

RUSLE 모형을 이용한 경주국립공원의 토양침식 위험지역 추정¹

최철현² · 유주한^{3*} · 정성관⁴

Estimation of Danger Zone by Soil Erosion Using RUSLE Model in Gyeongju National Park¹

Chul-Hyun Choi², Ju-Han You^{3*}, Sung-Gwan Jung⁴

요약

본 연구는 경주국립공원 전체 지구를 대상으로 토양침식에 대해 RUSLE 기법을 활용하여 잠재적 토양유실량과 침식위험도를 파악함으로써 토양생태계의 지속적인 보전과 더불어 재해방지 계획 수립을 위한 기초 자료 제공에 그 목적이 있다. 연평균 토양침식량 분석 결과, 전체 지구의 평균 토양침식량은 5.7ton/ha/yr로 나타났으며, 지구별로 남산 지구가 7.6ton/ha/yr로 가장 높았고 서악 지구가 2.1ton/ha/yr로 가장 낮았다. 토양침식위험등급 지역은 1% 미만으로 분석되었으며, 구미산 지구와 화랑 지구는 심각한 지역이 없었다. 그러나 남산 지구는 심각한 지역이 다른 지구에 비해 높게 나타났으며, 금오봉 일대에 집중되어 있었다. 따라서 금오봉 일대를 보호하기 위해서는 적절한 복원 및 관리방안이 수립되어야 할 것이다. 경주국립공원의 토지피복형태는 대부분 산림지역으로 나타났으며, 평균 토양침식량이 3.7ton/ha/yr로 양호한 수준인 것으로 확인되었다. 지형에 따른 토양침식량 분석 결과, 깊은 계곡이 단위면적 당 7.3ton/ha/yr로 나타났으며, 다음이 평탄곡지로 6.1ton/ha/yr로 분석되었다. 평탄지와 산정능선은 토양침식이 적게 발생하는 것으로 예측되었다. 향후, 국내 국립공원의 토양유실량을 분석한다면, 전체 국립공원의 토양생태계를 보전 및 복원할 수 있는 계획 수립에 도움이 될 것으로 기대된다.

주요어: 자연자원, 토양유실, 토지피복, 문화재

ABSTRACT

The purpose of this study is to offer the raw data for establishing the plan of disaster prevention and the continuous conservation of soil ecosystem by grasping the potential soil loss and the danger of erosion using RUSLE method on whole districts in Gyeongju National Park, Korea. In the results of the average amount of soil erosion for the year, the average of all districts was 5.7 ton/ha in annual, and Namsan district was the highest in 7.6 ton/ha in annual and Seoak district was the lowest in 2.1 ton/ha in annual. The dangerous district due to the soil erosion was analyzed as under 1%, and Gumisan and Hwarange district was not serious. But Namsan district was higher than others, especially, there was intensive in all over Geumohbong. Therefore, to protect the all over Geumohbong, we will establish the valid of restoration and management. The types of land cover in Gyeongju National Park mostly showed forest, and as the average amount of soil erosion in forest was 3.7

1 접수 2013년 8월 14일, 수정(1차: 2013년 10월 23일, 2차: 2013년 10월 30일), 게재확정 2013년 10월 31일

Received 14 August 2013; Revised (1st: 23 October 2013, 2nd: 30 October 2013); Accepted 31 October 2013

2 경북대학교 대학원 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, Kyungpook National Univ., Daegu 702-701, Korea (kenix@naver.com)

3 동국대학교 경주캠퍼스 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Dongguk Univ.-Gyeongju, Gyeongju 780-714, Korea (youjh@dongguk.ac.kr)

4 경북대학교 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Kyungpook Nat'l Univ., Daegu 702-701, Korea (sgjung@knu.ac.kr)

* 교신저자 Corresponding author: youjh@dongguk.ac.kr

ton/ha in annual, there was good condition. In the results of the amount of soil erosion due to landform, the deep canyon showed as 7.3 ton/ha in annual per unit area, secondly, the U-shaped valley was analyzed as 6.1 ton/ha in annual. The plain and high ridge were predicted that there occurred the small amount of soil erosion. In future, if we will analyze the amount of soil erosion in Korean National Parks, we will offer the help to establishing the plan of conservation and restoration on soil ecosystem in whole National Parks.

KEY WORDS: NATURAL RESOURCE, SOIL LOSS, LAND COVER, CULTURAL ASSETS

서론

국립공원은 동·식물과 같은 자연자원과 역사, 문화, 경관 등의 인문사회자원의 보고로서 우리나라는 1967년 공원법을 근간으로 지리산을 최초의 국립공원으로 지정하였다(You *et al.*, 2011). 국립공원의 보호를 위한 법제적 노력과 함께 1960년대 전국 대도시에서 산업화가 진행되면서 도시집중화에 따른 도시오염이 심각해짐과 동시에 공원과 녹지가 휴양의 장소로서 부각되는 시점과 맞물려 국립공원에 대한 국민들의 관심과 수요가 증대되었다(Oh and Kim, 2013). 이러한 국립공원은 우리나라의 대표적인 휴양자원으로 생태적 가치가 높고 도시민들에게 휴양기회를 제공해주는 중요한 지역이다(Sim and Lee, 2010). 즉, 국립공원은 자연과 인간이 함께 공존하는 핵심지역으로, 그 형태가 산악형, 해안형, 사적형 등 공원별 자원특성에 따라 구분되며, 최근 무등산이 국립공원으로 지정되면서 국내에 총 21개소가 있다. 이러한 국립공원은 우리나라 자연, 문화, 역사환경에 매우 중요한 축을 형성하고 있으므로 자원보전과 자원의 효율적 이용 및 관리를 위해 다양한 노력을 하고 있다.

최근 경제성장에 따른 삶의 질이 향상됨에 따라 여가활동을 위한 등산, 야영 등 자연 내에서의 활동이 급속히 증가하고 있으며, 이로 인해 국립공원의 탐방객수도 증가하고 있는 추세이다. 국립공원 탐방의 주 목적은 휴양과 더불어 자연체험 및 학습, 등산 등과 같이 자연 내에서의 활동이 대부분이다. 따라서 많은 탐방객들이 자연 내에서 활동을 하고 있기 때문에 국립공원의 재해방지는 탐방객들에 대한 안전 확보와 직결된다. 자연 내 재해는 여러 가지 종류가 있는데 태풍, 홍수, 호우, 대설, 한발 등이며, 이 중 호우와 태풍이 대부분을 차지한다(Kim *et al.*, 2010).

