급중 “Tolerable”과 “Severe” 등급을 각각 2등급으로 세분하여 7등급으로 토양침식 위험성을 도시하였다 (농과원, 2006). 추정된 대상유역 총 토양유실량은 2,013천 $Mg\ yr^{-1}$ 이었으며, 면적당 평균 토양유실량은 $5.6\ Mg\ ha^{-1}\ yr^{-1}$ 이었다. 중권역 단위로 살펴보면 토양유실량은 각각 안동댐 유역 979천 $Mg\ yr^{-1}$, 임하댐 유역 1,034천 $Mg\ yr^{-1}$ 이었고, 면적당 평균 토양유실량은 각각 안동댐 유역 $6.0\ Mg\ ha^{-1}\ yr^{-1}$, 임하댐 유역 (2002) $5.2\ Mg\ ha^{-1}\ yr^{-1}$ 이었다 (Fig. 3). 임하댐 유역의 경우 2002~3년 대형태풍에 의한 집중호우로 인하여 유실된 토양으로 인한 심각한 탁수문제를 발생한 지

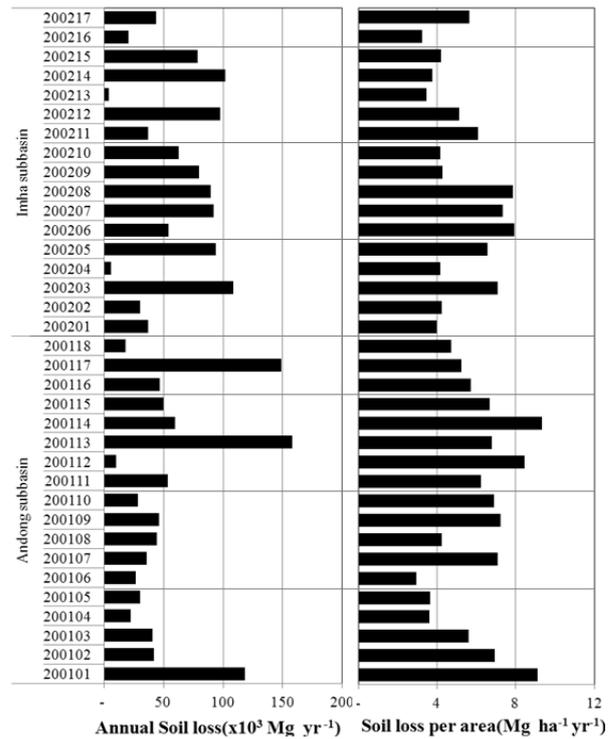


Fig. 4. Annual Soil loss and soil loss per area according to watershed.

역이지만 (Park et al., 2007), 본 연구에서 추정된 연간 토양유실량은 임하댐 유역이 높았지만, 면적당 평균 토양유실량은 안동댐 유역에서 높았다.

소유역별 예측된 토양유실량 분석 결과 및 연평균 토양유실량을 추정한 Fig. 4 를 살펴보면 대상 낙동강 상류지역의 토양유실량이 소유역별 큰 차이가 있는 것으로 나타났다. 특히 소권역 중 안동댐 유역에서는 넓은 면적을 차지하

Table 2. Annual soil loss of study watershed according to Landuse.

Watershed	Mg yr ⁻¹		A/(A+B)	Watershed	Mg yr ⁻¹		A/(A+B)
	A [†]	B [‡]			A	B	
200101	27,984	90,191	0.24	200201	14,910	22,037	0.40
200102	8,883	32,837	0.21	200202	10,445	19,601	0.35
200103	12,699	27,630	0.31	200203	78,600	29,608	0.73
200104	4,477	17,843	0.20	200204	4,204	1,634	0.72
200105	10,435	19,750	0.35	200205	64,701	29,269	0.69
200106	10,655	15,988	0.40	200206	40,249	13,912	0.74
200107	20,398	15,142	0.57	200207	69,184	22,548	0.75
200108	14,248	30,161	0.32	200208	63,887	25,581	0.71
200109	29,088	17,127	0.63	200209	38,953	40,701	0.49
200110	15,010	13,285	0.53	200210	30,086	32,656	0.48
200111	32,697	20,926	0.61	200211	22,406	14,571	0.61
200112	6,478	3,443	0.65	200212	53,019	44,168	0.55
200113	97,734	60,113	0.62	200213	1,008	2,858	0.26
200114	41,841	17,948	0.70	200214	58,695	42,761	0.58
200115	31,593	18,463	0.63	200215	37,008	41,232	0.47
200116	26,446	20,324	0.57	200216	7,105	13,375	0.35
200117	76,372	72,403	0.51	200217	17,825	25,695	0.41
200118	12,203	5,795	0.68				
sum	479,242	499,372	0.49	sum	612,285	422,210	0.59

