

작부체계를 고려한 새만금유역의 토양유실량 추정

Estimating Soil Losses from Saemangeum Watershed
based on Cropping Systems

이 은 정* · 조 영 경* · 박 승 우** · 김 학 관***,†

Lee, Eun Jeong · Cho, Young Kyoung · Park, Seung Woo · Kim, Hak Kwan

Abstract

A Geographic Information System (GIS) was developed to estimate basin-wide soil losses using the Universal Soil Loss Equation (USLE). It was applied to estimate the annual average soil losses from the Saemangeum watershed. The USLE factors for each subarea of uniform land use and treatments were estimated from the GIS routines from digital topographic maps, land cover and detailed soil maps. A routine was developed to estimate the averaged cropping management factors (C) of USLE for multi-cropping farmlands, based on cropping system records from the district offices. The resulting C factors ranged from 0.28 to 0.35 for multi-cropping areas.

The estimated annual average soil loss was approximately 2.9 million tonnes. Typical soil losses from different land uses were 0.8 t/ha at paddies, 33.7 t/ha at uplands and 1.1 t/ha from forested mountains. It was also found that 6.0% of the arable land of the watershed possessed high risks of soil losses, and conservation measures were needed to reduce soil losses.

Keywords : Soil loss, USLE, Cropping management factor(C factor), GIS

I. 서 론

강우에 의해 유역에서 유실된 토양은 하류의 댐, 저수지, 수로 등의 수리구조물에 퇴적되어 내용적

을 감소시키거나 통수능력을 저하시키며, 이를 준설하기 위해서는 막대한 예산의 투입이 필요하다. 또한, 토양유실로 인해 작토층이 훼손되어 농업생산성이 떨어지게 되며, 유실된 토사는 하천의 유사 농도를 높이고 토립자에 부착되어 비료나 농약과 함께 하천으로 배출되어 호소의 부영양화를 초래하거나 하류구간에서의 심각한 수질문제를 일으키기도 한다. 토양유실은 이러한 문제점을 유발하기 때문에 OECD 농업환경지표를 비롯한 국제규범에서 핵심과제로 제기되고 있다(김진택 등, 1994; 정강

* 서울대학교 농업생명과학대학 지역시스템공학과

** 서울대학교 농업생명과학대학 조경·지역시스템 공학부 교수, 농업생명과학연구원 겸임연구원

*** 서울대학교 농업생명과학연구원

† Corresponding author. Tel.: +82-2-880-4591

Fax: +82-2-873-2087

E-mail address: kwans2@snu.ac.kr

호 등, 2003).

토양유실에 의한 피해를 최소화하기 위한 대책을 마련하기 위해서는 토양유실 발생장소와 규모가 정확히 파악되어야 하며, 이를 위해 토양유실량 추정을 위한 식이나 모형이 많이 개발되었다(허용구, 2002).

토양유실량 추정식으로는 장기간의 토양유실량을 추정하기 위하여 개발된 범용토양유실량식(Universal Soil Loss Equation, USLE)이 있다. USLE는 1960년대 농경지에서의 면상침식 및 세류침식에 의한 토양유실량을 추정하기 위하여 Wischmeier와 Smith(1965)가 제안하였다. USLE는 토양유실량의 추정과 유역 환경변화에 따른 토양유실량의 변화를 추정하기 위해 많은 연구자들이 이용하고 있으며(조재현 등, 2000; 김상민 등, 2004), 최근 광대한 면적을 차지하는 유역의 USLE 계 인자를 산정하고 다량의 정보추출과 결과의 공간분석을 위해 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS)이 널리 이용되고 있다.

경사지에서 유실되는 토양은 적절한 작부체계 선정과 합리적인 토양관리에 의해 저감시킬 수 있는데, 작물재배에 의한 지면피복은 유거수의 속도감소와 강우의 타격력 감소, 토양구조 발달 및 공극률을 증가로 인해 강우의 침투성을 높여 토양유실량과 지표유출수를 줄여준다(Lafren et al., 1979). USLE 인자 중 토양유실량 추정에 이러한 영향을 반영할 수 있는 인자가 작물경작인자(C factor)이다.

El-Hassanin 등(1993)은 토지피복 정도에 따른 작물경작인자를 추정하고, 지면경사와 토지피복이 토양유실과 유출에 미치는 영향을 평가하였다. Mati 등(2000)은 SPOT 위성영상과 현장조사를 통해 작물경작인자를 결정하여 대규모 유역에서의 토양유실량을 결정함으로써 토양침식 위험지를 예측하였다. Gabriels 등(2003)은 문헌조사와 경작인, 연구자를 통한 현장조사를 바탕으로 지표 피복의 변화, 파종, 수확 시기 등 작물과 관련된 자료를 수집하여 40가지 작부체계에 대한 작물경작인자를

산정하였다. 정필균 등(1985)은 경사지에 알맞은 보전농법의 확립에 필요한 자료 구축을 위해 국내의 상이한 작부체계 및 작목별로 토양유실량을 조사하여 작물경작인자를 구하고 그 값을 평가하였으며, 농촌진흥청 농업과학기술원에서는 25년간 콩 등의 주요작물에 대한 작물경작인자값을 연구하였다(정강호 등, 2004).

