

## 지형 및 경작 방법을 반영한 범용토양유실량 산정공식 보전관리 인자 개선 연구

성윤수·이관재\*·이동준\*·한정호\*·김종건\*·임경재\*·김기성\*\*

원주지방환경청 수질총량관리과  
\*강원대학교 지역건설공학과

### Study on improvement of USLE P factor considering topography and cultivation method

Yunsoo Sung·Gwanjae Lee\*·Jeongho Han\*·Jonggun Kim\*·Kyoung Jae Lim\*·Ki Sung Kim\*\*

Ministry of Environment Wonju Regional Environment Office, Total maximum daily load management division

\*Dept of Regional Infrastructure Engg, Kangwon National University

(Received : 15 October 2018, Revised: 19 February 2019, Accepted: 12 April 2019)

#### 요약

본 연구는 토양유실량 산정을 위해 사용되는 USLE P factor 선정의 문제점 확인 및 개선방향 제시에 대한 연구이다. USLE P factor는 경작지를 어떻게 관리하여 사용하느냐에 따라 그 값이 달라지는 계수이다. 하지만 기존 연구들은 경작지 상황에 따른 선정이 아닌 유역의 경사도에 대한 P factor를 선정함에 따라 토양유실량이 과다 산정되는 경향이 있다. 뿐만 아니라 처음에 이 식은 제안한 Wishmeier와 Smith에 의해 정의된 다양한 조건들에 부합되지 않게 인자를 선정하고 있어 토양유실량 산정에 대한 정확성이 떨어지고 있다. 이에 환경부에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 표토관련고시를 제정하고 이에 따른 P factor를 선정하도록 제안하고 있다. 하지만 미국에서 제안된 조건을 그대로 국내 사정에 적용하도록 되어 있어 많은 문제점을 야기하고 있다. 이에 본 연구에서는 실제 토양유실이 심각하게 이루어지고 있는 유역(양구 해안면 유역, 홍천 내면 자운리 유역, 안동 임하면 반변천 상류유역)을 선정하여 경사장과 경사도를 측정하고 각 필지에 적용된 관리방법과 경운방법을 조사하여 각 조건들에 적용한 후 고시에 의거하여 제시된 조건을 통해 선정된 인자와의 비교를 통해 고시의 문제점을 확인하였고, 문헌연구를 통한 새로운 조건에 대입하여 새로운 인자들을 선정하였다. 연구 결과, 환경부에서 제시한 표토관련고시에 의거하여 선정된 P factor의 경우 대상 유역 3곳에서 0.8~1.0사이의 값을 제시하고 있었다. 하지만 처음 제안된 조건들을 대입하여 P factor를 선정해본 결과 각 경사도 및 경사장 조건에 부합하여 선정된 값은 고시를 통해 선정된 값과는 차이가 있음을 확인하였다. 이를 통해 국내 환경에 적합한 P factor를 선정하기 위한 조건을 개발하기 위한 연구가 지속적으로 이루어져야 한다고 판단된다.

핵심용어 : USLE P factor, 토양유실, 최적관리기법, 경운

#### Abstract

The USLE P factor is a factor that varies depending on how croplands are managed and cultivated. Previous studies tend to overestimate the amount of soil loss because the factor was estimated from the slope of the watershed rather than the estimate of each cultivated land. In addition, the accuracy of estimating the soil loss is decreasing due to the fact that the factor is calculated without considering various conditions of cultivated land defined by Wishmeier and Smith. In order to overcome these problems, the Ministry of Environment (MOE) has proposed to establish the topsoil notification and calculate the P factor according to the cultivation methods (e.g., tillage system, support practice). However, it is required to apply the conditions proposed in the United States to domestic circumstances as it is causing uncertainties. Thus, this study selected the watersheds where soil loss was serious (Haeon, Jaun, Banbyeoncheon), measured the actual slopes and slope lengths, and examined the crop, tillage systems, and support practice for each cultivated land. The P factors were recalculated considering the actual conditions of cultivated land and compared to the factors proposed by the previous studies (MOE). As the result of the study, the P factors calculated based on the previous studies were 0.8 ~ 1.0 in three watersheds. On the other hand, it is confirmed that there is a significant difference between the factors notified by MOE and estimated by reflecting the topography and cultivation methods in this study. Therefore, it is considered

\* To whom correspondence should be addressed.  
Department of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University  
E-mail: kskim@kangwon.ac.kr

that the research for developing the cultivation conditions to calculate the P factor suitable for the domestic environment should be continuously carried out.

Key words : USLE, P factor, soil loss, Actual slope and slope length, Tillage system

## 1. 서 론

강우로 인해 발생하는 자연적인 침식현상과 달리 농경활동이나 도시 및 도로 개발 등 인간의 편의를 위해 진행되는 활동에 의한 침식은 자연적인 침식보다 훨씬 큰 침식을 유발하고 있다(Kang et al., 2010). 또한 무분별한 개발 사업은 자연 상태가 아니라도 논이나 밭 등 수년 동안 경작하여 안정된 지표면의 토양 및 식생상태를 급속히 변화시키어 다량의 토양이 유실되고 있다(Goldman et al., 1986). 뿐만 아니라 급격한 기후변화로 인해 강우형태가 국지성 호우로 변화하고 있어 강우에 의한 토양유실이 증가하고 있는 경향을 보이고 있다.(허창희와 강인식, 1998).

토양유실로 인해 발생한 토사는 강우 유출수와 함께 하류로 이송되어 하천 및 호소의 탁수 문제를 야기하고, 바닥에 침전되어 생태계 파괴 및 수질악화 등과 같은 다양한 환경문제를 일으키게 된다(Park, 2007). 대표적인 예로 북한강 상류에 위치한 소양호의 경우 2006년에 발생한 태풍 에위니아의 영향으로 인해 기존 방류수 농도인 79NTU보다 4배나 높은 328NTU의 고농도 탁수를 방류하였다(Kim, 2012). 이로 인해 소양호 하류의 수생태계 파괴 및 어업활동, 자연경관 훼손 등 다양한 문제가 발생하게 되었고, 이러한 문제를 해결하기 위해 많은 경제적인 손실이 발생하였다.

