

GIS를 이용한 토양유실량 추정 시스템개발 및 적용

Soil Loss Estimation System using GIS

허용구*(서울대) · 박승우(서울대) · 강문성(서울대)

Her, Young Gu · Park, Seung Woo · Kang, Moon Seong

Abstract

A GIS-RUSLE system has been developed to estimate soil losses from where individual fields on a hillslope using the RUSLE in a GIS environment. The GIS-RUSLE adopts a user interface and a user can use the drop-down menus to define the inputs and get the calculated results. The input data are generated from Arc/Info and ArcView GIS and the factors of the RUSLE are provided from ArcView Avenue. Examples of the GIS-RUSLE applications are presented.

I. 서 론

토양유실은 농지의 표층을 침식시키고 Gully를 만들어 농경지의 생산성을 저하시키고 영농을 어렵게 할뿐만 아니라, 유사는 침식과 퇴적과정을 거치며 환경문제를 발생시키기도 한다. 토양유실에 대한 대책으로 테라스, 낙차공, 초생대, 돌망태 설치 등 다양한 공법이 개발되었으며, 토양과 식물피복상태에 대해서 많은 연구가 진행되어왔다. 토양유실 저감을 위한 대책을 세우기 위해서는 토양유실량의 추정이 필요한데, 대표적인 토양유실 모형으로 USLE가 있으며, 여기서 발전되고 변형된 AGNPS, WEPP, ANSWERS, SWAT 등이 있다. 이 중 USLE는 가장 널리 알려져 있고 많이 이용되는 토양유실모형으로서 장기간에 걸친 토양유실량을 추정하기 위해 개발되었고, 단기간에 걸친 강우사상에 적용하기 위해 RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)가 개발되었으며, 손광익 (2001) 등에 의해 국내적용성이 검증된바 있다. 이들은 식이 간단하여 비교적 쉽게 토양유실량을 추정할 수 있으나, 퇴적, 침전, 수로 침식, 하수구 침식 등을 고려할 수 없다는 한계를 가지고 있어서 실제 적용에 많은 주의가 요구된다.

RUSLE를 토양유실량추정에 이용하기 위해서는, 강우뿐만 아니라 토지이용상태, 토양특성, 경작관행, 경사도, 경사장 등의 대상지역의 특성을 추출해야 한다. 이들 인자들은 실제 측량 및 실험 등을 통해 추출할 수 있으나 많은 시간과 노력이 필요하다. 이러한 문제점에 대한 대안으로 대상지역에 대한 수치지도 등의 수치화된 지형공간정보를 GIS를 이용하여 분석하고, 각 인자들을 추정하는 방법이 활발히 연구되고 있다. GIS는 비교적 객관적이고 시각적이며 편리한

지리정보분석도구라는 장점으로 인해, 교통, 환경 등의 다양한 분야에서 응용되고 있고, Remote Sensing 기술의 발달과 함께 더욱 그 이용의 범위가 넓어질 것으로 예상되고 있으며, 농업분야에서의 이용성 또한 날로 증대될 것으로 기대된다.

본 연구에서는 GIS를 RUSLE 각 인자들의 자료기반을 구축, 관리, 저장, 분석, 계산하여 토양 유실량을 추정하는데 이용하였으며, ArcView의 Script언어인 Avenue를 이용하여 GIS 시스템을 구성하였다. 그리고, 본 연구의 목적은 RUSLE와 GIS를 이용하여 토양유실량을 추정하는 시스템 GIS-RUSLE를 개발하고 경사지 밭의 경지별 토양유실량을 산정하여 경지정리 계획의 기초자료를 제공하는데 있다.

II. 연구방법

2.1 토양유실량 산정공식

개정범용토양유실공식 (RUSLE)는 USDA에 의해 소규모 농경지로부터 발생하는 연간 토양유실량을 산정하기 위하여 제안된 식으로 식 (1)에 의해 계산된다.

$$A = R K L S C P \quad (1)$$

여기서, A는 강우침식능인자 R의 해당기간 중 단위 면적에서 침식되어 유실되는 토사량 (tons/ha), R은 강우침식능인자 ($10^7 J/ha \cdot mm/hr$), K는 토양침식성인자 (tons/ha/R), LS는 지형특성인자 (무차원), C는 재배작물종류 및 피복상태 등에 따른 작물경작인자 (무차원), P는 침식조절 관행인자 (무차원)이다.

