

Analysis of Temporal Change in Soil Erosion Potential at Haean-myeon Watershed Due to Climate Change

Wondae Lee, Chunhwa Jang¹, Donghyuk Kum¹, Younghun Jung¹, Hyunwoo Kang¹,
Jae E Yang³, Kyoung Jae Lim¹, and Youn Shik Park^{2*}

Gangwon Provincial Government, Chuncheon 200-700, Korea

¹Department of Regional Infrastructures Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

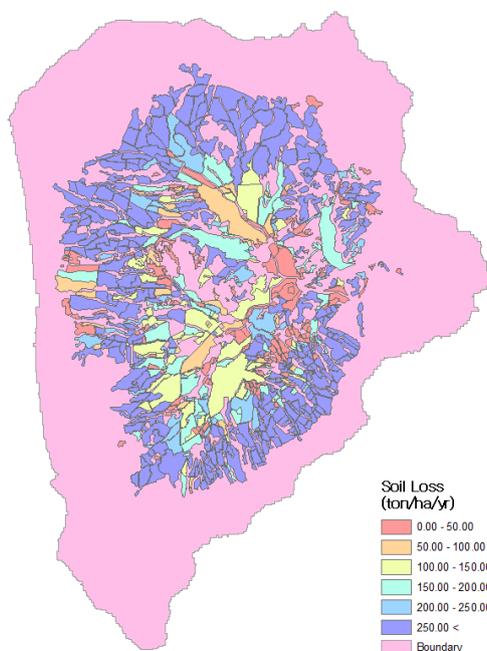
²Department of Agricultural and Biological Engineering, Purdue University, West Lafayette, U.S.

³Department of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

(Received: March 24 2014, Accepted: April 10 2014)

Climate change has been social and environmental issues, it typically indicates the trend changes of not only temperature but also rainfall. There is a need to consider climate changes in a long-term soil erosion estimation since soil loss in a watershed can be varied by the changes of rainfall intensity and frequency of torrential rainfall. The impacts of rainfall trend changes on soil loss, one of climate changes, were estimated using Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control (SATEEC) employing L module with current climate scenario and future climate scenario collected from the Korea Meteorological Administration. A 62 km² watershed was selected to explore the climate changes on soil loss. SATEEC provided an increasing trend of soil loss with the climate change scenarios, which were 182 ton/ha/year in 2010s, 169 ton/ha/year in 2020s, 192 ton/ha/year in 2030s, 182 ton/ha/year in 2040s, and 218 ton/ha/year in 2050s. Moreover, it was found that approximately 90% of agricultural area in the watershed displayed the soil loss of 50 ton/ha/year which is exceeding the allow able soil loss regulation by the Ministry of Environment.

Key words: Climate Change, SATEEC, Soil erosion, Potential



Areas with soil erosion potential exceeding 50ton/ha/yr at study watershed.

*Corresponding author : Phone: +82332416468, Fax: +822595560, E-mail: park397@purdue.edu

§Acknowledgement: This research was supported by the Geo-Advanced Innovative Action (GAIA) Project (No. RE201402074, Surface Soil Resources Inventory & Integration: SSORII Research Group) and GAIA project (No: 2012000540001) in Republic of Korea.

Introduction

최근 들어 기후변화에 따른 잦은 집중호우로 소양강 상류지점의 고랭지와 객토 농경지, 무분별하게 행해진 개간지 등에서 유출된 토사가 소양강으로 흘러들어 심각한 소양강 탁수 문제를 일으키고 있다. 이중 소양강 탁수의 주요 요인으로는 홍천 자운리, 인제 가아리, 그리고 양구군 해안면 고랭지 밭에서 유출되는 토사가 대표적이라 할 수 있다 (Choi et al., 2011; Lee et al., 2011). 이러한 소양강 탁수 문제를 해결하기 위해 강원도 등 관할 지자체나 공공기관 등에서는 다양한 방법으로 비점오염원 저감을 위해 노력하고 있으며, 특히 소양강 상류지역의 고랭지 농경지를 매수하여 산림복원 사업을 시행하거나 급경사 농지 감축방안 마련, 고랭지 밭 객토사업시행 억제, 토사유출방지시설 설치 등 다양한 탁수 저감 대책을 마련하여 시행하고 있다 (Lee, 2008). 유역 내에서의 토사유출은 사회적·경제적·환경적 영향뿐만 아니라, 자원으로서의 표토를 침식·유실시키는 문제점을 안고 있다. 표토는 유기물 및 미생물이 풍부해 오염정화, 물질순환 등이 이뤄지는 지표면을 이루는 표층토양으로 오염물질정화, 탄소저장, 대기냉각 등 환경적 순기능으로서의 가치가 있다. 특히, 한 연구결과에 따르면 평균적으로 30 cm의 표토가 생성되기 위해서는 1,000~10,000년이 걸린다고 하며 표토가 한번 유실되면 다시 재생되는 속도가 매우 느려 보다 적극적인 침식 예방 노력이 필요하다는 점을 강조하고 있다 (Hwang et al., 2011). 이처럼 우리나라의 자원으로서의 표토는 산악지형의 지역적인 특성 및 여름철 집중호우 등 기후적인 특성에 의해 침식, 유실될 위험도가 날로 증가함에도 불구하고 그동안 표토의 다양한 가치에 대한 인식과 체계적인 유지·관리가 이루어지지 않았다. 우리나라의 표토 침식 위험도는 OECD 28개국 중 8위로 조사되었으며, 앞으로 기후 변화에 따른 여름철 집중호우 등에 따라 위험도가 점점 증가할 것으로 예상된다 (OECD, 2013). 이에 따라 2012년 환경부에서는 표토에 대한 효율적 관리 체계를 구축하고 표토의 활용 가치를 극대화 하는 것을 목표로 하여 '표토보전 종합계획'을 발표하여 시행하고 있으며, 2012.07.18에 제정된 「표토의 침식 현황 조사에 관한 고시」에서는 토양유실 예측모형 (USLE)을 통해 표토 침식량을 산정하는 절차를 구체적으로 명시하고 있다 (Hwang et al., 2011). USLE 모형은 지난 40여 년 동안 전 세계적으로 토양유실 예측을 위하여 사용되어 왔으며, 필지/유역에서 발생하는 토양 침식형태 중 면상 침식과 세류 침식 모의에 사용되었다. 면상침식 (sheet erosion)은 빗물이 지표의 전면을 고르게 흘러내리면서 표토가 면상으로 얇게 깎이는 경우를 의미하며, 세류침식 (rill erosion)은 빗물이 흐르면서 한쪽 방향으로 몰려 작은 물줄기가 형성되어 좁은 면적 범위에서 깊이가 얇게 생기는 토양의 침식을 뜻한다. 이러한 USLE 모형은 Wischmeier

