

소유역단위 화강암/편마암 기원 토양 연접군(catena)에 따른 토양 유실 평가

허승오* · 손연규 · 정강호 · 박찬원 · 이현행 · 하상건 · 김정규¹

농업과학기술원, ¹고려대학교 환경생태공학부

Assessment of Soil Loss Estimated by Soil Catena Originated from Granite and Gneiss in Catchment

Seung-Oh Hur,* Yeon-Kyu Sonn, Kang-Ho Jung, Chan-Won Park, Hyun-Hang Lee, Sang-Keun Ha, and Jeong-Gyu Kim¹

Soil Management Division, National Institute of Agricultural Science & Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea

¹Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

This study was conducted for an assessment through the estimation of soil loss by each catchment classified by soil catena. Ten catchments, which are Geumgang21, Namgang03, Dongjincheon, Gapyongcheon01, Gyongancheon02, Geumgang16, Byongsungcheon01, Daesincheon, Bukcheon02, Youngsangang08, were selected from the hydrologic unit map and the detailed soil digital map (1:25,000) for this study. The catchments like Geumgang21, Namgang03, Dongjincheon, Gapyongcheon01 and Gyongancheon02 were mainly composed with soils originated from gneiss. The catchments like Geumgang16, Byongsungcheon01, Daesincheon, Bukcheon02 and Youngsangang08 were mainly composed with soils originated from granites. The grades, which are divided into seven grades with A(very tolerable), B(tolerable), C(moderate), D(low), E(high), F(severe), G(very severe), of soil erosion estimated by USLE in catchments were distributed in most A and B because of paddy land and forestry. In detailed, the soil erosion grade of catchments mainly distributing soils originated from gneiss showed more the distribution of B and C than it of catchments mainly distributing soils originated from granites. The reason of results would be derived from topographic characteristics of soils originated from gneiss located at mountainous. The soil loss according to soil catena linked with Songsan and Jigok series, which are soils originated from gneiss was calculated with 7.66 ton ha⁻¹ yr⁻¹. The soil loss of Geumgang16, Byongsungcheon01, Daesincheon, Bukcheon02 which have the soil catena linked with Samgak and Sangju soil series originated from granite, was calculated with 5.55 ton ha⁻¹ yr⁻¹. The soil loss of Youngsangang08 which have the soil catena linked with Songjung and Baeksan soil series originated from granite was calculated with 9.6 ton ha⁻¹ yr⁻¹, but the conclusion on soil loss in this kind of soil catena would be drawn from the analysis of more catchments. In conclusion, the results of this study inform that the classification of soil catena by catchments and estimation of soil loss according to soil catena would be effective for analysis on the grade of non-point pollution by soil erosion in a catchment.

Key words : USLE, Soil Catena, Soil Erosion, Soil Loss, Watershed, Parent Materials

서 언

우리나라의 건설교통부(건교부, MOCT)나 환경부는 최근 기상이변 등에 따른 물관리의 효율성과 안전성을 위해 수요 또는 환경중심의 통합적 물관리에 주력하고 있다. 건교부는 4대강 유역을 중심으로 통합

적 물관리를 추진해오고 있으며, 환경부 또한 4대강의 수질을 개선하고 보전하기 위한 일련의 정책들을 시행하고 있다. 그러나, 통합적 측면에서의 효율성을 지닌 대유역 중심의 유역관리는 실제 정책집행 효과를 분석하거나 판단하기는 어려운 측면이 있어 대유역이나 중유역외에도 소유역 중심의 유역관리를 수자원 관리정책의 한 줄기로 삼고 있다. 이러한 유역중심의 수자원 관리는 수질관리에서도 반드시 필요하며, 특히 비점오염원으로 우려되는 농업지역에서의

접수 : 2007. 9. 1 수리 : 2007. 10. 7
*연락처 : Phone: +82312900273,
E-mail: sohur@rda.go.kr

수질관리 방안에는 이런 유역관리 특성을 반영하는 것이 바람직하다. 농경지로부터의 비점오염원은 대부분 강우 유출수와 유실토양과 연계되어 발생되므로 (Ann et al., 1996; Jung et al., 1998; Jung et al., 2000; Kim et al., 1997) 장소특이적 BMP(Best Management Practice)에 대한 유역단위 관리도 필요한 영역이 되고 있다. 유역에서의 토양유실은 강우가 지면에 도달하는 순간에 전해지는 운동에너지의 토양표면에 대한 타격으로부터 발생하는데, 타격을 받은 토양입자는 견지력(토양에 작용하는 외력에 대한 저항) 이하의 힘에는 자신의 형상을 유지하지만 그 이상의 힘에는 타격받은 부분이 토양으로부터 떨어져 나가게 된다(Fox and Bissonnais, 1998; Ward and Elliot, 1995;). 이런 강우타격에 의한 토양의 탈리특성은 동일한 강우에 대해 모든 토양이 동일하게 반응 하지는 않고 입단, 구조, 수분함량, 입도 등의 다양한 토양의 물리적 특성(Scott, 2000; Sharratt et al., 2006; Yoo, 2000)과 지형 및 피복된 식생의 영향도 받는다(Gabet et al., 2003; Scott, 2000; Ward and Elliot, 1995). 지형과 식생은 토양의 생성요인인 동시에 유역을 가름하는 중요한 잣대도 되며, 특히 지형의 경우 모재의 이동여부와 연결시키면 일반적인 토양을 이해하는데 많은 도움이 된다(Sonn et al., 2007). 토양학에서는 동일한 모재에서 유래된 일련의 토양이 지형에 따라 연속적으로 분포된 것을 Soil Catena(토양연접군)라고 하는데(Sonn et al., 2007) 우리나라와 같은 환경에서 이 토양연접군은 모암과 지형에 따라 연결해 있는 토양통을 설명하는 유용한 도구이다. 본 연구는 우리나라의 표준유역 단위에서 분류될 수 있는 몇 개의 토양연접군을 통해 그 토양 그룹들의 토양침식 위험성이 구분되고 비교될 수 있는지, 경지이용형태에 따라 어떤 양상으로 발현되는지를 파악해 유역단위의 수계관리에 도움이 되는지를 분석하고자 하였다.

