

Technical Article

USLE와 국가토지피복지도를 이용한 토양유실 추정

정 종 철

남서울대학교 GIS공학과

Estimation of Soil Erosion Using National Land Cover Map and USLE

JongChul Jeong

Namseoul Univ. Dept. of GIS

요약 : 본 연구는 2007년과 2014년 국가토지피복지도에 따른 토양유실량을 평가하기 위해 GIS와 토양유실공식(USLE)을 활용하였다. 토양유실량의 공간분포를 추정하기 위해 USLE 모델의 토지피복변화와 식생인자를 적용하였다. 하지만, 토양유실량은 토지피복지도의 적용방법과 연산과정에 따라 서로 다른 결과가 나타났다. 본 연구에서는 USLE 모델을 적용하기 위해서 환경부의 식생인자와 토지피복지도를 적용하여 2014년 강원도 내린천 유역의 인제스튜디오 개발지역 토양유실량 발생을 비교하였다. 연구지역의 토양유실량 산정을 위해 토지피복도, 지형도, 토양도 그리고 강수량 등의 자료들을 사용하였다. 토지피복의 변화는 중분류와 세분류 지도에 의해 평가되었고, 토양유실량은 최대 두 배의 차이가 나타났다.

주요어 : 토양유실, 유수량, GIS, USLE

Abstract : This study integrates the Universal Soil Loss Equation(USLE) with GIS method to assess the soil erosion for national land cover map between 2007 and 2014. The land cover change map and C factors of USLE were applied to the estimation of spatial distribution of sediment yield. However, they generated distinct results because of differences in their applied methods and calculation processes of national land cover map. To generate the USLE model, C factors of MOE(Ministry of Environment) were compared with soil erosion of Inje stadium development area at the Naerin watershed in Gangwon province to 2014. The several thematic maps of research area such as land cover map, topographic and soil maps, together with tabular precipitation data used for soil erosion calculation. The land cover change were carried with level-2 and high level land cover map of MOE and estimated maximum double of soil erosion.

Keywords : Soil erosion, Sediment yield, GIS, USLE

First Author: Jongchul Jeong, Dept. of GIS, Namseoul University, Chenan, Korea, Tel: +82-41-580-2375, E-mail: jjc1017@gmail.com

Corresponding Author: Jongchul Jeong, Dept. of GIS, Namseoul University, Chenan, Korea, Tel: +82-41-580-2375, E-mail: jjc1017@gmail.com

Received: 20 September, 2016. Revised: 28 November, 2016. Accepted: 29 November, 2016.

I. 서론

평창 동계올림픽을 위한 대규모 개발 사업은 토양 유실 발생을 증가시키고 있어서 강원도 산간 하천의 수질오염 문제가 대두되고 있으며, 댐호의 탁수 발생을 증가시키고 있다. 특히 강원도 산간지역의 경우는 급경사지가 개발되고 있어서 토양유실의 발생량 증가가 급격하게 나타나고 있다. 또한 강원도의 산간지역은 고랭지 농업, 스키장 개발 등 다양한 토지이용 개발에 따라 토양유실 발생량이 크게 증가하고 있는 지역이어서 하천유역의 토양환경과 하천 수질을 보전하기 위한 전략이 요구되고 있다.

하천유역의 토양유실 모델을 적용한 연구성과로 Choi et al.(2013)은 Universal Soil Loss Equation 모델을 적용하여 경주국립공원의 토양침식위험지역을 평가하였고, Cho & Jeong (2005)은 강원도 고랭지 경작지에서 발생하는 연간 토양유실량과 하천에 도달하는 양을 나타내는 유사량을 추정하였으며, Park(2003), Park et al.(2007), Lee et al.(2008), Lee et al.(2008), Hwang et al.(2010) 등 연구자들은 USLE 모델의 다양한 인자 적용으로 토양유실량 산정 연구를 수행하였다.