하천 및 호소로 이송되어 수체의 고탁수화를 야기하는 토사의 문제를 해결하기 위해서는 발생원인 밑에서 발생한 토사에 대한 전문적인 연구와 해결방안 적용이 필요하다(Hyeon et al.) 토양유실에 관한 현황을 파악하기 위해서는 유역 내 토지이용현황과 피복되어 있는 작물 등의 현황조사와 더불어 유역 내 발생하는 토양유실량에 대한 장기모니터링을 수행하는 것이 가장 정확한 방법이다. 하지만 유역 내 발생하는 토양유실량에 대한 장기모니터링을 수행하기에는 많은 시간과 인력이 필요하다는 한계점이 발생하게 된다. 이러한 한계점으로 인해 국내·외 많은 연구자들은 토양유실관련 모형을 통해 토양유실량 발생현황 및 유사의 거동 특성에 대한 연구를 진행하고 있다(Choi et al., 2009).

현재 국내외에서 다양한 종류의 토양유실을 모의할 수 있는 모형이 개발되어 있다. 그 중 대표적으로 사용되는 토양유실량모의공식인 범용토양유실량산정공식(Universal Soil Loss Equation, USLE)(Wischmeier and Smith, 1978)은 토양유실량의 연단위 예측을 위해 전 세계적으로 널리 사용되고 있으며, 국내의 환경부에서도 표토의 침식 현황 조사에 관한 고시의 조사방법을 USLE공식을 선정하여 사용하고 있다. 범용토양유실량 산정공식은 장기간의 연평균 토양유실량을 산정할 수 있는 경험적인 모형이다. USLE공식은 강우인자(Rainfall and Runoff, R factor), 토양인자(Soil erodibility, K factor), 지형인자(Slope length and steepness, LS factor), 작물피복인자(Cover management, C factor), 보전관리인자(Support practice, P factor)로 구성되어 있으며, 각 인자의 값을 구한 뒤 모두 곱하여

연평균 토양유실량을 산정할 수 있도록 구성되어 있다. 공식에서 제시된 다섯 인자는 대상 경작지에 대한 자연환경 및 관리방안에 따라 토양유실량을 산정하도록 구성되어 있다. 또한 구성된 네 개의 인자는 토양유실이 발생하기 위한 물리적인 효과를 계산하여 모형에 반영하도록 구성되어 있다. 하지만 다섯 개의 인자 중 P factor는 계산이 아닌 경작지의 환경조건 및 관리방법에 따라 그 값이 결정되도록 구성되어 있다. 이 공식을 제안한 Wischmeier and Smith(1978)는 다년간의 실험을 통해 얻은 결과를 기반으로 경작지의 관리방법과 경사도를 기준으로 하여 P factor를 제안하였다.

환경부에서는 USLE공식을 적용한 '표토의 침식 현황 조사에 관한 고시'(Ministry of Environment, 2012)를 제정하여 표토의 침식을 관리하고 있다. 하지만 적용된 USLE공식의 인자 중 P factor는 Wischmeier and Smith(1978)가 다년간 시험포 단위 실험을 통해 구축한 결과를 토대로 경작지 관리방법과 경사도에 기반하여 값을 제안하였지만(Wischmeier and Smith, 1978), 국내에서는 P factor를 적용하기 위해 제시된 적용조건을 고려하지 않고 사용하는 오류를 범하고 있다. 또한 기존 USLE 공식의 P factor는 등고선 경작에 국한되어 적용되도록 구성되어 있지만, 국내의 경작현황은 상하경과 등고선 방법을 적용하고 있어 P factor 적용의 한계점을 가지게 된다. 따라서 본 연구의 목적은 기존 방식으로 도출한 USLE P factor의 문제점을 분석하고, 실제 경작지에서 적용되는 경작현황 조사를 통해 국내 경작현황과 경사도를 고려한 USLE P factor를 제안하는데 있다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구대상지역

USLE모형은 경작지에서 토양유실량을 산정하는 대표적인 모형이다. USLE모형을 구성하는 인자 중 P factor는 실제 경작지에 적용된 관리방법과 작물, 경작방법 그리고 경사도를 이용하여 산정하기 때문에 현장조사를 통한 자료 조사가 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 유역 내 경작지가 집중 분포되어 있고 다양한 작물과 경작방법이 적용되고 있으며, 토양유실에 취약한 유역을 선정하였다. 탁수발생문제가 심각하여 비점오염원 관리 지역으로 지정된 양구군 해안면 유역(Site 1)과 흥천군 자운리 유역(Site 2), 그리고 지역 다양성을 위해 소양호와 더불어 탁수 문제가 빈번히 발생하는 임하호 상류 유역인 반변천 상류 유역(Site3)을 선정하였다(Fig 1).

Site 1은 강원도 해안면 유역으로 60.42km<sup>2</sup>의 면적과 평균경사 50.71%로 구성된 분지형 유역이다. 유역 내 경작지의 대부분은 산지를 개간하여 고랭지 작물을 재배하고 있다. 지형적 특성으로 인해 급경사지에서 발생한 토사는 유역의 중앙에 위치한 만대천으로 유입되고 있어 소양호 탁수저감사업의 일환으로 많은 토사 저감시설이 설치되어 있는 유역이다.

