

기후변화에 따른 공간해상도별 토양유실량 평가

Estimation of Soil Erosion for Each Spatial Resolution on the Climate Change

이미선*, 박종윤**, 정인균***, 김성준****

Mi Seon Lee, Jong Yoon Park, In Kyun Jung, Seong Joon Kim

요 지

본 연구는 미래기후변화가 공간해상도(5, 10, 30m)에 따른 토양유실량의 변화에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 연구대상지역은 경안천 최상류에 위치한 1.16km²의 농촌 소유역을 대상으로 공간해상도별(5, 10, 30m) RS 및 GIS 자료를 생성하고, GIS 기반의 RUSLE(Revised Universal Soil Loss Equation) 모형을 채택하여 토양유실량을 분석하였다. 기후변화 시나리오는 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 제공하는 GCM(Global climate model) 중에서 MIROC3.2 hire의 A1B, B1 시나리오를 이용하였으며, 과거 30년간(1977-2006)의 기상자료 통계정보를 기준으로 Change Factor Downscaling 기법을 적용하여 2020s년(2010-2039), 2050s년(2040-2069), 2080s년(2069-2099) 전후의 각 30년간의 미래 강우량을 재생산하여 사용하였다. 그 결과 강수량은 2080s년에 A1B 시나리오의 경우 연평균 강수량은 270.37mm, 최대 강수량은 65.71mm 증가하였고, B1 시나리오의 경우 연평균 강수량은 37.11mm, 최대 강수량은 48.46mm 증가하는 것으로 나타났다. 구축한 미래 강우량을 RUSLE 인자 중 R 인자에 적용하여 2020s년, 2050s년, 2080s년의 토양유실량을 분석한 결과, 미래강수량이 증가함에 따라 공간해상도별 토양유실량도 증가하는 것으로 분석되었다. 평균토양유실량을 시나리오별로 보면, A1B 시나리오의 경우 2080s을 기준으로 1/5,000 scale에서는 약 0.18 ton/ha/year, 1/25,000 scale에서는 약 0.07 ton/ha/year, 1/50,000 scale에서는 약 0.07 ton/ha/year의 유실량이 각 공간해상도별로 증가하였다. B1 시나리오의 경우 2080s을 기준으로 1/5,000 scale에서는 약 0.03 ton/ha/year, 1/25,000 scale에서는 약 0.01 ton/ha/year, 1/50,000 scale에서는 약 0.01 ton/ha/year의 토양유실량이 증가한 것으로 분석되었다.

핵심용어: 공간해상도, RUSLE, 토양유실량, 기후변화

1. 서 론

토양유실은 비옥한 표토에서 일어나므로 발생 자체가 토양의 생산력 감퇴의 주원인이며, 유실된 토양과 유기물 및 영양 성분은 하부로 이동하여 하천에 유입됨으로써 오염 유발하기 때문에 이를 예측하는 것이 중요하다. 토양유실량을 산정하고 예측하기 위해서는 그 지역의 강우 분포, 토양 종류, 지형 경사 등의 사·공간적인 다양한 인자들에 대한 정확한 정보를 획득하는 일이 선행되어야 한다.

극심한 강우사상이 지난 수십년 동안 증가하고 있으며(IPCC, 2001) 우리나라도 그 영향을 받

* 정회원 · 건국대학교 일반대학원 지역건설환경공학과 박사과정 · E-mail : misun03@konkuk.ac.kr
** 정회원 · 건국대학교 일반대학원 사회환경시스템공학과 석사과정 · E-mail : bellyon@konkuk.ac.kr
*** 정회원 · 건국대학교 일반대학원 사회환경시스템공학과 박사과정 · E-mail : nemoik@konkuk.ac.kr
**** 정회원 · 건국대학교 환경시스템학부 사회환경시스템공학과 정교수 · E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

고 있다고 해도 과언은 아닐 것이다. 기후변화의 가장 중요한 결과 중 하나가 기온, 강우, 증발산량 등의 주요한 기후 인자들의 변화일 것이다. 이것은 토지피복의 유형, 생체량, 그리고 수문학적 상황들의 변화를 가져오고 이어서 산지의 침식에도 영향을 미칠 것이다 (이 등, 2008).