토양유실량을 산정하기 위한 공간 데이터의 구축은 지형, 지질, 토지피복 등 정밀한 모델 입력 자료의 지도를 제작하고, 이를 기반으로 토양유실 모델 적용을 위해 지형공간정보체계(GIS)를 이용하고 있다. 그러나 산간지역의 토지피복지도는 구축하는 과정에서 위성영상을 적용하는데 산사면에 따른 분류 오류가 발생하고 있어서 이를 고려한 환경부에서 제공하는 국가토지피복지도를 비교 평가한 연구는 부족한 실정이다.

USLE 모델은 강우침식인자, 토양침식인자, 지형인자, 식생피복인자, 토양보전대책인자로 나뉘며, 각각의 산정된 인자들에 의해 토양유실량을 예측할 수 있지만, 이러한 인자를 생산하는 과정에는 많은 노력이 요구된다. 특히 토지피복의 경우 위성자료를 이용하여 산간지역을 분류하는 경우 산간지역의 경사에 의한 토지피복분류 오차가 크게 나타난다. 위성의 촬영각도와 산사면에 의한 그림자 등이 분류오류의 원인이 되기 때문이다. 따라서 환경부에서 제작하여 배

포되는 토지피복지도를 GIS기법에 의해 재분류하여 토양유실모델에 적용하는 경우 위성영상을 이용하는 것보다 효과적으로 토양유실량을 산정할 것으로 판단되었다.

또한, 국내 많은 연구에서 적용한 위성영상기반 토지피복 지도제작은 위성자료의 시-공간해상력에 제한을 받기 때문에 국가토지피복지도를 기반으로 USLE 모델에 적용되는 식생인자를 적용하는 것은 의미가 있다고 판단되었다.

본 연구에서는 강우침식인자, 토양침식인자, 지형인자가 동일한 조건인 경우 산간지역에서의 개발사업에 의한 토지피복의 변화를 국가토지피복지도에 의해 평가하는데 연구에 목적이 있다. 또한, 토지피복지도에 기반하여 하천 경계로부터 일정한 버퍼를 두고, 식생피복인자를 적용하여 하천 주변부에서의 토양유실량을 산정하는데 USLE 모델 적용 연구의 실험적 가치를 파악하고자 하였다.

II. 토양유실모델

국내 산간지역에서 토양유실량의 발생은 강우와 지형 등 다른 조건이 동일한 경우 개발사업 전-후 토지피복의 변화에 의해 토양유실의 차이가 발생할 것으로 판단할 수 있으나, 토지피복지도의 생산과정은 원시자료의 획득과정에 따라 차이가 나타나고 있다.

USLE 모델은 적용 범위가 농경지의 많은 부분에 확장되어 토양유실 연구에 적용 되었으며, 기본 이론과 식은 다음 Figure 1과 식(1)의 내용과 같다. USLE 공식은 산림지역이나 건설현장에서도 적용할 수 있

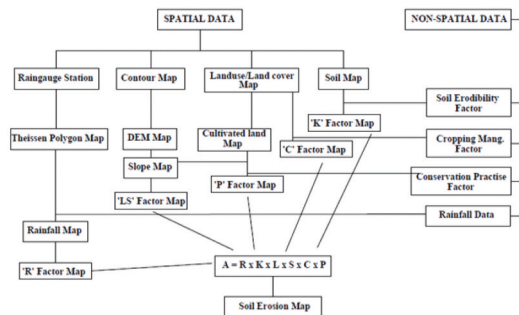


Figure 1. Flow diagram of spatial and non-spatial data for soil erosion map and R, K, LS, C, P factors

도록 보완되었으며, 단일호우사상에 의한 산정도 가능하도록 수정되었다.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

$$= R \cdot K \cdot LS \cdot VM \quad (1)$$

A 강우침식인자 *R*의 해당기간 중 단위면적당 토양침식량(tonnes/ha)

R 강우침식인자(10⁷J/ha·mm/hr)

K 토양침식인자(tonnes/ha/R)

LS 지형인자(무차원)

C 토양피복인자(무차원)

P 토양보전대책인자(무차원)

VM 토양침식조정인자(무차원)

개발사업의 환경 및 재해영향평가에서는 토사유출량의 추정치가 대상구역의 침식제어기준이 허용하는 값보다 크다면 상기 공식에서 하나 이상의 계수를 어떻게 감소시킬 것인가에 대한 대책이 이루어지도록 하고 있으나, 개발의 주요 내용이 토지피복을 변화시키는 과정이다.

