

HyGIS와 연계한 토양유실분석 모형 개발

Development of Soil Erosion Analysis Model to Couple the HyGIS

김경탁*, 김주훈 **, 최윤석***, 원영진****

Kyeong Tak Kim, Joo Hun Kim, Yun Seok Choi, Young Jin Won

요 지

본 연구는 자연재해대책법에 의해 개발사업으로 인한 재해유발요인을 예측·분석하고 이에 대한 대책을 강구하기 위해 수행되고 있는 사전재해영향평가에서 토양유실도 작성을 위한 HyGIS와 연계한 토양유실량 분석 모형을 개발하는 것을 목적으로 하고 있다. HyGIS(Hydro Geographic Information System)는 GIS를 수자원의 다양한 분야에 손쉽게 적용하기 위해서 컴포넌트 형태로 개발된 시스템이다. HyGIS에서는 DEM을 이용하여 유역 및 하천망의 추출과 지형분석이 가능하며, 하천 네트워크를 기반으로 유역의 다양한 정보를 운용할 수 있다. 또한 HyGIS는 데이터베이스를 기반으로 운영되며, GIS를 이용한 수자원 분야의 응용프로그램 개발 시 기반 시스템으로 활용될 수 있다. 본 연구에서 개발한 HyGIS와 연계한 토양유실 분석 모형은 HyGIS의 데이터베이스를 공동으로 이용할 수 있도록 개발하였다. 개발 툴은 GEOMania GMMMap2009의 Add-on 형태로 개발하였고, OECD에서 제안한 토양유실 위험 등급도도 작성할 수 있도록 개발하였다.

핵심용어 : HyGIS, RUSLE, 토양유실량, 사전재해영향평가, OECD, 토양유실위험등급도

1. 서 론

자연적인 침식현상(geological erosion)과 달리, 농경지나 도시, 도로개발 등 인간의 활동은 자연적인 침식보다 훨씬 큰 침식을 유발하며, 이를 가속화된 침식현상(accelerated erosion)이라 한다. 개발사업은 자연상태가 아니라도 논이나 밭 등 오랫동안 경작하여 안정된 지표면의 토양 및 식생상태를 급속히 변화시킨다. 이러한 경우 같은 조건의 비가 오더라도 토양유실은 그 전보다 적게는 몇 배 많게는 몇 만배 이상 급속히 증가한다(Goldman 등, 1986). 이렇게 유역에서 발생한 토사는 결국 개발지역 하류로 이송되어 하류 하천이나 저수지, 호수를 탁하게 만들고, 바닥에 퇴적된다. 특히 부유사의 형태로 이송된 점토나 실트 등 미립토사(fine sediment)는 장시간에 걸쳐 하류 수역의 탁도를 증가시켜 음용수 취수 수질문제는 물론 수환경을 악화시켜 생태 서식처에 직접적인 피해를 준다.

국가는 1967년 2월 국토와 국민의 생명·신체 및 재산을 재해로부터 보호하기 위하여 방재계획의 수립과 재해예방·재해응급대책·재해복구 기타 재해대책에 관하여 필요한 사항을 규정함을 목적으로 풍수해 대책법을 제정하였고, 이 법은 1995년 자연재해대책법으로 법령을 변경하였고 2008년

정회원 · 한국건설기술연구원 수자원환경연구본부 수자원연구실 연구위원 · E-mail : ktkim1@kict.re.kr
정회원 · 한국건설기술연구원 수자원환경연구본부 수자원연구실 수석연구원 · E-mail : jh-kim@kict.re.kr
정회원 · 한국건설기술연구원 수자원환경연구본부 수자원연구실 선임연구원 · E-mail : yschoi51@kict.re.kr
비회원 · (주)지오매니아 부설연구소 책임연구원 · E-mail : yjwon@geomania.com

12월까지 36회에 걸친 법률 개정이 이루어져 왔다.

재해영향평가는 1995년에 개정된 자연재해대책법에 근거한 제도로 지난 1996년부터 내무부 방재국의 주도아래 시행되었다. 이 제도의 취지는 자연재해대책법 제28조(재해영향평가의 실시)에 제시된 바와 같이 국가 및 지방자치단체가 각종 개발계획을 수립하거나 개발사업에 대하여 승인·인가·허가·면허 또는 결정 등을 하고자 하는 경우 당해 사업이 홍수 등 재해의 가능성과 재해의 정도 및 규모 등에 미치는 영향을 예측·분석하고 재해영향을 줄일 수 있는 방안을 강구하도록 하고 있다.