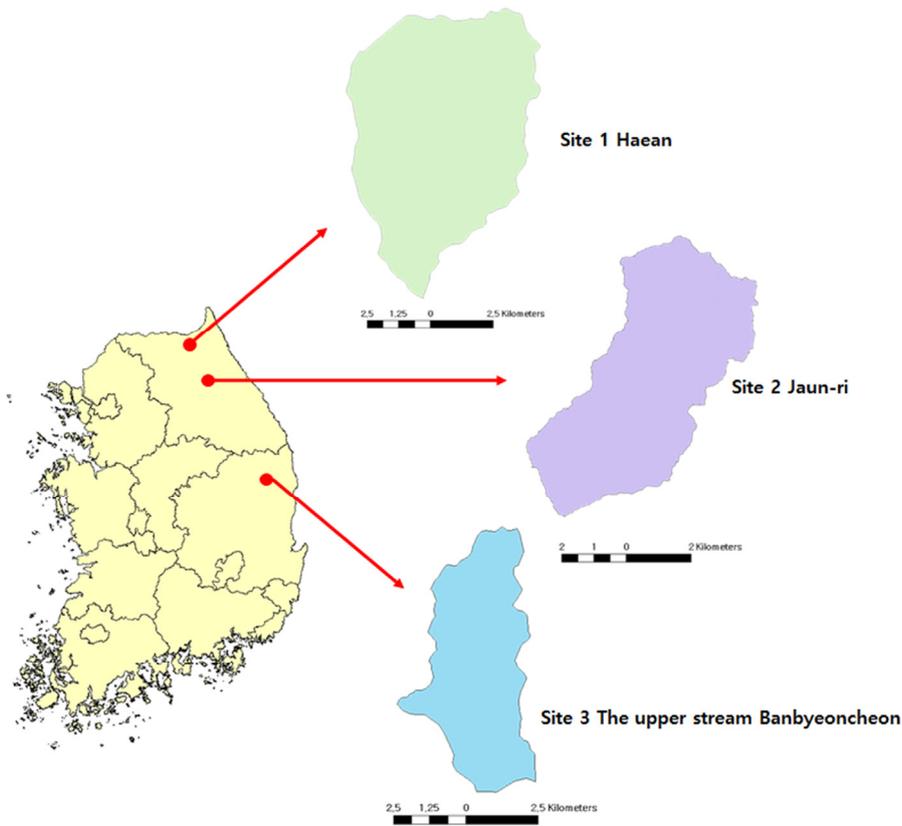


Fig. 1. Study areas

Site 2는 강원도 홍천군 내면 자운리 유역으로 69.73km<sup>2</sup>의 면적과 평균경사 38.5%로 이루어진 산지유역이다. 유역 내 흐르고 있는 하천인 자운천은 소양호 상류인 내린천의 상류 유역 내 유실된 토양 대부분이 소양호로 유입되는 형태의 지형적 특성을 지니고 있다. 또한 하천 변으로 대규모 고랭지 농업 단지가 구성되어 있어 하천으로의 토사유입이 심각한 지역이다. 해안면 유역과 마찬가지로 소양호 탁수저감사업의 일환으로 다양한 토사 저감시설이 설치되어 운영되고 있다.

Site 3는 경상북도 안동시 임동면 대곡리에 위치한 반변천 상류 유역으로 72.71km<sup>2</sup>의 면적과 평균경사 57.85%로 이루어진 산지유역이다. 유역의 중앙으로 반변천이 흐르고 있으며, 농경지의 대부분이 주로 하천 변에 위치하는 특징이 있다. 대부분의 경작지는 밭농사 위주로 구성되어 있으며 유역의 최상단부에는 과수원이 밀집되어 있다. 반변천 유역은 2002년에 발생한 태풍 루사와 2003년에 발생한 태풍 매미의 영향으로 고농도의 탁수가 장기간 동안 발생하여 국가적 차원의 저감시설 설치와 관련 연구가 진행되었다(Yu et al., 2009).

## 2.2 대상 유역의 경작지 현황조사

### 2.2.1 유역 내 경작지 데이터 구축

USLE 모형은 경작지를 대상으로 발생하는 토양유실량을 산정하기 위해 개발된 모형이다. 따라서 본 연구에서는 유역내 위치하고 있는 경작지의 현황을 파악하기 위해 해당 경작지에 대한 디지털라이징 작업을 실시하였다. 디지털라이징 작업은 위성영상 및 항공사진을 이용하여 대상유역 내 경작지의 경계를 추출하기 위

한 작업이다. 해당 작업은 현장조사 시 필요한 정보 및 위치를 제공해 주기 위해 실시하였다.

디지털라이징 작업을 위해 사용된 위성영상은 Google에서 제공하고 있는 위성영상을 사용하였다. 해당 위성영상은 2015년 3월에 측정된 사진으로서 유역 내 위치한 경작지의 현황을 육안으로 확인이 가능하였다. 디지털라이징 작업은 유역 내 위치한 경작지의 경계를 Polygon형태로 생성한 뒤 각 경작지별 식별번호를 부여하여 DB구축을 위한 기본 자료로 사용되었다.

### 2.2.2 유역 내 경작지 실제 경사도 측정

환경부의 ‘표토침식현황조사에 관한 고시’에 따르면 대상유역의 토지이용 및 경사도에 따라 P factor를 선정하도록 명시되어 있다. 또한 Wischmeier and Smith(1978)가 제안한 P factor는 경작지의 경사도와 보전관리방법에 의해 선정할 수 있도록 구성되어 있다. 따라서 본 연구에서는 ‘표토침식현황조사에 관한 고시’에서 제시된 방법으로 실제 경사도를 측정하였다.

총 세 유역 내에 위치한 경작지의 경사도를 측정하기 위해 GPS 측량기를 사용하여 경사도를 측정하는 것이 가장 확실한 방법이다. 하지만 대상유역인 해안면 유역과 자운리 유역, 반변천 상류유역 내에 위치한 경작지의 모든 경사도를 측정하기에는 시간 및 비용 상의 한계가 있다. 따라서 실제 측량을 통해 경사도를 측정하는 방법을 대체할 수 있는 방법인 Google Earth를 사용하여 경작지의 경사도를 측정하였다. 하지만 기존에 시행되었던 연구들 중 Google Earth를 활용하여 경사도를 측정한 연구는 전무하여 신뢰성 검증이 되어있지 않다. 따라서 본 연구에서는 Google Earth를 사용하여 측정된 경사도의 신뢰성을 검증하기

위해 각 구역 내 위치한 경작지 중 무작위로 선정한 구역 별 40개의 경작지에 대한 실제 경사도를 측정한 뒤 Google Earth를 사용하여 측정한 동일 경작지의 경사도와의 오차범위를 확인하였다.

선정된 경작지의 최대고도와 최저고도를 측정한 뒤 경사도를 산정하기 위해서는 측정된 두 점간의 고도 차와 투영거리가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 GPS 측량기를 통해 측정지점의 x, y, z좌표를 측정한 뒤 고도 차를 산정하고, GIS를 이용하여 해당 경작지의 투영거리를 산정하였다. 측정된 결과를 토대로 아래 (1)을 적용하여 해당 경작지의 경사도를 산정하였다.

$$Slope(\%) = \frac{\text{Difference of Elevation}}{\text{Projection distance}} \times 100 \quad (1)$$

### 2.2.3 구역 내 경작지의 경작현황 조사

실제 경작지에 적용되는 관리방법과 경운방법, 작물 등에 따라 발생하는 토양유실량에는 차이가 나타나기도 한다. 국립농업과학원(2010)의 연구결과에 따르면 경작지의 멀칭 유무에 따라 발생하는 토양유실량이 다르며, 작물의 수확량 증대를 위해 경운방법을 달리함에 따라 발생하는 토양유실량은 차이가 큰 것으로 연구되었다. 따라서 본 연구에서는 실제 구역에서 적용되고 있는 경작현황과 관리방법, 경운방법 등에 대한 정보를 구축하기 위해 실제 경작지를 방문하여 전수조사를 실시하였다. 경작지에서 경작되고 있는 작물에 대해서는 유역을 방문하여 조사를 실시한 날짜를 기점으로 조사를 진행하였으며, 작물에 따른 관리방법(비닐멀칭 유무)과 경운방법(등고선 및 상하경 적용 여부)을 조사하였다. 반변천 상류 유역과 해안면 유역은 초여름부터 초가을까지에 대한 조사를 진행하였으며, 자운리 유역의 경우 마지막 수확을 하는 가을기간에 조사를 진행하였다.