재료 및 방법

유역의 선정 건교부에서 분류한 유역도의 소유역 단위(건교부, 2000)에 농촌진흥청 농업과학기술원에서 축척 1:25,000 규모로 조사한 전국규모의 수치화된 토양조사자료를 반영시켜 소유역 단위 중 정밀토양조사가 되어 있는 10개의 소유역을 선정해 분석에 활용했다(Table 1). 이들 소유역은 북천 02, 병성천 01, 대신천, 동진천, 가평천 01, 금강분류 16, 금강분류 21, 경안천 02, 남강 03, 영산강분류 08 소유역이다. 북천 02와 병성천 01은 경북 상주에, 대신천은 경기 여주와 이천지역에, 동진천은 충북 괴산지역에, 가평천 01은 경기도 가평지역에 위치한 소유역이며 금강분류 16은 충북 청원과 충남 연기, 금강 분류 21은 충남 공주지역에, 경안천 02는 경기도 용인지역에, 남강 03은 경남 산청과 함양지역에, 영산강 08은 전남 광주와 나주에 걸쳐 있는 소유역이다(Table 1).

토양 유실량 산정 본 연구를 위한 토양 유실량 산정은 Wischmeir and Smith(1978)가 제안한 범용토양 유실 예측 공식인 USLE(Universal Soil Loss Equation)를 사용했다. USLE는 토양침식에 영향을 미치는 다양한 인자들 중 가장 크게 영향을 미치는 5가지 인자 즉, 강우인자(Rainfall erosivity factor, R), 토양침식성 인자(Soil erodibility factor, K), 경사인자(Slope length and steepness factor, LS), 식생피복인자(Cover management factor, C), 보전관리인자(Conservation practice factor, P)를 산정해 이들의 곱으로 연간 토양유실량을 계산하였으며 그 식은 다음과 같다(식 1).

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

여기서, A는 연간 토양유실량($MT \ ha^{-1} \ yr^{-1}$), R은 강우인자($MJ \ mm \ ha^{-1} \ yr^{-1} \ hr^{-1}$), K는 토양침식성 인자($MT \ hr \ MJ^{-1} \ mm^{-1}$), LS는 경사인자(dimensionless), C는 식생피복인자(dimensionless), P는 보전관리인자

Table 1. Classification of catchments for this study.

Catchment	Located Region	Catchment Area(ha)
Bukcheon02	Sangju	12,502
Byongsungcheon01	Sangju	13,939
Daesincheon	Yeosu and Yicheon	5,755
Dongjincheon	Goesan	12,400
Gapyongcheon01	Gapyung	13,144
Geumgang16	Cheongwon and Yeongi	7,104
Geumgang21	Gongju	12,064
Gyongancheon02	Yongin	4,908
Namgang03	Sancheong and Hamyang	3,731
Youngsangang08	Gwangju and Naju	6,469

(dimensionless)이다.

강우인자(R) USLE에서는 Wischmeir and Smith (1978)에 의해 제안된 강우인자 계산식이 있으나 이 연구에서는 강우에너지의 산출방법은 Foster et al.(1977)에 의해 제안된 식을 사용했다. 그리고, 지역별 강우인자 산출은 69개 기상 관측소의 자료를 이용한 Jung et al.(1983)과 53개 관측소 자료를 이용한 Park et al.(2000)의 결과를 TM 좌표를 이용하여 거리 역산 자승 가중치법(IDW, Inverse Distance Weight)을 적용, 1 km 단위로 계산하여 시·군별 강우 인자 평균값을 산출한 Jung et al. (2004)의 연구 결과를 활용했다.

토양침식성 인자(K) 토양 침식성 인자의 계산은 유기물 함량과 입자특성 및 토양구조부호, 투수부호를 반영하여 Wischmeir and Smith(1978)가 제안한 식을 사용했으며 자갈로 피복이 되어 있는 토양에서는 Box(1981)가 제안한 자갈피복도에 따른 수정된 토양침식성 인자 계산식(식 2)를 사용했다.

$$K_g = K \times [1.0977 \times 10^{-0.0111x}] \quad (2)$$

여기서, K_g 는 자갈 피복도를 고려한 토양침식성 인자이고 x 는 자갈함량(%)이다.