고 있는 (200117), (200113), (200101) 소유역, 임하댐 유역의 경우는 (200203), (200214) 소유역이 특히 높았다. 면적당 유실량을 살펴보면 경사지 농경지 분포가 높았던 임하댐 유역중 (200114), (200101), (200112) 소유역, 임하댐 유역의 경우 또한 중앙지역에 대단위 밭작물 재배지역이 분포한 (200206), (200207), (200208) 소유역이 특히 높았다.

토지이용별 토양침식위험성 분석 토지이용에 따른 침식위험성 평가를 위해 환경부 토지피복분류도와 토양유실지도의 중첩분석을 통하여 소권역 단위까지 토양침식 위험성을 평가하였다. 연구에서 사용되었던 토지피복분류도로 대상지역의 토지이용을 살펴보면 산림/초지가 대부분의 면적을 차지하고 있었고, 밭, 논, 과수 재배지를 포함한 농경지의 경우 임동댐 유역은 12.3%, 임하댐 유역은 15.0%를 각각 차지하고 있었으며, 전체 면적은 495.4 km² 이었다. 안동댐 및 임하댐 유역의 토지이용별 토양유실량을 추정한 결과를 소유역별 Table 2에 정리하였다. 그 결과를 살펴보면 임하댐과 안동댐 유역내 농경지에서 발생하는 면적당 토양유실량을 비교해 보면 각각 안동댐 유역 24.0 Mg ha⁻¹ yr⁻¹, 임하댐 유역 20.7 Mg ha⁻¹ yr⁻¹으로 안동댐 유역의 값이 컸지만, 전체 농경지에서 발생하는 토양유실량은 각각 479,242 Mg yr⁻¹, 612,285 Mg yr⁻¹으로 임하댐 유역이 더 많은 양의 토양침식이 농경지에서 발생할 것으로 추정되었고, 이는 임하댐 유역 전체에서 발생하는 추정 토양침식량의 임하댐 59%에 해당하는 값이었다. 이는 주로 하천주변에 주로 위치하고 있는 농경지로 인하여 집중강우 발생시 하천

탁수문체에 안동댐에 비하여 취약할 것으로 판단되며 실제로 2002~3년 태풍 루사와 메미에 의한 영향으로 임하댐내 탁도가 최고 1,221 NTU까지 높아진바 있다 (Lee et al., 2011).

Fig. 5는 농경지 토양침식 등급별 분포를 나타낸 것으로 우리나라 농경지 토양유실 목표치인 11 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ (1년에 약 1mm)로 규정할 때 본 연구에서 수행한 대상유역 중 토양침식위험성 등급이 “보통” 이상으로 높은 농경지의 전체면적은 201.7 km² (안동댐 84.9, 임하댐 116.8)이었다. 이는 전체 농경지 중 40.7% (안동댐 42.5, 임하댐 39.5)에 해당하는 면적으로, 전체 유역면적 중 5.6% (안동댐 42.5, 39.5)에 해당하는 면적이었다. Park et al. (2011)이 본 연구와 같은 방법으로 분석한 한강 팔당댐 상류지역 5개 중권역 74개 소권역 중 토양침식위험성 등급이 “보통” 이상으로 높은 농경지 중 비율 43.4%, 전체 유역 중 비율 4.6%와 비교해 볼 때 한강상류유역보다 낙동강 상류 유역이 농경지에 의한 토양유실에 미치는 영향이 더 큰 것으로 판단된다. 또한, 이러한 정보는 토양자원의 합리적인 관리 보전을 위한 토양 표토보전 및 유실 방지를 위한 정책 마련의 기초자료로 활용 가능할 것으로 판단된다.

토양특성에 따른 토양유실 특성 토양유실 관리를 위하여 토양과 지형특성을 포괄하는 소유역의 분류 및 유사성에 따른 그룹화는 농업에서의 최적영농관리나 오염물질에 따른 수질관리, 수문모형의 적용성 확대 및 수자원 관리에 합리적 유용성을 제공할 수 있다 (Sonn et al., 2007). Fig.

