

새만금 유역의 토양유실량 예측을 위한
밭 토양의 작물경작인자 산정
Estimation of Upland Cropping Management Factor
for predicting Soil Loss in Saemangeum Watershed

조영경*, 이은정**, 김학관***, 박승우****

Young kyoung Cho, Eun jeong Lee, Hak kwan Kim, Seung woo Park

Abstract

In order to calculate the actual erosion according to the universal soil loss equation (USLE) and to estimate the impact of land use on soil erosion in Saemangeum, it is important to know the C-factor. Based on the USLE crop-growth stages, the cover-management C-factors were calculated for the main crop and crop rotation systems by National Institute of Agricultural Science and Technology. Combining this result with statistical data about crop cultivation area and crop rotation systems, C-factors of each administrative district in Saemangeum watershed were calculated. The range of C-factors were between 0.28 and 0.35. High C-factor value was obtained with Gimje (C = 0.35) and small C-factor values were found in Wanju (C = 0.28) and Jeongeup (C = 0.29). With this result, calculated annual soil loss was 2,804,483 ton per year. Because of the lack of sufficient statistical data about crop rotation systems, further studies are required on collecting field survey data.

Key words: USLE, C-factor, Soil loss

1. 서론

토양유실은 작토층의 훼손이라는 자원손실의 측면뿐만 아니라 양분, 농약 등의 동반이동을 통한 비점오염원이라는 측면에서 OECD 농업환경지표(OECD, 1982)를 비롯한 국제규범에서 핵심과제로 제기되고 있다. 토양유실은 실측에 의한 전면적의 평가가 어렵기 때문에 모형을 이용하여 추정하는데, 여러 가지 평가방법 중에서 USLE(Universal Soil Loss Equation, Wischmeier & Smith, 1965, 1978)는 토양유실량을 5개 주요인자의 곱으로 나타내어 강우에 의한 토양유실을 평가할 수 있도록 개발되었다.

USLE의 인자 중 작물경작인자(C-factor)는 토지의 식물 피복 상태를 결정하는 인자이다. 식생은 유출수의 유속을 감소시키고 토양구조를 발달시켜 강우에 의한 침식을 감소시킨다. 작물경작인자는 특정한 조건하에서 작물이 재배된 구의 토양유실량과 나지구(표준포)의 토양유실량과의 비로

* 정회원·서울대학교 지역시스템공학부 석사과정-E-mail : kyo6928@snu.ac.kr

** 정회원·서울대학교 지역시스템공학부 대학원-E-mail : tweety45@snu.ac.kr

*** 정회원·서울대학교 지역시스템공학부 대학원-E-mail : kwans2@snu.ac.kr

**** 정회원·서울대학교 지역시스템공학부 교수-E-mail : swpark@snu.ac.kr

나타낸 값으로 정의되므로, 그 값은 나지구에서 1.0이 되고 작물이 재배되면 1.0이하가 된다(정필균, 1985). 작물경작인자를 계산하는데 있어서 Wischmeier(1975)는 작물피복의 효과, 지면부초의 효과 및 경운 또는 토지이용 상 고려되는 환원물의 효과 등을 고려하여 계산하여야 한다고 하였으며, De Tar(1980) 등은 Wischmeier의 개념에서 더 발전시켜 세 가지 형태로 나누어, 첫째형은 작물피복의 높이, 면적 및 우적의 크기 등이 속하고, 둘째형은 지표면의 피복상태 정도나 유무를 포함시켰고, 셋째형은 장기간에 걸친 심토에서까지 일어나는 생물적 활동의 결과까지 고려하였다.

기존 국내연구의 경우 이와 같은 형태들의 값을 세분하여 구하지는 않고 복합적인 효과만을 고려하여 토지이용분류에 따른 작물경작인자를 사용하였는데 이는 국내의 작목 및 작부체계 여건에 적절한 작물경작인자에 관한 연구결과가 부족함에 기인한 것이다. 특히 밭 토양의 경우 어떤 작목 및 작부체계를 선택하는가에 따라 시기별 토양유실량의 변화가 큰 폭을 나타내므로, 유역단위에 단일작물경작인자를 적용하는 데에는 무리가 있다.

농촌진흥청 농업과학기술원에서는 보전농법의 확립에 필요한 자료를 구축하기 위하여 국내의 상이한 작부체계 및 작목별로 토양유실량을 조사하여 작물경작인자를 구하고 그 값을 평가한 바 있다(정강호, 2004). 이에 본 연구에서는 농업과학기술원의 연구 성과와 새만금 유역 밭 토양의 작목 및 작부체계에 관련된 통계자료를 종합하여 새만금 유역 밭 토양의 작물경작인자를 산정하며, 이를 이용하여 보다 현실적인 새만금 유역의 토양유실량을 산정하고자 한다.