자갈 함량은 토양상별로 “자갈(돌 또는 바위)이 있는(10~35%)” 토양에 대해서는 중간값을 택하여 22.5%, “자갈이 많은(35% 이상)” 토양에 대해서는 45%를 적용하였다. 같은 토양통내에서 표토의 토성에 따라서 토양상이 달라지는 경우 지리적 인접 토양통의 입자크기별 함량 자료를 적용했다. 그리고 밭토양의 경우 유기물함량 변화를 고려하기 위해 농업환경 변동조사(NIAST, 2003)의 밭토양 유기물 함량 자료를 이용해 토양침식성 인자를 보정했다.

경사인자(LS) 소유역단위 토양유실을 산정하기 위한 경사도와 경사장은 토양상별 경사도(%) 등급의 중간값을 취해 경사각 단위로 환산하였는데 A slope은 1%, B slope은 4.5%, C slope은 11%, D slope은 22.5%, E slope은 45%, F slope은 80%를 적용했다. 경사장은 논, 밭, 초지, 산림 등에 따라 분류한 Jung et al.(2004)의 연구결과를 활용했다.

식생피복인자(C) 토양유실량 산정을 위해 이용된 식생피복인자는 작물별 인자 값을 적용하지 않고 토지이용에 따른 대표값을 적용했다. 논, 밭, 초지, 과수원의 식생피복인자는 Jung et al.(2004)의 연구결과를 활용해 계산했으며, 산림은 토양상 침식등급에 따라 Wischmeir and Smith(1978)가 제안한 매우 심함

0.01, 심함 0.07, 있음 0.003, 없음 0.001을 적용했다.

보전관리인자(P) 토양보전 관리방법에 의해 토양 유실을 얼마나 삭감할 수 있는지를 반영하는 보전관리인자는 상하경 재배시의 토양유실량에 대한 보전관리방법 적용시의 토양유실량의 비로 계산하며, 여러 연구자들(Jung et al., 2004; Kim et al., 1991; Oh et al., 1991; Shin et al., 1980)에 의해 제안된 각 보전관리 방법별 인자 값은 등고선 재배 0.54, 등고선 재배+부초 0.14, 계단전 0.08, 초생대 0.16이나 본 연구에서 소유역 단위 토양유실량을 계산하는데는 밭은 등고선 재배를, 논은 계단전을 가정했으며 산림, 초지, 과수원은 보전관리가 없다고 가정했다.

토양유실 등급 토양유실 정도를 판단하기 위한 토양유실 등급은 OECD 농업환경지표에서 제시한 Tolerable, Low, Moderate, High, Severe의 5등급(OECD, 2001)에서 Tolerable과 Severe를 각각 두 단계로 세분화해 매우적음, 적음, 약간적음, 보통, 약간심함, 심함, 매우심함의 7 등급으로 구분했는데, 이는 토양유실이 적은 논과 토양유실이 심한 밭으로 양극화 되어 있는 농경지 특성을 반영한 것이다(Jung et al., 2004). 본 연구에서는 매우적음은 A등급(2 ton ha⁻¹ yr⁻¹ 이하), 적음은 B등급(2~5.9 ton ha⁻¹ yr⁻¹), 약간적음은 C등급(6~10.9 ton ha⁻¹ yr⁻¹), 보통은 D등급(11~21.9 ton ha⁻¹ yr⁻¹), 약간심함은 E등급(22~32.9 ton ha⁻¹ yr⁻¹), 심함은 F등급(33~49.9 ton ha⁻¹ yr⁻¹), 매우심함은 G등급(50 ton ha⁻¹ yr⁻¹ 이상)으로 표시했다.

결과 및 고찰

대상유역의 토양특성 화강암과 편마암으로부터 유래된 토양 연결군은 몇 가지의 유형으로 분류된다(NIAST, 1999; Sonn et al., 2007). 편마암 유래 토양은 송산통에서 오산통, 지곡통, 창곡통, 매곡통, 회곡통 순으로 내려오는 연결군과 덕산통, 수암통, 월곡통 순으로 내려오는 연결군, 월산통, 복내통, 감천통으로 내려오는 연결군 등이 있으며, 화강암 유래토양은 삼각통, 예산통, 상주통, 뇌곡통, 은곡통, 사촌통, 예천통 순으로 내려오는 연결군과 송정통, 백산통, 대곡통, 용지통, 지산통, 백구통, 옥천통 순으로 내려오는 연결군, 도산통, 학곡통의 순으로 내려오는 연결군 등이 있다(Sonn et al., 2007). 본 연구에 사용된 열개의 소유역 중 금강분류 21, 남강 03, 동진천, 가평천 01, 경안천 02 소유역은 편마암 유래토양이 50% 이상을 차지하는 편마암 유래토양 소유역 그룹으로(Table 2) 송산통과 오산통, 지곡통으로 내려오는 토양연접군으

Table 2. Percentage of soil materials in study catchments.