and Smith (1978)가 강우에 의한 토립자의 이탈 및 운송에 의한 개념과 수정식을 제안하면서 개발되었다. 또한 Renard et al. (1991, 1994, 1997)은 USLE 모형을 개선한 Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)모형을 개발하였다. 그동안 한국에서는 USLE를 이용하여 농경지에서의 토양 침식량을 모의한 많은 연구가 진행되어 왔다. 그러나 기후변화로 인한 강우강도와 강수량 증가로 인해 토양침식 발생 패턴의 변화가 심화되고 있어 이를 고려한 최적 토양유실 저감 대책에 관한 연구가 필요하나 현재 국내에서는 연구진행이 많이 이루어지지 않고 있다. 또한 최적 토양유실 저감 대책 수립을 위해서는 이를 뒷받침할 기초자료 구축이 필요하다고 판단된다.

따라서 본 연구의 목적은 강원도 양구군 해안면 유역에서의 기후변화를 고려한 토양유실 발생량을 산정하고 기후변화에 따른 표토 침식량의 변화를 분석하는데 있다. 이 연구의 결과는 향후 기후변화를 고려한 최적 토양유실 저감 대책수립의 기초자료로 활용될 수 있으리라 판단된다.

Materials and Methods

연구대상지역 본 연구에서는 기후변화를 고려한 토양유실 발생 패턴의 변화 특성을 분석하기 위하여 환경부에서 토양유실 우선관리 유역으로 지정하여 관리하고 있는 강원도 양구군 해안면을 연구유역으로 선정하였다 (Fig. 1). 이 양구 해안면 유역에서는 무분별한 개간으로 고랭지 작물 재배면적이 지속적으로 증가하고 있으며, 기후변화로 인한 여름철 잦은 집중호우로 농경지에서의 토양유실이 다량 발생하여 하류에 위치한 소양강으로 상당량의 탁수가 매년 유입되고 있다 (Lee, 2008). 해안면의 지리적 위치는 북위 38° 15'~38° 20', 동경 128° 15'~128° 10'에 해당된다. 유역면적은 61.78 km²이며, 산림이 전체 유역의 58.8%, 농경지가 37.2%, 시가지가 1.9%, 수역이 1.3%, 나지가 0.6%, 초지가 0.2%를 차지하고, 해발고도 600~1000 m인 지역이 44%를 차지하는 타원형 형태의 분지이다.

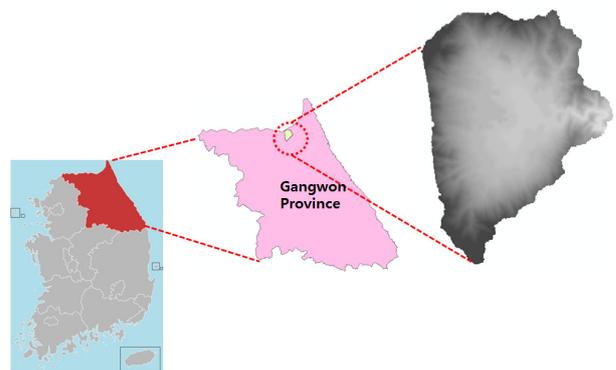


Fig. 1. Location of Haeam-myeon watershed, Yanggu, Gangwon province.

미래기후변화 시나리오 편의보정 춘천관측소에서 관측한 연평균 강수량은 1,374 mm이며, 1990년에 2,069 mm로 가장 높게 나타났고, 1994년에 931 mm로 가장 낮게 나타났다. 인제관측소에서 관측한 연평균 강수량은 1,220 mm이며, 2011년에 1,779 mm로 가장 높게 나타났고, 1988년에 667 mm로 가장 낮게 나타났다. 여러 가지 기후변화 시나리오 중 SRES A1B는 급속한 경제성장을 기반으로 인구 증가율이 낮고 국가 간 일인당 소득 격차는 줄어들고 기술개발이 빠르게 진행될 것이며 환경적 가치보다는 개개인의 이득을 추구할 것으로 가정한 시나리오이다. 기상청에서는 SRES 한반도 시나리오를 제공하고 있으며, 한반도를 27 km × 27 km 격자로 표현된 경위도 좌표 (RCM)를 제공하고 있다. RCM은 일단위로 강수량을 제공하고 있으며, 지역 기후 모의에는 한계가 있으므로 자료를 활용하기 위해서는 자료의 편차를 보정하는 과정이 필요하다. 식 (1)은 본 연구에서 강수를 보정하기 위해 사용한 편의보정 (Bias-correction)기법 중 CF (Change Factor)기법이다.