RUSLE는 퇴적, 침전, 수로 침식, 하수구 침식 등을 고려할 수 없다는 한계가 있기 때문에, 본 연구에서는 대상지역에 존재하는 각 밭 경지(구획단위)에 대해, 경지별 토양유실량을 추정하면서 퇴적, 침전, 수로 및 하수구 침식 및 전달에 대한 고려를 배제하였다.

2.2 GIS 자료구축

본 연구에 이용된 RUSLE의 기본입력자료 중 GIS자료는 DEM(Digital Elevation Map), 토지이용도, 토양도, 경지구획도 등이 있다. DEM은 수치지도에 수록된 등고선과 표고점을 이용하여 TIN을 만든 후 Resolution 1m의 DEM을 만들었다. 수치지도상의 등고선 최소간격은 5m로 그 사이는 TIN자료에 의해 보간된다. 토양도와 토지이용도는 GIS의 polygon 형태로 제작된 1:50,000 개략도양도와 농촌진흥청의 1:25,000 정밀도양도를 이용하였다. 또한, 경지구획도는 수치지도상의 배수로, 지적, 도로 등의 레이어를 이용하여 polygon의 형태로 재구성되었으며, 대상지역에서 분석된 총 경지 polygon 수는 1,285개이다.

III. 결과 및 고찰

3.1 대상지구

본 시스템의 적용을 위한 대상지구는 농업기반공사의 ‘밭 지역 종합정비 시범사업’ 대상지인 전라남도 해남군 고당지구로 하였으며, 동경 126° 21′ 00″, 북위 34° 37′ 45″ 에 위치해있다. 대상지구는 일성산 아래의 능선에 분포하는 경작지로 약 66%가 약 5° 이상의 경사로 비교적 경사가 급한 편이며, 주로 양파, 고추, 발벼 등과 함께 이모작으로 배추를 재배하고 있다.

3.2 GIS를 이용한 시스템 구축

GIS-RUSLE는 GIS를 이용하여 RUSLE 각 인자들의 자료기반을 구축, 관리, 저장, 분석, 계산하여 토양유실량을 추정한다. ArcView의 Script언어인 Avenue를 이용하여 Preprocessing, R factor, K factor, LSP factor, C factor, Postprocessing 등의 메뉴가 구성되었으며, 기본적인 Edit Tool을 포함하고 있다. 각 메뉴의 구성과 기능은 Fig 1. 과 같다.

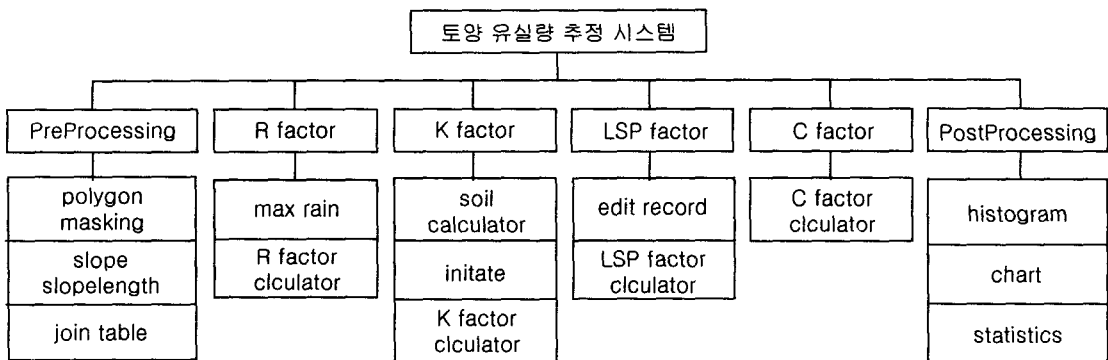


Fig. 1 토양유실량 추정 시스템의 구성

대상지역의 DEM과 경지 polygon을 구축한 뒤, Preprocessing 메뉴에서 각 경지 polygon별 DEM을 추출한 다음, 각 경지별 경사도와 경사장을 계산한다. 이를 이용하여 LSP factor 메뉴에서 사용자로부터 경작형태를 GUI로 입력받아 RUSLE의 L, S, P factor를 계산한다. 여기서 경사도와 경사장은 각 경지 DEM의 최고점과 최저점에 대해 두 점을 잇는 선의 경사와 경사장을 이용하였다. (Fig. 2) 이는 각 경지의 크기가 평균 0.233 ha로 그 크기가 작아서 지표면의 굴곡이 적고 흐름방향이 고도의 최대점과 최소점을 잇는 선과 일치한다는 가정을 바탕으로 한다. 그리고, R factor는 사용자가 선택하는 강우자료 Database File을 GUI로 입력받아, 이를 바탕으로 30분 최대 강우강도와 강우의 운동에너지를 산정하여 R factor를 계산한다. 본 연구에서는 한국건설기술연구원의 ‘수자원 관리기법개발 연구조사 보고서’에 제시되어있는 해남지방의 재현기간 2년 강우지속시간 24시간의 일최대강우량을 Yen-Chow의 삼각형분포를 이용하여 10분 단위로 재 분포시켜 R factor를 계산하였다. 또한, K factor는 해남지방 토양도에 있는 토