(Unit: %)

Catchment classification		Granite	Gneiss	Alluvium	Diluvium	Shale	Others
Catchment by gneiss soil	Geumgang21	16.2	56.8	6.5	0.2	5.9	14.5
	Namgang03	40.9	52.5	5.2	-	-	1.4
	Dongjincheon	27.7	50.0	4.8	0.0	-	17.5
	Gapyongcheon01	3.1	96.6	0.3	-	-	-
	Gyongancheon02	16.3	72.5	9.8	1.3	-	0.1
Catchment by granite soil	Geumgang16	70.0	21.7	7.1	1.1	-	0.1
	Byongsungcheon01	82.2	8.7	7.4	1.4	0.0	0.2
	Daesincheon	89.7	0.6	9.5	0.2	-	-
	Bukcheon02	74.5	5.7	5.6	0.3	1.6	12.2
	Youngsangang08	64.0	6.4	13.4	6.6	0.4	9.2

로 분류되었다. 유래토양별 면적은 금강분류 21이 편마암 유래토양이 약 57%, 화강암 유래토양이 약 17%를 차지하고 있었고, 남강 03은 편마암 유래토양이 약 53%이면서도 화강암 유래토양도 약 41%를 차지하는 유역이었으며 동진천은 편마암이 50%, 화강암이 약 28%, 가평천 01은 약 97%가 편마암 유래토양으로 경안천 02는 약 73%가 편마암 유래토양으로 분류되는 소유역이었다(Table 2). 금강분류 16, 병성천 01, 대신천, 북천 02, 영산강 분류 08 소유역은 화강암 유래토양 면적이 60% 이상인 화강암 유래토양 소유역 그룹으로 영산강 분류 08을 제외한 소유역들은 삼각통, 예산통, 상주통으로 내려오는 토양연접군으로 분류되었고 영산강 분류 08은 송정통, 백산통, 대곡통으로 내려오는 토양연접군으로 분류되었다. 유래토양별 면적은 금강분류 16이 화강암 유래토양이 70%, 편마암 유래토양이 약 22%를 차지했으며, 병성천 01은 화강암 유래토양 82%, 편마암 유래토양이 약 9%였다. 대신천은 화강암 유래토양이 약 90%, 하성충적 토양이 약 10%를 차지했으며 북천 02는 화강암이 약 75%, 영산강 분류 08은 화강암 유래토양이 64%, 하성충적 토양이 약 13%를 차지하는 소유역이었다(Table 2).

경지이용 형태 토양을 어떤 형태로 이용하고 있는가에 대한 분포를 알아보는 것은 우리나라와 같이 논이 경지면적의 약 70%를 차지하고 있는 경우에는 밭에서의 토양 침식 위험성 자료가 미칠 영향을 미리 인지할 수 있는 근거가 되며 침식이 거의 없는 것으로 알려진 논과 지형적 이유로 침식 위험성이 높은 밭의 비율을 파악함으로써 어떤 유역에서 얼마만큼의 침식 위험성이 제기될 때 그 침식 위험성의 유래를 파악할 수 있는 자료가 될 수 있다. Table 3은 대상유역에서의 토양도 상에 나타난 경지 이용형태를 면적별 비율로 나타낸 것이다. 편마암 유래토양이 주로 분포하고 있는 소유역 그룹에서는 화강암 유래토양이 주로 분포하는 소유역보다 대부분 산림의 면적비율이 높게 나타나 있고 밭의 분포면적 비율이 그다지 높지 않은 것을 보여주고 있으나 화강암 유래토양이 주로 분포하는 소유역 그룹에서는 북천을 제외하고는 대체적으로 산림의 면적이 약 50%이며 영산강 분류 08 소유역 같은 경우는 산림보다 논 면적분포가 훨씬 더 많음을 알 수 있다.

토양의 침식은 일반적으로 산림과 논보다는 밭에서 많이 발생하고, 농업은 논과 밭을 위주로 경작되므로 산림을 제외한 면적분포를 살펴보는 것도 토양침식 위험성을 인식하는데 도움이 될 것이다. Table 4는 그

Table 3. Percentage of landuse pattern based on soil map data in study catchments.

(Unit: %)

Catchment classification		Forest	Paddy land	Upland	Orchard	Settlement	Wasteland
Catchment by gneiss soil	Geumgang21	65.9	16.5	12.0	0.3	1.8	3.7
	Namgang03	68.4	13.4	6.6	4.6	2.5	4.5
	Dongjincheon	66.7	10.5	15.7	0.8	3.6	2.8
	Gapyongcheon01	95.6	0.8	2.1	0.2	0.3	1.0
	Gyongancheon02	57.6	15.5	10.6	4.6	8.1	3.6
Catchment by granite soil	Geumgang16	48.8	18.9	17.9	0.9	5.9	7.5
	Byongsungcheon01	56.2	22.7	7.1	8.3	3.2	2.5
	Daesincheon	50.0	29.0	14.3	1.9	2.5	2.2
	Bukcheon02	75.7	10.1	5.9	2.4	3.6	2.3
	Youngsangang08	28.9	36.9	19.2	6.4	4.4	4.3

Table 4. Percentage of landuse pattern in study catchments (excluding forestry).

(Unit: %)

Catchment classification		Paddy land	Upland	Orchard	Settlement	Wasteland
Catchment by gneiss soil	Geumgang21	48.2	35.0	0.9	5.3	10.7
	Namgang03	42.5	20.9	14.5	7.9	14.1
	Dongjincheon	31.4	47.0	2.4	10.8	8.4
	Gapyongcheon01	17.9	48.6	5.4	6.5	21.6
	Gyongancheon02	36.5	24.9	10.9	19.1	8.6
Catchment by granite soil	Geumgang16	37.0	35.1	1.8	11.5	14.7
	Byongsungcheon01	51.8	16.2	18.9	7.5	5.7
	Daesincheon	57.9	28.6	4.0	5.0	4.5
	Bukcheon02	41.4	24.3	9.8	15.0	9.5
	Youngsangang08	51.9	27.0	8.9	6.2	6.0

런 산림을 제외한 경지이용 형태 면적비율을 여러 소유역별로 살펴본 것이다. 편마암 유래토양이 주로 분포하고 있는 동진천과 가평천 01 소유역을 제외한 나머지 모든 소유역에서는 논이 분포면적이 밭보다는 많았으며 화강암 유래토양이 주로 분포하고 있는 병성천 01, 대신천, 영산강 08 소유역은 논이 분포면적이 50%를 넘었다.