강우는 산사태, 토사유출과 같은 재해 피해를 발생시키는 데 우리나라와 같이 국토 대부분이 산지이고 기후변화에 의해 국지성 호우가 다수 발생하는 시점에서 이러한 문제는 증가할 것으로 예상된다. 특히 산지 내 토사유출은 강우량 증가와 집중호우에 의한 산지사면의 붕괴 및 토양침식 등으로 인해 발생되며, 기후, 토양, 경사 및 식생인자의 상호작용

에 따라 동일지역에서도 그 양상이 다르게 나타난다(Ma *et al.*, 2012). 토양침식이 심화될 경우 산사태를 유발시킬 수 있으며, 이렇게 유출된 토양은 하천 내에 퇴적되어 홍수를 야기시킬 뿐만 아니라 육수생태계에도 악영향을 미친다.

따라서 국립공원 내에서의 토양침식은 생물서식공간의 파괴, 계류수의 오염 등과 같은 생태적 피해와 더불어 탐방객들의 안전을 위협하여 인명피해까지 발생시킬 수 있기 때문에 관심을 가져야 할 부분이라고 생각된다. 이러한 토양침식 관련연구를 살펴보면, 산림지역의 경우 산지 농업지대(Kim *et al.*, 2005), 산불피해지(Ma and Jeong, 2008), 산림소하천(Ko *et al.*, 2013), 유역의 경우 금호강(Park, 2003), 무심천(Kim *et al.*, 2003), 안동댐(Guak and Cho, 2006), 서낙동강(Ko *et al.*, 2006), 한강상류(Park *et al.*, 2010), 낙동강상류(Park *et al.*, 2012), 만경강상류(Lee *et al.*, 2012) 등으로 대부분 유역에 대한 토양침식 연구가 진행되었으며, 국립공원에 대한 토양침식 연구는 가야산(Kim *et al.*, 2008)에 대한 토양침식 분석만 있어 한국의 생태적 핵심축인 국립공원에 대한 토양침식 연구는 전무한 상태이다. 이러한 이유로 연구를 수행한 경주국립공원은 다른 국립공원과 달리 8개 지구로 구성되어 있으며, 역사문화자원이 다른 국립공원에 비해 풍부하여 자연체험 뿐만 아니라 문화재관람의 목적으로 많이 찾고 있으며, 일부 지구는 경주 시내에 위치하여 등산, 산책 등 운동 목적으로 탐방하고 있다. 최근 들어 탐방객수가 급격히 증가하고 있고 남산과 토함산 지구는 연중 탐방객들이 찾고 있기 때문에(Mun *et al.*, 2013) 재해로부터 안전성 확보가 필요한 시점이다.

이에 본 연구는 경주국립공원 전체 지구를 대상으로 토양침식에 대해 RUSLE 기법을 활용하여 잠재적 토양유실량과 침식위험도를 파악함으로써 토양생태계의 지속적인 보전과 더불어 재해방지 계획 수립을 위한 기초 자료 제공에 그 목적이 있다.

이론적 고찰

토양의 침식은 분석 지역의 토양조건 및 피복조건 그리고

강우와 같은 기후조건 등에 영향을 받아 진행되며, 이를 복합적으로 고려하여 침식량을 도출하게 된다. 1960년대 개발된 USLE(Universal Soil Loss Equation) 모형은 일정한 형태와 경사를 갖는 표준지형(unit plot)에서 반복된 실험을 통해 자료를 수집하여 경험식으로 개발되었으며, 강우인자, 토양인자, 사면길이, 사면경사도, 토양의 피복상태 등의 변수를 갖는 함수를 이용하여 토양침식량을 예측하게 된다. 그러나 USLE 모형은 일정한 조건의 농경지에 대해 개발되었기 때문에 산림이나 복잡한 형태의 유역과 같은 지형에서의 토양침식량 예측이 어려워 이를 보완한 RUSLE(Revised Universal Soil Loss Equation) 모형이 개발되었다(Renard *et al.*, 1991; Renard and Ferreira, 1993). RUSLE 모형의 매개변수는 USLE 모형과 같지만 토지피복 인자에 대해 산림이나 다양한 환경의 유역조건에서 적용할 수 있도록 보완되었으며, 사면길이와 사면경사도 인자 등도 복잡한 지형조건을 반영할 수 있도록 수정되었다(Renard *et al.*, 1997).

RUSLE 모형에서 토양침식량의 계산식은 $A = R \times K \times LS \times C \times P$ 이고 여기서, A는 토양침식량(ton/ha/yr), R은 강우침식인자, K는 토양침식인자, LS는 지형인자, C는 토지피복인자, P는 침식조절인자이다. 강우침식인자(R)는 연평균 강우의 침식능력을 의미하며, 강우의 운동에너지와 강우강도에 의해 결정된다. 일정 강도 이상의 강우가 지속될 경우 토양입자가 이탈되고 강우에 의해 형성된 표면유거수에 의해 토양입자의 이송이 이루어져 토양의 침식이 발생되기 때문에 강우침식인자는 토양침식량에 가장 직접적인 영향을 미치는 인자라 할 수 있다. 이는 과거의 강우기록을 바탕으로 각 강우사상의 강우강도와 운동에너지를 측정하여 산정되는데 한 해 동안의 강우사상에 대해 평균적인 강우침식인자 값을 도출하고 장기간의 연도별 강우침식인자에 대한 평균값을 구하면 이를 통해 해당 지역의 연평균 토양침식량을 예측할 수 있다.

토양침식인자(K)는 토양입자 분포, 구조, 공극 및 유기물 함량 등과 관련이 있으며, 강우침식에 대한 저항능력을 의미한다. 토양입자가 이루는 구조적 안정성과 투수성의 정도에 따라 토양의 침식량이 달라지며, 극세사와 미사의 함량이 점토에 비해 많고 유기물의 함량이 적을수록 토양침식이 발생할 확률이 높기 때문에 이러한 토양에서는 K값이 높고, 투수성이 높거나 입자의 크기가 굵을수록 낮아지게 된다. 지형인자(LS)는 경사장인자(L)와 경사도인자(S)가 토양의 침식에 미치는 영향을 설명하는 인자로서 9%의 고른 경사와 22.13m의 경사장을 갖는 표준 밭에서의 토양침식량 비를 나타낸다. 사면의 경사장은 초기 강우에 의한 흐름이 시작되는 지점으로부터 퇴적이 일어나거나 유출이 나타나는 곳까지의 길이로 경사장이 길 경우 연속된 표면유거수의 흐름이 많아져 지형에 더 많은 에너지가 전달되기 때문에

침식량이 증가하게 된다.