$$P'_{RCM,fut} = P_{RCM} \times (\bar{P}_{meas,his} / \bar{P}_{RCM,his}) \quad (1)$$

$P'_{RCM,fut}$ 은 보정된 미래 강수량이며, P_{RCM} 은 RCM의 모의된 미래 강수량, $\bar{P}_{meas,his}$ 는 과거 30년 동안의 관측 연평균 강수량, $\bar{P}_{RCM,his}$ 는 과거 30년 동안의 RCM 평균 강수량을 의미한다.

SATEEC 모형 개요 최근 30여 년간 토양 유실을 모의하기 위하여 국내외적으로 Universal Soil Sediment Equation (USLE) (Renard et al., 1997)가 널리 사용 되어 왔으며, 이러한 USLE의 입력자료 만을 이용하여 토양 유실을 모의할 수 있는 Sediment Assessment Tool for Effective Erosion (SATEEC) (Lim et al., 2003; Lim et al., 2005)과 같은 USLE를 기반으로 하고 있는 많은 모형이 현재 개발 및 보

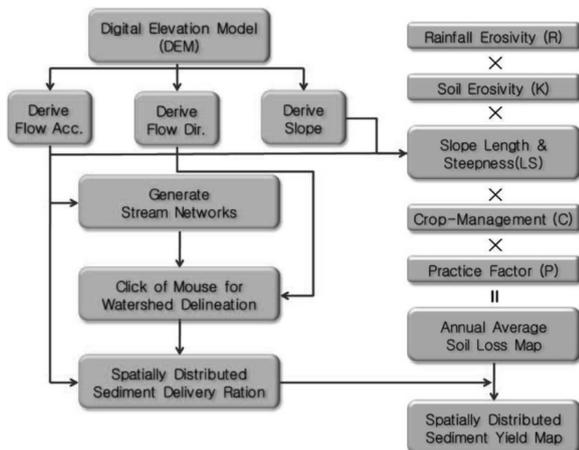


Fig. 2. Overview of the SATEEC GIS System.

완을 거치면서 많은 연구에 이용되고 있다.

SATEEC 시스템은 Fig. 2에서 보이는 바와 같이 USLE 모형의 입력자료 (Rainfall erosivity, Soil erosivity, Crop management, Practice factor)와 수치 표고모형 (Digital Elevation Model, DEM)을 통해 경사장-경사도인자 (Slope length and steepness) 만을 이용하여 대상 지역에서의 토양유실 및 유사량을 모의할 수 있다. 이 SATEEC 시스템은 ArcView 를 기반으로 하며, 무료로 다운로드 ([http://www. EnvSys.co.kr/~sateec](http://www.EnvSys.co.kr/~sateec)) 받을 수 있는 공개용 시스템이다. 최근 들어 ArcPy를 이용한 ArcMap 10.x 기반 SATEEC GIS 시스템이 개발 중에 있다.

SATEEC 모형 입력자료 본 연구에서는 미래기후변화에 따른 강우인자를 산정하기 위하여 기상청에서 제공하는 SRES A1B 시나리오의 27 km × 27 km 격자를 사용하였으며, 격자별 번호를 부여하여 양구군 해안면 인근에 위치하고 있는 시나리오 격자 4개를 선정하고 강우인자 산정을 위한 강우 자료를 구축하였다 (Fig. 3). 강우자료 구축 후 식 (2)에 대입하여 강우인자를 산정하였다 (Jung et al., 1983).

$$R = 0.0115 Y^{1.4947} \quad (2)$$

이 식에서 R은 강우인자를 나타내며, Y는 연 강수량 (mm)을 나타낸다. 미래기후변화를 고려한 강우인자의 경우 2008년 ~ 2012년 까지를 2010연대, 2018년 ~ 2022년 까지를 2020연대, 2028년 ~ 2032년 까지를 2030연대, 2038년 ~ 2042년 까지를 2040연대, 2048년 ~ 2052년 까지를 2050연대라 정하고 각 연대에 해당하는 강우인자를 산정하였다. Fig. 4는 미래기후변화를 고려한 강우인자이다. 해안면 구역의 미래 기후변화를 고려한 강우인자는 2010연대의 경우 5082.05 MJ·mm/ha·yr·hr, 2020연대의 경우 4705.01 MJ·mm/ha·yr·hr, 2030연대의 경우 5371.03 MJ·mm/ha·yr·hr, 2040연대의 경우 5092.60 MJ·mm/ha·yr·hr, 2050연대의 경우 6070.54 MJ·mm/ha·yr·hr으로 평가되었으며, 가장 낮은 시기는 2020s 인 것으로 평가되었다.

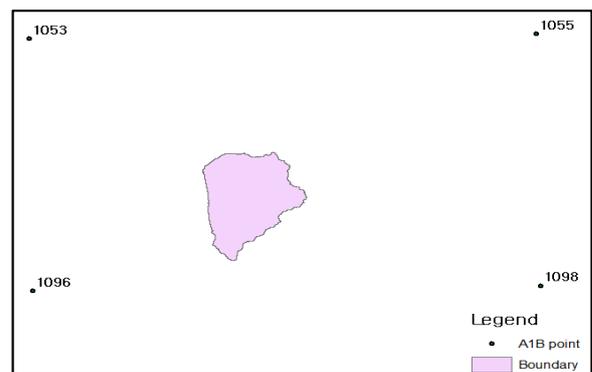


Fig. 3. Precipitation stations in future climate change database near study watershed.