현재 토양유실량 분석에 사용되고 있는 모형에는 USDA (1997)가 USLE(Universal Soil Loss Equation)의 단점을 개선한 GIS 기반의 RUSLE모형이 있다. 20세기에 들어서면서 GIS와 RS의 활용도가 높아짐에 따라 효율적이고 정확도 높은 분석이 가능하게 되었다. 우리나라의 경우 좁은 지역내에 다양한 형태의 토지이용이 이루어지고 있어 고해상도 위성영상의 활용성은 더욱 높아질 전망이다. 한국항공우주연구원에서 고해상도 위성영상인 KOMPSAT-2호가 발사됨에 따라 고해상도 영상을 수량과 구입과정 등의 복잡함이 해소되어 분야별 활용도는 더욱 높아질 것으로 사료된다. 이에 본 연구에서는 GIS 기반의 RUSLE 모형을 이용하여 공간해상도별 RS 및 GIS 입력자료를 각각 구축하고, 기후변화 시나리오는 중에서 MIROC3.2 hire의 A1B, B1 시나리오를 이용하여 미래 강우량을 추출하여 공간해상도 변화에 따른 토양유실량을 비교분석하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구대상구역

본 연구의 대상구역은 경기도 용인시 해곡동에 위치하고 있는 소하천 유역으로, 팔당댐으로 유입되는 지방 2급하천인 경안천으로 합류하는 최상류 유역에 위치하고 있으며, 유역의 면적은 1.61km²이다. 소유역은 소하천을 중심으로 여러 밭작물들과 경지정리 논, 주거지가 고루 분포되어 있으며, 유역의 약 87%가 삼림(침엽수림, 활엽수림)으로 둘러싸인 유역이다. 또한 상수원 보호구역으로서 최근 도시화에 따른 유역의 환경(수문·수질) 변화에 대한 관심이 높은 지역이라 할 수 있다.

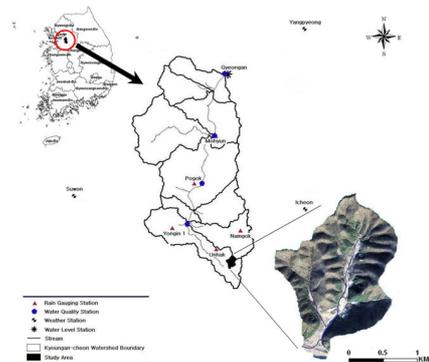


그림 1. 대상지역

2.2 공간해상도에 따른 RS / GIS 자료 구축

해상도별 토양유실량을 분석하기 위하여 기본 입력자료를 5m(1/5,000 scale), 10m(1/25,000 scale), 30m(1/50,000 scale) 해상도의 DEM(Digital Elevation Model), 토양도(Soil Map), 토지이용도(Land Use)를 제작하여 사용하였다.

DEM은 1:5,000 NGIS (National Geographic Information System) 수치자료에서 2 m DEM을 구축하였으며, 해상도별 5, 10, 30m로 Resample 하여 사용하였다. 토양도는 한국농촌공사(Korea Rural Development Administration)에서 제공받은 1:25,000 정밀토양도를 사용하여, 토양통별로 재분류하여 사용하였다.

토지이용도는 QuickBird로부터 구축한 5m 정밀토지이용도(1/5,000 scale)와 환경부 토지이용도(1/25,000 scale), Landsat 위성영상에서 구축한 토지이용도(1/50,000 scale)를 사용하였다. 5m 정밀 토지이용도에 사용된 영상은 고해상도 위성영상인 QuickBird-2 영상(2006년 5월 1일)으로 RPC(Rational Polynomial Coefficients) 정보가 있는 영상을 제공받아 분석에 사용하였다. 영상을 분석하기 위하여 RS분석 프로그램인 ERDAS Imagine 9.0 버전에서 정사보정 실시하였으며, 정사보정시 사용된 GCP(Ground Control Point)는 현장 GPS측정을 통하여 수집한 자료와 수치지도로부터 획득한 자료를 사용하였다. 보정된 QuickBird 영상으로부터 정밀토지이용도를 작성하기 위하

여 기존 환경부, 건교부, USGS의 토지피복분류체계 및 현장조사를 통하여 QuickBird 영상으로부터 추출 가능한 항목을 결정하였으며, 스크린 디지털화 기법을 이용하여 26개의 항목으로 분류하였다. 10m 토지이용도는 환경부(Ministry of Environment, ME)에서 제공하는 중분류의 토지이용도를 사용하였으며, 30m 토지이용도는 2004년 6월 3일자의 Landsat TM 위성영상자료를 이용하여 영상의 전처리를 거친 후 Train Site를 정하고, 감독방법 중 최대우도 방법을 적용하여 토지피복도를 작성하였다. 분류 정확도 검증을 위하여 오차행렬과 통계자료와의 검수를 통하여 정확도를 검증하였다.