토지피복인자(C)는 지표면의 피복상태에 따른 토양침식량을 설명하는 인자로서 일반적으로 식생으로 피복된 지표면의 경우 토양침식이 감소한다(Lee *et al.*, 2009). 식생은 뿌리를 통해 토양입자의 분리를 막고 있을 통해 직접적인 강우의 운동에너지를 상쇄시켜 토양이 유실되는 것을 방지하는 기능을 하기 때문에 산림지역과 같은 경우 C값은 0에 가까운 특징이 있다. 그러나 나지와 같이 식생이 존재하지 않을 경우 지표면이 그대로 강우에 노출되기 때문에 1에 가까운 값을 갖는다(Jang *et al.*, 2002; Kim *et al.*, 2003). 침식조절인자(P)는 농경지의 경작형태가 토양침식에 미치는 영향을 설명하는 인자로서 경작형태의 경우 보통 등고선 경작(contour tillage), 등고선 대상 경작(contour strip cropping), 계단식 경작(terrace systems)으로 구분된다. 등고선 경작형태는 등고선 대상 경작이나 계단식 경작과 비교했을 때, 일정한 방향과 경사를 갖기 때문에 강우가 발생할 경우 토양침식에 취약하며, 경사가 높아질수록 P값은 1에 가까워진다(Kim *et al.*, 2008).

모형에 의한 토양침식량의 예측은 사전적인 재해대책을 가능하게 하고 침식이 발생하는 지역을 찾아내어 미리 복원 방안을 수립할 수 있도록 기초자료를 제공한다. Choi *et al.* (2010)은 만대천유역을 대상으로 RUSLE 모형을 적용하여 유역별 토양침식량을 도출하였으며, 침식량에 대한 기여율이 높은 유역에 대해 관리의 필요성을 언급하였다. 가야산 국립공원을 대상으로 연구한 Kim *et al.*(2008)은 여름철 태풍에 의한 폭우가 발생할 경우 산림지역에서 침식량이 심각하게 증가될 수 있다는 결과를 도출하였고, 지형적으로 피해가 심각한 지역을 규명하였다. 또한 Park and Kim(2006)은 금강 유역 전체를 대상으로 RUSLE 모형을 적용하였으며, 전체 토지이용 중 경작지에서 토사유출이 심각하다는 것을 밝혀냈다. 이 외에도 많은 연구에서 토양침식량을 예측하기 위한 방법으로 RUSLE 모형을 활용하였으며, 복잡한 지형적 구조를 나타내는 우리나라의 산지를 대상으로 침식에 취약한 지역을 효율적으로 도출하여 해당 지역에 대한 관리방안을 제시하였다. 본 연구의 대상지는 경주국립공원으로서 일정한 조건을 갖는 단위지역이 아닌 다양하고 복잡한 형태의 지형과 환경조건을 갖기 때문에 범용적으로 사용할 수 있는 RUSLE 모형의 사용이 적합할 것이라 판단된다.

연구방법

1. 연구대상지

경주국립공원은 1968년 12월 31일에 지정되는 사적형

국립공원의 형태를 가지고 있으며, 토함산, 남산, 단석산, 구미산, 화랑, 서악, 소금강, 대본 지구 등 총 8개 지구로 구성되어 있고 면적은 138.7km²로서 지정 이후 경주에서 관리하다가 2008년 1월 26일 국립공원관리공단으로 관리 권한이 이양되었다(You *et al.*, 2011). 경주국립공원의 일반 현황을 살펴보면, 생물자원은 식물 703종, 동물 636종, 기타 661종 등 약 2,000종이 있으며, 경관자원의 경우 산봉 11개소, 기암 10개소, 계곡 4개소, 폭포 1개소, 해수욕장 1개소, 문화자원의 경우 국보 12점, 보물 24점, 사적 9점, 천연기념물 3점, 시도유형문화재 11점, 시도기념물 1점, 문화재 4점 등 공원자원이 풍부하고 2011년 기준 탐방객수는 3,003,517명, 탐방로 39개소, 연장길이 96.3km로 구성되어 있다(Korea National Park Service, 2012). 따라서 경주국립공원은 많은 문화자원이 분포하고 있어 사적형 국립공원의 성격을 가지고 있으며, 또한 다양한 생물자원이 분포 및 서식하는 등 생물다양성도 높기 때문에 생태적, 역사문화적 가치가 우수한 국립공원이라고 할 수 있다.

지구별 특성을 살펴보면, 토함산 지구는 토함산(743m), 무장봉(624m), 함월산(584m), 만호봉(522m), 남산 지구는 금오봉(467m), 고위봉(495m), 단석산 지구는 단석산(827m), 입암산(688m), 구미산 지구는 구미산(594m), 소금강 지구는 소금강산(176m), 약산(272m), 화랑 지구는 옥녀봉(214m), 송화산(147m), 서악 지구는 선도산(380m), 갯보산(217m) 등으로 형성되어 있다. 식생은 토함산 지구와 단석산 지구의 경우 졸참나무, 굴참나무, 신갈나무 등이 주군락을 이루며, 구미산 지구, 소금강 지구, 남산 지구, 대본 지구, 서악 지구, 화랑 지구는 소나무가 대부분을 차지하고 있다(Korea National Park Service, 2008).

2. RUSLE 모형 인자 산정

1) 강우침식인자(R)

강우침식인자값의 신뢰도를 높이기 위해서는 장기간의 강우자료가 필요하며, 기상자료는 일정한 주기를 갖기 때문에 해당 주기만큼의 기간에 해당하는 충분한 과거 기상자료가 확보되어야 할 필요성이 있다. 우리나라의 강우주기는 20~30년으로 보고 있으며, Park *et al.*(2011)의 연구에서는 1981~2010년까지 60개 주요 기상청 관측소의 시간당 강수 정보를 통해 강우침식인자(R)를 산출하였다. 따라서 본 연구에서는 Park *et al.*(2011)의 연구에서 산출된 각 관측소 지점별 R값을 이용해 거리역산가중치법(Inverse Distance Weight method, IDW)을 적용하여 강우침식인자 지도로 작성하였다. 이를 GIS 그리드자료로 변환한 뒤, 경주국립공원에 포함되는 지역을 추출하여 RUSLE 인자로 활용하였다.

2) 토양침식인자(K)

토양침식인자를 정확히 산출하기 위해서는 토양샘플을 채취해 정밀한 분석과정을 거쳐야 하나 분석범위가 넓은 경우 이는 매우 비효율적이며, 연속적인 공간에 대한 자료를 확보하기가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 농업과학기술원에서 제작한 1:25,000 정밀토양도를 사용하여 대상지의 토양정보를 파악하였으며, 토양통별 Wischmeier 방법에 의해 계산된 K값을 활용하였다(National Disaster Management Institute, 1998).

3) 사면경사인자(LS)

사면경사인자를 계산하는 방법은 사면길이를 토대로 계산되는 기존의 방법(Foster and Wischmeier, 1974)을 응용하여 Desmet and Govers(1996)가 GIS 환경에서 격자형태로 생성된 자료를 이용해 산출하는 방법을 제안하였으며, 그 식은 다음과 같다.

$$L_{(i,j)} = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{D^{m+2} \times x_{(i,j)}^m \times 22.13^m}$$

$$m = \frac{\beta}{\beta + 1}, \beta = \frac{(\sin\theta/0.0896)}{(2.96 \times \sin^{0.79}\theta + 0.56)}$$

여기서, L(i,j)은 (i,j)번째 셀의 경사장인자, A(i,j)는 (i,j)번째 셀이 나누어 받게 되는 상류기여면적, D는 셀의 크기(m²), m은 경사장지수, x(i,j)는 흐름방향에 직교하는 등고선의 길이이다.