경사도 분포 일반적으로 토양도 상에 토양을 나타내는 최소 표시단위는 토양통이지만 토양을 이용하

는 경작지의 특성이 표토에 집중되어 있고 동일한 토양통이라도 지형조건의 차이가 있을 수 있으며 표토의 경우 특성에 따라 바뀔 수 있어 토양 전자지도에는 토양상으로 토양부호를 표기하고 있다. 토양상은 토양구를 세분한 단위로 토양상으로 분류된 토양부호에는 해당 토양의 경사도가 나와 있어 소유역의 토양별 경사도 분포를 나타낼 수 있다. 경사도는 토양침식에 미치는 영향이 크므로 이에 대한 분포정도를 파악하는 것은 유역단위 토양침식 위험성을 인지하는 중요한 인자가 될 수 있다.

Table 5. Percentage of area according to slope based on soil map data in study catchments.

(Unit: %)

Catchment classification		A(<2%)	B(2-7%)	C(7-15%)	D(15-30%)	E(30-60%)	F(60%<)
Catchment by gneiss soil	Geumgang21	6.5	10.5	16.4	17.1	35.1	14.3
	Namgang03	5.2	5.5	9.9	19.7	19.2	40.5
	Dongjincheon	4.8	12.1	15.2	6.2	28.5	33.2
	Gapyongcheon01	0.3	0.6	2.4	1.9	22.0	72.8
	Gyongancheon02	9.9	16.7	11.1	9.2	31.3	21.8
Catchment by granite soil	Geumgang16	7.3	19.5	18.3	21.7	26.3	6.9
	Byongsungcheon01	10.2	11.9	15.5	16.6	21.2	24.5
	Daesincheon	9.8	36.6	18.2	16.4	17.9	1.1
	Bukcheon02	5.8	5.1	9.1	14.4	23.3	42.3
	Youngsangang08	15.8	31.7	32.2	7.9	7.2	5.3

Table 6. Percentage of area according to slope based on soil map data in study catchments (excluding forestry).

(Unit: %)

Catchment classification		A(<2%)	B(2-7%)	C(7-15%)	D(15-30%)	E(30-60%)	F(60%<)
Catchment by gneiss soil	Geumgang21	20.6	32.8	40.0	5.1	1.3	0.1
	Namgang03	17.6	13.7	31.8	31.7	0.2	-
	Dongjincheon	15.0	37.4	39.0	5.7	2.5	0.3
	Gapyongcheon01	8.2	15.9	37.4	22.8	15.4	0.4
	Gyongancheon02	24.8	39.9	21.2	4.7	9.3	-
Catchment by granite soil	Geumgang16	14.9	40.4	32.7	7.9	3.8	0.3
	Byongsungcheon01	24.0	27.7	33.8	14.1	0.4	-
	Daesincheon	20.0	67.5	10.6	1.3	0.6	-
	Bukcheon02	25.8	22.4	36.8	14.8	0.2	-
	Youngsangang08	22.6	44.5	28.8	3.7	0.3	-

수계별로 유래토양 특성을 구분지은 소유역 단위에서의 토양도 상의 경사도 분포는 Table 5에 나와 있다. 편마암 유래토양이 주로 있는 소유역에서는 산림면적이 많은 관계로 경사 60% 이상인 E와 F slope의 분포가 많았다. 또한, 대체적으로 A와 B slope 보다는 C와 D slope의 분포가 많은 특성을 보였다. 화강암 유래토양이 주로 분포하는 소유역에서는 대부분의 유역이 경사도에 따라 고르게 분포하는 경향이었으며 북한 02 소유역을 제외하면 대체적으로 E와 F slope의 분포면적이 50%를 넘지 않았다. 이는 화강암 유래토양 소유역에서의 토양특징이라 할 수 있을 것이다. 산림면적이 농경지 면적보다 적었던 영산강 08 소유역은 C slope 이하에 대부분의 토양이 분포하고 있었다. 산림을 제외한 경사도의 면적분포는 편마암 수계의 경우는 경안천 02소유역을 제외하고 C slope가 제일 많이 분포하고 있었으며 화강암 유래토양 소유역은 B와 C slope에 제일 많이 분포하되 B slope 이하가 50%를 넘었다(Table 6).

소유역단위 토양침식 유실량 농업의 비점오염원은 대부분 강우 유출수와 유실토양과 연계되어 발생되므로 이를 저감할 수 있는 최적관리를 위해서는 토

양유실량을 파악하는 것이 선결과제일 것이다. 특히, 수계관리의 기본단위인 표준 소유역에서의 토양유실량을 산정하는 것은 통합적 수계관리를 지향하는 유역관리에 도움이 될 것이다.