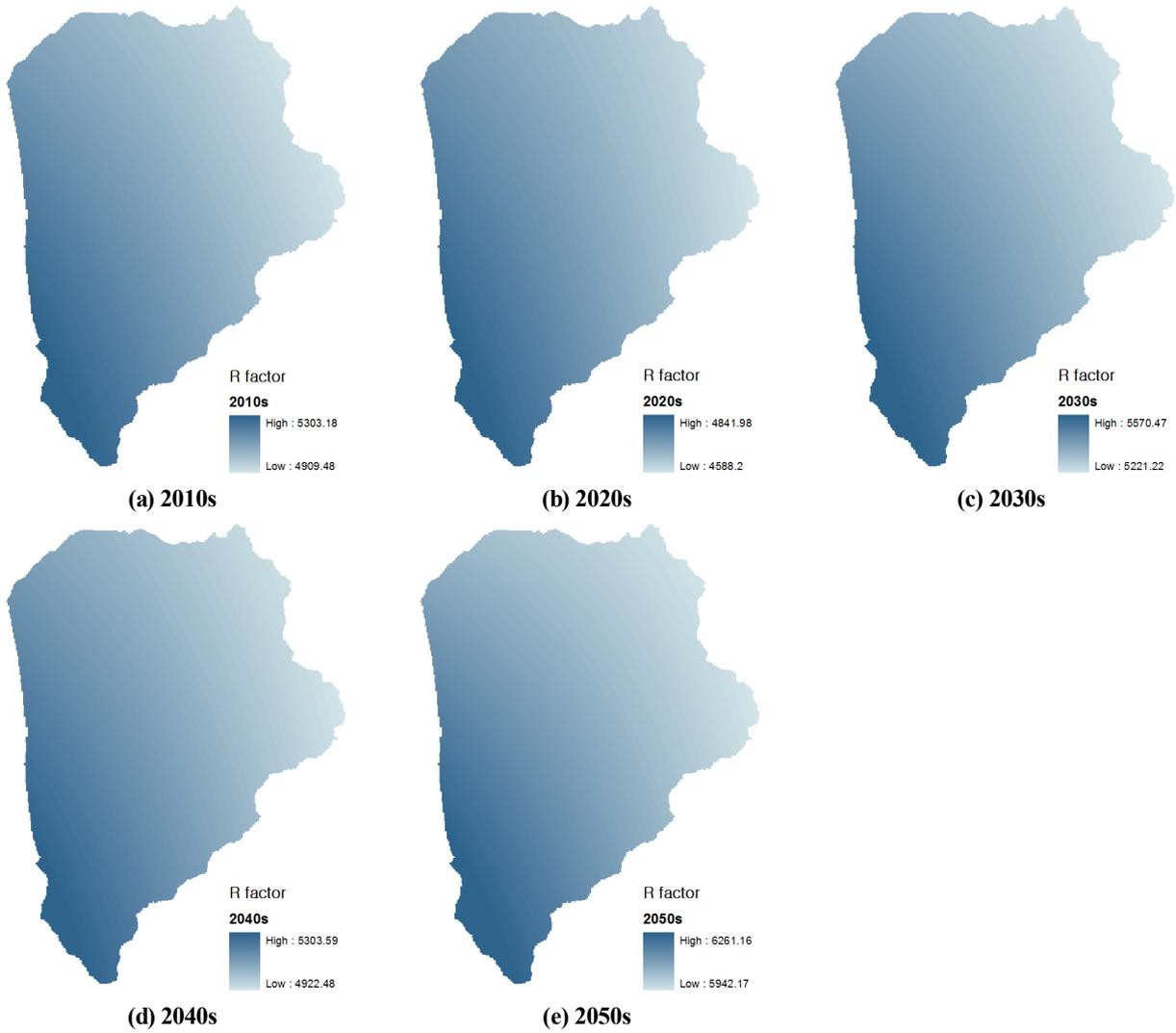


Fig. 4. USLE R factor.



Fig. 5. USLE K factor at study watershed.

토양인자 (USLE K factor)는 토양의 침식성에 따라 달라지는 토양 침식량의 변화를 나타내는 인자로서 입도분포, 토양의 구조 및 유기물 함량 등에 관계된다 (Fig. 5). 본 연구에서는 Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE; Williams, 1975) 공식에서 USLE K 인자 값을 구하여 적용하였다 (식 (3)).

$$K = (0.2 + 0.3 \exp(-0.0256 SAN(1 - (\frac{SIL}{100}))) \times (1.0 - (\frac{0.25 CLA}{CLA + \exp(3.72 - 2.95 C)})) \times (1.0 - (0.7 \frac{SM}{SM + \exp(-5.51 + 22.9 SM)})) \quad (3)$$

$SAN = \text{Sand content (\%)}$

$SIL = \text{Silt content (\%)}$

$CLA = \text{Clay content (\%)}$

$$SM = 1 - \frac{SAN}{100}$$

Table 2. USLE P factors for different land uses and slopes.