양명과 토양번호를 이용하여, 프로그램화 되어있는 토양의 속성을 자동으로 추출하고 각 경지별 K factor를 계산한다. C factor는 대상지역의 작부체계를 사용자가 GUI를 통해서 재배작물 및 재배기간 등을 입력하여 Database를 만든 후, 이를 바탕으로 해당강우기간에 대한 경지 전체 평균 C factor를 계산하게 되는데, 대상구역의 작부체계는 농업기반공사의 '고당지구 발지역 종합정비 시범사업 기본조사 보고서'를 이용하였다. 마지막으로 Postprocessing은 계산된 토양 유실량 및 각 인자들에 대한 값을 통계적으로 처리하여 사용자에게 시각적으로 표현한다. (Fig. 3)

3.3 토양유실량 추정

본 연구에서 선정한 대상지구의 각 경지(구획) 면적은 최소 53 m²에서 최대 1.35 ha로 평균 0.233 ha로 나타났다. 또한, 토양유실량 추정 시스템으로 추출한 경사도와 경사장은 각각 최대 29.81 %, 195.35m, 최소 0.84 %, 3.61m, 평균 14.04%, 53.95m로 나타났으며 약 5° (9.5 %)이상의 경사도를 가진 경지가 전체의 66.15%로, 이는 농업기반공사가 조사한 '발 기반 종합정비 시범사업 기본조사 보고서'에 나와있는 약 66%와 잘 일치하였다. 또한, 각 인자의 계산값 및 해당강우에 대한 토양유실량은 Fig. 4 와 같다.

대상지역에 대한 토양유실량 추정 결과, 대상지역의 재현기간 2년 강우지속시간 24시간의 일 최대강우량 135.9 mm에 대한 전체 경지의 토양유실량은 평균 4.29 ton/ha로 나타났으며, 최대 23.08 ton/ha 최소 0.11 ton/ha의 범위내에서 고르게 분포하였다.