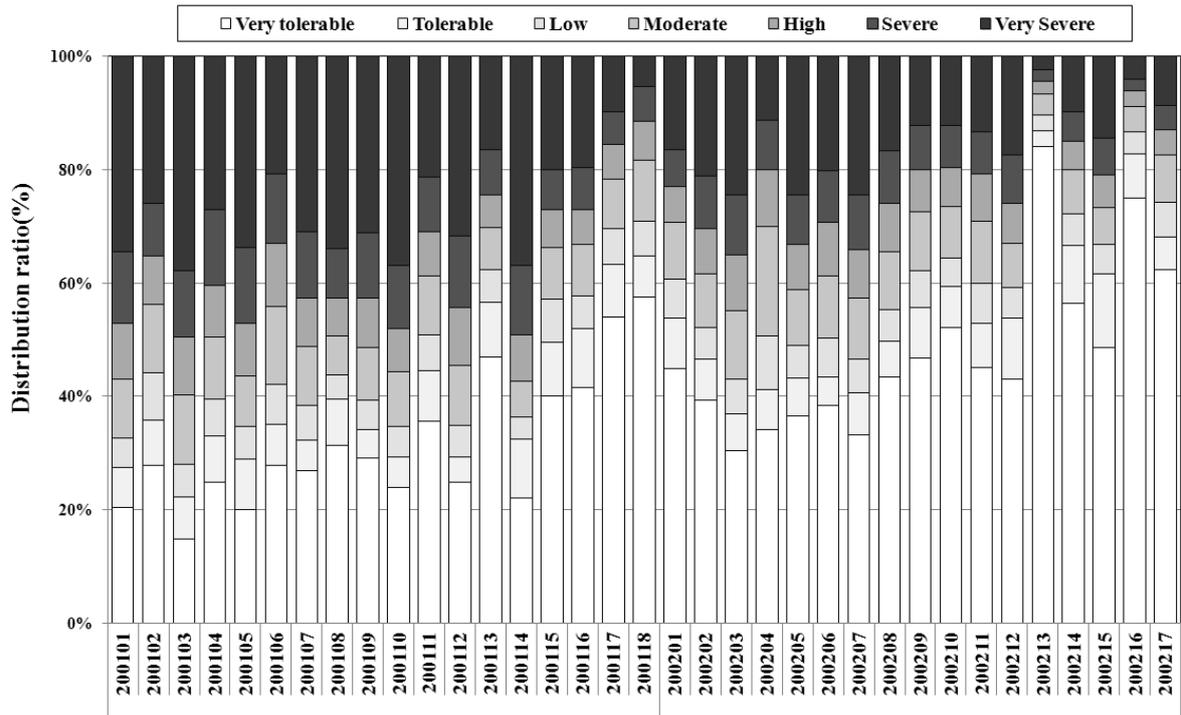


Fig. 5. Distribution ratio of Soil erosion grade with Arable land.