지표면의 표고에 대한 정보는 GIS 환경에서 그리드단위로 제작된 DEM(Digital Elevation Model)을 통해 알 수 있으며, 이를 통해 지형이나 수문분석이 가능하다. 복잡하고 불규칙한 사면의 한 지점에서 흐름의 차이는 그 지점에 기여하는 상부의 유역면적에 따라 달라진다는 특징에 따라 ArcGIS 9.3의 Hydrology 분석을 통해 flow accumulation map을 작성하고 경사를 계산하여 Desmet and Govers(1996)의 방법을 토대로 사면경사인자를 추출하였다.

4) 토지피복인자(C)

토지피복인자는 기존에 연구된 논문을 참조하였으며(Park and Kim, 2006; Kim *et al.*, 2008; Oh *et al.*, 2011), 환경부의 중분류 토지피복도를 사용하여 토지피복별 C값을 적용하였다(Table 1).

5) 침식조절인자(P)

우리나라의 경우 밭과 과수원은 주로 등고선을 따라 경작

Table 1. C-factor values from land-cover types

Land-cover types		C-value
Level I	Level II	
Forest	Broad-leaved forest	0.009
	Coniferous forest	0.004
	Mixed forest	0.007
Agriculture	Field	0.240
	Paddy	0.300
	Orchard	0.200
	House, others	0.000
Grass	Natural grass, golf course, others	0.050
Urban	Residential area	0.002
	Commercial area	0.001
	Industrial area	0.000
	Traffic area	0.000
Barren	Mining area, others	1.000
Water	Wetland	0.000
	Water	0.000

Table 2. P-factor values according to slope and tillage patterns

Slope (%)	Cropland practices	P-value
0.0~7.0	Terracing	0.1
	Contouring	0.55
7.0~11.3	Terracing	0.12
	Contouring	0.6
11.3~17.6	Terracing	0.16
	Contouring	0.8
17.6~26.8	Terracing	0.18
	Contouring	0.9
26.8<	Terracing	0.2
	Contouring	1

하므로 등고선 경작, 논은 대부분 계단식으로 경작을 하므로 테라스 경작에 속한다(Renard *et al.*, 1997; Shin, 1999; Lee *et al.*, 2001; Park, 2003; Oh *et al.*, 2011). 경작지에 관한 정보는 환경부의 중분류 토지피복도 상에 나타나는 정보를 활용하여 자료를 구축하였으며, 경작형태별 적용된 침식조절인자값은 Table 2와 같다.

3. 토양침식량 산정

RUSLE 모형의 각 인자는 모두 ArcGIS에서 분석이 가능하도록 래스터(raster)형 데이터로 구축하였으며, RUSLE 인자별 그리드의 셀사이즈는 모두 10m×10m로 동일하게 고정하였다. 최종적으로 래스터 그리드의 중첩기능을 이용하여 raster calculator를 통해 각 인자의 곱으로 토양침식량을 산출하였다. 토양침식량은 각 셀마다 ton/ha/yr 단위로 산정되어 경주국립공원 전 지역에 대한 연간 토양침식량 평가가 가능하다.

결과 및 고찰

1. 경주국립공원의 지형적 특성

Figure 1은 경주국립공원의 지형적 특성을 나타낸 것으로, 해발의 경우 200~300m가 가장 많은 33,325,600㎡(24.6%)로 분석되었고 그 다음이 300~400m로 32,557,200㎡(24.0%)로 나타났으며, 100m 이하가 4,612,700㎡(3.4%)로 가장 적었다. 방위의 경우 동향이 가장 많은 18,660,200㎡(13.8%)로 나타났으며, 그 다음이 남서향으로 18,440,700㎡(13.6%)으로 확인되었으며, 평탄지가 가장 적은 391,100㎡(0.3%)으로 분석되었다. 경사의 경우 25~30°가 가장 많은 25,693,000㎡(18.9%)로 나타났으며, 그 다음이 30~35°로 23,937,600㎡(17.6%)로 분석되었고 5° 이하가 가장 적은 2,627,300㎡(1.9%)이었다.

2. 토양침식 위험도 평가

경주국립공원의 연평균 토양침식량을 분석해본 결과, 단

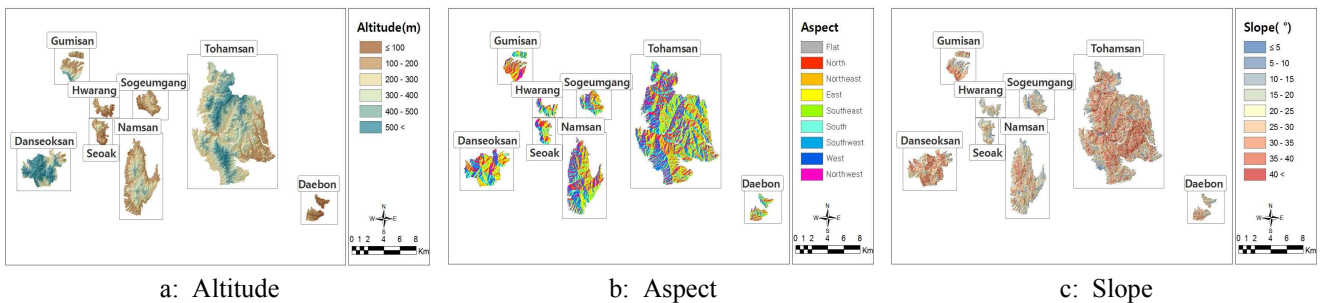


Figure 1. The topographical characteristics of Gyeongju National Park

위면적당 평균 토양침식량은 5.7ton/ha/yr인 것으로 나타났으며, 지구별로는 남산 지구가 7.6ton/ha/yr으로 가장 높았고 서악 지구가 2.1ton/ha/yr로 가장 낮게 분석되었다(Table 3). 토양침식에 대한 위험정도를 구분해 보기 위해 4등급으로 분류해 본 결과, Figure 2와 같이 나타났다. 위험등급은 Gupta(2001)의 등급기준을 참조하여 50미만(ton/ha/yr)인 지역을 미소침식지역(slight erosion), 50이상 100미만(ton/ha/yr)인 지역을 보통지역(moderate erosion), 100이상 200미만(ton/ha/yr)인 지역을 위험지역(high erosion), 200이상(ton/ha/yr)인 지역을 심각한 지역(severe erosion)으로 구분하였으며, 각 지구별로 토양침식 위험등급에 따른 면적을 산출해 본 결과는 Table 3과 같다.