Table 7은 모재별 유래토양으로 구분한 소유역별 토양유실량에 따른 면적별 분포를 살펴본 것이다. 토양유실량 등급은 산림이 포함된 관계로 편마암이나 화강암 유래토양 대부분에서 매우적음 등급인 A나 적음 등급인 B가 많았으나 세부적으로 살펴보면 편마암 유래토양이 주로 분포하는 소유역의 경우는 A 보다는 B와 약간적음 등급인 C 등급이 더 많이 분포하고 있었다. 이는 아마도 편마암 유래 토양 소유역이 지형적으로 높은 산과 연계되어 분포하고 있는 경우가 많은 것에서 연유된 것으로 판단된다. 화강암 유래 토양이 주로 분포하는 소유역에서는 A와 B 등급에 많이 분포하고 있고 영산강 08을 제외하면 C 이상의 등급에 분포하는 면적은 적은편이다. 이러한 결과는 지형적으로 높은 산과 연계되어 분포하고 있는 편마암 유래토양이 주로 분포하는 소유역의 토양침식 위험성이 화강암 유래토양 분포 소유역보다 상대적으로 높다는 것을 나타낸다.

소유역 단위 토양유실량을 산정했을 때 산림을 제

Table 7. Percentage of area according to grade by estimated soil loss in study catchments.

(Unit: %)

Catchment classification		A	B	C	D	E	F	G
Catchment by gneiss soil	Geumgang21	29.6	44.4	18.4	2.1	3.4	1.4	0.6
	Namgang03	19.9	48.9	14.4	9.4	2.5	0.7	4.2
	Dongjincheon	19.5	29.1	45.5	1.8	2.6	0.9	0.6
	Gapyongcheon01	5.1	19.5	73.2	0.4	0.5	0.3	1.1
	Gyongancheon02	22.9	32.0	35.2	3.9	1.1	1.1	3.8
Catchment by granite soil	Geumgang16	34.3	45.4	6.4	7.2	1.3	1.1	4.3
	Byongsungcheon01	38.7	47.6	2.5	5.7	1.2	4.0	0.4
	Daesincheon	46.8	20.7	18.7	10.2	0.8	2.3	0.5
	Bukcheon02	25.5	67.1	1.4	3.3	0.6	2.0	0.2
	Youngsangang08	55.2	8.9	10.1	8.6	10.7	0.6	6.0

Table 8. Percentage of area according to grade by estimated soil loss in study catchments (excluding forestry).

(Unit: %)

Catchment classification		A	B	C	D	E	F	G
Catchment by gneiss soil	Geumgang21	56.8	7.0	11.3	6.9	11.2	4.6	2.0
	Namgang03	50.9	7.5	6.2	7.3	9.5	2.6	16.0
	Dongjincheon	40.4	14.3	8.3	11.2	16.1	5.6	4.0
	Gapyongcheon01	26.8	0.8	2.3	13.8	14.6	8.9	32.9
	Gyongancheon02	52.0	12.8	8.3	10.6	3.0	3.1	10.3
Catchment by granite soil	Geumgang16	50.3	7.9	11.1	15.8	2.9	2.5	9.5
	Byongsungcheon01	61.7	5.1	5.3	14.2	3.0	9.9	0.9
	Daesincheon	65.2	2.1	19.3	5.9	1.6	4.8	1.1
	Bukcheon02	57.5	4.6	6.9	16.9	2.9	10.2	1.1
	Youngsangang08	60.6	2.6	0.9	11.9	14.8	0.9	8.3

Table 9. Annual soil loss according to landuse pattern in study catchments.

(Unit: ton ha⁻¹ yr⁻¹)

Catchment classification		Forest	Paddy land	Upland	Catchment total
Catchment by gneiss soil	Geumgang21	4.8	0.5	20.7	6.1
	Namgang03	5.4	0.8	34.8	8.9
	Dongjincheon	2.6	0.4	21.7	5.6
	Gapyongcheon01	7.0	0.4	66.4	8.4
	Gyongancheon02	5.7	0.5	15.5	9.3
Catchment by granite soil	Geumgang16	3.2	0.5	26.3	7.6
	Byongsungcheon01	2.7	0.4	25.8	5.1
	Daesincheon	5.0	0.5	15.9	5.4
	Bukcheon02	2.7	0.5	24.8	4.1
	Youngsangang08	4.0	0.5	33.4	9.6

외한 경우에는 어떤 경향을 나타내는지는 Table 8에 나타냈다. 산림을 제외하면 전체적으로 토양유실 등급의 면적분포가 A 등급이 많아지는 것을 알 수 있다. 이는 농경지에서 논이 차지하는 비중과 유실에 미치는 작은 영향 때문인 것으로 여겨지며, 편마암 유래 토양 소유역에서는 화강암 유래토양 소유역 보다 상대적으로 토양유실이 매우심함 등급인 G 등급의 면적분포가 많은 특성을 보여주고 있다. 또한 편마암 유래토양 소유역들이 화강암 유래토양 소유역들보다 등급별 면적분포가 고르게 분포하고 있어 산림을 제외한 경우에도 여전히 토양침식 위험성이 높음을 알 수 있다.

소유역에서 USLE 공식을 이용해 산정한 경지이용 형태별 연간 평균 토양유실량을 Table 9에 나타내었다. 토양침식 정도는 논이 가장 작은 값을 보였고, 다음이 산림이었으며 토양유실량이 제일 큰 것은 밭이었다. 논이 가장 작은 값을 보인 이유는 대부분 평탄지에 분포하고 있는 논 특성상 경사영향을 받지 않기 때문이며, 보전관리인자가 논두렁으로 인해 작은 값으로 산정되었기 때문이다. 유역별 토양유실량은 화강암 지역보다는 편마암 지역에서 높았는데 이는 지형적 특성이 많이 관여한 결과로 여겨진다.