그러나 USLE를 이용하여 토양유실량을 추정하는 연구의 경우 해당유역의 작부체계에 관한 자료 이용의 어려움으로 인해 단순히 토지이용분류에 따른 작물경작인자를 사용하고 있는 한계를 지니고 있다. 특히 밭토양의 경우 어떤 작부체계를 선택하는가에 따라 시기별 토양유실량의 변화가 큰 폭을 나타내므로, 면적이 큰 유역단위에 단일작물경작인자를 적용하는 데에는 무리가 있다. 따라서 유역에서 발생하는 토양유실량을 보다 정확하게 산정하고 향후 작부체계의 변화에 따른 토양유실량 변화를 추정하기 위해서는 유역 내 작부체계를 조사하고 이에 따른 작물경작인자를 적용할 필요가 있다.

본 연구에서는 작부체계를 고려하여 새만금유역의 토양유실량을 추정하고 분석하였다. 토양유실량 추정을 위해 USLE를 사용하였으며, 밭작물의 작물경작인자는 새만금유역 밭토양의 작부체계에 관련된 통계자료를 종합하여 산정하였고, 이를 제외한 USLE의 제인자는 GIS를 이용하여 추출하여 유역 규모의 토양유실량 추정에 이용하였다.

II. 연구방법

1. 대상유역

대상유역은 새만금유역으로 행정구역상으로 전라북도 내 8개 시군에 걸쳐 위치하며 이 중, 전주시 및 정읍시, 김제시, 완주군은 대부분의 지역이 유역 내에 포함되지만, 군산시, 익산시, 고창군, 부안군은 일부 지역만이 유역으로 포함된다(Fig. 1(a)). 새만금유역은 수자원공사의 수자원단위지도를 기준으

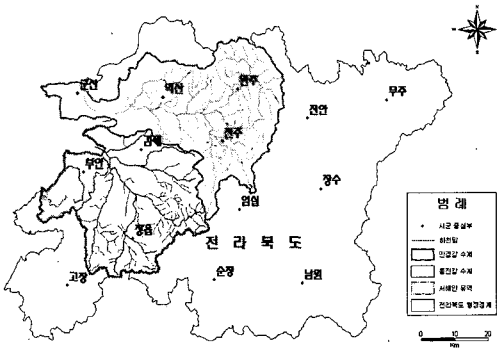


Fig. 1(a). Schematic

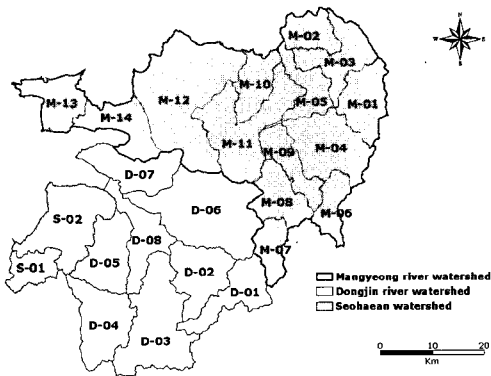


Fig. 1(b) Sub-watershed

Fig. 1 The map of Saemangeum watershed

로 만경유역, 동진유역과 서해안유역 등 3개의 중권역 및 24개의 표준유역¹⁾으로 구성되어 있으며, 서해안유역의 경우 서해상의 섬들은 제외하였다 (Fig. 1(b)). 각 중권역의 면적은 약 1,600 km², 1,161 km², 232 km²이다. 주요 하천으로는 만경강과 동진강이 있으며, 유로연장은 각각 57.0 km와 43.9 km이다.

1) 본 연구에 사용된 유역경계는 한국수자원공사에서 1998년 정보화근로사업의 일환으로 국가지리정보시스템(National Geographic Information System: NGIS)을 활용하여 전국을 대상으로 대권역, 중권역, 표준유역의 단계로 구축한 수자원단위지도(2002년 변경)를 기준으로 하였다.

2. 유역 토양유실량 추정

토양유실량을 추정하기 위한 범용토양유실량식(USLE)은 다음과 같이 정의된다.

$$A = RKLSCP \dots \dots \dots (1)$$

여기서, A = 강우가식성인자 R 의 해당기간 중 단위면적 당 토양침식량(t/ha), R = 강우가식성인자(rainfall erosivity factor, MJ/ha · mm/h), K = 토양침식성인자(soil erodibility factor, t/ha/R), LS = 지형인자(topographic factor), C = 작물경작인자(cropping management factor), P = 침식조절관행인자(conservation management factor)이다.

가. 강우가식성인자 (R)

새만금유역 내 지역별 강우가식성인자값은 강문성 등(2003)이 전국의 26개 주요 관측소를 대상으로 1973~2002년까지의 10분 및 1시간 강우자료를 분석하여 얻은 R 값을 이용하였으며, 군산, 전주, 광주 관측지점의 R 값을 적용하였다. Fig. 2와 같이 관측소의 위치자료를 이용해 새만금유역을 포함하는 Thiessen network를 형성하여 지리적 위치에 따른 적절한 R 값을 적용하였다.