토양침식량의 추정값이 연간 10ton 이상일 경우 관심을 가져야 하는 수준이라 할 수 있는데(Morgan, 1995), 경주국립공원은 미소침식지역이 대부분을 차지하고 있어 토양침식에 대해 상당히 안정적인 것으로 나타났다. 경주지역 전체를 대상으로 토양침식 위험도를 평가한 Oh *et al.*(2011)의 연구 역시 토양침식량이 10ton/ha/yr 미만인 지역이 93%로 나타났는데, 이는 경주시의 산림지역이 대부분 국립공원으로 지정되어 있어 법적인 규제를 통해 산림의 보호가 제대로 이루어지고 교란이 적어 이러한 결과를 나타낸 것으로 판단된다. 토양침식 위험등급이 위험지역이나 심각한 지역은 대부분 1% 미만인 것으로 나타났으며, 구미산 지구와 화랑 지구는 토양침식이 심각한 지역은 없는 것으로 분석되었다. 그러나 남산 지구의 경우 토양침식이 심각한 지역의 면적이 246,797.0m²로 다른 지구에 비해 높았다. 구미산과 화랑 지구의 경우 탐방로 평가 시 노면침식이 높게 나타났

는데(Mun, 2013) 탐방로의 노면침식은 답압 또는 지형적 인자에 의해 난투수층이 발생하여 토양 내로 강우가 침투하지 못해 토양이 유실되어 나타나는 현상으로 주로 세굴형태를 가진다. 즉, 탐방로의 침식은 토양세굴, 침식으로 연결되며, 나아가 탐방로 자체가 집중 호우 시 물 흐름의 통로 역할 즉, 수로가 되어 산사태가 발생할 수 있다. 따라서 토양 침식량 분석 시 심각한 지역이 없었으나 향후 기상이변, 지형의 인위적 변경 등 다양한 환경요인이 작용될 경우 침식이 발생할 수 있으므로 장기적인 모니터링을 통해 변화추이를 관찰하는 것이 중요하다.

Figure 2를 통해 살펴보면, 대부분의 지구에서 토양침식이 발생하는 지역은 집중되지 않고 산재되어 있으나 남산 지구의 경우 중앙부에 있는 금오봉 일대에 토양침식이 200ton/ha/yr 이상으로 높게 발생하는 지역이 한 곳에서 집중적으로 분포하고 있는 것을 볼 수 있었다. 해당 지역에 대해 항공영상을 이용하여 살펴본 결과, 주변지역에 비해 식생이 적고 대부분 지표면의 토양이 노출되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 특히 금오봉 주변은 산사태로 식생이 훼손되었으며, 발달이 불완전한 토양형을 가지고 있고 임목이 존재하지 않는 지역은 침식이 심하여 토심이 얕다(Choi, 2002; Hur and Joo, 2005). 따라서 식생이 적거나 나지일 경우 산림지역에 비해 토지피복인자의 값이 높기 때문에 토양침식량이 증가하게 되며, 강우가 집중될 경우 지형적 훼손이 발생할 가능성이 있기 때문에 해당 지역에 대한 관리가 필요할 것으로 판단된다.

또한 남산 지구는 사양토와 식양토의 표토층을 가지고 있어 배수는 양호하나 건조에 약하며, 오랜 침식으로 인해

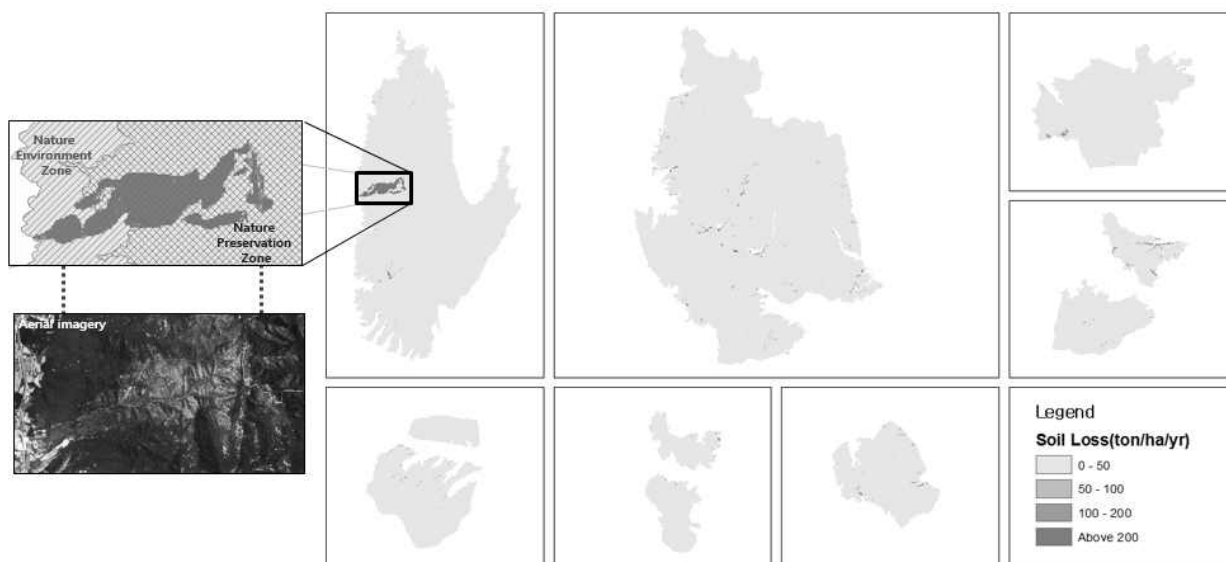


Figure 2. The map of soil erosion risk assessment in Gyeongju National Park

Table 3. Soil erosion amount and area distribution of hazards classification in each district

District	Soil erosion amount (ton/ha/yr)		Class	Area (m ²)	Rate (%)
	Mean	SD			
Daebon	6.1	19.9	Slight Erosion	3,351,666.7	97.9
			Moderate Erosion	32,804.1	1.0
			High Erosion	28,179.2	0.8
			Severe Erosion	9,319.5	0.3
			Total	3,421,969.5	100.0
Danseoksan	5.4	9.6	Slight Erosion	13,647,124.2	99.5
			Moderate Erosion	35,349.9	0.3
			High Erosion	32,554.4	0.2
			Severe Erosion	5,703.6	0.0
			Total	13,720,732.1	100.0
Namsan	7.6	54.1	Slight Erosion	21,346,131.8	98.5
			Moderate Erosion	41,410.0	0.2
			High Erosion	29,414.0	0.1
			Severe Erosion	246,797.0	1.1
			Total	21,663,752.8	100.0
Seoak	2.1	6.2	Slight Erosion	3,640,241.6	99.8
			Moderate Erosion	6,411.5	0.2
			High Erosion	999.8	0.0
			Severe Erosion	870.6	0.0
			Total	3,648,523.6	100.0
Hwarang	6.6	13.0	Slight Erosion	2,681,200.8	98.6
			Moderate Erosion	30,889.5	1.1
			High Erosion	7,801.3	0.3
			Severe Erosion	0.0	0.0
			Total	2,719,891.6	100.0
Sogeumgang	4.0	14.7	Slight Erosion	5,045,309.6	98.8
			Moderate Erosion	40,219.3	0.8
			High Erosion	15,763.8	0.3
			Severe Erosion	6,747.3	0.1
			Total	5,108,040.0	100.0
Tohamsan	5.6	17.6	Slight Erosion	78,273,339.1	99.2
			Moderate Erosion	378,673.1	0.5
			High Erosion	195,138.1	0.2
			Severe Erosion	74,301.0	0.1
			Total	78,921,451.3	100.0
Gumisan	3.3	7.8	Slight Erosion	5,603,196.5	99.2
			Moderate Erosion	39,705.4	0.7
			High Erosion	3,566.3	0.1
			Severe Erosion	0.0	0.0
			Total	5,646,468.2	100.0
All area	5.7	26.4	Slight Erosion	133,588,210.4	99.1
			Moderate Erosion	605,462.8	0.4
			High Erosion	313,416.9	0.2
			Severe Erosion	343,739.0	0.3
			Total	134,850,829.1	100.0