최근에 일부 개정된 자연재해대책법(법률 제9298호)제4조 1항 및 동법시행령 제6조 1항 및 별표 1에 의거하여 대상사업에 대한 사전재해영향성검토 실시근거를 명확히 확인할 수 있도록 제시하고 있다. 예상재해로는 하천재해, 호우재해, 사면재해, 지반재해, 연안재해, 바람재해 등이 있다. 호우재해는 재해영향 예측 및 평가를 통해 예상된 호우로 인한 내수침수재해, 토사유출재해(토석류 및 유송잡물 포함)가 있으며, 이 중 토사유출재해는 개발사업으로 인해 발생하는 토사유출량을 예측 평가하고 이에 따라 개발전·중·후에 현지 여건에 맞는 적절한 토사유출 저감대책을 수립하도록 하고 있다.

본 연구는 자연재해대책법에 의해 개발사업으로 인한 재해유발요인을 예측·분석하고 이에 대한 대책을 강구하기 위해 수행되고 있는 사전재해영향평가에서 토양유실도 작성을 위한 HyGIS와 연계한 토양유실량 분석 모형을 개발하는 것을 목적으로 하고 있다.

2. RUSLE 인자

USLE 모형은 농업지역의 토양유실량을 산정하기 위하여 Wischmeier와 Smith(1965)에 의해 강우에 의한 토립자의 이탈 및 운송에 의한 개념을 기초로 하여 처음 제안하였다. USDA(1996)는 개발목장이나 삼림과 같은 실험 지점 이외의 토양조건에 대한 토양유실량 산정을 위해 기후인자의 수정, 계절적 변화에 대한 토양의 침식성 인자의 개발, 사면의 길이 및 경사에 대한 수정과 피복식생인자를 산정하는 새로운 계산과정의 개발 등을 추가한 개정범용토양손실공식(RUSLE ; Revised Universal Soil Loss Equation)을 발표하였다.

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

여기서 A는 강우-유출 침식성 인자(R)의 해당기간 중 단위면적에서 침식되는 토양유실량 (ton/ha/yr), R은 강우-유출 침식성 인자(rainfall-runoff erosivity factor), K는 토양침식성 인자 (soil erodibility factor), LS는 지면특성 인자(slope-length and steepness factor, L은 침식 경사면의 길이, S는 침식 경사면의 경사), C는 식생피복 인자(cover management factor)이며, P는 토양 보존 인자(support practice factor)이다.

3. HyGIS-RUSLE 개발

HyGIS(Hydro Geographic Information System)는 GIS를 수자원의 다양한 분야에 손쉽게 적용하기 위해서 컴포넌트 형태로 개발된 시스템이다. HyGIS에서는 DEM을 이용하여 유역 및 하천망의 추출과 지형분석이 가능하며, 하천 네트워크를 기반으로 유역의 다양한 정보를 운용할 수 있다 (김경탁 등, 2003; 김경탁 등, 2004). 또한 HyGIS는 데이터베이스를 기반으로 운영되며, GIS를 이

용한 수자원 분야의 응용프로그램 개발 시 기반 시스템으로 활용될 수 있다.

HyGIS-Model이란 HyGIS 응용프로그램 중 수자원과 관련된 분석모형과 연계운영할 수 있도록 개발된 것을 총칭하고 있다. HyGIS-Model에서는 공통된 데이터베이스를 통하여 수리·수문·수질모형에 필요한 입력자료를 제공하며, 모형 수행결과를 다시 데이터베이스로 저장하여 DB를 기반으로 통합 운영이 가능하도록 설계하였다. HyGIS와 연계된 Model로는 HyGIS-TOPMODEL을 비롯하여, HyGIS-SWAT, HyGIS-HMS, HyGIS-RAS, HyGIS-Qual2E, 그리고 HyGIS-GRM 등이 개발되어 있으며, 한국건설기술연구원에서 지속적으로 HyGIS 워크샵을 통해 일반사용자들을 확대해 나가고 있다.

본 연구에서 개발한 HyGIS와 연계한 토양유실 분석 모형은 기존의 HyGIS-Model들과 마찬가지로 HyGIS의 데이터베이스를 공동으로 이용할 수 있도록 개발하였다. 개발 틀은 GEOMania GMMMap2009의 Add-on 형태로 개발하였고(그림 1), 토양유실은 RUSLE 기본식을 통해 분석하도록 하고 있다.