Land use	P factor	
Paddy land	0.2	
Upland	slope (%)	P factor
	0~2	0.60
	2~7	0.50
	7~12	0.60
	12~18	0.80
	18~24	0.90
	24~30	0.95
	> 30	1.00

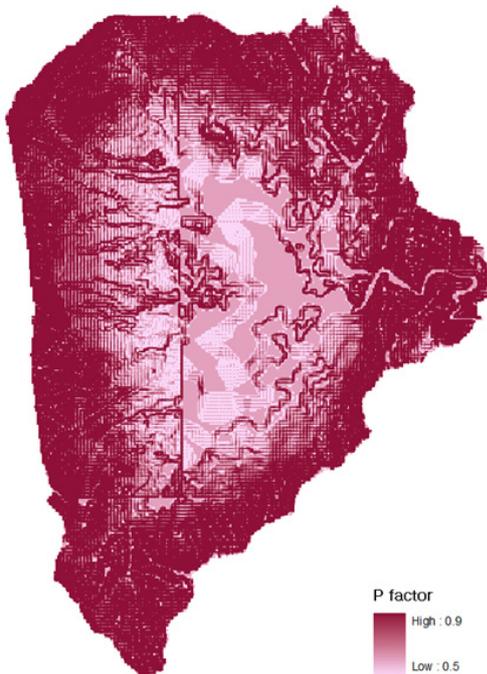


Fig. 9. USLE P factor at study watershed.

Fig. 6와 같이 DEM을 기준으로 산정된 USLE L 단일 경사장과 도로를 이용하여 흐름의 단절을 고려한 USLE L 경사장을 비교해 보면, 단일 경사장으로 산정할 경우 도로가 있음에도 불구하고 DEM 지형자료를 이용하여 L값을 추출하기 때문에 실제 USLE L 인자값보다 크게 산정되는 단점이 있다 (Woo et al., 2011). 이러한 문제를 해결하기 위하여 최대 허용 경사장을 SATEEC 시스템에서는 입력하게 되어 있는데, 이러한 최대 허용 경사장 값은 경험적인 값으로 실제 도로와 같이 경사장을 단절시킬 수 있는 부분의 공간적 특성을 고려할 수 없다. 따라서 SATEEC L 모듈을 이용하게 되며 도로가 있을 경우 DEM을 이용하여 경사장을 산정하는데 있어서 흐름의 단절을 고려하여 L 인자값을 산정할 수 있기 때문에 보다 현실과 가까운 경사장 값을 산정할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 해안면 지역의 도로 GIS 데이터를 구축하였으며, 이를 이용하여 경사장의 단절을 고려한 LS factor를 사용하였다.

Fig. 7은 해안면 지역의 USLE LS 인자 값을 나타낸 그림이다.

작물인자 (USLE C factor)는 지표를 덮고 있는 식생의 성질을 나타내는 인자로 본 연구에서는 Jung et al. (1984)이 제안한 토지 이용별 C값을 이용하여 해안면 유역내 작물에 적용하였다 (Table 1) (Fig. 8).

보전인자 (USLE P factor)는 경작방법과 보전영농시설 등에 의한 토양침식량의 감소를 나타내는 인자이다. 본 연구에서는 Park (1999)가 제안한 토지이용과 경사도에 따른 경작방법인자를 사용하였다 (Table 2) (Fig. 9).

토양유실 포텐셜 변화 분석 본 연구에서는 2010년대, 2020년대, 2030년대, 2040년대, 2050년대의 토양유실량 산정결과를 사용하여 가장 토양유실이 많이 발생할 것으로 판단되는 년대를 선택하여, 양구 해안면의 실제 경작지에 해당하는 지역의 토양유실량을 산정하여 토양유실 포텐셜을 분석하였다. 본 연구에서는 실제 경작지에서 발생하는 토양유실 포텐셜 변화를 예측하기 위하여 Bayreuth University (2009)에서 2009년 조사한 해안면 유역의 실측 작물지도를 사용하였다. 환경부에서 고시한 「표토의 침식 현황 조사 및 대책 등에 관한 고시」 제5조에 의하면 ‘표토의 침식량 조사는 예비조사와 현장조사로 구분하여 실시하되, 조사 대상지역에 대해 우선 예비조사를 실시하고 예비조사 결과 연간 표토침식량이 50 ton/ha/yr를 초과하는 경우에는 현장조사를 실시한다’라고 규정되어 있다. 본 연구에서는 이러한 기준을 근거로 하여 토양유실이 50 ton/ha/yr 이상인 경작지에서의 토양유실 포텐셜 변화를 예측하였다.

Results and Discussion

미래기후변화 편의보정 결과 본 연구에서는 양구군 해안면 유역에서의 SRES A1B 시나리오와 기상청 관측자료를 이용하여 CF기법을 활용한 편의보정을 수행하였으며, 과거 관측 자료를 구축한 기간인 1983년부터 2012년으로 총 30년간의 자료를 이용하였다. 편의보정은 양구군 해안면 주변의 4개 격자를 대상으로 하였으며, 편의보정 결과는 Fig. 10과 같다. 격자번호 1053은 편의보정 전 24782.2 mm에서 편의보정 후 37104.4 mm로 기후변화 시나리오의 강우 예측량이 1.5배 높아졌으며, 격자번호 1055는 편의보정 전 28732 mm에서 편의보정 후 36772.4 mm로 약 1.3배 높아졌다. 그리고 격자번호 1098은 편의보정 전 27482.1 mm에서 편의보정 후 36910.1 mm로 약 1.3배 높아졌으며, 격자번호 1096은 편의보정 전 24707.4 mm에서 편의보정 후 41972.8 mm로 약 1.7배 높아졌다. 이 처럼 편의보정을 통해 편의보정 전의 기후변화 시나리오의 강우 예측량이 과소 추정되어 있던 것을 알 수 있었으며, 편의보정을 통해 실제 관측량과의 편의를 최소화 하였다.