## 2.3 경사도와 경작방법을 복합적으로 고려한 P factor 산정

기존 USLE P factor에서는 구역 내 위치하는 경작지가 동일한 경사도에 다른 관리방법을 적용하여 경작되고 있으면 각기 다른 P factor를 선정해야 한다. 하지만 국내의 '표토식집현황조사에 관한 고시'에 명시된 P factor에는 오직 경사도만을 고려한 값을 선정하는 한계점이 존재하게 된다. 따라서 이러한 한계점을 보완하기 위해 본 연구에서는 경작현황과 경사도를 고려한 P factor를 제안하였다.

경작현황과 경사도를 고려한 P factor를 제안하기 위해 우선적으로 각 구역 내 위치한 경작지를 동일한 범위의 경사도별로 구분하였다. 분류된 경사도별 경작지를 동일한 작물, 관리방법, 경운방법 등을 기준으로 분류하였다. 분류된 경작지의 대표 P factor를 제안하기 위해 분류된 경작지의 면적에 대한 가중치를 부여하여 대표 P factor를 산정하였다. 경작지의 가중치를 부여하기 위해 사용된 식은 (2)를 사용하였다.

$$Pfactor = \frac{(\text{Extent of same field} \times Pfactor) + (\text{Extent of another same field} \times Pfactor)}{\text{Total extent of field}} \quad (2)$$

Table 1. P factors of conservation practice in Korea (Jung, 2004)

Conservation practice			P factor
Contour	Normal		0.54
	High ridge		0.25
	Subsoiling		0.32
Mulching of furrow	Contour	Rice straw	0.14
		Stump	0.21
	Vertical	Rice straw	0.32
Vinyl mulching of ridge	Contour		0.29
	Vertical		0.85
Contour terrace			0.08
Terrace channel			0.10
Gravel band			0.15
Grass Band			0.16

분류된 경작지에 P factor를 부여하기 위해 사용된 값은 Jung(2004)이 제안한 P factor를 사용하였다(Table 1). 해당 값들은 국내의 경작지에서 시행되는 관리방법과 작물에 따른 경작방법에 대한 값으로 구성되어 있다. 이와 같은 값들을 분류된 경작지에 적용한 뒤 가중치를 부여하여 경작지의 경작방법과 경사도를 복합적으로 고려한 USLE P factor를 산정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 대상 유역의 경작지 조사 결과

#### 3.1.1 구역 내 경작지 데이터 구축 결과

구역 내 경작지 DB를 구축한 결과, 강원도 양구군 해안면 유역에 위치한 총 경작지의 수는 총 4,192개로 확인되었으며, 해안면 유역의 지리적 특성상 유역 중앙에 밀집되어 있는 형태를 보이고 있었다. 또한 강원도 홍천군 내면에 위치한 자운리 유역의 경우 유역 내 위치한 경작지의 수는 671개로 구성되어 있는 것으로 확인되었다. 자운리 유역의 경작지는 자운천 주변으로 밀집되어 있는 것을 확인하였으며, 다수의 경작지가 산지를 개간하여 경작지로 사용되고 있는 것을 확인하였다. 안동시 임동면 반변천 상류 유역의 경우 총 1,147개의 경작지가 유역 내 위치하고 있는 것을 확인하였으며, 자운리 유역과 유사하게 반변천 중심으로 경작지가 밀집되어 있는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 2).

#### 3.1.2 Google Earth를 이용한 경사도 측정 결과

대상 유역 내 경작지의 경사도를 측정하기 위해 사용된 Google Earth의 신뢰성 검증을 위해 동일한 경작지의 실제 경사도와 Google Earth를 사용하여 측정한 경사도간의 차이를 분석하였다(Fig 3). 분석결과 Google Earth를 기반으로 측정한 경작지의