토양유실량에 관한 토양연접군별 소유역단위 특성을 보여주고 있는 것이 Fig. 1이다. 송산통과 지곡통을 기반으로 한 송산지곡 연접군으로 분류할 수 있는 편마암 유래토양이 주로 포함되어 있는 소유역들의 연간 평균 토양유실량은 7.66 ton ha⁻¹ yr⁻¹이었고, 삼각통과 상주통을 기반으로 하는 삼각상주 연접군으로 분류되는 금강분류 16, 병성천 01, 대신천, 북천 02 소유역의 평균 토양유실량은 5.55 ton ha⁻¹ yr⁻¹이었다. 송정통과 백산통을 기반으로 한 송정백산 연접군으로 분류할 수 있는 영산강 08 소유역의 토양유실량은 9.6 ton ha⁻¹ yr⁻¹ 였으나 이 연접 소유역군은 다른 소유역군들처럼 더 많은 분류가 있어야 연간 평균 토양유실량을 산정할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 결과로

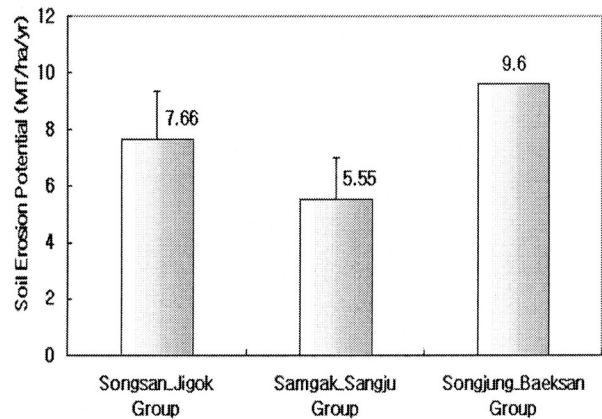


Fig. 1. Soil erosion potential by catchment group with soil catena.

보아 토양연접군에 따른 소유역의 분류와 유역그룹별 토양유실량을 산정하면 토양연접군별 소유역그룹의 비점오염 기여도를 파악할 수 있을 것으로 보이며, 이에 따라 다양한 수문·환경 모형들의 적용성을 확대시켜 수계 내 수질 관리의 효율성을 향상시킬 수 있을 것이다.

요 약

수계 내 농경지로부터의 비점오염은 토양유실과 밀접한 관련이 있어 토양침식 정도를 산정하는 것은 비점오염 관리의 기초가 될 수 있으며 환경오염 예측 모델의 정도 향상에도 도움이 될 것이다. 본 연구는 표준유역단위인 소유역에서 토양연접군에 따라 소유역을 분류하고 소유역별로 토양침식 위험성을 산정해 통합적 수계관리의 방향을 제시하고자 수행하였다.

건설교통부 소유역 분류에서 토양조사가 되어 있는 10개의 소유역을 선정해 토양연접군에 따른 분류를 통해 금강분류 21, 남강 03, 동진천, 가평천 01, 경안천 02 소유역은 편마암 유래토양이 50% 이상을 차지하는 편마암 유래토양 소유역 그룹으로 분류되었고, 금강분류 16, 병성천 01, 대신천, 북천 02, 영산강 본

류 08 소유역은 화강암 유래토양 면적이 60% 이상인 화강암 유래토양 소유역 그룹으로 분류되었다. 대상 유역의 경지이용 형태는 편마암 유래토양이 주로 분포하고 있는 소유역 그룹에서 화강암 유래토양이 주로 분포하는 소유역보다 산림의 면적비율이 높게 나타났고 밭의 분포면적 비율이 그다지 높지 않은 것을 보여주었다. 또한 토양도 상의 경사도 분포는 편마암 유래토양이 주로 있는 소유역에서는 산림면적이 많은 관계로 경사 60% 이상인 E와 F slope이 많았고 화강암 유래토양이 주로 분포하는 소유역에서는 대부분의 유역이 경사도에 따라 고르게 분포하는 경향이였다.

각각의 소유역별 토양유실량 산정에 따른 면적별 분포는 산림이 포함된 관계로 편마암이나 화강암 유래토양 대부분에서 A나 B 등급이 많았으나 전체적으로는 편마암 유래토양이 주가 되는 소유역은 B와 C 등급이 많이 분포하고 있었으며, 화강암 유래토양이 주가 되는 소유역에서는 영산강 08을 제외하면 A와 B 등급에 많이 분포하고 있었다. 산림을 제외하는 경우에는 전체적으로 토양유실 등급의 면적분포가 A 등급이 많아졌고 편마암 유래토양 소유역에서 상대적으로 G 등급의 면적분포가 상승하고 등급별 분포가 고르게 되었다. 소유역에서 경지이용형태별 토양유실량은 논이 가장 작은 값을 보였고, 다음이 산림이었으며 제일 큰 토양유실량을 보인 것은 밭이었다.