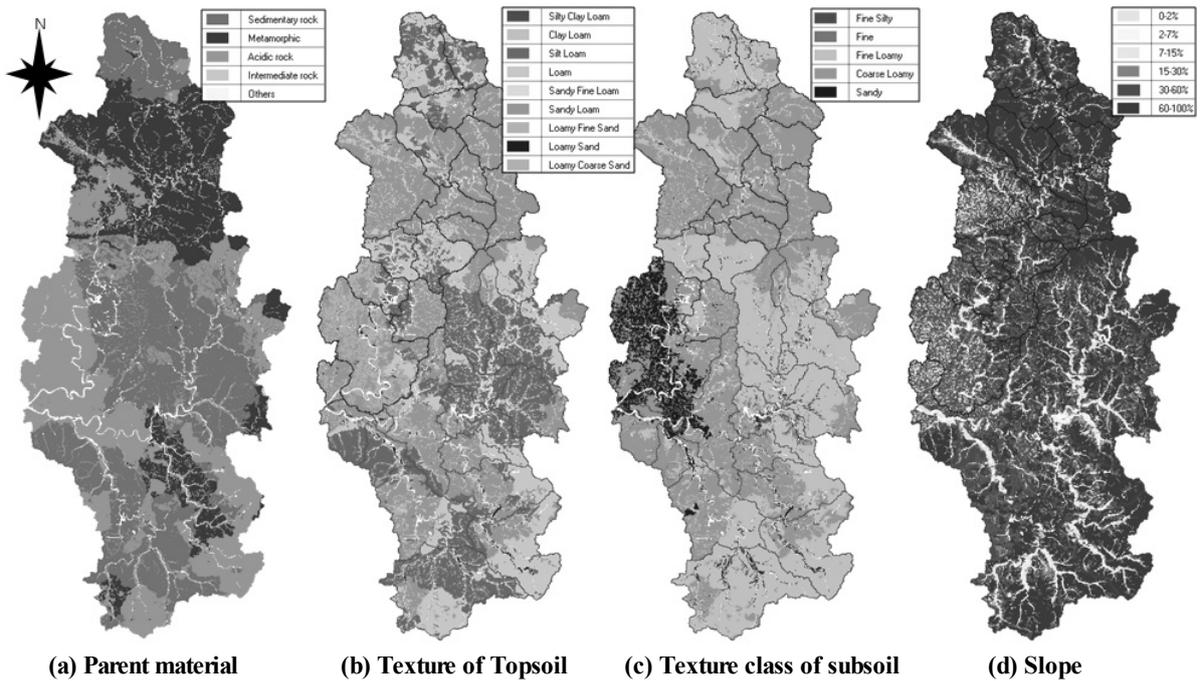


Fig. 6. Soil characteristics map of the study area.

6은 농촌진흥청에서 제작한 1:25,000 토양도를 이용하여 대상 지구내 토양특성을 지도화 한 것으로 토양모재 (parent matirical), 표토토성 (Soil texture of topsoil), 심토토성속 (Soil texture class of subsoil) 및 경사도 (slope) 속성을 지도화한 그림이다. 전체적인 경사도의 경우 30%이상의 분포면적이 76.1% (안동댐 77.8, 임하댐 74.7%)를 보여 공통적으로 산악지의 특성을 보여 주고 있었다. 토양모재별 토양

특성을 살펴보면, 산성암 및 중성암이 모재로 이루어진 화성암 (Igneous rock, 면적 분포비율 : 35.8%) 유래 토양의 경우 점토함량이 적은 다소 조립질 토양이 많은 면적을 이루어져 있었으며, 35.1%의 면적 분포비율을 보인 퇴적암 유래 토양은 다소 세립질토양으로 이루어져 있었다. 화강편마암 및 편암 모재로 이루어진 변성암 (Metamorphic rock, 분포비율 : 23.2%)의 표토토성이 주로 사양토로 이루어져 있었다.

Table 3. Classification of watershed based on major parent materal properties

Watershed	Parent Material distribution ratio(%)				Dominant Parent material type
	Sedimentary rock	Metamorphic rock	Igneous rock	others	
200101	84.0	9.2	2.3	4.4	Sedimentary rock
200102	83.3	0.2	12.4	4.1	Sedimentary rock
200103	12.6	70.3	14.3	2.7	Metamorphic rock
200104	2.5	84.8	11.1	1.6	Metamorphic rock
200105	-	87.4	10.6	2.0	Metamorphic rock
200106	-	86.5	11.6	1.9	Metamorphic rock
200107	-	80.0	13.5	6.5	Metamorphic rock
200108	-	87.9	10.0	2.1	Metamorphic rock
200109	-	73.9	21.4	4.7	Metamorphic rock
200110	0.9	86.6	11.7	0.8	Metamorphic rock
200111	33.6	15.4	46.9	4.2	Mixed
200112	0.2	65.5	30.1	4.1	Metamorphic rock
200113	0.01	47.6	49.2	3.1	Mixed
200114	31.7	11.3	53.7	3.4	Mixed
200115	40.6	0.1	49.1	10.3	Mixed
200116	78.8	-	15.1	6.0	Sedimentary rock
200117	14.1	0.01	77.5	8.4	Igneous rock
200118	0.03	-	96.1	3.9	Igneous rock
200201	15.9	22.7	58.6	2.8	Igneous rock
200202	17.6	28.0	51.9	2.5	Mixed
200203	68.7	1.5	24.6	5.2	Sedimentary rock
200204	76.0	0.2	6.5	17.3	Sedimentary rock
200205	80.2	5.3	10.4	4.1	Sedimentary rock
200206	70.4	-	19.4	10.2	Sedimentary rock
200207	67.5	19.2	8.3	5.0	Sedimentary rock
200208	51.0	9.2	28.3	11.5	Sedimentary rock
200209	11.1	15.7	65.5	7.7	Igneous rock
200210	17.8	33.2	41.8	7.1	Mixed
200211	1.6	47.3	42.3	8.8	Mixed
200212	41.4	3.4	50.0	5.2	Mixed
200213	-	-	78.9	21.1	Igneous rock
200214	51.1	6.5	36.0	6.4	Mixed
200215	62.3	-	31.5	6.2	Sedimentary rock
200216	67.2	-	17.7	15.2	Sedimentary rock