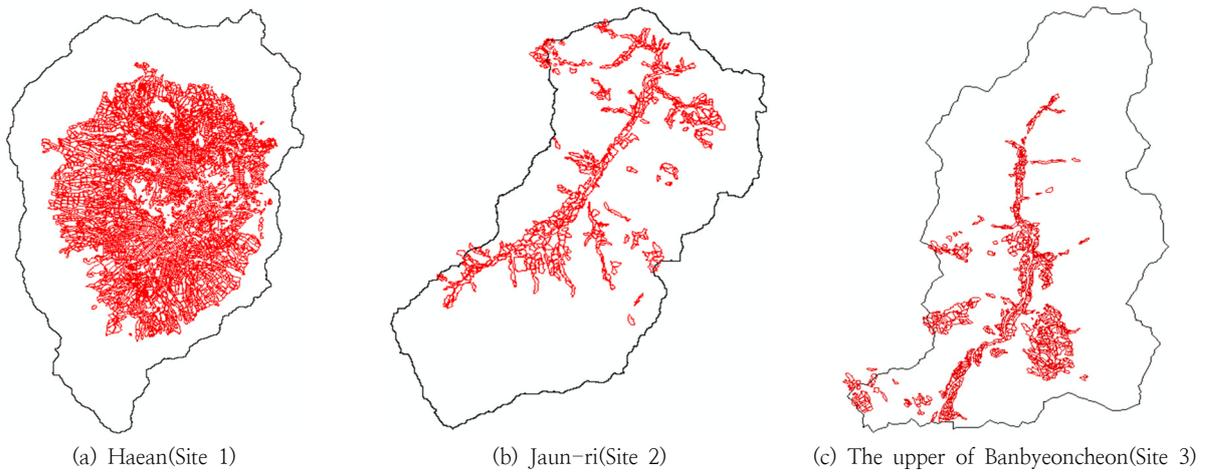
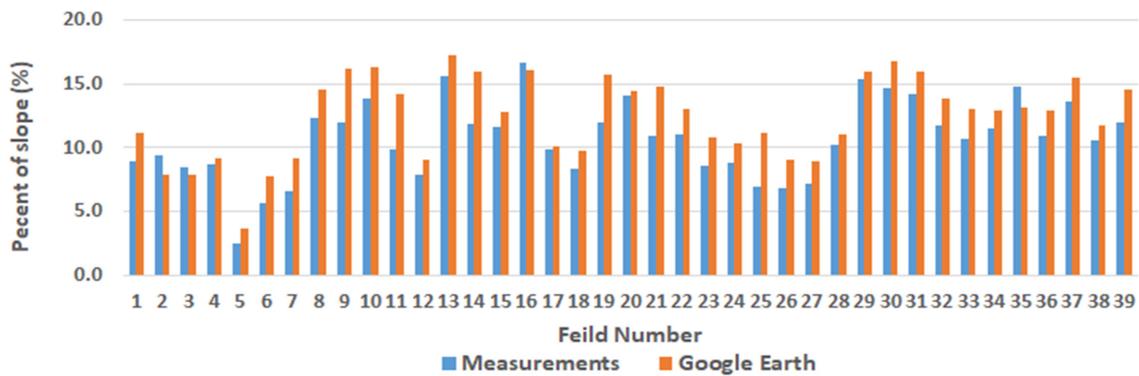
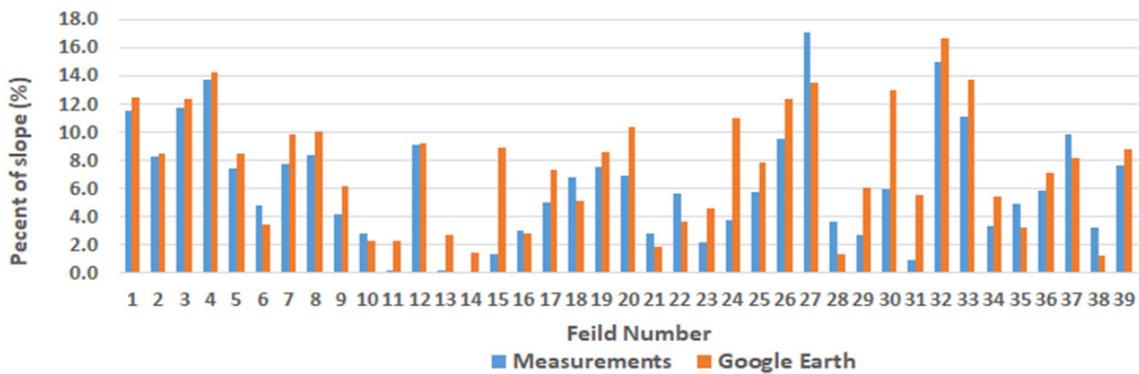


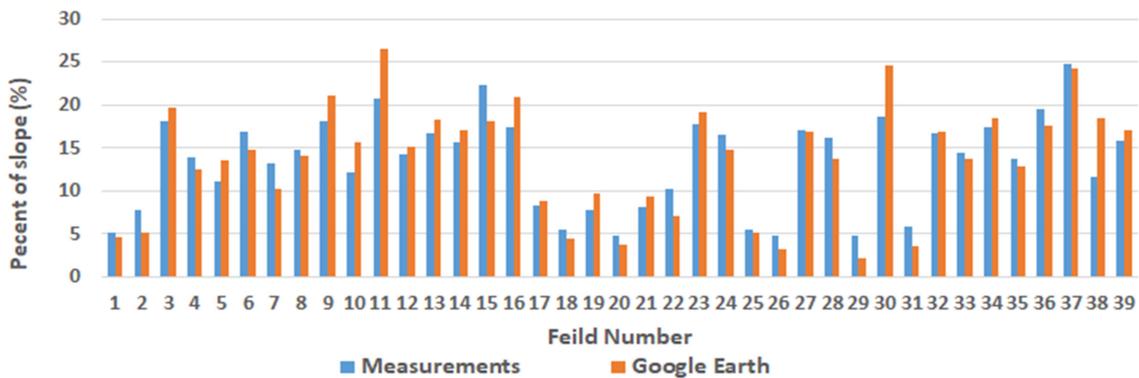
Fig. 2. Agriculture land in the study areas



(a) Haeon(Site 1)



(b) Jaun-ri(Site 2)



(c) The upper of Banbyeoncheon(Site 3)

Fig. 3. Comparisons of measured and Google Earth based slopes for selected feilds

경사도와 동일한 경작지를 실측한 경사도간의 오차범위를  $\pm 2\%$  내의 경사도를 가지는 경작지가 각 구역 별 80% 이상 일치하는 것을 확인하였다. 따라서 본 연구에서 경작지의 경사도를 측정하기 위해 사용한 Google Earth의 측정값이 신뢰도가 높은 방법이라는 것을 확인했다.

Google Earth를 사용하여 경작지의 경사도를 측정해본 결과 양구군 해안면 구역의 경우 구역 내 경작지의 평균 경사도는 약 21%로 측정되었으며, 다수의 경작지 경사도는 8~16%로 측정되었다. 홍천군 자운리 구역의 경우 구역 내 경작지의 평균 경사도는 약 12%로 측정되었으며, 다수의 경작지의 경사도는 8~13%로 측정되었다. 반변천 상류구역의 경우 구역 내 경작지의 평균 경사도는 약 13%로 측정되었으며, 다수의 경작지가 7~13%의 경사도를 가지고 있는 것으로 측정되었다.

3.1.3 대상 구역의 경작현황 조사 결과

대상 구역의 경작현황을 조사한 결과(Fig. 4), 양구군 해안면 구역의 경우 실제 경작지를 방문하여 조사를 진행한 기간이 초여름에 진행됨에 있어 전체 경작지의 74%가 고랭지 작물인 감자를 경작하고 있는 것으로 확인되었다. 또한 지리적 특성으로 인해 경작지의 68%가 등고선 경작방법을 적용하여 경작하는 것으로 확인되었다. 또한 경작지에 적용된 관리방법 중 57%가 비닐 멀칭을 적용하여 작물을 경작하는 것으로 확인되었다.

홍천군 자운리 구역의 경우, 조사기간이 가을에 진행됨에 있어 전체 경작지의 63%가 대표적인 고랭지 작물인 무를 재배하는 것으로 확인되었다. 또한 작물의 수율을 높이기 위해 적용된 관리방법은 비닐멀칭으로 전체 경작지의 98%에 적용된 것을 확

인하였으며, 지리적 특성으로 인해 다수의 경작지가 등고선 경작 방법을 적용하여 경작하는 것으로 확인되었다.