기존 연구성과는 국내 토양통별로 *K*값을 경험적으로 산정하여 편리하게 적용 가능하도록 만든 수치이다. 지형인자(*LS*)는 지형에 따른 토양침식량의 변화를 나타내는 인자로서 사면길이인자(*L*)와 사면경사인자(*S*)의 곱으로 구성된다. 사면길이 인자는 지표 율류수가 발생하기 시작하는 지점에서부터 퇴적되는 지점까지의 길이 또는 유출이 뚜렷하게 나타나는 형태인 수로나 지류로 합류되는 지점까지의 수평거리로 정의할 수 있으며, 무차원 사면길이 인자(*L*)의 산정방법은 다음 식(2)와 같다.

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m, \quad m = \frac{\beta}{1+\beta}$$

$$\beta = \frac{11.16 \cdot \sin\theta}{3.0 \cdot (\sin\theta)^{0.8} + 0.56} \quad (2)$$

- λ 평면에 투영된 사면길이(m)
- m 사면경사 길이의 멱지수
- 22.13 표준침식발의 길이(72.6ft)
지표면침식량에 대한 세류의 기여
- β 비율(rill to interrill erosion ratio)
- θ 사면경사각(°)

USLE 모델에서는 토지피복인자 또는 식생인자의 지수로 식(1)과 같이 *C*를 사용하고 있으며, 대규모 개발사업에 의해서 발생하는 토지피복 변화는 토양침식 발생에 중요한 원인이 되고 있다. 그러나 많은 연구에서 토지피복의 변화는 위성영상을 이용한 피복분류기법에 의한 결과를 사용하고 있으며, 연구대상 지역의 단일시점 위성자료에 의한 피복지도를 통해 토지이용형태 면적의 산정이 이루어지고 있다. 이는 식생이나 토지이용의 형태에 따라 피복분류의 면적에 차이가 크게 나타나는 것으로 보고되었다.

본 연구에서는 전국적인 규모의 토지피복의 변화를 적정하게 파악하기 위해서 국가토지피복지도를 적용하는 것이 필요하다고 판단하고, 환경부의 중분류, 세분류 피복지도를 적용하여 토양유실량을 평가하는 방안을 탐색하였다.

III. 연구범위 및 방법

본 연구의 공간적 범위는 강원도 인제군, 홍천군에 위치한 내린천 유역을 연구대상으로 하였다. 강원도 내린천 유역은 산간지역으로 대부분 산림으로 이루어져 있지만, 대규모 개발 사업으로 인한 표토유실 피해가 큰 지역이다(Figure 2).

본 연구에 사용된 자료는 농업과학기술연구원에서 구축한 토양도(1:5,000)와 환경부(2012) 고시「토양환경보전법」에서 제시한 토양통별 *K*값을 이용하여

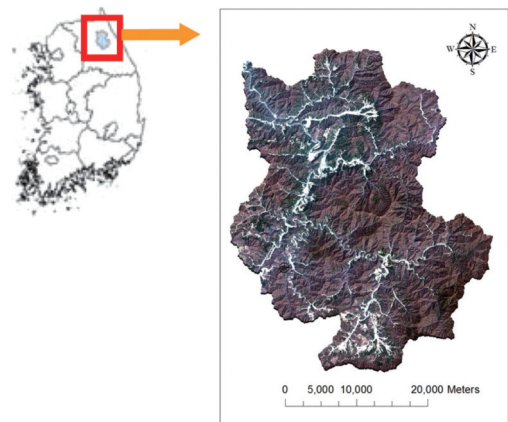


Figure 2. Geographical location of the study area and Naerin watershed

Table.1 Information of Ministry of Environment Land cover map types

Data Level	Year	Scale	Class Item
Level-2	2007	1/25,000	23
High-level	2014	1/5,000	41

토양침식인자를 산정하였으며, 강우인자는 연구유역의 동일강우사상을 고려하여 같은 강우 조건을 적용하였고, 환경부 중분류, 세분류 토지피복도를 비교 분석하여 토양침식량 산정에서 국가토지피복지도를 적용을 하였다.