두께가 얇고 유효토심이 낮기 때문에 집중 호우가 발생할 경우 토양의 보수력이 떨어져 훼손가능성이 큰 지역이다 (Jeong, 2005). 남산 지구의 경우 유네스코 세계문화유산으로 등록되어 있어 국내외의 많은 탐방객들이 증가해 생태계의 훼손이 급증하고 있으며, 특히 금오봉 일대의 토양침식이 심각한 지역은 자연공원법에서 규정하고 있는 공원자연보존지구에 포함되어 있기 때문에 특별히 보호할 필요가 있는 지역으로서 필히 복원대책이나 관리방안을 세워야 할 것이다.

3. 토지피복 및 지형에 따른 토양침식량

경주국립공원의 토지피복형태는 대부분 산림지역이었으며, 95% 이상을 차지하고 있는 것으로 분석되었다(Table 4). 산림지역에서의 평균 토양침식량은 3.7ton/ha/yr로 토양침식에 대해 상당히 양호한 수준인 것으로 분석되었다. 그러나 나지의 경우 점유 비율은 0.3%로 매우 적지만 평균 토양침식량은 325.7ton/ha/yr로 토양침식이 심각한 상태라는 것을 알 수 있다. 나지의 경우 식생의 미발달로 인해 강우 시 완충매체가 없기 때문에 지표수의 흐름에 따라 토양이 침식되어 산사태, 토사퇴적 등의 부정적 영향을 미친다.

따라서 나지에 대한 토양침식을 방지하기 위해서는 조림 또는 훼손지 복원 등을 통해 환경을 개선할 수 있는 방법이 모색되어야 할 것이다. 그러나 국립공원 내 발생한 나지를 복원하기 위해 무분별한 수목의 식재는 주변 식생과 이질감을 줄 수 있으며, 특히 식재 시 사용된 토양 내 귀화식물종자가 혼입될 경우 자연식생이 교란될 수 있으므로 단기 녹화보다는 생태적 특성을 고려한 장기적 녹화기법을 적용하는 것이 필요할 것이다.

농업지역은 25.1ton/ha/yr로 평균 토양침식량이 산림지역보다 약 7배 높은 것으로 나타났다. 농업지역 중에서 논보다는 밭의 토양침식이 많은데(Park et al., 2010) 이는 논과 달리 밭은 경사지에 주로 형성되어 있기 때문으로 생각되며, 서낙동강 유역에서도 산록경사지의 밭에서 토양침식이 심각한 것(Ko et al., 2006)으로 미루어볼 때 토양침식이 주로 밭에서 발생하는 것으로 추정된다. 그리고 미래의 기후변화에 따른 강수량 증가는 농경지 토양침식을 증가시킬 가능성이 있기 때문에(Oh et al., 2012) 경주국립공원의 토양보전을 위해서 기후변화 대응방안도 모색되어야 할 것이다.

밭은 경사지에 있기 때문에 강우로 인해 토양침식 및 유실이 지속적으로 발생되며, 이를 회복하기 위해 작물 재배 시 주기적인 객토를 시행한다. 그러나 이러한 과도한 객토는 더 많은 토양유실을 유발시키며, 이로 인해 하천으로 유실된 토양이 유입될 경우 수질에 악영향을 미치기 때문에

(Heo et al., 2008) 국립공원 내 형성되어 있는 밭에 대한 관리감독을 지속적으로 수행해야 할 것이며, 불법 경작지는 조속히 농경행위를 금지시켜 자연상태로 회복될 수 있도록 해야 할 것이다.

Table 4. Soil erosion amount of land-cover types

Land-cover types	Area (m ²)	Rate (%)	Soil erosion amount (ton/ha/yr)
Barren	450,700.0	0.3	325.7
Agriculture	3,312,800.0	2.5	25.1
Grass	1,693,100.0	1.3	14.5
Wetland	99,800.0	0.1	11.4
Water	224,400.0	0.2	9.0
Forest	128,770,000.0	95.4	3.7
Urban	479,200.0	0.4	3.4

토양침식량이 지형적 특성에 따라 차이가 있는지 분석해 보기 위하여 지형분류를 실시하였다. 기존 연구의 경우 주로 고도와 경사에 따른 토양침식량의 차이를 분석하였는데, 가야산 국립공원의 지형적 특성과 토양침식량과의 관계에 대해 연구한 Kim et al.(2008)은 고도 600~1,000m, 경사도가 25~35° 사이인 지역에서 많은 침식성을 보인다는 결과를 도출하였다. 그러나 이러한 분석은 대상지 내에서 고도와 경사가 공간적으로 분포하는 상대적 비율에 따라 오류를 내포할 가능성이 있기 때문에 본 연구에서는 각 지형의 형태에 따른 평균적인 토양침식량을 분석하여 어떠한 지형의 형태가 토양침식에 취약한지를 파악하였다. 지형의 분류는 ArcGIS 9.3의 Topography tools를 사용하여 Figure 3과 같이 분류하였으며 그 결과, 대상지에서 가장 넓은 면적을 차지하고 있는 지형은 깊은 계곡형태로 전체면적의 33.0%를 점하고 있었고 다음으로 산정능선이 30.2%를 차지하고 있었다. 토양침식량이 가장 높은 지형의 형태는 깊은 계곡으로 단위면적당 약 7.3ton/ha/yr의 침식이 발생하는 것으로 분석되었다. 이는 충북지역내 주요 계곡에 대해 침식량을 분석한 결과, 계곡에서 침식량이 가장 많았다(Lee, 2012)는 연구결과와 일치하였다. 다음으로는 평탄곡지로 약 6.1ton/ha/yr으로 나타났다(Table 5). 토양침식이 가장 적게 발생하는 지형은 평탄지였으나 이 지형의 형태가 경주국립공원에서 차지하는 비율은 매우 적었으며, 다음으로 적게 발생하는 지형은 산정능선으로 평균 약 4.0ton/ha/yr의 토양침식이 발생하는 것으로 분석되었다. 일반적으로 계곡지형은 토양수분과 양분 등의 조건이 양호하여 다양한 동식물이 서식하며, 식생의 활력도가 높은 특징이 있다(Park et al., 2001; Kim et