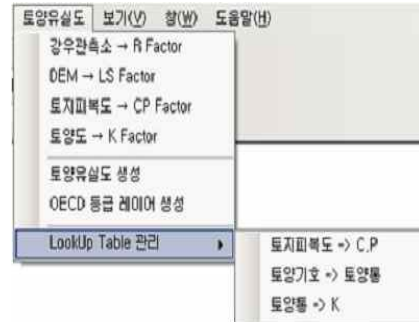


그림 1. 토양유실분석 모형

3.1 RUSLE-R인자 산정

RUSLE의 인자 중 강우에너지 인자(R)는 단일 호우사상에 의한 토양유실량을 산정할 수 있도록 미국 교통연구단(TRB, Transportation Research Board)의 "Design of Sedimentation Basins"에서 제시하는 24시간 지속시간을 갖는 호우에 대하여 강우에너지인자를 산정하는 방법을 적용하였다.

또한 유역내 다수의 강우관측소가 존재할 때 이들 관측소 자료를 이용하여 평균 강우에너지 인자를 산정할 경우 이의 보간방법으로 역거리 가중법(IDW, Inverse Distance Weighted)을 적용하였다(그림 2).

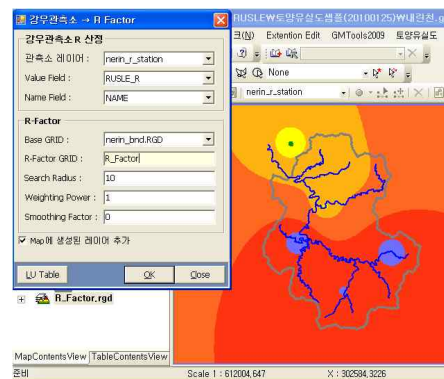


그림 2. RUSLE-R

3.2 RUSLE-LS 산정

사면길이가 길고 경사도가 급할수록 침식률이 높고, 사면길이가 짧거나 평탄할수록 토양유실률이 낮기 때문에 지형인자(LS)는 예측되는 토양유실률을 조정하는 역할을 한다. 토양유실량 산정을 위한 LS 인자 산정 방법은 다수의 연구자에 의해 연구되었고, 제시된 방법 또한 매우 많다.

본 연구에서는 Remotel 등(2001)은 수평경사길이가와 참조경사길이, 그리고 경사가 9%이상 및 이하인 지역을 구분한 RUSLE Handbook(1996)에서 제시된 방법으로 ArcInfo의 AML(Arc Macro Language) 및 C++로 개발한 실행프로그램 등 여러 버전

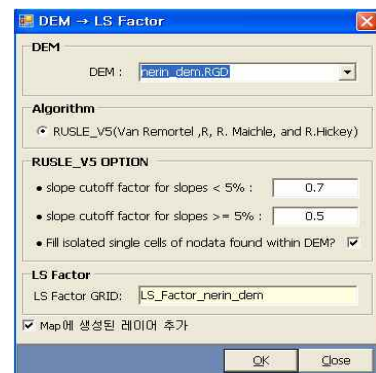


그림 3. RUSLE-LS

으로 개발한 바 있다. 본 연구의 RUSLE의 LS 인자 계산을 위한 모듈은 Remortel 등(2004)이 C++로 개발한 실행파일을 적용하였다.

3.3 RUSLE-K, C, P 산정

3.3.1 토양침식성 인자(K, soil erodibility factor)

K 인자는 토양이 강우에 의한 침식에 대해 저항하는 능력을 나타내는 척도로서, 토양입자 및 분포, 구조, 공극 및 공극크기, 유기물 함량 등에 관계된다. 토양도의 경우에는 서울대학교에서 구축한 개략토양도(1/50,000)과 국립농업과학원에서 구축한 정밀 토양도(1/25,000) 자료가 있다. Wischmeier(1978)등은 토양에서의 미사(silt)와 극미사(very fine sand, 0.1mm이하)의 함량과 모래(2mm이상), 유기물, 토양구조 투수성 토양 특성에 따라 결정되는 노모그래프를 제시하였으며, 건설부/한국건설기술연구원(1992)에서는 토양통별 K값을 정리하여 제시하였다(한국수자원학회, 1998). 본 연구에서는 기 제시된 토양통별에 따른 K값을 적용할 수 있도록 하였고, 적용한 토양통별 K값을 Lookup table을 통해 수정할 수 있도록 개발하였다.

3.3.2 식생피복인자(C, cover management factor), 토양보존인자(P, support practice factor)

식생피복인자(C)는 식생의 피복도, 작물의 상태, 토양 조건, 경작 조건 등이 침식에 미치는 영향을 나타낸다. 일반적으로 영구적인 초지, 방목지 및 산림지의 침식량은 농지보다 훨씬 적지만, 도로, 방목 및 임목수확과 같이 식생생장을 방해하는 인간이나 가축 활동이 존재하며 방목지나 산림지역은 많은 토사를 생산하게 된다.

토양보전 대책에는 등고선 경작, 대상재배 및 테라스 경작법이 포함된다. 토양보전 대책을 응용하지 못하는 곳의 P인자는 1을 적용한다.