안동시 반변천 상류 구역의 경우, 구역 내 대부분의 경작지가 사과와 블루베리 등 과수를 경작하는 과수원으로 구성되어 있는 것을 확인하였다. 하지만 본 연구에서는 밭에 대한 USLE P factor를 제안하였으므로 과수원을 제외한 경작지에 대한 조사를 진행하였다. 구역 내 위치한 경작지에서 재배되는 작물은 크게 분포되어 있었으며 주로 고추, 깨, 통 등을 경작하는 것으로 확인되었다. 전체 경작지 중 74%가 등고선 경작방법을 적용한 것으로 확인되었으며, 전체 경작지 중 93%의 경작지에서 비닐 멀칭을 적용하여 경작하는 것으로 확인되었다.

양구 해안면 구역과 홍천 자운리 구역의 경우 지리적 여건과 기후적 조건이 흡사한 구역이므로 조사기간에 상관없이 고랭지 작물인 감자와 무가 경작되는 것을 확인하였다. 하지만 지역의 경운 방법이 다르게 적용되어 작물을 경작하고 있어 서로 상이한 USLE P factor를 적용해야 하는 것으로 확인되었다. 또한 안동시 반변천 상류 구역은 대상 구역 중 고추재배를 적용한 경작지의 비율이 높아 조사된 타 구역보다는 낮은 P factor를 산정하게 되었다.

3.2 경사도와 경작방법을 복합적으로 고려한 P factor 산정

본 연구를 통해 제안된 USLE P factor는 ‘표토침식현황조사에 관한 고시’에서 명시된 경사도만을 고려한 P factor와는 다르게 경사도와 함께 경작현황을 복합적으로 고려한 P factor를 제안하였다(Table 2~4).

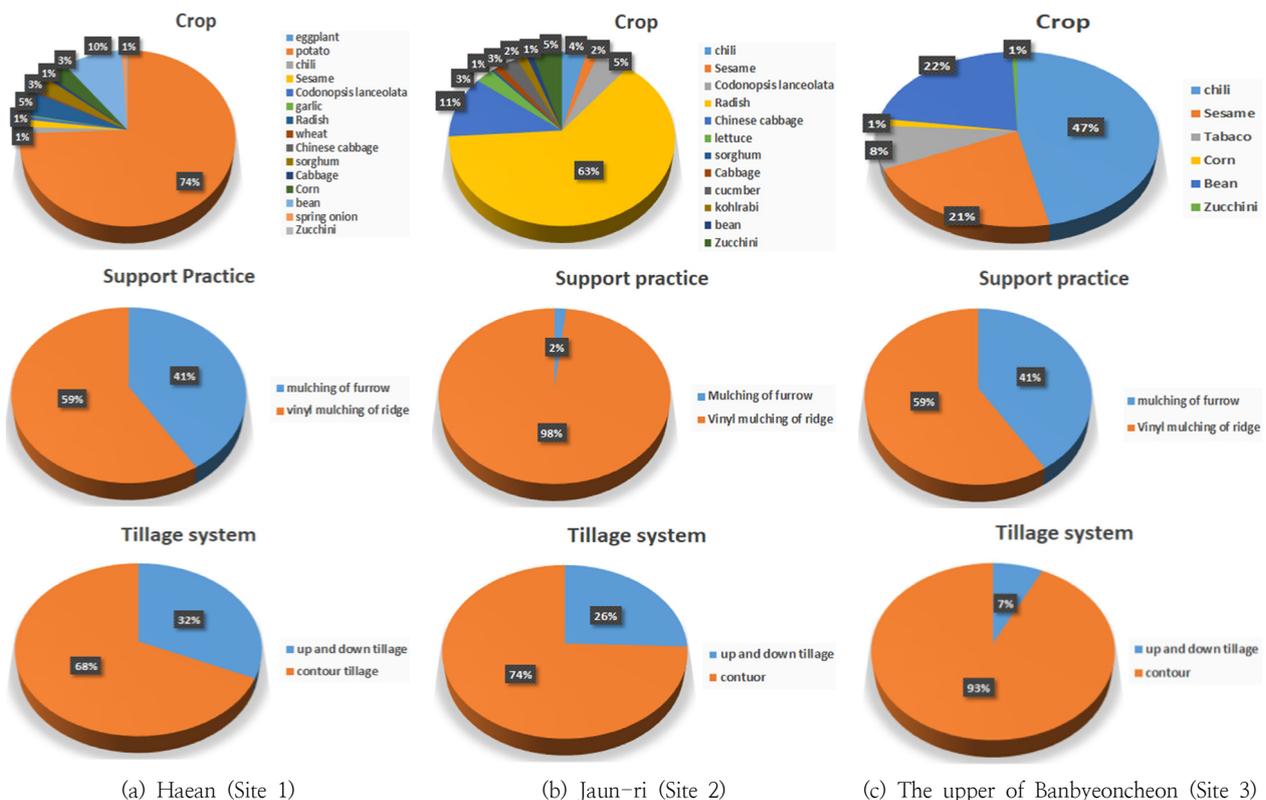


Fig. 8. Results of farming survey(crop, Tillage system, and Support practice) for three study areas

Table 2. Modified USLE P factor according to management plan in Haeon

slope (%)	Original P factor	Tillage system	Modified P factor	Crops	Modified P factor	Support practice	Modified P factor
0~2	0.67	contour	0.31	Root vegetables	0.32	Vinyl mulching of ridge	0.305
						Mulching of furrow	0.32
				leaf and stem vegetable	0.285	Vinyl mulching of ridge	0.27
						Mulching of furrow	0.285
		up and down	0.86			Vinyl mulching of ridge	0.85
						Mulching of furrow	1
3~8	0.46	contour	0.30	Root vegetables	0.320	Vinyl mulching of ridge	0.305
						Mulching of furrow	0.32
				leaf and stem vegetable	0.285	Vinyl mulching of ridge	0.27
						Mulching of furrow	0.285
		up and down	0.85			Vinyl mulching of ridge	0.85
						Mulching of furrow	1
9~12	0.486	contour	0.30	Root vegetables	0.305	Vinyl mulching of ridge	0.305
						Mulching of furrow	0.32
				leaf and stem vegetable	0.27	Vinyl mulching of ridge	0.305
						Mulching of furrow	0.32
		up and down	0.85			Vinyl mulching of ridge	0.85
						Mulching of furrow	1
13~16	0.540	contour	0.30	Root vegetables	0.305	Vinyl mulching of ridge	0.305
						Mulching of furrow	0.32
				leaf and stem vegetable	0.27	Vinyl mulching of ridge	0.27
						Mulching of furrow	0.32
		up and down	0.85			Vinyl mulching of ridge	0.85
						Mulching of furrow	1
17~20	0.593	contour	0.30	Root vegetables	0.305	Vinyl mulching of ridge	0.305
						Mulching of furrow	0.32
				leaf and stem vegetable	0.27	Vinyl mulching of ridge	0.27
						Mulching of furrow	0.32
		up and down	0.85			Vinyl mulching of ridge	0.85
						Mulching of furrow	1
21~	0.645	contour	0.34	Root vegetables	0.305	Vinyl mulching of ridge	0.305
						Mulching of furrow	0.32
				leaf and stem vegetable	0.305	Vinyl mulching of ridge	0.305
						Mulching of furrow	0.32
		up and down	0.89			Vinyl mulching of ridge	0.85
						Mulching of furrow	1