본 연구에서는 대상유역은 총 112개 토양통 (임동댐 92, 임하댐 97) 및 304개 토양상 (안동댐 242, 임하댐 231)으로 매우 다양한 토양으로 이루어져 있지만 토양의 모재별 특성은 어느 정도 그 지역의 특성을 나타낼 수 있을 것으로 판단하여 Table 3과 같이 전체 35개 소유역을 “퇴적암 그룹 (Sedimentary rock group)”, “변성암 그룹 (Metamorphic rock group)”, “화성암 그룹 (Igneous rock group)”, 그리고 “혼합지역 그룹 (Mixed group)”으로 구분 후 소유역별 면적당 추정 토양유실량을 비교하였다 (Fig. 7).

분석결과 퇴적암 그룹 (6.4 MT ha⁻¹ yr⁻¹) > 혼합지역 그룹 (5.8) > 변성암 그룹 (5.5) > 화성암 그룹 (4.3) 순이었으며, 이는 토양유실에 영향을 미칠 수 있는 토양인자인 토성, 경사도 등을 잘 반영하고 있었다. Park et al. (2010)은 화강암 및 화강편마암이 주요 토양모재인 북한강 권역의 소유역에 비하여 퇴적암이 주요 모재인 남한강 권역의 일부 소유역이 토양침식성 인자와 경사인자가 상대적으로 높아 토양유실위험성이 큼을 밝힌 바 있다. 또한, Hur et al. (2007)은 토양 모암과 지형에 따라 분류된 토양연접군에 따라 10개 소유역의 특성을 편마암 유래 5개 소유역 그룹, 화성암 유래 5개 소유역 그룹으로 분류하고 소유역별 토양침식 위

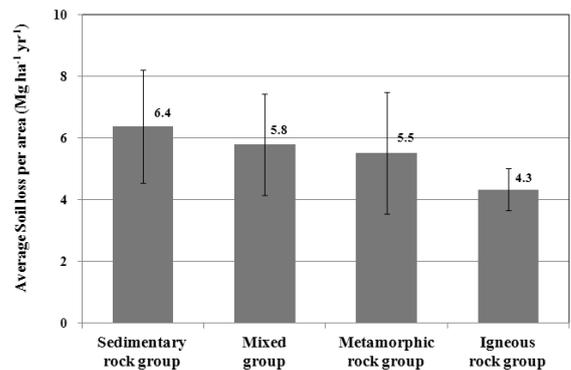


Fig. 7. Soil erosion potential by watershed groups with Dominant Parent material type.

험성 특성을 분석하였다. 해당 분석결과와 본 결과를 비교해 볼때 편마암 유래 유역인 경우 면적당 평균 유실량이 7.7 MT ha⁻¹ yr⁻¹이었으며, 6.4 MT ha⁻¹ yr⁻¹로 본 연구결과와 결과보다는 높은 수치를 보였지만 편마암 유래 그룹이 화성암 유래 그룹에 비해 높은 경향을 보이는 등 비슷한 경향이였다. 이와 같은 결과는 기존의 유역단위 구분이 토양의 특성을 전혀 반영하지 못하고 있는 현실에서 체계적인 소유역 단

위관리를 위한 한 방편으로 이용 가능할 것으로 판단된다.

적 요

본 연구에서는 농촌진흥청에서 구축한 우리나라의 분포형 토양침식지도를 이용하여 낙동강 상류지역인 35개 표준유역(안동댐 유역 18, 임하댐유역 17)에 대하여 환경부 토지피복도와 중첩분석을 통하여 토지이용별 토양침식위험성을 평가하여 토양침식위험지를 구분하였으며, 이를 정량화하였다.