Table 5. Soil erosion amount of each landform categories

Category	Area (m ²)	Rate (%)	Topographical characteristics		Soil erosion amount (ton/ha/yr)	
			Altitude (m)	Slope (°)	Mean	SD
Canyons, deeply incised streams	44,811,000.0	33.0	272.7	24.0	7.3	34.5
U-shaped valleys	10,100,400.0	7.4	260.1	24.0	6.1	23.8
Upland drainages, headwaters	12,357,500.0	9.1	366.1	29.9	5.9	26.6
Midslope drainages, shallow valleys	1,488,400.0	1.1	319.6	27.8	5.8	26.1
Local ridges, hills in valleys	15,471,300.0	11.4	282.6	27.2	5.5	24.0
Upper slopes, mesas	7,720,900.0	5.7	360.4	27.4	5.0	19.8
Open slopes	707,700.0	0.5	290.0	25.3	4.5	16.0
Midslope ridges, small hills in plains	1,949,000.0	1.4	288.0	25.7	4.4	18.1
Mountain tops, high ridges	41,034,500.0	30.2	358.5	25.2	4.0	16.7
Plains	18,500.0	0.0	301.8	3.4	0.9	2.0

al., 2008). 또한 계곡은 수분과 광량, 계절에 따른 수위 및 유속변화 등 다양한 환경요인으로 인해 산림생태계 내 독특한 생태를 형성하며, 특히 환경변화에 따라 식생 뿐만 아니라 수계에도 영향을 미친다(Yee and Song, 2000). 그러나 집중호우가 발생하여 토양침식이 지속될 경우 표토층이 유실되어 그 지역에 생육하는 식생에 부정적인 영향을 줄 수 있기 때문에 침식이 심한 지역은 이를 방지하기 위한 사방댐 등의 대책이 필요할 것으로 판단된다. 사방댐 등과 같은 야계사방공작물은 산사태, 토석류로부터 수로의 안정성을 확보할 수 있으나(Park et al., 2012) 계류부의 흐름이 공작물에 의해 영향을 받아 유속이 감소되어 토사가 퇴적되며, 이로 인해 수질에 영향을 줄 수 있으므로 계곡의 수질 및 수생태계의 건강성을 확보할 수 있는 사방사업이 시행되어야 할 것이다.

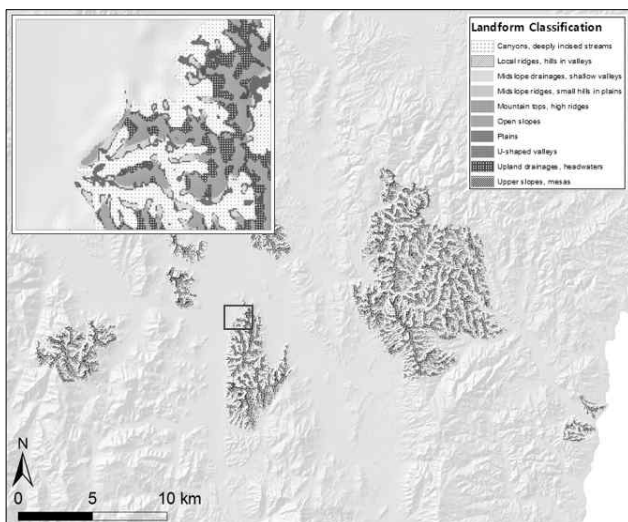


Figure 3. The map of landform distribution in Gyeongju National Park

LITERATURE CITED

- Choi, H.G., S.J. Park and S.P. Guk(2010) The estimation of soil runoff in the Man-dae cheun basin by the using RUSLE method. Research Report the Institute of Industrial Technology 30B: 99-108. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.Y.(2002) A study on the management of Mt. Namsan's natural landscape in Kyongju. Bull. Gyeongju Univ. 15: 285-304. (in Korean with English abstract)
- Desmet, P.J.J. and G. Govers(1996) A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. Journal of Soil and Water Conservation 51(5): 427-433.
- Foster, G.R. and W.H. Wischmeier(1974) Evaluating irregular slopes for soil loss prediction. Trans. ASAE 17: 305-309.
- Guak, D.W. and G.S. Cho(2006) Evaluation of GIS-based soil loss amount in considering basin characteristics. Journal of Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography 24(1): 89-97. (in Korean with English abstract)
- Gupta, H.S.(2001) Terrain evaluation for eco-restoration using remote sensing and GIS. Conference on GIS Science, AGILE, Session 7 Environmental Modeling and Remote Sensing, pp. 424-434.
- Heo, S.G., M.S. Jun, S.H. Park, K.S. Kim, S.K. Kang, Y.S. Ok and K.J. Lim(2008) Analysis of soil erosion reduction ratio with changes in soil reconditioning amount for highland agricultural crops. Journal of Korean Society on Water Quality 24(2): 185-194. (in Korean with English abstract)
- Hur, T.C. and S.H. Joo(2005) Soil physio-chemical properties of Mt. Namsan on Kyungju in Korea. Agric. Res. Bull. Kyungpook Natl. Univ. 23: 53-60. (in Korean with English abstract)
- Jang, Y.R., G.S. Lee and G.S. Cho(2002) The determination of reso-