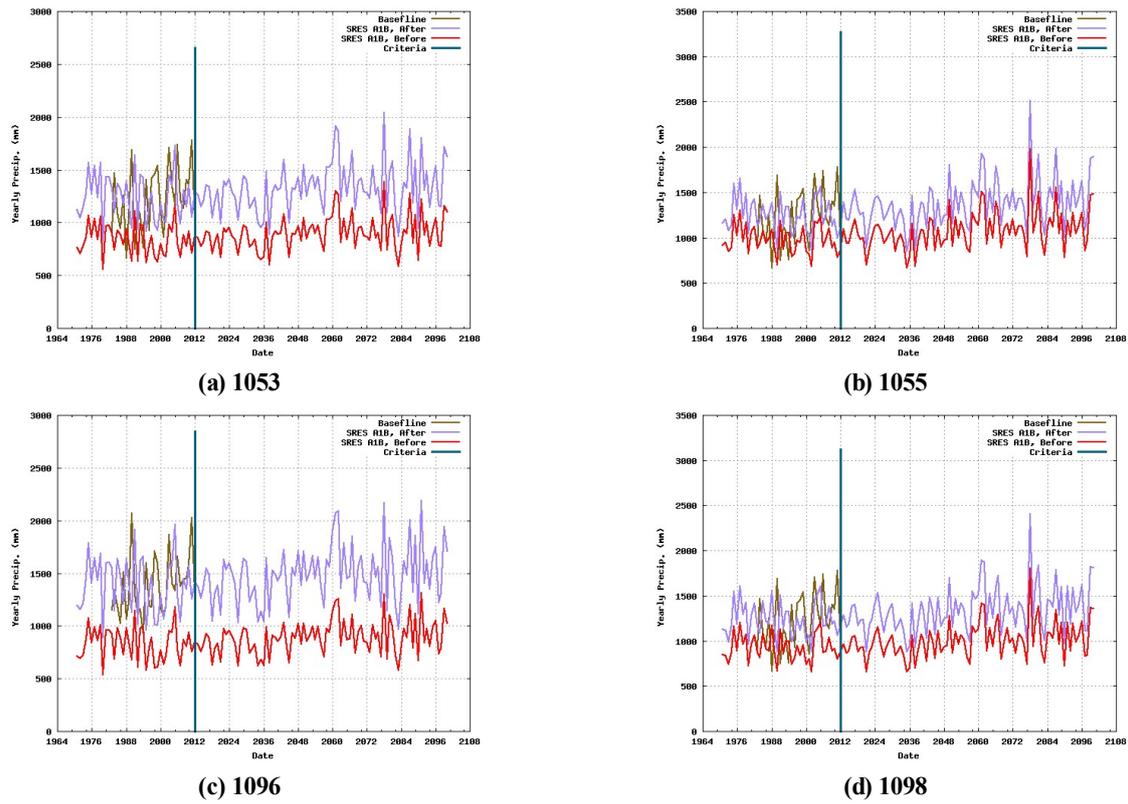


Fig. 10. Result of bias correction using A1B scenario.