현재 토지피복도는 환경부에서 제작한 대분류 및 중분류 토지피복도가 존재하며 이들 분류별 토지피복도를 적용할 때에 C와 P 인자는 수문학에서 유효강우량 산정에 가장 일반적으로 사용하고 있는 NRCS-CN방법과 같이 연구자에 따라 토지피복형태의 특성에 따라 다양하게 적용되고 있으며, 본 연구에서는 Dawen 등(2003)이 제시한 값을 적용하였으며, 각 토지피복별 인자값 적용의 변화는 Lookup table을 통해 수정할 수 있도록 개발하였다.

4. 결론

본 연구는 토양유실도 작성을 위한 HyGIS와 연계한 토양유실량 분석 모형을 개발하는 것을 목적으로 하여 기존의 HyGIS-Model들과 마찬가지로 HyGIS의 데이터베이스를 공동으로 이용할



그림 4. RUSLE-K

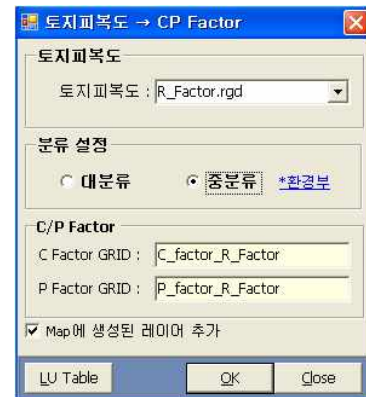


그림 5. RUSLE-C,P



그림 6. HyGIS-RUSLE

수 있는 HyGIS와 연계한 토양유실 분석 모형을 개발하였다.

RUSLE의 각 인자를 산정하기 위한 기본 지형공간자료는 DEM, 토지피복도 혹은 토지이용도, 그리고 토양도가 이용된다. 이들 자료를 활용할 수 있도록 모형을 개발하였고, 토양유실의 직접적인 에너지원인 강우에너지 인자(R)의 경우에는 미국 교통연구단(TRB)에서 제시한 24시간 지속기간을 갖는 특정빈도의 R인자를 산정할 수 있도록 하였으며, IDW 방법을 적용하여 유역평균 R 인자값을 산정할 수 있도록 개발하였다. 개발 툴은 GEOMania GMMMap2009의 Add-on 형태로 개발하였고, 토양유실은 RUSLE 기본식을 적용하였다. 또한 OECD(2001)에서 제시한 토양유실위험등급도를 이용하여 토양유실위험지역을 찾을 수 있도록 HyGIS-RUSLE모형을 개발하였다

감사의 글

본 연구는 기초기술연구회의 일반연구사업(사업명: 위성자료 공공활용 연구, 과제명: 위성영상을 이용한 하천정보생산 및 활용에 관한 연구)과 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(과제번호 07국토정보C03)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김경탁, 김주훈, 최윤석, 박동선. 2003. Network 컴포넌트 기반의 수자원지리정보시스템에 관한 연구. 한국지리정보학회지. 6(4):122-134.
2. 김경탁, 최윤석, 김주훈. 2004. 하천 네트워크 기반의 유역관리시스템 개발을 위한 프로임워크 공간 DB 구축에 관한 연구. 한국지리정보학회지. 7(2):87-97.
3. Dawen Yang, Shinjiro Kanae, Taikan Oki, Toshio Koike and Katumi Musiake. 2006. Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes, Hydrological Processes 17:2913-2928.
4. Goldman, S.J., K. Jackson, and T.A. Bursztynsky. 1986. Erosion and Sediment Control Handbook, Mc-Graw Hill, pp.5.1-5.32.
5. Transportation Research Board(National Research Council). 1980. National Cooperative Highway Research Program synthesis of Highway Practice #70(Design Sedimentation Basins).
6. OECD. 2001. Environmental Indicators for Agriculture Vol.3. Part 4. Soil Quality.
7. Remortel, V. R., M. Hamilton and R. Hickey(2001). Estimating the LS factor for RUSLE through iterative slope length processing of DEM elevatin data. Cartography 30(1):27-35.
8. Van Remortel, R. D., R.W. Maichle and R. J. Hickey. 2004. Computing the LS factor for the Revised Universal Soil Loss Equation through array-based slope processing of digital elevatin data using a C++ executable. Computer & Geosciences 30(2004):1043-1053.
9. USDA. 1996. Predicting soil erosion by water : A Guide to conservation planning with the RUSLE, Agriculture Handbook #703.
10. Wischmeier. W. H. and D.D. Smith. 1965. Predicting rainfall erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains. U.S. Dep. Agric., Agricultural Research Service. Agricultural Handbook. No. 537.