

우리나라 강우량 변화 시나리오에 따른 밭토양의 토양 유실량 변화 예측

김민경 · 허승오¹ · 권순익* · 정구복 · 손연규 · 하상건 · 이덕배

국립농업과학원 농업환경부, ¹농촌진흥청 연구정책과

Prediction of Soil Erosion from Agricultural Uplands under Precipitation Change Scenarios

Min-Kyeong Kim, Seong-Oh Hur¹, Soon-Ik Kwon*, Goo-Bok Jung, Yeon-Kyu Sonn, Sang-Keun Ha, and Deog-Bae Lee

Department of Agricultural Environment, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea

¹Research Planning Division, Rural Development Administration, Suwon 441-707, Korea

Major impacts of climate change expect that soil erosion rate may increase during the 21st century. This study was conducted to assess the potential impacts of climate change on soil erosion by water in Korea. The soil loss was estimated for regions with the potential risk of soil erosion on a national scale. For computation, Universal Soil Loss Equation (USLE) with rainfall and runoff erosivity factors (R), cover management factors (C), support practice factors (P) and revised USLE with soil erodibility factors (K) and topographic factors (LS) were used. RUSLE, the revised version of USLE, was modified for Korean conditions and re-evaluate to estimate the national-scale of soil loss based on the digital soil maps for Korea. The change of precipitation for 2010 to 2090s were predicted under A1B scenarios made by National Institute of Meteorological Research in Korea. Future soil loss was predicted based on a change of R factor. As results, the predicted precipitations were increased by 6.7% for 2010 to 2030s, 9.5% for 2040 to 2060s and 190% for 2070 to 2090s, respectively. The total soil loss from uplands in 2005 was estimated approximately 28×10^6 ton. Total soil losses were estimated as 31×10^6 ton in 2010 to 2030s, 31×10^6 ton in 2040 to 2060s and 33×10^6 ton in 2070 to 2090s, respectively. As precipitation increased by 17% in the end of 21st century, the total soil loss was increased by 12.9%. Overall, these results emphasize the significance of precipitation. However, it should be noted that when precipitation becomes insignificant, the results may turn out to be complex due to the large interaction among plant biomass, runoff and erosion. This may cause increase or decrease the overall erosion.

Key words: Climate change, Soil loss, Universal Soil Loss Equation (USLE), Upland

서 언

최근 이상기상과 환경오염이 심해지면서 수질과 수생태 보호에 대한 필요성이 강조되고 있고 극심한 기후변화는 국가 물안보 측면에서 관리전략을 수립하여 사전에 예방적으로 대응하여야 할 필요성이 강조되고 있다.

기후변화의 원인은 인간의 인위적인 활동에 의해서 발생한 CO₂의 증가에 있으며 기후변화에 의한 기온 상승은 결국 수온 상승과 동시에 수체의 증발량, 유량 및 강우 유출을 변화를 유발하여 수질변화에 직·간접적인 영향을 미치게 된다 (Murdoch et al., 2000).

기후변화에 대한 취약성이란 지질 물리학적, 생태학적, 사회경제적 시스템들이 기후변화의 악영향에 노출되기 쉬워 대처할 수 없는 정도로 정의된다 (Fussler and Klein, 2006). 수자원 측면의 취약성을 평가한 연구에는 방법론적 평가모형을 이용하는 방법과 지표를 이용하는 방법이 있다 (한화진 등, 2007).

우리나라 밭토양은 작은 필지규모, 불규칙한 경사지 형태의 분포, 토양구조의 발달이 미약한 동시에 토양의 유기물 함량이 적고 모래함량이 많은 특징이 있다. 이러한 특징 때문에 강우에 의한 토양침식에 취약하고 연 강우량의 대부분이 집중되는 6~8월에 많은 양의 표토가 유실된다.

향후 미래에는 강우량 증가뿐만 아니라 집중 호우에 의한 강우강도 증가 등의 강우특성 변화에 따라 유출량 및 토양유실이 상당히 증가할 것으로 예상된다. 따라서 대규모 토사발생에 대한 토양관리 및 적절한 대책이 수

접수 : 2010. 10. 12 수리 : 2010. 11. 10

*연락처 : Phone: +82312900227

E-mail: sikwon@rda.go.kr

립되어야 하나 현재까지 이 부분에 대한 기초자료 및 정책을 뒷받침할 연구가 전무한 실정이다.

이에 본 연구는 기후변화에 따른 농업환경의 취약성 평가 측면에서 우리나라의 기후변화 시나리오인 A1B 시나리오 중 미래 강수량 변화에 따른 우리나라 발토양의 유실량을 예측하여 기후변화 대응 농업환경 정책수립의 기초자료를 얻고자 수행하였다.

재료 및 방법

조사대상 우리나라 미래 강수량 변화에 따른 토양 환경의 취약성을 평가하기 위해 1:25,000 수치정밀토양도를 근거로 전국 시군별 발토양을 5,586개 그룹으로 구분하고, 각 그룹에 해당하는 (R) USLE인자를 대입하여 연평균 토양 유실량을 산정하였다.