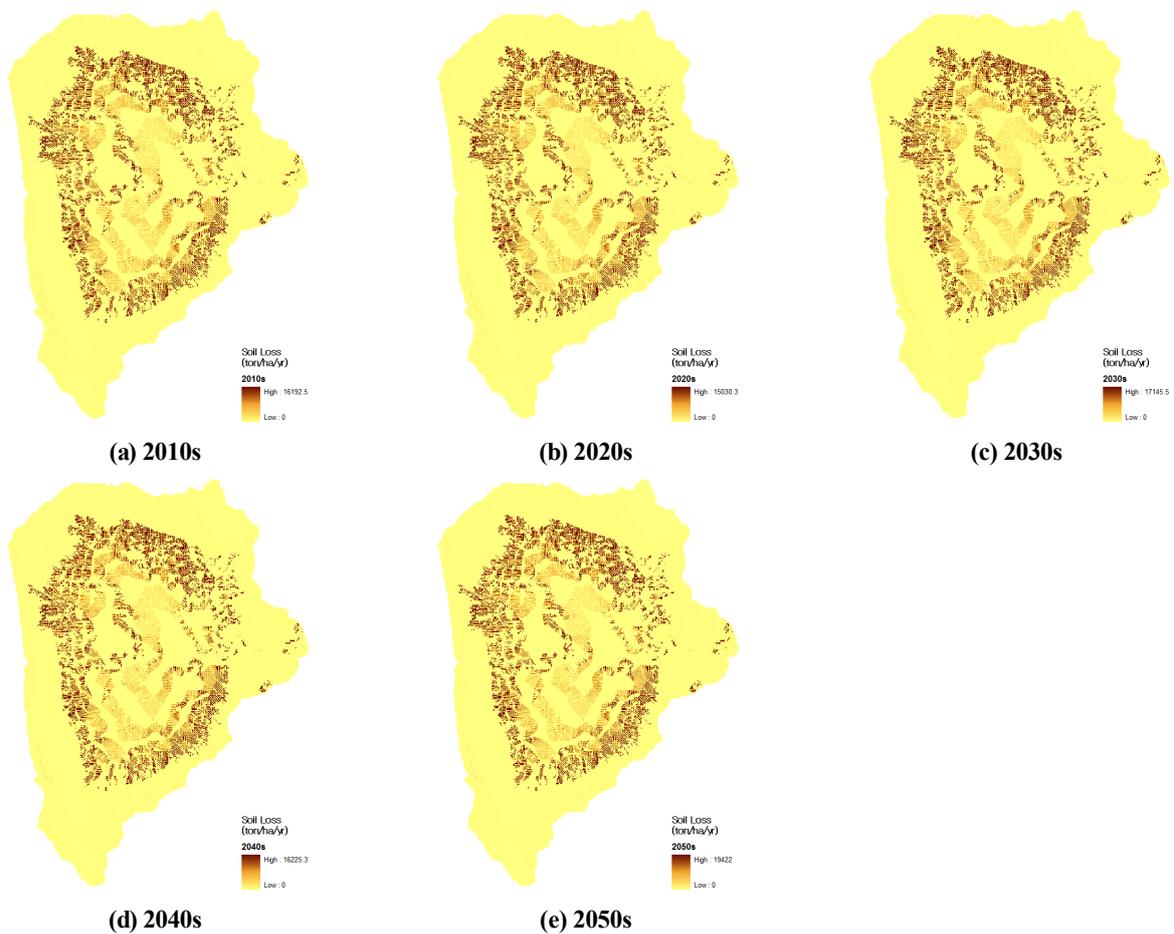


Fig. 11. Estimated soil erosion result at study watershed.

토양유실량 산정 결과 해안면의 경우 편치불 형태의 지형적 특성을 가지고 있으며, 이 지형적 특성은 Fig. 7의 LS factor에 반영되어 잘 나타나 있다. 이 특성의 영향으로 양구 해안면에서 다량 토양유실량이 발생할 것으로 예측되는 지역은 주로 급경사지일 것으로 분석되었다 (Fig. 11). 양구 해안면 구역의 2010년대, 2020년대, 2030년대, 2040년대, 2050년대의 토양유실량을 산정한 결과 2010년대 평균 토양유실량은 182.05 ton/ha/yr이며, 2020년대 평균 토양유실량은 168.70 ton/ha/yr, 2030년대 평균 토양유실량은 192.47 ton/ha/yr, 2040년대 평균 토양유실량은 182.46 ton/ha/yr, 2050년대 평균 토양유실량은 217.59 ton/ha/yr로 산정되었다 (Fig. 12). 연대별 평균 토양유실량을 그래프를 사용해 도식화해 본 결과 2050년대에 가장 많은 토양유실량이 발생할 것으로 평가되었다.

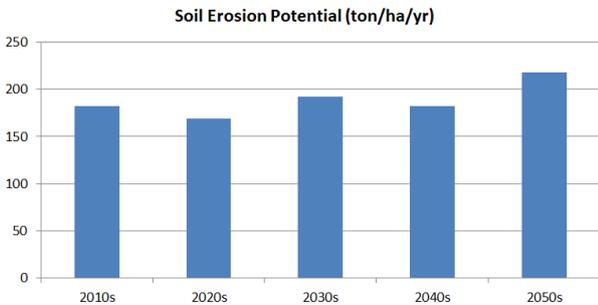


Fig. 12. Yearly soil erosion potential at study watershed (ton/ha/yr).

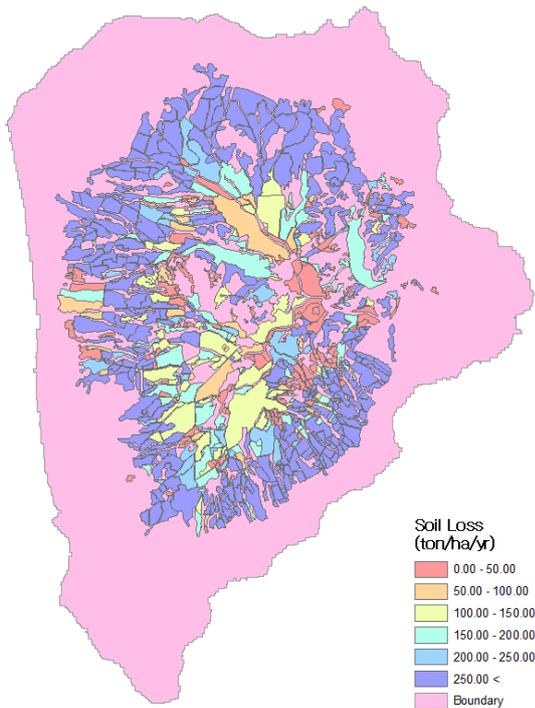


Fig. 13. Areas with soil erosion exceeding 50ton/ha/yr at study watershed.

토양유실 포텐셜 변화 분석 결과 본 연구에서는 현재 (2010년대)와 기후변화를 고려한 평균 토양유실량 (2020년대, 2030년대, 2040년대, 2050년대)을 산정한 후, 가장 토양유실이 많이 발생할 것으로 분석된 2050년대의 토양유실량 분석 결과를 사용하여 양구 해안면 실제 경작지에서 발생할 것으로 예측되는 토양유실 포텐셜 변화를 분석하였다. 토양유실 포텐셜 변화 분석 기준을 50 ton/ha/yr로 설정한 근거는 환경부의 「표토의 침식 현황 조사 및 대책 등에 관한 고시」에 ‘연간 표토침식량이 50 ton/ha/yr를 초과하는 경우에는 현장조사를 실시하여야 한다’에 있다. 양구 해안면의 실제 경작지에 대한 토양유실 포텐셜 변화를 분석해 본 결과 해안면 전체 경작지 면적 21.66 km² 중 50 ton/ha/yr 이상인 면적이 19.54 km²으로 90.21% 이상이 환경부의 「표토의 침식 현황 조사 및 대책 등에 관한 고시」에 따른 현장조사 대상 지역으로 산정되었다 (Fig. 13). 따라서 대부분의 경작지가 환경부 관리기준인 50 ton/ha/yr 이상으로 분석되어 이러한 지역에 대한 field-specific 토양유실 최적관리 기법이 적용되어야 할 것으로 판단된다. 특히 250 ton/ha/yr 이상의 토양유실이 발생할 것으로 예측되는 필지의 경우 평균 경사가 16.02%이며, 최대 경사도는 20.58%로 파악되어 이러한 급경사지에 대해서는 물리적 기반의 토양유실 저감 대책 등이 적용되어야 할 것으로 판단된다.