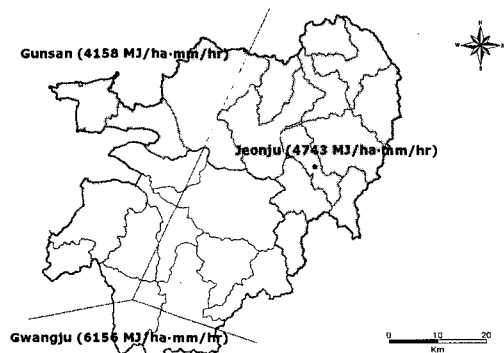


Fig. 2 Thiessen network for R factor of Saemangeum watershed

나. 토양침식성인자 (K)

토양침식성인자는 어떤 토양의 고유한 침식성을 정량적으로 나타낸 것으로 토양조직, 토양구조, 유기물 함량, 투수성 등의 토양특성인자와 관련이 있으며, 그 값이 연중 일정한 것으로 가정된다. Wischmeier 등(1978)은 토양에서의 미사와 극미사의 구성비가 70% 이하의 경우 K 값을 정의하였으며, Foster 등(1981)은 이를 SI 단위로 환산하여 식 (2)와 같이 정의하였다.

$$K = 2.8 \times 10^{-7} M^{1.14} (12 - a) + 4.3 \times 10^{-3} (b - 2) + 3.3 \times 10^{-3} (c - 3) \dots\dots\dots (2)$$

여기서, K = 토양침식성인자(t/ha/R), M = (극세사% + 미사%) \times (100 - 점토%), a = 유기물함량(organic matter, %), b = 토양구조등급(soil structure code, 1~4), c = 토양투수성등급(soil permeability class, 1~6)이다.

본 연구에서는 농촌진흥청의 1:25,000 정밀토양도와 전국 290개 토양통에 대한 물리적·화학적 특성을 이용하여 입경별 분포, 유기물함량, 배수정도 등 필요한 인자를 추출하고, 식 (2)를 이용하여 K 값을 산정하였다.

다. 지형인자 (LS)

지형인자는 9%의 고른 경사와 22.13 m의 경사장을 가지는 표준구(unit plot)에서의 토양유실량과 실제 적용지역에서의 토양유실량의 비를 나타내는 무차원수이다. LS 인자는 사면장인자(slope length factor, L), 경사도인자(slope steepness factor, S)로 이루어져 있으며, 산정방법은 식 (3)

과 같다(Wischmeier et al., 1965, 1978).

$$LS = \left(\frac{l}{22.13} \right)^m \left(\frac{-0.43 + 0.30s + 0.043s^2}{6.613} \right) \dots\dots\dots (3)$$

여기서, l = 사면장(slope length, m), m = 경사에 따라 변하는 경사지수, s = 경사도(%)이다.

경사도는 국립지리원에서 제공하는 1:25,000 수치지도를 이용하여 추출하였다. 경사장은 지표유흥가 시작되는 지점으로부터 경사도가 감소하여 퇴적이 발생하는 지점 혹은 지표유흥가 집중되어 충분히 발달된 수로 형태의 흐름으로 되는 지점까지의 거리로 산정되며, Foster 등(2002)은 자연상태에서 경사장의 길이가 400 ft를 넘지 않다고 제시하고 있다. 불규칙한 경사지에서 사면장을 구하기 위한 방법으로는 여러 가지 계산법이 제시되어 있으나 아직 정형화된 방법이 없는 실정이다(허용구, 2002). 이에 격자형 모형을 적용하는데 있어서 사면장을 격자크기와 동일한 값을 사용하는 경우가 많으나 조재필(1998)은 격자크기와 동일한 사면장을 사용하는 경우 농업유역은 산지가 많은 부분을 차지하고 경사가 급하기 때문에 유사량이 과도하게 모의 발생하는 경향을 보인다고 하였다. 이에 김상민 등(2004)은 우리나라의 농경지 특성 등을 고려하여 토치이용별 경사장을 제시하였으며, 본 연구에서는 이를 바탕으로 토치이용별 경사장을 결정하였다(Table 1).

라. 작물경작인자 (C)

작물경작인자는 강우, 토양, 지형조건이 동일한 경우에 특정한 작물이나 피복조건에서 발생한 토양유실량과 표준구의 휴경과 경운조건에서 발생한 토

Table 1 Slope length(l) and Cropping management factor(C)

Landuse	Paddy	Upland	Forest	Grass	Bare ground	Urban area
Slope length (m)	70	50	10	15	70~100	70~100
C factor	0.1	-	0.001	0.01	1	0.01

양유실량과의 비를 의미하며, 그 값은 나지구(bare ground plot)에서 1.0이 되고 작물이 재배되면 1.0 이하가 된다. 밭을 제외한 C 값은 USDA (Wischmeier et al., 1975)에서 제시하고 있는 값을 이용하여 토지이용에 따른 적절한 C 값을 부여하였다(Table 1).