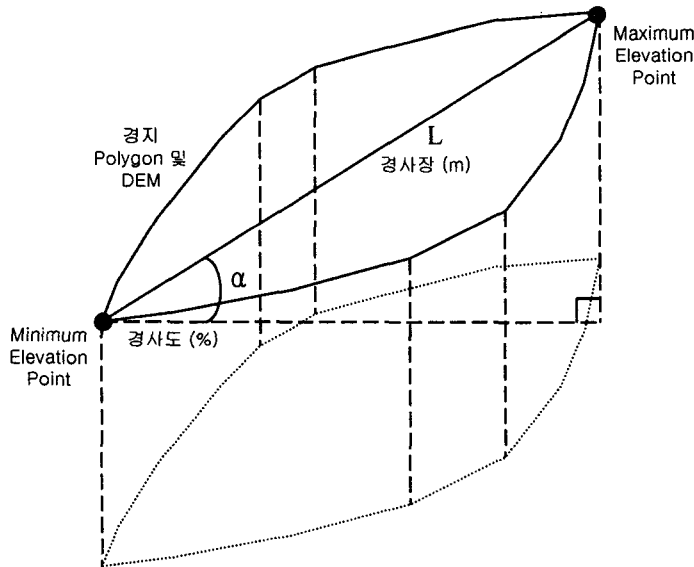


Fig 2. 경사도 및 경사장

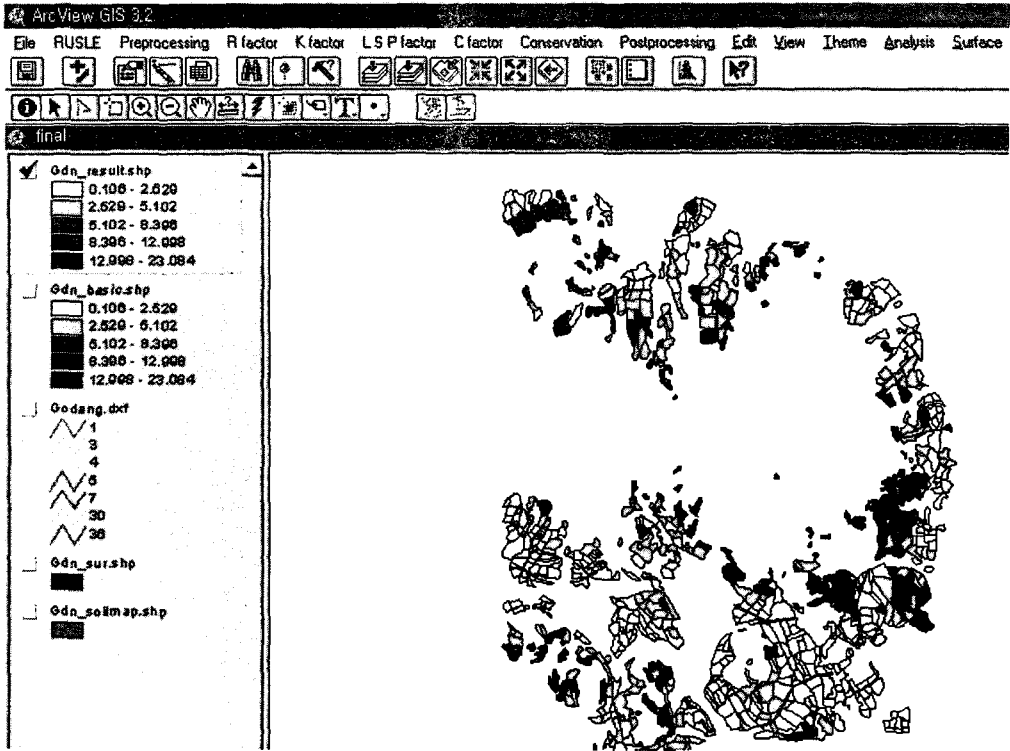


Fig 3. 토양유실량 추정 시스템

Attributes of Gdn_result.shp														
Shape	Id	Area	Perimeter	Sloping	Altype	R_factor	K_factor	L_factor	S_factor	C_factor	P_factor	P_factor	m	soilloss
Polygon	Gd_1	2075.227	187.515	36.6197	0.2731	29.7573	0.2127	1.2864	5.8063	0.3133	1.0000	1.0000	0.5000	14.8114
Polygon	Gd_2	4042.833	344.557	138.004	0.1087	29.7573	0.0709	2.4972	1.3216	0.3133	0.6000	0.6000	0.5000	1.3089
Polygon	Gd_3	1647.415	179.832	39.4081	0.1523	29.7573	0.1064	1.3344	2.2344	0.3133	0.8000	0.8000	0.5000	2.3661
Polygon	Gd_4	5053.403	290.829	94.5304	0.1058	29.7573	0.1064	2.0568	1.2688	0.3133	0.6000	0.6000	0.5000	1.5608
Polygon	Gd_5	4521.816	297.113	97.5295	0.0308	29.7573	0.2127	1.8099	0.2674	0.3133	0.5500	0.5500	0.4000	0.5278
Polygon	Gd_6	5282.218	325.155	118.072	0.1101	29.7573	0.1064	2.3098	1.3474	0.3133	0.6000	0.6000	0.5000	1.8523
Polygon	Gd_8	822.203	156.218	53.7587	0.0930	29.7573	0.2127	1.5586	1.0481	0.3133	0.6000	0.6000	0.5000	1.9436
Polygon	Gd_9	3982.116	293.192	53.1507	0.1129	29.7573	0.1377	1.5498	1.3998	0.3133	0.6000	0.6000	0.5000	1.6710
Polygon	Gd_10	784.890	107.493	21.5407	0.2321	29.7573	0.2127	0.9866	4.4395	0.3133	0.9000	0.9000	0.5000	7.8170
Polygon	Gd_11	568.057	134.869	51.9230	0.1156	29.7573	0.2127	1.5318	1.4512	0.3133	0.8000	0.8000	0.5000	3.5265
Polygon	Gd_12	3968.623	352.453	84.6936	0.0945	29.7573	0.3125	1.9563	1.0730	0.3133	0.6000	0.6000	0.5000	3.6694
Polygon	Gd_13	3351.164	251.976	50.2195	0.0597	29.7573	0.3125	1.5064	0.5690	0.3133	0.5500	0.5500	0.5000	1.3735
Polygon	Gd_14	4437.135	265.511	65.9697	0.1819	29.7573	0.2127	1.7266	2.9760	0.3133	0.9000	0.9000	0.5000	9.1704
Polygon	Gd_15	5103.448	281.517	53.4883	0.1309	29.7573	0.3125	1.5547	1.7588	0.3133	0.8000	0.8000	0.5000	6.3732
Polygon	Gd_17	5315.672	309.557	83.0963	0.1444	29.7573	0.1064	1.9378	2.0527	0.3133	0.8000	0.8000	0.5000	3.1566
Polygon	Gd_18	331.298	79.384	19.1050	0.1570	29.7573	0.2127	0.9291	2.3458	0.3133	0.8000	0.8000	0.5000	3.4575
Polygon	Gd_19	1072.050	146.042	53.4603	0.1683	29.7573	0.2127	1.5543	2.6235	0.3133	0.8000	0.8000	0.5000	6.4689