Conclusion

본 연구에서는 강원도 양구군 해안면 구역에서의 토양유실량을 예측하기 위하여 현재와 미래 기후변화 시나리오를 고려하여 표토침식량을 산정하였다. 이를 위해서 기존의 USLE 방법의 단점을 개선한 USLE L 모듈을 이용하여 표토침식량을 산정하였고, 미래기후를 고려하여 토양유실량을 산정하였다.

각 연대별 토양유실량 산정결과는 2010년대의 경우 182.05 ton/ha/yr, 2020년대에는 168.70 ton/ha/yr이고, 2030년대에는 192.47 ton/ha/yr, 2040년대에는 182.46 ton/ha/yr이고, 2050년대에는 217.59 ton/ha/yr으로 산정되었다. 이중 환경부 현장조사 기준인 50 ton/ha/yr 이상인 지역은 해안면 전체 경작지 면적 21.66 km² 중 19.54 km²으로 90.21% 이상이 현장 조사 대상 지역으로 산정되었다. 이처럼 해안면 구역 내 경작지에 대하여 보다 효율적인 토양유실 저감 대책이 요구된다.

본 연구의 결과에서 보이는 바와 같이 기후변화에 따라 토양유실 발생량이 50 ton/ha/yr 이상이 되는 지역에 대해서는 필지 및 영농 특성을 고려한 최적관리 기법이 개발되어 적용되어야 할 것이라 판단되며, 경사가 급한 경작지의 경사도를 완만하게 조정하는 작업 등을 통해 토양유실량을 줄여야 할 것으로 판단된다.

References

- Choi, I.H., Y.S. Kim, G.C. Lee, and J.W. Choi. 2011. NOM Characteristics and Turbidity In-flow in Lake Soyang. Korean. Water Analysis and Research Center of K-water Institute. 11(2):177-185.
- Bayreuth University, Department of plant ecology. 2009. Department Report. Land Use Data at Haean, Mandae Watershed in Korea.
- Hwang, S.L., Y.S. Shin, I.J. Kim, Y.S. Kim, H.J. Kim, Y.J. Kim, Y.S. Jung, J.E. Yang, Y.S. Ok, K.J. Lim, and S.C. Kim. 2011. Preservation of Soil Resources in Response to Climate Change. National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea.
- Jung, P.K., M.H. Ko, J.N. Im, K.T. Um, and D.U. Choi. 1983. Rainfall Erosion Factor for Estimation Soil Loss. Korean. J. Korean. Soc. Soil Sci. Fert. 16(2):112-118.
- Jung, P.K., M.H. Ko, and K.T. Um. 1984. Discussion of Cropping Management Factor for Estimating Soil Loss. Korean. J. Korean. Soc. Soil Sci. Fert. 18(1):7-13.
- Lee, J.Y. 2008. A Hydrological Analysis of Current Status of Turbid Water in Soyang River and Its Mitigation. Korean. The J. Soc. Soil and Groundwater Envi. 13(6):85-92.
- Lee, J.W., J.S. Eom, B.C. Kim, W.S. Jang, J.C. Ryu, H.W. Kang, K.S. Kim, and K.J. Lim. 2011. Water Quality Prediction at Mandae Watershed using SWAT and Water Quality Improvement with Vegetated Filter Strip. Korean. J. Soc. Agri. Engi. 53(1):37-45.
- Lim, K.J., J.D. Choi, K.S. Kim, M. Sagong, and B.A. Engel. 2003. Development of sediment assessment tool for effective erosion control (SATEEC) in small scale watershed. Korean. J. Soc. Agri. Engi. 45(5):85-96.
- Lim, K.J., M. Sagong, B.A. Engel, T. Zhenxu, J.D. Choi, and K.S. Kim. 2005. GIS-based sediment assessment tool. Catena, 64:61-80.
- OECD. 2013. OECD Compendium of Agri-environmental Indicator. doi: 10.1787/9789264186217-en.
- Park, C.S. 1999. Monitoring of non-point pollutants from the different land use in the Yulmunchon tributary watershed, the So-yang river basin. Master's degree: Kangwon National University, Chuncheon, Korea.
- Renard K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool, and D.C. Yoder. 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Dept. of Agriculture, Agric. Handbook No. 703.
- Williams, J.R. 1975. Sediment Routing for Agricultural Watersheds. Water Resour. Bull, 11(5): 965-974.
- Woo, W.H., W.S. Jang, I.J. Kim, K.S. Kim, Y.S. Ok, N.W. Kim, J.H. Jeon, and K.J. Lim. 2011. Evaluation of Effects of Soil Erosion Estimation Accuracy on Sediment Yield with SATEEC L Module. Korean. J. Soc. Agri. Engi. 53(2):19-26.