토양유실량 산정에 따른 토양연접군별 소유역단위 특성을 살펴보면 송산지곡 연접군으로 분류할 수 있는 편마암 유래토양이 주로 분포하고 있는 소유역들의 연간 평균 토양유실량은 $7.66 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 이었고, 삼각상주 연접군으로 분류되는 금강분류 16, 병성천 01, 대신천, 북천 02 소유역의 평균 토양유실량은 $5.55 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 이었다. 송정백산 연접군으로 분류할 수 있는 영산강 08 소유역의 토양유실량은 $9.6 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 이었으나 이 연접 소유역군은 다른 소유역군들처럼 더 많은 분류가 있어야 평균 토양유실량을 산정할 수 있을 것으로 여겨진다. 이런 결과로 보아 토양연접군에 따른 소유역의 분류와 유역그룹별 토양유실량을 산정하면 토양연접군별 소유역그룹의 비점오염 기여도를 파악할 수 있을 것으로 보이며, 이에 따라 다양한 수문·환경 모형들의 적용성을 확대시켜 수계 내 수질 관리의 효율성을 향상시킬 수 있을 것이다.

인 용 문 헌

Ahn, D. M., Y. C. Yoon, K. S. Lee, and K. S. Lee. 1996. The evaluation of agricultural functions for environmental conservation and public benefits. Result Report for Agriculture Specific Study Thema. RDA.

Box, J. E. 1981. The effect of surface slaty fragment on soil erosion

y water. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43:111-116.

Foster, G. R., L. D. Meter, and C. A. Onstad. 1977. A runoff erosivity factor and variable slope length exponents for soil loss estimates. *Trans. ASAE* 20:683-687

Fox, D. M., and Y. L. Bissonnais. 1998. Process-based analysis of aggregate stability effects on sealing, infiltration, and interrill erosion. *Soil Science Society of America Journal* 62:717-724.

Gabet, E. J., O. J. Reichman, and E. W. Seabloom. 2003. The effects of bioturbation on soil processes and sediment transport. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 31:249-274.

Jung, J. B., M. K. Kim, and B. J. Kim. 2000. Surface runoff loss of nitrogen and phosphorus from peach orchard. *Journal of the Korean Agricultural Chemistry and Biotechnology.* 43:124-129

Jung, K. H., W. T. Kim, S. O. Hur, S. K. Ha, P. K. Jung, and Y. S. Jung. 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, P. K., M. H. Ko, J. N. Im, K. T. Um, and D. U. Choi. 1983. Rainfall erosion factor for estimation soil loss. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 16:112-118

Jung, Y. S., J. E. Yang, C. S. Park, Y. G. Kwon, and Y. K. Joo. 1998. Changes of stream water quality and loads of N and P from the agricultural watershed of the Yulmunchon tributary of the Buk-Han River Basin. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 31:170-176

Kim, K. D. H. Yeom, S. K. Lee, J. H. Kim, Y. H. Kim, and C. K. Park. 1997. Study on pesticide runoff from soil surface - III, Runoff of pesticides by simulated rainfall in field, *Journal of the Korean Agricultural Chemistry and Biotechnology,* 40:334-341.

Kim, Y. H., P. K. Jung, and S. J. Oh. 1991. Effects on soil erosion control with different levels of barley straw mulches. *Res. Rept. ORD(S&F)* 33:29-33

MOCT. 2000. The hydrologic unit map. Ministry of Construction & Transformation. Seoul. Korea

NIAST. 1999. Soil environment information system of Korea. Nation Institute of Agricultural Science and Technology. Suwon. Korea

NIAST. 2003. Monitoring project on agri-environment quality in Korea. Nation Institute of Agricultural Science and Technology. Suwon. Korea

OECD. 2001. Environmental Indicators for Agriculture: Vol. 3 Methods and Results. OECD. Paris. France.

Oh, S. J., P. K. Jung, and Y. H. Kim. 1991. Study on soil erosion control with soil management in sloped farming land. *Res. Rept. ORD(S)* 33:68-72

Park, J. H., H. S. Woo, C. K. Pyun, and K. I. Kim. 2000. A study of distribution of rainfall erosivity in USLE/RUSLE for estimation of soil loss. *Journal of the Korean Society of Water Resources.* 33:603-610

Scott, H. D. 2000. *Soil Physics-Agricultural and Environmental Applications*, p. 262. Iowa State University Press. Ames. USA

Sharratt, B., M. Zhang, and S. Sparrow. 2006. Twenty years of tillage research in subarctic Alaska I. Impact on soil strength, aggregation, roughness, and residue cover. *Soil & Tillage Research* 91:75-81

- Shin, J. S., Y. S. Jung, and Y. H. Shin. 1980. The effects on erosion control practices factor value on soil loss. Res. Rept. ORD(SP&M) 22:36-41
- Sonn, Y. K., S. O. Hur, M. C. Seo, S. J. Jung, B. K. Hyun, and K. C. Song. 2007. Pattern classification of standard catchments with soil catena characteristics. Workshop for effective use of hydrologic soil group. National Institute of Agricultural Science & Technology Press. Suwon, Korea
- Ward, A. D., and W. J. Elliot. 1995. Environmental Hydrology. p. 178-179. CRC Press. Florida. USA.
- Wischmeier, W. H., and D. D. Smith. 1978. Predicting rainfall-erosion losses: A guide to conservation planning. U.S. Dep. Agric., Agric. Handbook No. 537.
- Yoo, S. H. 2002. Soil encyclopedia. Seoul National University Press. Seoul, Korea