밭토양의 작부체계에 따른 C 값을 산정하기 위하여 통계청(2000) 자료를 이용하여 행정구역상 새만금유역에 포함되는 읍면단위까지 작물별 재배면적을 조사하여 단일 밭작물별 재배면적을 산정하였다. 또한 전라북도의 주요한 작부체계(농림부·농촌진흥청, 1996)와 그에 따른 밭작물 혼/간작 재배면적비(전북농업기술원, 2005)를 조사하여 이를 바탕으로 작물별 재배면적을 작부체계별 재배면적으로 재분류하여 농업과학기술원에서 산정한 단일작물별 작물경작인자(정강호 등, 2004)와 국내의 주요 작부체계 및 각 작부체계별 작물경작인자(정필균 등, 1985)에서 제시한 값을 이용하여 식 (4)를 통해 작물경작인자를 산정하였다. 통계자료의 부족으로 인하여 작부체계별 혼/간작 비율이 누락된 경우 10%로 가정하였다.

$$C = \sum C_i A_i \dots\dots\dots(4)$$

여기서, C = 작물경작인자, C_i = 작부체계별 작물경작인자, A_i = 전체 재배면적에 대한 해당 작부체계 면적의 비이다.

마. 침식조절관행인자 (P)

침식조절관행인자는 경작조건에 의한 토양유실량과 표준구에서의 상하경작에 따른 토양유실량의 비이다. 침식조절관행에는 등고선경작(contouring), 등고선대상재배(contour strip cropping), 테라스공법(terracing) 등이 포함된다.

우리나라의 경우 밭과 과수원, 초지 등은 주로 등고선을 따라 형성되므로 등고선 경작(contouring), 논은 대부분 계단식의 형태로 경작되므로

Table 2 P factor according to slope and tillage pattern (NIDP^{a)}, 1998)

Slope (%)	Cropland practices	P factor
< 3	Terracing	0.12
	Contouring	0.60
3 ~ 9	Terracing	0.10
	Contouring	0.50
9 ~ 13	Terracing	0.12
	Contouring	0.60
13 ~ 17	Terracing	0.14
	Contouring	0.70
17 ~ 21	Terracing	0.16
	Contouring	0.80
21 <	Terracing	0.18
	Contouring	0.90

^{a)} National Institute for Disaster Prevention

로 테라스 공법(terracing)에 속한다고 할 수 있다(이민부 등, 2003). 이러한 기준에 따라 농경지를 경작형태에 따라 분류하고, 이외의 지역에는 특별한 침식조절공법을 적용하지 않아 1.0의 값을 적용하였다. 이를 바탕으로 국립방재연구소(1998)에서 제시한 경사도 별 P 값(Table 2)을 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 토지이용분류

대상유역의 토지이용은 중분류토지피복지도(1:25,000)를 이용하여 물(Water), 시가지(Urban area), 산림(Forest), 초지(Grass), 나지(Bare ground), 논(Paddy), 밭(Upland) 등 7가지로 재분류하였다(Fig. 3). 중분류토지피복지도는 환경부에서 IRS-1C 위성영상, Landsat TM 위성영상, 아리랑 위성영상, 1:25,000 임상도 등을 이용하여 23개 분류항목으로 구축한 것으로 5 m급의 지상 해상도를 가지고 있다(환경부, 2002). Table 3에

Table 3 Area of landuse of Saemangeum watershed

Landuse	Paddy	Upland	Forest	Grass	Bare ground	Urban area	Water	Total
Area (km ²)	1,088.1 (36.3%)	414.7 (13.9%)	1,051.3 (35.1%)	40.8 (1.4%)	40.2 (1.3%)	239.2 (8.0%)	118.6 (4.0%)	2,992.9 (100%)

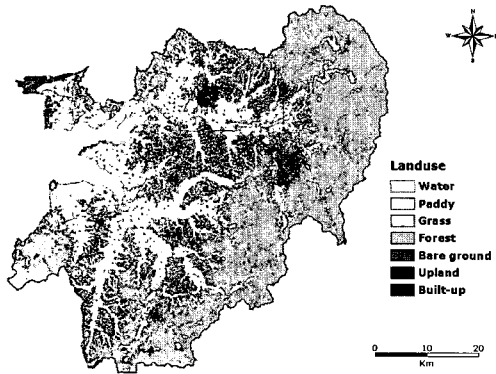


Fig. 3 Landuse of Saemangeum watershed

서 보는 바와 같이 논 36.4%, 산림 35.0%, 밭 13.9%, 시가지 8%, 초지 1.4%, 나지 1.3%의 분포를 보였다.

2. 발작물경작인자 산정 결과

Table 4는 작부체계별 C값을 작부체계별 재배면적으로 가중평균하여 새만금유역 내 행정구역별(시군단위) C값을 산출한 결과를 보여주고 있다. 새만금유역의 C값은 0.28~0.35의 분포를 나타내었으며, 김제시(0.35)에서 가장 높은 값을 보였으며, 완주군(0.28)에서 가장 낮은 것으로 나타났다.

3. 대상유역의 GIS 주제도 구축

GIS와 범용토양유실량식(USLE)을 이용하여 새만금유역에서 발생한 토양유실량을 추정하기 위해, USLE의 각 인자는 GIS 상용프로그램인 ArcGIS 8.3을 이용하여 30 m × 30 m 크기의 격자파일로 구성하여 대상유역의 GIS 자료를 구축하였다. Fig.

4~Fig. 7은 새만금유역을 대상으로 구축된 USLE 주제도를 보여주고 있다. Fig. 4, 5는 새만금유역의 K인자와 LS인자도를 보여주고 있으며, Fig. 6, 7은 새만금유역의 C인자와 P인자를 보여주고 있다. Table 5는 소유역별로 산정된 K, LS, C, P인자값을 정리한 결과를 보여주고 있다.