추정된 대상유역 총 토양유실량은 2,013천 Mg yr⁻¹ 이었으며, 면적당 평균 토양유실량은 5.6 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ 이었다. 중권역 단위로 살펴보면 토양유실량은 각각 안동댐 유역 979천 Mg yr⁻¹, 임하댐 유역 1,034천 Mg yr⁻¹ 이었고, 면적당 평균 토양유실량은 각각 안동댐 유역 6.0 Mg ha⁻¹ yr⁻¹, 임하댐 유역 (2002) 5.2 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ 이었다

임하댐과 안동댐 유역내 농경지에서 발생하는 면적당 토양유실량을 비교해 보면 각각 안동댐 유역 24.0 Mg ha⁻¹ yr⁻¹, 임하댐 유역 20.7 Mg ha⁻¹ yr⁻¹으로 안동댐 유역의 값이 컸지만, 전체 농경지에서 발생하는 토양유실량은 각각 479,242 Mg yr⁻¹, 612,285 Mg yr⁻¹으로 임하댐 유역이 더 많은 양의 토양침식이 농경지에서 발생할 것으로 추정되었고, 이는 임하댐 유역 전체에서 발생하는 추정 토양침식량의 임하댐 59%에 해당하는 값이었다.

토양의 모재별 특성으로 전체 35개 소유역을 구분 후 소유역별 면적당 추정 토양유실량을 비교한 결과 “퇴적암 그룹”(6.4 MT ha⁻¹ yr⁻¹) > “혼합지역 그룹”(5.8) > “변성암 그룹”(5.5) > “화성암 그룹”(4.3) 순이었으며, 이는 토양유실에 영향을 미칠 수 있는 토양인자인 토성, 경사도 등을 잘 반영하고 있었다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업 (과제번호: PJ008417042012)의 지원에 의해 이루어진 것임

인 용 문 헌

- Hur, S.O., Y.K. Sonn, K.H. Jung, C.W. Park, H.H. Lee, S.K. Ha, and J.K. Kim. 2007. Assessment of soil loss estimated by soil catena originated from granite and gneiss in catchment. *Korean J. Soil. Sci. Fert.* 40(5):338-391.
- Jang, C.H., J. Ryu, H. Kang, D. Kum, Y. Kim, H.Y. Park, K.S. Kim, and K. J. Lim. 2011. Development of SATEEC R module using daily rainfall data. *Korean J. Soil. Sci. Fert.* 44(6):983-990.
- 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, 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. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 38:59-65.
- Jung, Y.S., Y.K. Kwon, H.S. Lim, S.K. Ha, P.K. Jung, and Y.E. Yang. 1999. R and K factors for an application of RUSLE on the slope soils in Kangwon-Do, Korea. *Korean Soc. Soil. Sci. Fert.* 32:31-38.
- Lee, G.S. and J.H. Park. 2006. The analysis of GIS DB for the evaluation of turbid water considering spatial characteristics of river channel. *Korean Society of Surveying Geodesy Photogrammetry and Cartography.* 24(1):1-8.
- Lee, J.W., J.S. Eom, B.C. Kim, W.S. Jang, J.C. Ryu, H.W. Kang, K.S. Kim, and K.J. Lim. 2011. Water quality prediction at Mandae watershed using SWAT and water quality improvement with vegetated filter strip. *Korean K. Soc. Agri. Engi.* 53(1):37-45.
- Ministry of Environment. 2006. Basic plan for management of water environment (In Korean).
- National Academy of Agricultural Science. 2006. Research Report (In Korean).
- National Academy of Agricultural Science. 2007. Research Report (In Korean).
- Park, C.W., Y.K. Sonn, B.K. Hyun, K.C. Song, H.C. Chun, Y.H. Moon, and S.G. Yun. 2011. The redetermination of USLE rainfall erosion factor for estimation of soil loss at Korea. *Korean J. Soil. Sci. Fert.* 40(6):977-982.
- Park, Y.S., J.G. Kim, N.W. Kim, K.S. Kim, J.D. Choi, and K.J. Lim. 2007. Analysis of sediment yields and watershed scale using Area/Slope-based sediment delivery ratio in SATEEC. *Korean. J. Sco. Water Qual.* 23(5):650-658.
- 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.
- Sonn, Y.K., B.K. Hyun, S.J. Jung, S.O. Hur, K.H. Jung, M.C. Seo, and S.K. Ha. 2007. Morphological classification of unit basin based on soil & geo-morphological characteristics in the Yeongsangang basin. *Korean J. Soil. Sci. Fert.* 40(4): 262-268.
- 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.