본 연구를 통해 새로 재 산정된 P factor는 기존 P factor와 동일한 조건을 가지도록 구성하였다. 재 산정된 P factor는 실제 경작지를 방문할 때 확인가능한 관리방법, 경운방법, 작물을 고려한 조건을 제시하였다. 또한 실제 유역방문을 하지 않았을 때 P factor를 선정할 수 있도록 유역특성 중 경사도만을 이용하여

P factor를 선정할 수 있도록 제안하였다.

P factor를 재 산정하여 제안한 결과, 양구군 해안면 유역의 경우 낮은 경사도로 이루어진 경작지의 형태는 상하로 길게 형성되어 있어 경운방법이 주로 상하경을 적용하여 재배하고 있었다. 따라서 0~2%의 경사도를 가지는 경작지의 P factor가 다른 경

Table 3. Modified USLE P factor according to management plan in Jaun-ri

slope (%)	Original P factor	Tillage system	Modified P factor	Crops	Modified P factor	Support practice	Modified P factor
0~2	0.502	contour	0.299	Root vegetables	0.305	Vinyl mulching of ridge	0.305
						Mulching of furrow	0.32
				leaf and stem vegetable	0.27	Vinyl mulching of ridge	0.27
						Mulching of furrow	0.32
		up and down	0.850			Vinyl mulching of ridge	0.85
						Mulching of furrow	1
3~8	0.503	contour	0.298	Root vegetables	0.305	Vinyl mulching of ridge	0.305
						Mulching of furrow	0.32
				leaf and stem vegetable	0.27	Vinyl mulching of ridge	0.27
						Mulching of furrow	0.32
		up and down	0.850			Vinyl mulching of ridge	0.85
						Mulching of furrow	1
9~12	0.501	contour	0.299	Root vegetables	0.305	Vinyl mulching of ridge	0.305
						Mulching of furrow	0.32
				leaf and stem vegetable	0.27	Vinyl mulching of ridge	0.27
						Mulching of furrow	0.32
		up and down	0.850			Vinyl mulching of ridge	0.85
						Mulching of furrow	1
13~16	0.602	contour	0.300	Root vegetables	0.305	Vinyl mulching of ridge	0.305
						Mulching of furrow	0.32
				leaf and stem vegetable	0.27	Vinyl mulching of ridge	0.27
						Mulching of furrow	0.32
		up and down	0.850			Vinyl mulching of ridge	0.85
						Mulching of furrow	1
17~20	0.573	contour	0.300	Root vegetables	0.305	Vinyl mulching of ridge	0.305
						Mulching of furrow	0.32
				leaf and stem vegetable	0.27	Vinyl mulching of ridge	0.27
						Mulching of furrow	0.32
		up and down	0.850			Vinyl mulching of ridge	0.85
						Mulching of furrow	1
21~	0.692	contour	0.293	Root vegetables	0.305	Vinyl mulching of ridge	0.305
						Mulching of furrow	0.32
				leaf and stem vegetable	0.27	Vinyl mulching of ridge	0.27
						Mulching of furrow	0.32
		up and down	0.850			Vinyl mulching of ridge	0.85
						Mulching of furrow	1

사도 조건의 경작지보다 다소 높은 P factor로 산정이 되어 타 지역의 경사도 0~2%를 가지는 경작지에 비해 높은 P factor가 산정되었다. 또한 타 지역에 비해 근채류의 작물을 경작하는 비율이 높아 심토경운에 따른 재배형태가 이루어지고 있어 P factor의 값이 높게 재 산정되었다.

홍천군 자운리 유역의 경우, 산지를 개간하여 경작이 이루어지고 있고 좁은 폭의 경작지가 위치하고 있어 해안면 유역의 경작지와 같이 상하경을 주로 적용하여 작물을 재배하고 있었다. 따라서 13~16%의 경사도를 가지는 경작지의 P factor가 17~20%의 경사도로 구성된 경작지의 P factor보다 높게 재

Table 4. Modified USLE P factor according to management plan in Jaun-ri

slope (%)	Original P factor	Tillage system	Modified P factor	Crops	Modified P factor	Support practice	Modified P factor
0~2	0.502	contour	0.299	Root vegetables	0.305	Vinyl mulching of ridge	0.305
						Mulching of furrow	0.32
				leaf and stem vegetable	0.27	Vinyl mulching of ridge	0.27
						Mulching of furrow	0.32
		up and down	0.850			Vinyl mulching of ridge	0.85
						Mulching of furrow	1
3~8	0.503	contour	0.298	Root vegetables	0.305	Vinyl mulching of ridge	0.305
						Mulching of furrow	0.32
				leaf and stem vegetable	0.27	Vinyl mulching of ridge	0.27
						Mulching of furrow	0.32
		up and down	0.850			Vinyl mulching of ridge	0.85
						Mulching of furrow	1
9~12	0.501	contour	0.299	Root vegetables	0.305	Vinyl mulching of ridge	0.305
						Mulching of furrow	0.32
				leaf and stem vegetable	0.27	Vinyl mulching of ridge	0.27
						Mulching of furrow	0.32
		up and down	0.850			Vinyl mulching of ridge	0.85
						Mulching of furrow	1
13~16	0.602	contour	0.300	Root vegetables	0.305	Vinyl mulching of ridge	0.305
						Mulching of furrow	0.32
				leaf and stem vegetable	0.27	Vinyl mulching of ridge	0.27
						Mulching of furrow	0.32
		up and down	0.850			Vinyl mulching of ridge	0.85
						Mulching of furrow	1
17~20	0.573	contour	0.300	Root vegetables	0.305	Vinyl mulching of ridge	0.305
						Mulching of furrow	0.32
				leaf and stem vegetable	0.27	Vinyl mulching of ridge	0.27
						Mulching of furrow	0.32
		up and down	0.850			Vinyl mulching of ridge	0.85
						Mulching of furrow	1
21~	0.692	contour	0.293	Root vegetables	0.305	Vinyl mulching of ridge	0.305
						Mulching of furrow	0.32
				leaf and stem vegetable	0.27	Vinyl mulching of ridge	0.27
						Mulching of furrow	0.32
		up and down	0.850			Vinyl mulching of ridge	0.85
						Mulching of furrow	1

산정되었다.