본 연구에서는 연구결과를 검증하고 비교하기 위해 내린천 유역 중 개발사업이 시행된 공간영역을 Figure 4와 같이 설정하고, 모델 적용 결과를 비교 분석하였다. 토지피복변화가 하천 중심선에서부터 나타나는 토양유실량 분석을 위해 하천중심선으로부터 100m, 300m, 500m 버퍼의 토지이용변화에 따른 토지피복변화를 고려하였다.

본 연구에서는 환경부 토지피복지도 중분류(2007), 세분류(2014)를 적용하여 제작시점이 다른 내린천 토지피복지도를 활용하였다. 환경부 토지피복지도는 Table 1과 같이 중분류(23개), 세분류(41개)의 분류 클래스를 적용하고 있어서 대분류군의 식생인자를 적용하는 분류체계로 수정하기 위해 ArcGIS에서 작업하였다. 이때 적용한 식생인자는 환경부(2015)에서 제시한 C값을 적용하였다.

환경부에서「토양환경보전법」 제6조의2 및 같은 법 시행규칙 제5조의2에 따라 표토의 침식 현황 조사에 대한 사항을 적용하였다. 본 연구의 결과를 검증하기 위해서 강원도 내린천 유역은 대부분 산간지역이므로 토지피복변화가 발생한 지역인 인제군 인제스타디움을 연구 검증지역으로 하였다.

국가토지피복지도인 환경부 중분류, 세분류 토지피복지도는 USLE모델에 적용하는 피복 분류 클래스보다 세분화되어 제공되는 지도이며, 이를 적용하기 위해서는 유사한 속성을 가진 피복 분류 클래스로 재분류한 결과가 필요하다. 본 연구에서는 환경부 중분류(23), 세분류(47) 분류 클래스를 토지피복지도를 그림 3과 그림 4와 같이 7개 분류와 10개 분류 클라

스로 재분류하였다.

IV. 결과 및 고찰

본 연구 대상지역인 강원도 내린천 유역과 인제스타디움 개발지역은 논, 밭, 재배지 등이 분포되어 있으며, Figure 4와 같이 환경부 토지피복지도에 의한 분류 결과를 분석한 결과 활엽수림, 혼효림, 침엽수림 등 산림 지역이 대부분인 것으로 나타났다.

환경부 토지피복지도에 기반하여 Figure 5(중분류)와 Figure 6(세분류)의 토지피복지도 변화에서 동그라미 A지역의 2007년 중분류 토지피복지도에서는 나대지로 분류가 되었으며, 2014년 세분류 토지피복지도에서는 밭으로 바뀌어 토지이용이 변화가 생겼다. 또한, Figure 5와 Figure 6의 토지피복 비교 결과 도시지역은 3.23km² 면적이 증가하였고, 밭은 12.43km², 논은 8.72km²의 면적이 증가하였다. 감소지역은 수역이 0.13km², 나지가 0.45km², 산림은 6.48km²의 면적이 감소되었음을 관측할 수 있었다.