Fig 4. 대상지역의 추정된 토양유실량 및 RUSLE factor

IV. 결 론

본 연구에서는 GIS를 이용하여 토양유실량을 추정하기 위해 ArcView의 Script 언어인

Avenue를 이용하여 GIS-RUSLE 시스템을 개발하였다. GIS-RUSLE 시스템은 각 인자들을 계산하기 위한 메뉴와 전후처리에 대한 메뉴로 구성되어 사용자가 GUI를 이용, 일련의 간단한 과정을 통하여 토양유실량을 추정할 수 있게 하였다.

1. 각 경지에 대한 경사도와 경사장을 GIS 자료를 이용하여 추정하기 위해, 각 경지 별 DEM 상의 최대점과 최소점을 잇는 선의 길이를 경사장으로, 그 선의 기울기를 경사도로 가정한 결과, 비교적 현장의 지형을 잘 반영하는 것으로 판단된다.
2. 기존의 유역대상과는 달리, 본 연구는 밭 토양 경지 구획별로 토양유실량을 추정하여 경지 정리 및 밭 토양 환경보전 관리 대책을 수립하는데 기초자료로 이용될 수 있다.
3. 농업기반공사의 '밭 지역 종합정비 시범사업'의 대상지인 전라남도 해남 고당지구에 GIS-RUSLE를 적용해본 결과, 재현기간 2년 강우지속시간 24시간의 일최대강우량 135.9 mm에 대한 전체 경지의 평균 토양유실량은 4.29 ton/ha로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 김진택, 박승우. 1994. 경사지의 경중에 따른 유출 및 토양유실에 관한 연구. 한국농공학회지 36(1) : 73~82.
2. 농업기반공사. 2000. 고당지구 밭지역 종합정비 시범사업 기본조사 보고서.
3. 박승우 외. 1994. 농지공학.
4. 손광익. 2001. 해외 토사유출량 산정공식의 국내적용성 검토 (I) - RUSLE를 중심으로. 한국수자원학회논문집. 34(3) : 199~207.
5. 이남중, 오세진, 정필균. 1996. 소유역에서 토양유실량 및 물 유출량 조사.
6. 정필균, 오세진, 이남중. 1996. 경사지 토양 및 양분유실에 관한 연구.
7. 조재필. 1998. 복합토지이용 특성의 농촌유역에 대한 농업비점원오염모형의 적용. 서울대학교 석사학위논문.
8. 한국건설기술연구원. 1989. 지역별 설계 강우의 시간적 분포.
9. Darcy K. Molnar and Pierre Y. Julien. 1998. Estimation of Upland Erosion using GIS. Computer & Geosciences 24(2) : 183~192.
10. ESRI. 1998. Programming with Avenue.
11. ESRI. 1999. Advanced ArcView GIS.
12. Foster G. R. and et al. 1994. The Revised Universal Soil Loss Equation. Soil Erosion Research Methods
13. OnWordPress. 1999. ArcView GIS/Avenue Developer's Guide.
14. OnWordPress. 2000. ArcView GIS/Avenue Programmer's Reference.
15. Wischmeier W. H. and D. D. Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. USDA Agr. Handbook.
16. Wischmeier W. H., 1976. Use and Miuse of the Universal Soil Loss Equation for Watershed. Journal of Soil and Water Conservation 31(1) : 5~9.
17. Wischmeier W. H., et al. 1971. A Soil Erodibility Nomograph for Farmland and Construction sites. Journal of Soil and Water Conservation 26 : 189~193.