2.3 기후변화시나리오

기후변화의 영향을 평가하기 위해서는 영향 예측의 목적에 적합한 모형을 선정하고, 기후시나리오를 설계하여 기후변화에 따른 영향평가를 실시하게 된다(안 등, 2008). 미래기후변화가 토양유실량에 미치는 영향을 분석하기 위하여 IPCC에서 제공하는 GCM 중에서 MIROC3.2 hires의 A1B, B1 시나리오를 이용하였으며, 과거 30년간(1977-2006)의 기상자료 통계정보를 기준으로 Change Factor Downscaling 기법을 적용하여 2020s년(2010-2039), 2050s년(2040-2069), 2080s년(2069-2099) 전후의 각 30년간의 미래 강우량을 재생산하여 사용하였다(그림 2).

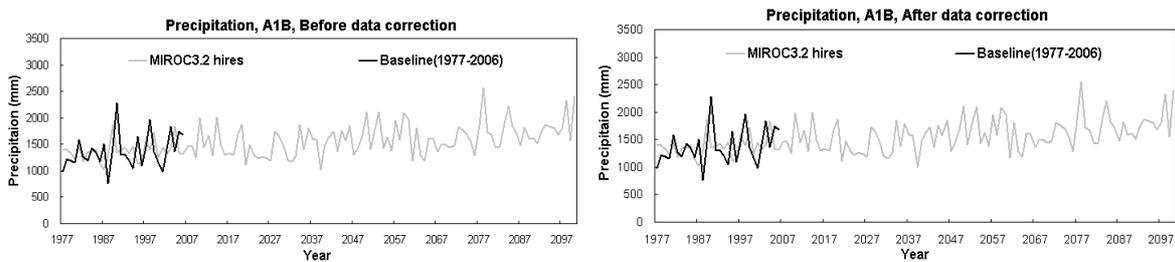


그림 2. 미래 강우량의 보정 전과 후 (A1B)

3. 결 과

3.1 토양침식모형을 이용한 공간해상도별 토양유실량 비교분석

토양유실량을 선정하기 위하여 USDA(1997)에 개발한 개정범용토양손실공식(Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE)을 사용하였다(식 1).

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

여기서, A는 연평균 토양침식량(t/ha/yr), R은 강우침식인자(MJ/ha · mm/yr), K는 토양침식인자(t/ha/R)이다. 또한 L은 침식사면의 길이이며, S는 경사인자이며, C는 식생피복인자이고 P는 경작인자이다. 강우에 의한 침식능 R의 산정은 대단히 중요하다. 본 연구에서는 연평균강우량으로 강우침식인자를 구할 수 있는 A. G. Toxopeus(1998)가 제안한 식 (2)에 적용하였다.

$$R = 38.5 + 0.35 \times P \quad (2)$$

여기서, P는 연평균 강우량을 말한다. 1977 ~ 2006년의 연평균강우량을 사용하여 R 값을 구하였

다. K인자는 1:25,000 정밀도양도의 토양통 속성을 이용하여 재분류하였으며, 한국건설기술연구원 (1992)에서 제시한 토양통별 K 값을 사용하였다. 지형인자인 LS인자는 Wischmeier & Smith(1978)이 개발한 LS인자의 관계식을 이용하여 해상도별(5, 10, 30m) DEM을 이용하여 각각의 LS 값을 구하였다. C인자는 박경훈(2003)과 국내외 문헌들을 참고하여 QuickBird 영상에서 구축한 정밀토지이용도와 환경부 중분류 토지이용도, Landsat 위성영상으로부터 7개 항목으로 구축한 토지이용도에 각각 적용하여 구축하였다. P인자는 각 해상도별 DEM 자료를 분석한 사면경사인자 (S)와 토지이용도를 이용하여 국립방재연구소(1998)에서 제시한 경작형태 및 경사에 따른 P 값을 적용하였다. 모든 인자들은 GIS 기법을 이용하여 추출하였으며, 식 (1)에 적용하여 공간해상도별 토양유실량 산정하였다. 분석 결과 1/5,000 scale은 0.35 ton/ha/year, 1/25,000 scale 은 0.35 ton/ha/year, 1/50,000 scale 0.94 ton/ha/year 유실된 것으로 분석되었다.