인제 스타디움의 개발지역인 사각형 B지역은 산림

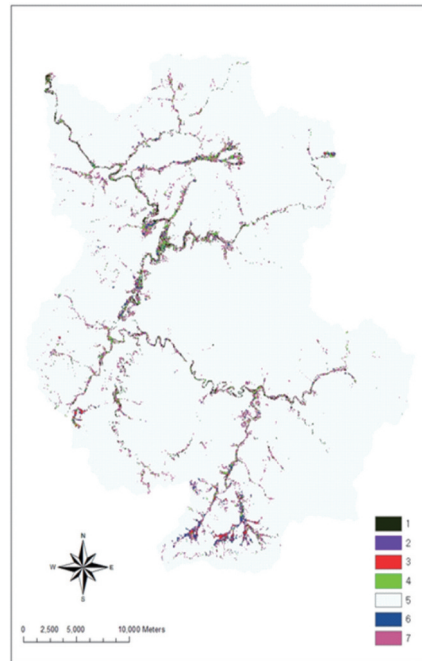


Figure 3. Reclassified 7 items land cover map of Naerin watershed in study area

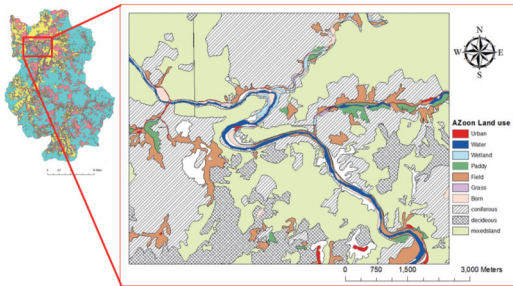


Figure 4. Land cover map of Inje-stadium area and fine classified 10 items

과 나대지 분류지역이 초지와 나대지로 피복변화가 나타났다. 나대지 지역은 C값이 1의 값으로 식생인자 값 중 최대값이며, 밭은 0.3으로 약 3배의 차이가 적용되었다. 또한, 사각형 B지역은 중분류 항목에선 산림으로 분류가 되었지만, 세분류에서는 초지로 분류가 되었다. 이는 산림 0.05와 초지 0.15의 인자 값

차이가 3배 차이로 산림에서 초지로 변화가 나타난 2014년 토지피복지도에서는 토양유실량을 높게 평가하고 있다.

본 연구에서 Figure 7과 Figure 8은 Figure 5와 Figure 6의 중분류와 세분류 지도를 식생인자를 적용하여 나타난 것이다. 재분류된 중분류와 세분류 피복지도에서 식생인자를 USLE 모델에 적용한 결과로 제시하였다.

토양유실 발생량 추정값은 Figure 9와 Figure 10의 토양유실 발생의 공간적인 분포로 비교하여 해석할 수 있으며, 2014년 피복지도에 의해 토양유실 위험지역이 크게 증가하였음을 알 수 있었다.

본 연구에서는 개발사업지역의 토지피복변화를 중분류, 세분류 피복지도로 탐색하였고, 식생피복인자를 적용하여 Figure 9와 Figure 10과 같이 표토유실

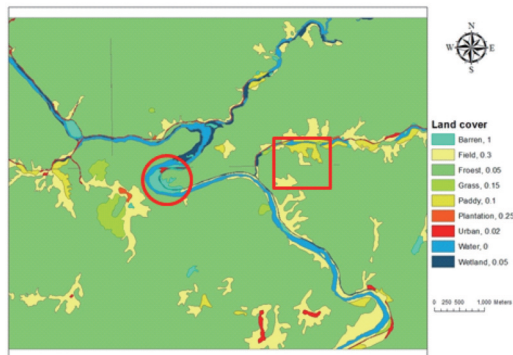


Figure 5. Level-2 land cover and C factors map(2007) of research area and compare circle and square zone

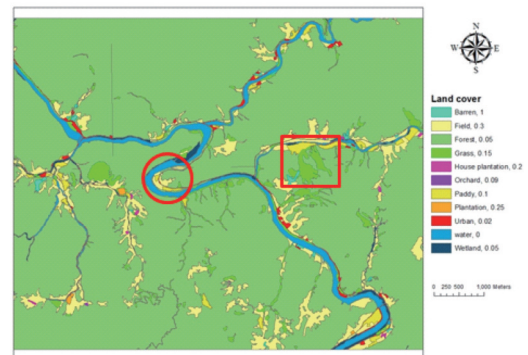


Figure 6. High-level land cover and C factors map(2014) of research area and compare circle and square zone

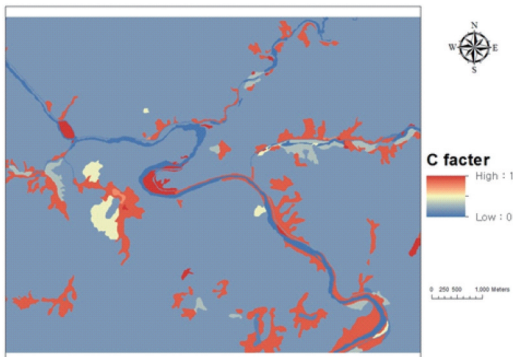


Figure 7. C factor map of research area using Level-2 land cover map of MOE(2007)