토양 유실량 산정 토양 유실량은 전 세계적으로 광범위하게 사용되고 있는 (R) USLE (Revised Universal Soil Loss Equation) 모형으로 선정하였다. 이 모형은 강우에 의해 발생하는 연평균 토양 유실량을 산정하는 통합형 모형으로 개별 강우에 의한 토양 유실량을 산출하기는 어려우나 장기적인 토양유실 위험성을 평가하기 위해서는 매우 유효하다.

USLE (Universal Soil Loss Equation)는 토양유실에 가장 크게 영향을 미치는 5가지 인자 즉, 강우인자 (Rainfall and Runoff, R), 토양 침식성 인자 (Soil erodibility, K), 경사인자 (Slope length and steepness, LS), 식생피복인자 (Cover management, C), 보전관리인자 (Support practice, P)의 곱으로 연평균 토양유실량 (A , $MT ha^{-1} yr^{-1}$)을 산정하였다 (Wischmeier et al., 1978).

USLE는 1965년 Wischmeier와 Smith가 USDA ARS handbook 282를 발간하면서 제안되었고, 1978년 hand-

book 537에서 보완되었다. 이 후 1997년 handbook 703에서 그 간의 연구 성과를 종합하여 대폭 개정한 것이 RUSLE (Revised Soil Loss Equation)이다.

강우인자를 제외한 다른 인자는 Jung et al. (2004)의 연구결과를 이용하였고, 강우인자는 연간 강수량을 이용하는 Toxopeus (1996)가 제안하는 다음의 식을 이용하였다.

$$R = 3.85 + 0.35 \times P \quad (1)$$

여기서 R은 강우인자이며, P는 연 평균 강수량 ($mm yr^{-1}$)이다.

강수량 변화 시나리오에 따른 토양 유실량 예측 미래 강수량 변화 시나리오는 기상청 국립기상연구소의 A1B 시나리오 중 2010~2030년대, 2040~2060년대, 2070~2090년대의 강수량 변화 예측을 시나리오로 이용하였다. 토양 유실량은 2003년 토양 유실량을 대조구로 하여 미래의 변화된 강수량을 강우인자로 하여 2010~2030년대, 2040~2060년대, 2070~2090년대의 토양 유실량을 예측하였다.

결과 및 고찰

우리나라 발토양의 단위면적당 유실량은 2003년 $41.0 MT ha^{-1} yr^{-1}$ 으로 다른 토지 이용형태에 비해 토양침식 취약성이 현격히 높았으며, 이는 OECD 농업환경지표 중 토양의 질지표에서 토양 유실량에 따라 5단계로 침식등급을 나누는데 심함 (severe) 등급에 해당되었다 (농촌진흥청, 2005).

발토양의 단위면적당 연간 토양 유실량은 전남과 경남이 각각 $54.6, 47.0 MT ha^{-1}$ 로 가장 높았는데 (Table 1),

Table 1. The average soil loss in tons per unit area of agricultural uplands at each province in Korea estimated with precipitation climate change scenarios.

Province	2003	2010-2030s	2040-2060s	2070-2090s
	----- MT ha ⁻¹ -----			
Gyeonggi	27.6	29.4	27.0	30.6
Gangwon	35.1	37.5	31.9	41.8
Chungbuk	38.1	40.6	41.7	45.3
Chungnam	33.7	36.1	37.0	40.2
Jeonbuk	38.1	40.8	41.9	45.5
Jeonnam	54.6	58.8	60.3	65.7
Gyeongbuk	34.3	36.6	37.6	40.8
Gyeongnam	47.0	50.0	51.3	55.7
Jeju	34.1	35.4	36.3	39.4
Total	38.1	40.6	40.6	41.7

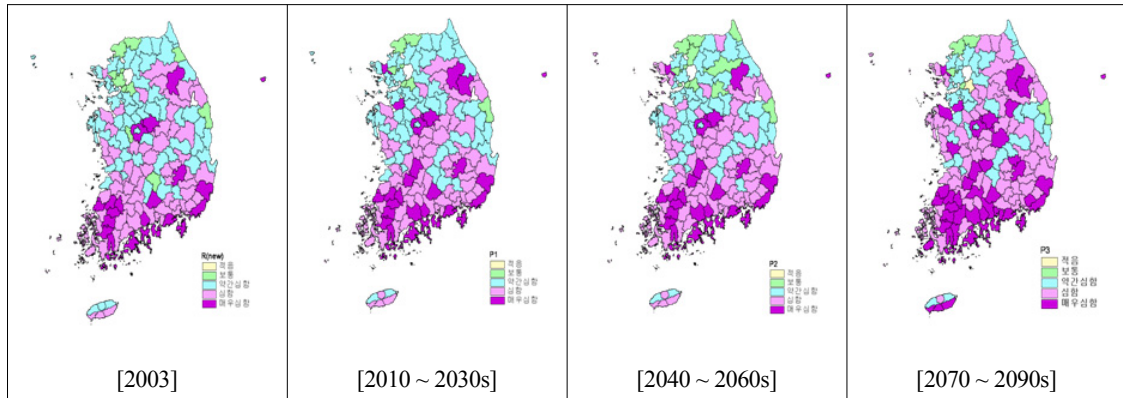


Fig. 1. The total soil loss from agricultural uplands in Korea estimated with precipitation climate change scenarios.