2. 작목 및 작부체계별 작물경작인자

농촌진흥청 농업과학기술원(정필균, 1985; 정강호, 2004)에서 1977년~2001년의 25년간 11개 주요 밭작물 및 작부체계를 대상으로 작물경작인자를 산정하는 Lysimeter 실험을 실시하였다. 공시 토양은 수원시 구운동의 예산사양토(20% 경사)로 표준포를 둔 2반복 처리이다. 각 구 면적은 20m² (폭 2m × 길이 10m)로 경사의 방향은 북서향이었다. 나 지구는 작부체계의 경종처리와 같게 경운과 쇄석을 하여 파종상 상태로 한 후, 제초작업도 작물재배와 같은 시기에 행하였다. 기타작물의 재배관리는 농촌진흥청 표준재배법에 준하였다. Lysimeter에서 수집된 토양과 유출수는 매 강우마다 측정하였으며, 토양은 건토중량법으로 표시하였다.

작물경작인자는 각 작물의 생육시기별로 나누어 작부상태의 토양유실량에 대한 나지상태의 토양유실량 비와 전 재배기간의 강우인자에 대한 그 생육기의 강우인자의 비를 곱하여 얻어진 값을 재배기간 모두 합한 것이 그 작목의 작부인자가 되며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C = \sum C_i R_i = C_1 R_1 (\text{휴한기}) + C_2 R_2 (\text{파종기}) + C_3 R_3 (\text{신장기}) + C_4 R_4 (\text{성숙기}) + C_5 R_5 (\text{수확기})$$

- (1) 휴한기 : 작물을 수확하고 뒷갈이를 할 시기
- (2) 파종기 : 파종하여서 작물의 피복도가 총 10% 정도 될 때까지
- (3) 신장기 : 파종기가 지나서 작물의 피복도가 총 50% 정도 될 때까지
- (4) 성숙기 : 작물의 피복도가 총 75% 정도가 될 때까지
- (5) 수확기 : 성숙기가 지나고 수확될 때까지

C_i 는 생육시기별 재배구의 토양유실량과 나지구의 토양유실량의 비를 나타내며, R_i 는 생육시기별 강우인자의 값을 작물 재배기간 동안의 강우인자의 값으로 나누어준 값이다. 이와 같이 생육

시기를 구분하는 것은 생육시기가 매년마다 다르고, 그 기간 동안 강우의 강도와 작물의 피복도의 차이 때문이다. 표 1은 위의 같은 실험으로 농업과학기술원에서 산정한 단일작목별 작물경작인자이며(정강호, 2004), 표 2는 농업과학기술원에서 작물경작인자를 작부체계별로 산정하기 위하여 선정한 국내의 주요 작부체계 및 작부체계별 작물경작인자이다(정필균, 1985; 정강호, 2004).

표 1. 단일작목별 작물경작인자

Coverage Crop	C-factor	S.D.	Period	Coverage Crop	C-factor	S.D.	Period
Soybean	0.19	0.10	1977-1984 1998-2001	Chinese Cabbage	0.59	0.24	1998-2001
Red Pepper	0.28	0.09	1981-1982 1994-2001	Orchard	0.43	0.001	1984-1985 1992
Maize	0.44	0.03	1977-1982	Potato	0.75		1977-1982
Upland Rice	0.34	0.02	1977-1982	Wheat	0.40	0.03	1977-1980
Yulmu	0.18		1986-1987	Sesame	0.28		1979-1982
Peanut	0.06	0.03	1986-1989				

표 2. 작부체계별 작물경작인자

Cropping System	C-factor
Maize & Soybean After Barley	0.42
Maize & Potato After Barley	0.37
Maize After Barley	0.34
Potato & Soybean	0.26
Barley & Red Pepper	0.19
Barley & Potato	0.10
Barley After Sweet Potato	0.10
Barley After Soybean	0.18

3. 새만금 유역 밭 토양의 작물경작인자 산정

위 자료를 토대로 하여 새만금 유역 밭 토양의 작물경작인자를 산정하기 위하여 전라북도 밭작물과 관련된 통계자료를 수집하였다. 새만금 유역 내 단일 밭작물별 재배면적을 산정하기 위하여 행정구역상 유역에 포함되는 읍면단위까지 작물별 재배면적을 조사, 정리하였다(통계청, 2000). 또한 전라북도의 주요한 작부체계(농림부·농촌진흥청, 1996)와 그에 따른 밭작물 혼/간작 재배면적비(전북농업과학기술원, 2004)를 조사하여 이를 바탕으로 작물별 재배면적을 작부체계별 재배면적으로 재분류하였다. 통계자료의 부족으로 인하여 작부체계별 혼/간작 비율이 누락된 경우 10%로 가정하였다. 작부체계별 작물경작인자를 정리된 재배면적으로 가중평균하여 새만금 유역 내 행정구역별(시군단위) 작물경작인자를 산출하였다(표 3.). 새만금 유역의 작물경작인자는 0.28~0.35의 분포를 나타내었으며, 김제시(0.35)에서 가장 높았으며 완주군(0.28)에서 가장 낮은 것으로 나타났다. 이는 USDA에서 제시한 값을 사용하던 기존의 연구(서울대학교 농업생명과학연구원, 2002)에 비해 10배 정도 큰 값이지만 25년간의 국내실험으로 산정된 값이므로 보다 현실적이라 판단된다.