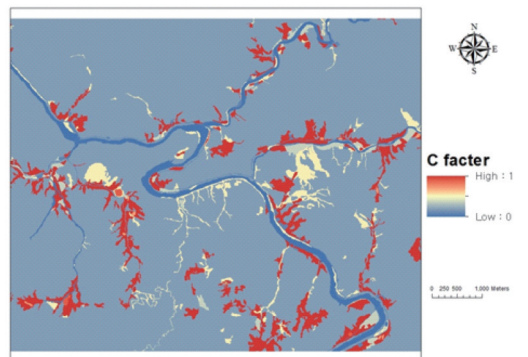


Figure 8. C factor map of research area using High-level land cover map of MOE(2014)

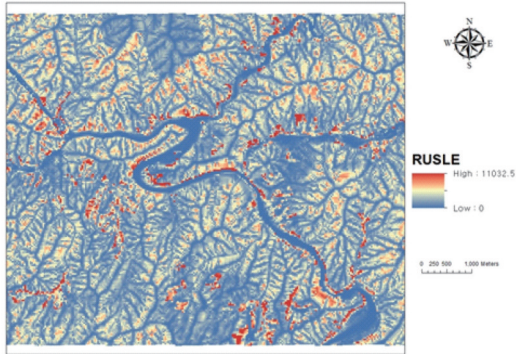


Figure 9. Soil erosion map of research area using USLE and Level-2 land cover map(2007)

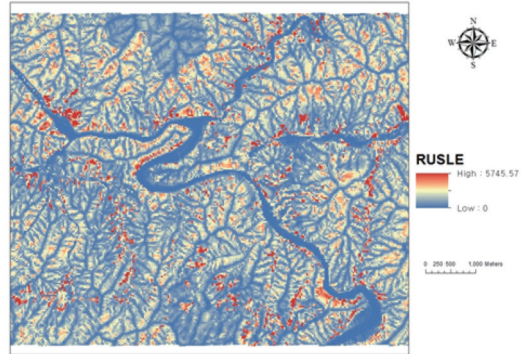


Figure 10. Soil erosion map of research area using USLE and High-level land cover map(2014)

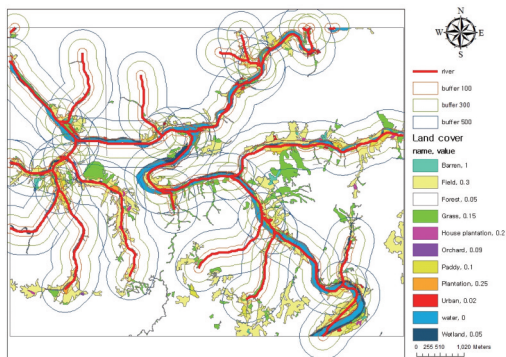


Figure 11. High-level land cover with 100m, 300m, 500m buffer layers of stream and C factors over map(2014)

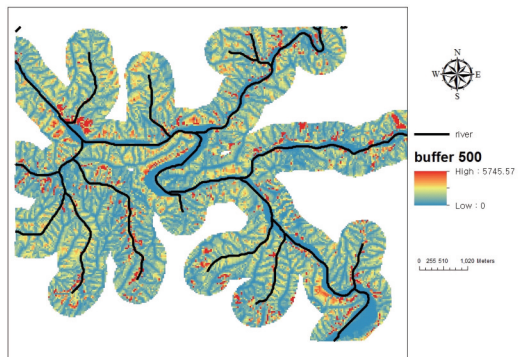


Figure 12. Soil erosion map of research area using USLE and land cover with 500m buffer layers of stream

량을 산정하였다. 개발사업에 의한 환경부 토지피복 변화지역 탐지과정에서 각각의 토지이용현황에 따라 표토유실의 차이가 나타나는 지역을 탐지하였다. 또한 Figure 11과 Figure 12와 같이 토양유실량이 하천 중심선을 따라 피복 유형의 영향 범위를 파악하기 위해 하천으로부터 100m, 300m, 500m의 영역에 속한 토지피복 변화를 탐색하고 USLE 모델에서 산정된 토양유실량이 하천에 영향을 미치는 공간적 범위를 파악하였다. Figure 12와 같이 내린천 산간 하천의 500m 하천 버퍼 토지피복 변화를 통해서 토양유실이 집중적으로 나타나는 것이 분석되었다.