소유역별 K값을 살펴보면, D-01 유역이 0.022 t/ha/R로 가장 작은 값을 보였으며, M-13 유역

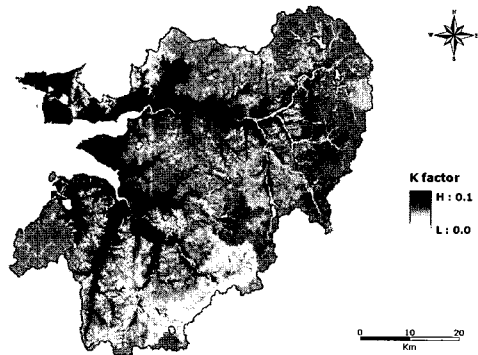


Fig. 4 K factor of Saemangeum watershed

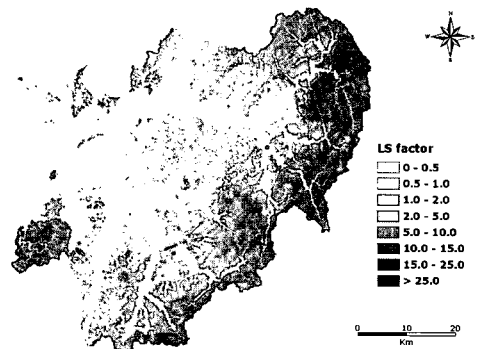


Fig. 5 LS factor of Saemangeum watershed

Table 4 Calculated C factor according to each administrative district in Saemangeum watershed

Coverage Crop	C factor	Percentage of cultivation area (%)							
		Jeonju	Gimje	Jeongeup	Wanju	Gunsan	Iksan	Buan	Gochang
Barley	0.34	19.35	38.79	18.75	7.27	70.94	29.95	43.58	3.98
Potato	0.75	0.98	5.92	0.67	2.05	0.32	1.19	0.27	0.48
Soybean	0.19	1.99	1.28	3.12	3.31	1.54	2.13	2.60	2.37
Red Bean	0.19	2.99	1.93	4.69	4.98	0.40	0.41	0.25	0.27
Radish	0.59	4.31	5.15	3.54	5.27	3.72	3.10	7.90	12.56
Chinese Cabbage	0.59	6.12	3.45	3.30	8.54	2.83	4.58	3.91	11.87
Red Pepper	0.28	7.18	9.29	28.99	14.11	4.42	9.70	12.24	30.14
Garlic	0.18	1.27	1.83	1.91	4.94	2.05	2.70	2.87	1.17
Onion	0.18	0.20	0.15	0.23	2.32	0.57	0.50	2.69	0.34
Spring Onion	0.59	1.03	1.07	1.21	2.14	1.21	1.38	4.00	0.07
Ginseng	0.18	2.50	1.33	1.06	2.91	0.00	3.95	0.76	1.37
Maize	0.44	0.39	0.39	0.21	0.33	0.24	0.34	0.23	0.00
Sweat Potato	0.28	2.04	4.59	1.58	2.78	1.15	12.81	0.90	0.67
Sesami	0.28	2.38	3.11	6.65	3.35	2.28	4.23	4.90	7.78
Orchard	0.43	30.71	10.10	8.64	9.59	0.89	8.24	2.96	5.08
Protective Cultivation	0.01	13.22	6.97	9.85	21.75	2.02	8.96	4.33	16.13
Sesami after Vegetable	0.19	0.26	0.35	0.63	0.37	0.25	0.47	0.54	0.86
Soybean after Vegetable	0.10	0.40	0.26	0.63	0.67	0.31	0.43	0.53	0.48
Soybean after Barley	0.18	0.41	0.26	0.64	0.68	0.32	0.44	0.54	0.49
Soybean after Garlic	0.14	0.19	0.12	0.30	0.31	0.15	0.20	0.25	0.22
Sweat Potato & Barley	0.10	0.12	0.26	0.09	0.16	0.06	0.72	0.05	0.04
Barley after Soybean & Red Pepper	0.14	1.02	2.04	0.99	0.38	3.37	1.58	2.29	0.21
Red Pepper & Garlic	0.14	0.80	1.03	3.22	1.57	0.49	1.08	1.36	3.35
Sweat Potato & Potato	0.51	0.15	0.33	0.11	0.20	0.08	0.91	0.06	0.05
Sum		100	100	100	100	100	100	100	100
Weighted average of C factor		0.33	0.35	0.29	0.28	0.33	0.31	0.33	0.31