이는 전남과 경남의 강우인자가 크고 특히 경남은 밭의 경사도가 크기 때문이라고 하였다 (농촌진흥청, 2005).

기상청 국립기상연구소의 A1B 시나리오의 강우량 변화를 분석한 결과, 2000년 대비 2010~2030년대와 2040~2060년대는 각각 6.6%, 2070~2090년대는 19.0% 증가하였다. 이를 근거로 우리나라 밭토양의 단위면적당 토양 유실량을 예측한 결과, 2003년 대비 2010~2030년대는 6.6%, 2040~2060년대는 6.6%, 2070~2090년대는 9.5% 증가하였다 (Table 1). 지역별로 보면 미래에도 단위면적당 밭토양 유실량은 전남과 경남이 높은 것으로 예측되었는데, 토양 유실량은 토양 및 작물, 영농관리 등 다른 인자들에 비해 강우인자의 영향이 큰 것으로 생각된다.

미래 우리나라 밭토양의 총 유실량은 2003년 (28,305 천톤) 대비 2010~2030년대는 10.4%, 2040~2060년대는 10.1%, 2070~2090년대는 18.1% 증가하였다 (Fig. 1). 미래 (2010~2090년대) 지역별 밭토양의 연간 총 유실량은 전남 (6,867 천톤) > 경남 (3,970 천톤) > 강원 (3,515 천톤) 순으로 나타났다.

본 연구에서는 우리나라 강우량 변화 시나리오에 따른 토양 유실을 예측하기 위해서 미래의 작물 및 토지이용의 변화, 지구단위별 지형 변경 등은 분석에 적용되지 못하였다. 또한, 태풍빈도, 토지피복의 변화 등의 영향은 충분히 반영되지 않아 향후 기후변화에 따른 토양 유실 방지를 위해서는 보다 면밀한 대책이 필요할 것으로 생각된다.

따라서, 앞으로 이러한 한계점은 본 연구결과를 기초로 불확실성을 좁혀 나가고 더욱 개선된 연구 자료와 연구방법론 등으로 재조명될 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 기후변화에 따른 비점오염원 관리정책과 연계하여 기후변화 영향평가와 농업환경 예측 및 관리 방안에 관한 연구들이 필요할 것으로 생각된다.

요 약

우리나라의 A1B 기후변화 시나리오에 따르면 21세기 말에는 강우량이 17% 증가하는 것으로 예상되고 있으며, 이에 따라 우리나라 밭토양의 단위면적당 토양 유실량은 2003년 대비 7.6% 증가하고, 총 토양 유실량은 2003년 대비 12.9% 증가하는 것으로 예측되었다.

그러나, 본 연구에서는 우리나라 강우량 변화 시나리오에 따른 토양 침식을 예측에 있어 미래의 작물, 토지이용의 변화 및 지구단위별 지형 변경 등의 인자는 분석에 적용되지 못하였다. 또한, 태풍빈도, 토지피복의 변화 등의 영향은 충분히 반영되지 않아 향후 기후변화에 따른 토양 유실 방지를 위해서는 보다 면밀한 대책이 필요할 것으로 생각된다.

따라서, 앞으로 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 본 연구결과를 토대로 하여 적용 인자들을 확대하고, 향후 개선된 연구자료와 방법론으로 보완해야 할 것이다. 또한, 기후변화에 따른 비점오염원 관리정책과 연계하여 농업환경 영향평가, 예측 및 관리방안에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

인 용 문 헌

- Fussel, H.M. and R.J.T. Klein. 2006. Climate change vulnerability assessments - an evolution of conceptual thinking. *Climate Change*. 75:301-329.
- Jung, K.H., W.T. Kim, S.O. Hur, S.K. Ha, P.K. Jung, and Y.S. Jung. 2004. USLE/RUSLE factors for national scale soil loss estimation based on the digital detailed soil map. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37:199-206.
- Murdoch, P.J., J.S. Baron, and T.L. Miller. 2000. Potential effects of climate change on surface-water quality in North America. *J. of the American Water Resources Association*. 36:347-366.

Toxopeus, B. 1996. ISM: an interactive spatial and temporal modeling system as a tool in ecosystem management; with two case studies; Gibodas Biosphere Reserve, West Java.

Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall-erosion losses: A guide to conservation planning. Agric. Handbook No. 537. US Dep. Agric. Washington, DC, USA.

농촌진흥청 농업과학기술원. 2005. 비점오염원 관리와 국토 보전을 위한 전국 토양 침식 위험성 평가. pp. 18-21. 한화진, 안소은, 유가영, 조광우, 이상엽, 김정은, 안선욱, 이정택, 나영은, 김명현, 최은진, 김경남, 이우균, 손요환, 조용성, 배덕호, 정일원. 2007. 기후변화 영향평가 및 적응 시스템 구축 III. 한국환경정책평가연구원. pp. 196-207.