V. 결론

본 연구에서는 토양유실량 산정에서 환경부 국가 토지피복지도도를 이용하여 토지피복변화를 탐지하였다. 개발지역의 중분류, 세분류 피복지도는 재분류하

여 식생인자를 반영한 USLE 모델을 통해 토양유실량을 산정하였다. 그러나 USLE 모델에 적용하는 토지피복변화는 사용하는 국가토지피복지도의 중분류와 세분류 분류군의 적용 범위에 따라 토양유실량 산정에 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 표토침식량을 산정하는데 있어서 산간지역의 위성영상에 의한 토지피복은 산사면의 산 그림자 등 분류오차가 발생하므로, 환경부 토지피복지도도를 재분류하여 피복변화를 추출하고, USLE 모델에 적용하는 방안을 제안하였다. 또한 내린천 산간지역에서는 하천으로부터 500m 버퍼지역의 개발지역이 토지피복변화 차이가 파악되었고, 이러한 공간범위의 토양유실량 산정 결과값을 검증, 보정하는 방안을 확보하는 것이 향후 토양유실모델 오차를 저감하는 개선사항임을 제시하였다.

본 연구에서는 환경부 토지피복지도의 활용을 높

이고, 전국적인 토지피복변화 탐지가 용이한 고부가 토지피복지도 활용에 대해 토양유실모델 적용의 가능성을 파악하였다.

환경부 토지피복지도는 지속적으로 갱신되고, 정밀한 중분류-세분류 지도가 제공될 것이기 때문에 향후 표토유실모델에 갱신된 토지피복지도를 적용하는 것이 가능하다. 따라서 본 연구는 토양유실 모델에서 토지피복변화를 평가하는 기초적인 실험으로 토지피복 재분류가 적용되었고, 그 적용 가능성이 평가되었다.

감사의 글

본 연구는 2016년 남서울대학교 교내연구과제 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Choi CH, You JH, Jung SG. 2013. Estimation of danger zone by soil erosion using RUSLE model in Gyeongju national park. Korean J. Environ. Ecol. 27(5): 614-624. [Korean Literature]
- Cho HL, Jeong JC. 2013. Estimating soil loss in alpine farmland with RUSLE and SEDD. Journal of association of Korea. 13(1): 79-90. [Korean Literature]
- Hwang CS, Kim KT, Oh CY, Jin CG, Choi CU. 2010. A study on correlation between RUSLE and estuary in Nakdong river estuary. Journal of the Korean Society of Civil Engineers. 18(3): 3-10. [Korean Literature]
- Kim JH, Lee CD, Kim KT, Choi YS. 2007. The Soil Loss Analysis using Landcover of WAMIS-for Musimcheon Watershed, KAGIS. 10(4):122-131. [Korean Literature]
- Lee MB, Kim NS, Jin S, Kim HD. 2008. A study on the soil erosion by landuse in the Imjin river basin, DMZ of central Korea. the Korean Geographical Society. 43(3): 263-275. [Korean Literature]
- Lee MS, Park JY, Jeong IK, Kim SJ. 2008. Estimation of Soil Erosion for Each Spatial Resolution on the Climate Change, KWRA. spring May 22: 529-533. [Korean Literature]
- Park EJ, Kim C. 2007. Comparative Analysis by Soil Loss and Sediment Yield Analysis Calculation Method of River using RUSLE and GRID, KAGIS. 10(2): 112-121. [Korean Literature]
- Park KH. 2003. Soil Erosion Risk Assessment of the Geumho River Watershed using GIS and RUSLE Method. KAGIS. 6(4):24-36. [Korean Literature]
- Park WS, Hong SH, Ahn CH, Choi H. 2013. Assessment of soil loss in irrigation reservoir based on GIS. Journal of the Korean Society of surveying. Geodesy, Photogrametry and Cartography. 31(6): 439-446. [Korean Literature]