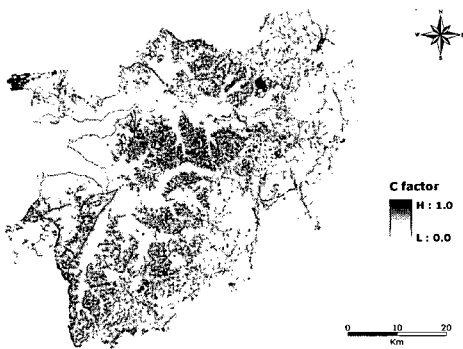


Fig. 6 C factor of Saemangeum watershed

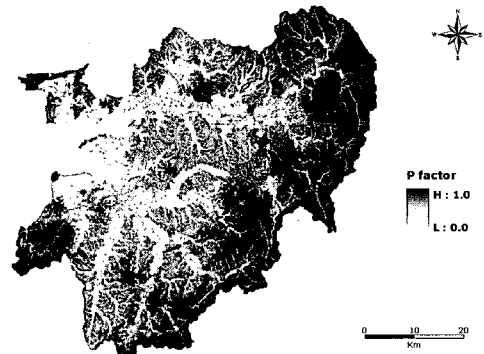


Fig. 7 P factor of Saemangeum watershed

Table 5 *K, LS, C, P* factor with sub-watershed of Saemangeum watershed

Sub watershed		<i>K</i>	<i>LS</i>	<i>C</i>	<i>P</i>	Sub watershed		<i>K</i>	<i>LS</i>	<i>C</i>	<i>P</i>	
M.G. ^{a)}	M-01	0.028	10.96	0.01	0.95	D.J. ^{b)}	D-01	0.022	6.97	0.03	0.86	
	M-02	0.029	6.85	0.03	0.85		D-02	0.029	2.02	0.11	0.57	
	M-03	0.030	8.58	0.04	0.87		D-03	0.029	3.98	0.09	0.66	
	M-04	0.035	6.71	0.05	0.80		D-04	0.030	1.10	0.15	0.47	
	M-05	0.032	4.18	0.06	0.68		D-05	0.044	0.77	0.13	0.38	
	M-06	0.037	10.09	0.02	0.94		D-06	0.035	2.03	0.11	0.51	
	M-07	0.031	8.29	0.03	0.88		D-07	0.052	0.22	0.13	0.31	
	M-08	0.029	4.18	0.08	0.75		D-08	0.041	0.40	0.11	0.27	
	M-09	0.031	3.23	0.08	0.76	Sub-mean		0.034	2.28	0.11	0.52	
	M-10	0.032	1.16	0.11	0.50	S.H. ^{c)}	S-01	0.028	8.83	0.01	0.93	
	M-11	0.038	0.64	0.15	0.44		S-02	0.046	2.02	0.10	0.44	
	M-12	0.038	0.55	0.13	0.42		Sub-mean		0.041	3.69	0.08	0.56
	M-13	0.056	0.52	0.15	0.50		Mean		0.036	3.23	0.09	0.58
	M-14	0.047	0.44	0.11	0.30							
Sub-mean		0.036	3.85	0.09	0.63							

^{a)} M.G.: Mangyeong river watershed

^{b)} D.J.: Dongjin river watershed

^{c)} S.H.: Seohaean watershed

은 평균 0.056 t/ha/R, D-07 유역은 0.052 t/ha/R로 분석되어 토양유실의 위험성이 상대적으로 높게 나타나 향후 이들 지역에 대해서는 현장 조사를 통해 토양개량제 등을 이용한 토양의 입단화를 촉진하여 토양의 안정성을 높여야 할 것으로 판단된다.

LS인자의 경우 M-01과 M-06 유역의 평균 LS 값이 각각 11.0과 10.1로 가장 큰 값을 보여 상대적으로 다른 지역에 비해 지형적 특성에 따른 토양유실의 위험성이 높은 것으로 분석되었다.

4. 토양유실량 추정

구축된 GIS 자료와 범용토양유실량식(USLE)을 이용하여 새만금유역에서 발생한 토양유실량을 추정하였다. 새만금유역에서 발생한 총 연간 토양유실량은 2,852 천t으로 전체유역에 걸친 공간적분포

는 Fig. 8과 같다. Table 6에서 보는 바와 같이 토지이용별 단위면적당 연평균 토양유실량은 논 0.8 t/ha, 밭 33.7 t/ha, 산림 1.1 t/ha, 초지 3.7 t/ha, 나지 299.0 t/ha, 시가지 1.4 t/ha으로 추정되었다. 김상욱(1995)은 논에서의 토양유실량을 0.5~5.0 t/ha, 밭은 3.0~10.0 t/ha, 산림에서는 0.1~2.0 t/ha의 범위로 산출한 바 있다. 밭의 경우 단위면적당 토양유실량이 크게 산정된 것은 다른 지역에 비해 비교적 경사가 급한 지역에 밭이 위치하고 있기 때문으로 사료된다.

Table 7은 OECD 농업환경지표에서 제시한 토양침식에 관한 5개의 등급을 기준으로 새만금유역 내 농경지의 토양유실 정도에 따른 토양침식 위험성을 나타낸다. 분석결과 논 1068.3 km², 밭 198.9 km² 등 전체 농경지 중 84.3%가 토양침식의 위험성이 적은 것으로 나타난 반면, 전체 농경지 중 6.0%가 토양유실의 정도가 매우 심각하여

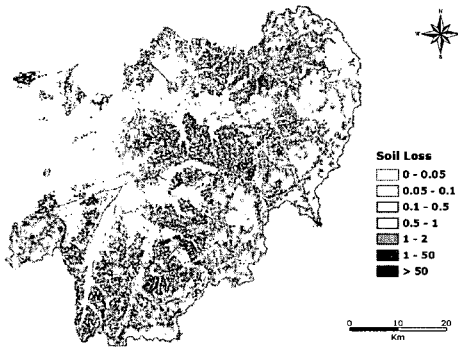


Fig. 8 Soil loss of Saemangeum watershed

장기적인 농업생산을 위해서는 토양유실을 저감할 수 있는 농지보전공법의 적용이 필요한 것으로 나타났다.