3.2 미래기후변화가 토양유실량에 미치는 영향 분석

미래기후변화가 토양유실량에 미치는 영향을 분석하기 위하여, MIROC3.2 hire의 A1B, B1 시나리오를 이용하여, 과거 30년간(1977-2006)의 기상자료 통계정보를 기준으로 Change Factor Downscaling 기법을 적용하여 2020s년(2010-2039), 2050s년(2040-2069), 2080s년(2069-2099) 전후의 각 30년간의 미래 강우량을 산정한 결과, 2080s년에 A1B 시나리오의 경우 연평균 강수량은 270.37mm, 최대 강수량은 65.71mm 증가하였고, B1 시나리오의 경우 연평균 강수량은 37.11mm, 최대 강수량은 48.46mm 증가하는 것으로 나타났다. 각 시나리오별로 구축된 자료를 R factor만을 변화를 주어 평균토양유실량을 분석한 결과를 정리하면 표 2와 같다. A1B 시나리오의 경우 2080s을 기준으로 1/5,000 scale에서는 약 0.18 ton/ha/year, 1/25,000 scale에서는 약 0.07 ton/ha/year, 1/50,000 scale에서는 약 0.07 ton/ha/year의 유실량이 각 공간해상도별로 증가하였으며, B1 시나리오의 경우 2080s을 기준으로 1/5,000 scale에서는 약 0.03 ton/ha/year, 1/25,000 scale에서는 약 0.01 ton/ha/year, 1/50,000 scale에서는 약 0.01 ton/ha/year의 토양유실량이 증가한 것으로 분석되었다.

표 2 미래평균 강우량에 따른 공간해상도별 토양유실량 결과

시나리오		미래 평균 강우량 (mm)	1/5,000 Scale (5m) (ton/ha/year)	1/25,000 Scale (10m) (ton/ha/year)	1/50,000 Scale (30m) (ton/ha/year)
A1B	2020s	516.47	0.37	0.37	1.00
	2050s	567.25	0.41	0.41	1.10
	2080s	611.10	0.44	0.44	1.18
B1	2020s	545.13	0.39	0.39	1.06
	2050s	551.83	0.40	0.39	1.07
	2080s	558.11	0.40	0.40	1.08

4. 결론

본 연구에서는 기후변화가 공간해상도별(5, 10, 30m) 토양유실량에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 평균토양유실량을 분석하기 위하여 RUSLE 모형을 이용하였으며, 해상도별 RS 및 GIS 자료를 구축하였다. 기후변화시나리오는 MIROC3.2 hire의 A1B, B1 시나리오를 사용하였으며, 2020s년(2010-2039), 2050s년(2040-2069), 2080s년(2069-2099) 전후의 각 30년간의 미래 강우량을 산정하여 토양 유실량을 분석하였다. A1B 시나리오의 경우 2080s을 기준으로 1/5,000 scale에서는

약 0.18 ton/ha/year, 1/25,000 scale에서는 약 0.07 ton/ha/year, 1/50,000 scale에서는 약 0.07 ton/ha/year의 유실량이 각 공간해상도별로 증가하였으며, B1 시나리오의 경우 2080s을 기준으로 1/5,000 scale에서는 약 0.03 ton/ha/year, 1/25,000 scale에서는 약 0.01 ton/ha/year, 1/50,000 scale에서는 약 0.01 ton/ha/year의 토양유실량이 증가한 것으로 분석되었다. 위 결과에서도 나타나듯이 A1B 시나리오가 B1 시나리오보다 토양유실량이 크게 예측되었다. 이는 A1B 시나리오가 B1 시나리오에 의한 미래강우량이 크게 모의가 되었기 때문으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(07국토정보C03, 50%)과 교육과학기술부에서 시행한 우주개발사업의 세부과제인 “정밀 농업 정보추출 및 분석기술 개발 (M104DA010003-08D0100-00119, 50%)”에 의하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 박경훈(2003). GIS 및 RUSLE 기법을 활용한 금호강 유역의 토양침식위험도 평가, 한국지리정보학회지, 제6권 제4호, pp. 24-36.
2. 안소라, 이용준, 박근애, 김성준(2008) 미래토지이용 및 기후변화에 따른 하천유역의 유출특성 분석, 대한토목학회논문집, 28(2b), 215-224.
3. 이근상(2006). GIS 공간분석을 이용한 안동·임하호 유역의 토사유실 비교평가, 대한토목학회논문집, 제26권 제2D호, pp. 341-347.
4. IPCC(2001). Climate change 2001: The scientific basis, Cambridge University Press.
5. Toxopeus, A. G. 1996. An interactive spatial and temporal modeling system as a tool in ecosystem management. Ph.D. Thesis. ITC.
6. USDA(1997). Predicting soil erosion by water: A Guide to conservation planning with the RUSLE, Agriculture Handbook, # 703.
7. Wischmeier, W. H. and Smith, D. D.(1978). Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning, USDA, Agriculture Handbook, No. 537.