표 3. 새만금 유역 내 행정구역별 작물경작인자 산정

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 with 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 with Garlic	0.14	0.80	1.03	3.22	1.57	0.49	1.08	1.36	3.35
Sweat Potato with 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

4. 새만금 유역 토양유실량 산정

위와 같이 도출된 새만금 유역 밭 토양의 작물경작인자를 적용하여 USLE로 새만금 유역의 토양유실량을 산정하였다. 밭 토양의 작물경작인자를 제외한 USLE의 인자는 다음과 같이 산정하였다(이은정, 2006). 강우침식능인자(R)는 유역 내 주요 강우관측소 위치자료를 이용하여 Thiessen Network를 형성하여 가중평균하였으며, 토양침식성인자(K)는 1:25,000 정밀토양도의 토양통별 토양특성을 이용하였다. 지형인자(L)는 ArcGIS(8.3)의 Spatial Analyst를 이용하여 DEM(Digital elevation map)에서 추출하였으며, 밭을 제외한 토양의 작물경작인자(C)는 USDA(Wischmeier et. al., 1975)에 제시한 값으로부터 토지이용에 따라 적절히 선택하였다. 침식조절관행인자(P)는 Wischmeier(1972)가 제시한 상하경방법과 지면경사도에 따른 값을 사용하였다.

추출된 USLE 인자를 이용해 추정된 새만금 유역의 토양유실량은 2,804,483 ton/yr 이었으며, 토지이용의 변화에 따른 토양유실량의 변화를 정량적으로 분석하기 위해 토지이용별로 단위면적당 토양유실량을 비교하였다(표 4.). 나지를 제외하고는 밭 토양의 단위면적당 토양유실량이 38.65 ton/ha/year 로서 나지와 함께 유역 내 토양유실량의 대부분을 차지함을 알 수 있었다.

표 4. 새만금 유역의 토지이용별 단위면적 당 토양유실량 (ton/ha/year)

토지이용	논	밭	산림	초지	나지	주거지/도로
토양유실량	0.49	38.65	2.46	1.95	211.11	1

5. 요약 및 결론

USDA에서 제시한 작물경작인자를 적용하여 토양유실량을 추정하던 기존의 연구에 비해 보다 현실적이며 국내 여건에 적합한 토양유실량 추정을 위하여, 본 연구에서는 밭작물 및 작부체계에 따른 작물경작인자에 주목하였다. 농촌진흥청 농업과학기술원의 25년(1977~2001)간에 실험을 통하여 산정된 밭작물 및 작부체계별 작물경작인자를 새만금 유역의 통계자료와 결합하여 행정구역별(시군단위) 작물경작인자를 산정하였다. 그 결과 행정구역별 작물경작인자는 0.28~0.35의 범위를 보였다. 산정된 밭 토양의 작물경작인자를 적용하여 USLE를 이용하여 새만금 유역의 토양유실량을 추정하였으며, 새만금 유역에서 발생한 총 토양유실량은 2,804,483 ton/yr 이었다.

토지이용별로 단위면적 당 토양유실량을 조사해 본 결과 밭에서 발생한 토양유실량은 38.65 ton/ha/year 로 가장 높은 값을 보여 토양유실량 관리에 있어서의 밭 토양 최적관리의 중요성이 다시 한 번 부각되었으며, 차후 단일작물 및 작포체계에 관한 보다 광범위하고 정확한 통계자료의 수집, 조사를 통하여 보다 정확한 작물경작인자의 산정에 노력을 기울여야 할 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

참 고 문 헌

1. OECD. 1982. Agricultural and environmental policies, Opportunities for integration. OECD, Paris, France.
2. Wischmeier, W. H., and D. D. Smith. 1965. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: Guide for selection of practices for soil and water conservation. Agric. Handbook No. 282. US Dep. Agric., Washington, DC, USA.
3. Wischmeier, W. H., and D. D. Smith. 1978. Predicting rainfall-erosion losses: A guide to conversion planning. Agric. Handbook No. 537. US Dep. Agric., Washington, DC, USA.
4. 정필균, 고문환, 엄기태. 1985. 토양유실량 예측을 위한 작부인자 검토. J. Korean SOC. SOIL SCI. FERT. Vol 18 No. 1.
5. Wischmeier, W. H. 1975. Estimating the cover and management factor for undisturbed areas. In Proc. of the sediment-yield workshop, USDA Sedimentation Lab. Oxford, Mississippi Nov. 28-30. 1972. ARS-S-40: 118-124.