유역별 토양유실관리를 위한 대책 마련을 위해 각 소유역별 토양유실량과 단위면적당 연평균 토양유실량을 살펴보면(Table 8), M-03, M-04, M-07, M-08유역으로부터 단위면적당 15 T/ha 가 넘는 토양이 유실되며, 이는 다른 소유역에 비해 경사가 급한 지역에 분포하는 밭과 나지의 면적이 넓기 때문인 것으로 나타났다. 유실된 토양은

유역 하류부의 수질이 악화시키고, 홍수·침수 유발 및 생물서식지 소멸 등과 같은 문제를 초래할 뿐만 아니라 심각한 비점오염원이 되므로 이러한 영향을 최소화할 수 있는 계획수립이 필요하다고 판단된다.

V. 요약 및 결론

본 연구에서는 작부체계를 고려하여 새만금유역의 토양유실량을 추정하였다. GIS와 범용토양유실량식(USLE)을 사용하여 유역규모의 토양유실량을 추정하였으며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) USLE에 사용되는 인자들은 1:25,000 축척의 국립지리원의 수치지도와 농촌진흥청의 정밀토양도, 환경부의 중분류토지피복지도 등의 자료를 GIS를 활용하여 구축하였다.

2) USLE 인자 중 밭토양의 C값은 밭작물과 관련된 통계자료를 이용하여 산출한 작목별 재배면적과 기존 연구된 작부체계별 C값을 이용하여 새만금유역 내 행정구역별(시군단위) 값을 산출하였다. 새만금유역의 밭토양의 C값은 0.28~0.35의 분포를 나타내었으며, 김제시(0.35)에서 가장 높았으며

Table 6 Annual average soil loss per unit area according to landuse (t/ha)

Landuse	Paddy	Upland	Forest	Grass	Bare ground	Urban area
Soil loss	0.8	33.7	1.1	3.7	299.0	1.4

Table 7 Distribution of arable land area with OECD soil erosion grade

OECD soil erosion grade ^{a)}	Tolerable	Low	Moderate	High	Severe
Annual average soil loss (t/ha)	0~6	6~11	11~22	22~33	> 33
Paddy field (km ²)	1068.3 (71.1%)	9.5 (0.6%)	5.7 (0.4%)	2.3 (0.2%)	2.3 (0.2%)
Upland (km ²)	198.9 (13.2%)	44.3 (2.9%)	54.7 (3.6%)	29.6 (2.0%)	87.1 (5.8%)

^{a)} Agri-Environmental Indicators (OECD, 2001)

Table 8 Area and annual average soil loss with sub-watershed of Saemangeum watershed

Sub watershed	Area (km ²)	Soil loss		Sub watershed	Area (km ²)	Soil loss			
		(10 ³ t)	(t/ha)			(10 ³ t)	(t/ha)		
M.G. ^{a)}	M-01	105.9	140.6	D.J. ^{b)}	D-01	101.7	90.2	8.87	
	M-02	68.6	72.9		D-02	117.4	121.6	10.35	
	M-03	110.5	214.9		D-03	215.9	223.5	10.35	
	M-04	157.9	405.3		D-04	136.7	124.8	9.13	
	M-05	73.4	87.6		D-05	116.3	99.4	8.55	
	M-06	60.2	75.2		D-06	265.0	159.0	6.00	
	M-07	60.1	102.9		D-07	108.9	22.0	2.02	
	M-08	90.8	164.3		D-08	99.7	27.6	2.76	
	M-09	76.2	92.0	Sub-total		1,161.6	868.0	7.47	
	M-10	77.7	45.8						
	M-11	198.0	151.5	S.H. ^{c)}	S-01	57.1	61.9	10.84	
	M-12	326.3	143.8		S-02	174.8	126.4	7.23	
	M-13	92.4	55.8		Sub-total		231.9	188.3	8.12
	M-14	101.4	43.2						
Sub-total		1,599.4	1,795.9	Total		2,992.9	2,852.2	9.53	

a) M.G.: Mangyeong river watershed

o) S.H.: Seohaean watershed

b) D.J.: Dongjin river watershed

완주군(0.28)에서 가장 낮은 것으로 나타났다.

3) 새만금유역에서 발생하는 연평균 토양유실량은 2,852 천t로 추정되었다. 토지이용별 단위면적당 연평균 토양유실량은 논 0.8 t/ha, 밭 33.7 t/ha, 산림 1.1 t/ha, 초지 3.7 t/ha, 나지 299.0 t/ha, 시가지 1.4 t/ha로 분석되어, 밭과 나지로부터의 토양유실이 큰 값을 보였다.

4) OECD에서 제시한 기준을 바탕으로 새만금유역 내 농경지의 토양침식 위험성을 분석한 결과 전체 농경지 중 84.3%가 토양침식의 위험성이 적은 것으로 나타난 반면, 전체 농경지 중 6.0%가 토양유실의 정도가 매우 심각한 것으로 분석되었다.