- lution for qualification of soil loss in GIS environment. The Journal of GIS Association of Korea 10(2): 301-316. (in Korean with English abstract)
- Jeong, W.I.(2005) Analysis of possible natural damage of tourism heritages using geographic information system: a case study of Mt. Namsan, Gyeongju. Journal of Tourism Sciences 29(1): 27-44. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.H., K.T. Kim and G.B. Yeon(2003) Analysis of soil erosion hazard zone using GIS. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 6(2): 22-32. (in Korean with English abstract)
- Kim, K.S., S.G. Heo, Y.S. Jung, J.M. Kim and K.J. Lim(2005) Analysis of soil erosion vulnerability at alpine agricultural fields of Hongcheon county. Journal of Korean Society of Rural Planning 11(2): 51-57. (in Korean with English abstract)
- Kim, M.G., K. Lee and H.S. Lim(2010) The status and preventive measures of natural disasters in Korea. Korean Public Health Research 36(1): 31-41. (in Korean with English abstract)
- Kim, Y.P., K.H. Lee and S.T. Song(2008) Analysis of soil erosion hazard zone in Gayasan National Park. Journal of the Korean Institute of Forest Recreation 12(3): 1-11. (in Korean with English abstract)
- Ko, J.W., S.K. Yang, W.S. Yang, W.Y. Jung and C.S. Park(2013) Estimation of soil erosion and sediment yield in mountainous stream. Journal of Environmental Science International 22(5): 599-608. (in Korean with English abstract)
- Ko, J.Y., J.S. Lee, K.Y. Jung, E.S. Yun, Y.D. Choi, C.S. Kim, S.T. Park and B.J. Kim(2006) Soil erosion risk assessment of arable land in Seonakdong River watershed using GIS, RS and USLE. Korean J. Soil Sci. Fert. 39(3): 173-183. (in Korean with English abstract)
- Korea National Park Service(2008) The Survey of Natural Resources in Gyeongju National Park. Korea National Park Service, Korea, 649pp. (in Korean)
- Korea National Park Service(2012) Basic Statistics of National Park. Korea National Park Service, Korea, pp. 28-79. (in Korean)
- Lee, G.S., H.J. Lee, S.H. Lim and G.S. Cho(2001) The influence analysis of topographic factor on soil erosion model using GIS. Journal of The Korean Society of Civil Engineers 21(4): 545-554. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.H., E.J. Shim, Y.K. Lee and T.W. Kim(2012) A study on the estimation of soil erosion quality using USLE in the upper region of ManKyoung River basin. Journal of Korean Wetlands Society 14(3): 317-328. (in Korean with English abstract)
- Lee, M.S., K.S. Kim, Y.S. Song and J.C. Ryu(2009) Analyzed change of soil characteristics by rainfall and vegetation. The Journal of Engineering Geology 19(1): 33-41. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.B.(2012) The Efficiency Analysis of Soil Erosion to Erosion Control Dam Using RUSLE. MS thesis, National Univ. of Chungbuk, Korea, 49pp. (in Korean with English abstract)
- Ma, H.S. and W.O. Jeong(2008) Long-term change of the amount of soil erosion in forest fire damaged area. Jour. Korean For. Soc. 97(4): 363-367. (in Korean with English abstract)
- Ma, H.S., W.S. Kang and E.M. Kang(2012) Effect of forest land use on soil runoff in small watershed. Jour. Korean For. Soc. 101(2): 220-225. (in Korean with English abstract)
- Morgan, R.P.C.(1995) Soil Erosion and Conservation. Longman, London, 298pp.
- Mun, S.J., J.H. You, K.P. Hong and S.H. Heo(2013) Analysis of deterioration status on the trails in the Gyeongju National Park: focused on Mt. Toham, Mt. Nam, Mt. Danseok and Mt. Gumi district. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 41(3): 31-42. (in Korean with English abstract)
- Mun, S.J.(2013) The Naturalness Evaluation of Trails in Gyeongju National Park. MS. thesis, Univ. of Dongguk, Gyeongju, Korea, 140pp.
- National Disaster Management Institute(1998) Study on the sediment yield estimation due to land development(I). National Disaster Management Institute, pp. 171-172. (in Korean)
- Oh, J.H., J.H. You, K.T. Kim and W.S. Lee(2011) Risk assessment of soil erosion in Gyeongju using RUSLE method. Journal of Environmental Impact Assessment 20(3): 313-324. (in Korean with English abstract)
- Oh, S.S. and J.S. Kim(2013) An analysis on Korean national park forming process and environmentalism. Journal of Leisure and Recreation Studies 37(1): 75-88. (in Korean with English abstract)
- Oh, Y.J., M.H. Kim, Y.E. Na, S.H. Hong, W.K. Paik and S.T. Yoon(2012) Vulnerability assessment of soil loss in farm area to climate change adaption. Korean J. Soil Sci. Fert. 45(5): 711-716. (in Korean with English abstract)
- Park, C.W., Y.K. Sonn, B.K. Hyun, K.C. Song, H.C. Chun, H.J. Cho, Y.H. Moon and S.G. Yun(2012) Soil erosion risk assessment by soil characteristics and landuse in the upper Nakdong River basin. Korean J. Soil Sci. Fert. 45(6): 890-896. (in Korean with English abstract)
- Park, C.W., Y.K. Sonn, B.K. Hyun, K.C. Song, H.C. Chun, Y.H. Moon and S.G. Yun(2011) The redetermination of USLE rainfall erosion factor for estimation of soil loss at Korea. Korean J. Soil Sci. Fert. 44(6): 977-982. (in Korean with English abstract)
- Park, C.W., Y.K. Sonn, Y.S. Zhang, S.Y. Hong, B.K. Hyun, K.C. Song, S.K. Ha and Y.H. Moon(2010) Soil erosion risk assessment in the upper Han River basis using spatial soil erosion map. Korean J. Soil Sci. Fert. 43(6): 828-836. (in Korean with English abstract)

- Park, J.H., H.S. Ma and K.H. Kim(2012) Influences of the construction of the torrent control structure using customized tetrapods on the stream water ecology at valley. *Jour. Korean For. Soc.* 101(1): 113-120. (in Korean with English abstract)
- Park, J.S. and G.H. Kim(2006) Estimation of soil loss by landuse in the Geum River basin using RUSLE model. *Journal of Korean Society on Water Quality* 22(4): 619-625. (in Korean with English abstract)
- Park, K.H.(2003) Soil erosion risk assessment of the Geumho River watershed using GIS and RUSLE methods. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 6(4): 24-36. (in Korean with English abstract)
- Park, Y.S., H.K. Song, S. Yee and M.J. Lee(2001) An analysis of vegetation structure and vegetation-environment relationships with DCCA in the valley part of Kyeryongsan National Park. *Jour. Korean For. Soc.* 90(3): 249-256. (in Korean with English abstract)
- Renard, K.G. and V.A. Ferreira(1993) RUSLE model data base sensitivity. *J. Environ. Qual.* 22: 458-466.
- Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies and J.P. Porter(1991) RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation. *J. Soil and Water Conservation* 46(1): 30-33.
- 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 Universal Soil Loss Equation(RUSLE)*. USAD Agriculture Handbook No. 703, 404pp.
- Shin, K.J.(1999) The soil loss analysis using GIS in watershed. Ph. D. thesis, National Univ. of Kangwon, Chuncheon, Korea, 116pp. (in Korean with English abstract)
- Sim, K.W. and J.H. Lee(2010) A causality analysis on the relationship between national park visitor use and economic variables. *Jour. Korean For. Soc.* 99(4): 573-579. (in Korean with English abstract)
- Yee, S. and H.K. Song(2000) Phytosociological study on vegetation of valley in Kyeryongsan National Park. *Kor. J. Env. Eco.* 14(1): 88-98. (in Korean with English abstract)
- You, J.H., S.J. Mun and W.S. Lee(2011) Management plan and vascular plants of the Hwarang district in Gyeongju National Park. *J. Korean Env. Res. Tech.* 14(5): 17-35. (in Korean with English abstract)