안동시 반변천 상류 유역의 경우, 대부분 등고선 경작을 적용한 경작지가 고르게 분포되어 있어 재 산정된 P factor가 경사도의 증가에 따라 P factor 또한 증가하는 것으로 확인되었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 토양유실량 산정 시 사용되는 대표적인 모형인 USLE공식의 구성인자 중 P factor의 적용상의 한계점을 확인하고 국내의 경작현황을 복합적으로 고려한 USLE P factor를 제

산정하여 제안하였다. 이를 위해 강원도 양구군 해안면 유역과 홍천군 자운리 유역, 안동시 임동면 반변천 상류 유역에 위치하고 있는 경작지에 대한 현장조사를 진행하여 경작지의 경작형태 및 경사도를 조사하여 구축한 정보를 토대로 USLE P factor를 제안하였다.

총 세 유역 내에 위치한 약 6,000여개의 경작지를 대상으로 조사를 진행한 결과 경사도만을 고려하여 경작지에서 발생하는 토양유실을 평가하기에는 경운방법 및 작물, 관리방법에 의해 발생하는 토양유실량에 대한 차이가 발생하는 것을 확인하였으며, 경작지 내 적용되는 경작현황이 다양함에 따른 USLE P factor의 재 산정이 필요함을 확인하였다.

해안면 유역과 자운리 유역은 지리적 여건과 경작되는 작물의 종류가 유사함에도 불구하고 해안면 유역의 경작지에서 적용되는 경운방법의 차이로 인해 USLE P factor의 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 경사도 0~2% 경작지에 대해 산정된 P factor는 해안면 유역의 경우 0.67로 재 산정 되었지만 자운리 유역의 경우 0.502로 재 산정되었다. 이러한 차이는 동일한 경사도와 작물을 경작한다 하더라도 경운방법의 차이로 인해 토양유실량 산정 결과에 영향을 미치게 된다. 또한 경작지의 지리적 특성으로 인해 경작되는 작물의 종류가 차이가 생기기 때문에 다른 USLE P factor가 적용됨에 있어 구축된 정보를 기반으로 USLE P factor의 재산정이 요구된다. 또한 대상유역이 일부 지역에 국한되어 있어 향후 추가적인 대표유역을 선정 후 P factor 산정이 요구된다.

본 연구를 통해 제안된 USLE P factor는 실제 경작지의 조사를 통해 구축된 관리방안, 경운방법, 작물정보를 기반으로 제안된 값이므로 유역 내 위치하고 있는 경작지의 특성을 복합적으로 고려한 P factor로 판단된다. 또한 정확한 토양유실량 산정으로 인해 토양유실저감시설 설계 시 기초자료로 신뢰성이 높아질 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 토양유실로 인해 발생되고 있는 심각한 환경문제에 대한 대책마련에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 사 사

2016년도 강원대학교 대학회계 학술연구조성비로 연구하였음(관리번호-520160081)

## References

- Choi, J. W., Hyun, G. W., Lee, J. W., Shin, D. S., Kim, K. S., Park, Y. S., Kim, J. G., Lim, K. J. (2009). Evaluation of Sediment Yield Prediction and Estimation of Sediment Yield under Various Slope Scenarios at Jawoon-ri using WEPP Watershed Model. *Journal of Korean Society on Water Quality*. 25(3). pp.441-451. [Korean Literature]
- Goldman, S.J., K. Jackson, and T.A. Bursztynsky. (1986). *Erosion and Sediment Control Handbook*, Mc-Graw Hill, pp.5.1-5.32. [American Literature]
- Ho, C. H., Kang, I. S. (1988). The Variability of Precipitation in Korea. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*. 24(1). pp.38~97. [Korean Literature]
- Hyun, B. K., Kim, M. S., Eom, K. C., Kang, K. K., Yun, H. B., Seo, M. C., Sung, K. S. (2002). Evaluation on national environmental functionality of farming on soil loss using the USLE and replacement cost method. *Korean Society of soil science and fertilizer*(6). pp. 361-371. [Korean Literature]
- 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 Journal of Soil Science and Fertilizer*. 37(4). pp 199-206. [Korean Literature]
- Kang, H. W., Park, Y. S., Kim, N. W., Ok, Y. S., Jang, W. S., Ryu, J. C., Kim, K. S., Lim, K. J. (2010). Development and Application of Integrated System with SATEEC, nLSand USPED for Gully Erosion Evaluation. *Journal of Korean Society on Water Environment*. 26(4). pp. 637-347. [Korean Literature]
- Kim, D. I., (2012). The alternative analysis of the basin turbidity reduction Effects on The Reservoir and Downstream River. Ph.D. diss., Sangju-si, Gyeongsangbuk-do: Kyungpook National University (in Korean). [Korean Literature]
- Ministry of Environment (2012). Notification on investigation of erosion status of topsoil. [Korean Literature]
- National Institute of Environment Research (2012). Research topsoil erosion survey and prepare a comprehensive conservation measures National Institute of Environment Research. pp. 27-80. [Korean Literature]
- Park, Y. S., Kim, J. G., Park, J. H., Jeon, J. H., Choi, D. H., Kim, T. D., Choi, J. D., Ahn, J. H., Kim, K. S., Lim, K. J. (2007). Evaluation of SWAT Applicability to Simulation of Sediment Behaviors at the Imha-Dam Watershed. *Journal of Korean Society on Water Quality*. 23(4). pp. 467-473. [Korean Literature]
- Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. A Guide to Conservation Planning. The USDA Agricultural Handbook No.537.
- Yu, S. H., Kim, J. S., Shin, M. J., Lee, J. E., Seo, E. W. (2009). Effect of Muddy Water on the Fishes in Imha Reservoir. *Journal of Life Science*. 19(10). pp 1410~1416. [Korean Literature] DOI : <https://doi.org/10.5352/jls.2009.19.8.1112>.