5) 수자원단위지도의 표준유역별 토양유실량을 살펴보면 M-03, M-04, M-07, M-08유역으로부터 단위면적당 15 t/ha가 넘는 토양이 유실되며, 이는 다른 소유역에 비해 경사가 급한 지역에 분포하는 밭과 나지의 면적이 넓기 때문인 것으로 나타

났다.

본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임

References

1. Cho, J. H. & J. C. Yeon, 2000. Soil Loss and Pollutant Load Estimation in Sacheon River Watershed using a Geographic Information System, Journal of Korean Society of Environmental Engineers 22(7): 1331-1343. (in Korean)
2. Cho, J. P., 1998. Applications of AGNPS model with rural watersheds having complex land use characteristics, M.S. thesis, Seoul National University. (in Korean)

3. El-Hassanin, A. S., T. M. Labib & E. I. Gaber, 1993. Effect of vegetation cover and land slope on runoff and soil losses from the watersheds of Burundi, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 43: 301-308.
4. Foster, G. R. et al., 2002. USER'S GUIDE Revised Universal Soil Loss Equation Version 2(RUSLE2), USDA-ARS, Washington D.C..
5. Foster, G. R., D. K. McCool, K. G. Renard & W. C. Moldenhauer, 1981. Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI Metric Unit, *Journal of Soil and Water Conservation* 36: 355-359.
6. Gabriels, D., G. Ghekiere, W. Schiettecatte & I. Rottiers, 2003. Assessment of USLE cover-management C-factors for 40 crop rotation systems on arable farms in the Kemmelbeek watershed, Belgium, *Soil & Tillage Research* 74: 47-53.
7. Her, Y. G., 2002. Application of a GIS-Based Soil Loss Estimation System, M.S. thesis, Seoul National University. (in Korean)
8. Jeonbuk Agricultural Research & Extension Service (ARES), 2005. Proceeding of priority guidance project for field crop. (in Korean)
9. Jung, K. H., W. T. Kim, S. O. Hur, S. K. Ha, P. K. Jung & Y. S. Jung, 2004. USLE/RUSLE Factors for National Scale Soil Loss Estimation Based on the Digital Detailed Soil Map, *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 37(4): 199-206.
10. Jung, K. H., Y. K. Son, S. O. Hur, S. K. Ha, Y. S. Jang & P. G. Jung, 2003. Estimation of nationwide soil loss with soil type, Rural Development Administration, National Institute of Agricultural Science and Technology. (in Korean)
11. Jung, P. K., M. H. Ko & K. T. Um, 1985. Discussion of Cropping Management Factor for Estimating Soil Loss, *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 18(1): 7-13. (in Korean)
12. Kang, M. S., S. W. Park, S. J. Im & H. K. Kim, 2003. Computing the Half-Month Rainfall-Runoff Erosivity Factor for RUSLE, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 45(3): 29-40. (in Korean)
13. Kim, J. T. & S. W. Park, 1994. Runoff and Soil Losses from Sloping Lands with Different Cropping Practices, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 36(1): 73-82. (in Korean)
14. Kim, S. M., S. J. Im & S. W. Park, 2004. Estimation of the Forestry Area Decrease Effect on the Soil Erosion in Rural Watershed, *Journal of Korean Society of Rural Planning* 10(1): 19-26. (in Korean)
15. Kim, S. W., 1995. A Study of the Temporal Change of Soil Loss of Kyungan River Basin with Geographic Information System, M.S. thesis, Seoul National University. (in Korean)
16. Korea National Statistical Office(KNSO), 2000. Agricultural census report, Vol 8, Jeollabuk-do. (in Korean)
17. Korean Ministry of Environment(KME), 2002. Construction of Land Cover Map using Satellite Image. (in Korean)
18. Laflen, J. M. & W. C. Moldenhauer, 1979. Soil and water loss from corn-soybean rotations, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 1213-1215.
19. Lee, M. B., N. S. Kim, K. C. Seong, K. H. Shin, H. S. Choe & U. Han, 2003. Estimation of Soil Loss Due to Cropland Increase in Hoeryeung, Northeast Korea, *Journal of the Korean Association of Regional Geography* 9(3): 373-384. (in Korean)
20. Mati, B. M., R. P. C. Morgan, F. N. Gichuki, J. N. Quinton, T. R. Brewer & H. P. Liniger, 2000. Assessment of erosion hazard with

- the USLE and GIS: A case study of the Upper Ewaso Ng'iro North Basin of Kenya, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 2(2): 78-86.
21. Ministry of Agriculture and Forestry(MAF) · Rural Development Administration(RDA), 1996. Action Planning for Establishing Ordinary Farming System. (in Korean)
 22. National Institute for Disaster Prevention(NIDP), 1998. Study of the Sediment Yield Estimation due to Land Development (I). (in Korean)
 23. OECD, 2001. Environmental Indicators for Agriculture Volume 3 - Methods and Results.
 24. Wischmeier, W. H. & D. D. Smith, 1965. Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains, U.S. Department of Agriculture, *Agricultural Handbook* 282.
 25. Wischmeier, W. H. & D. D. Smith, 1978. Predicting Rainfall erosion Losses - A Guide to Conservation Planning, *USDA Agricultural Handbook* 537.
 26. Wischmeier, W. H., 1975. Estimating the soil loss equation's cover and management factor for undisturbed areas, In *Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources*, *USDA Agricultural Research Service ARS-S-40*: 118-124.