



현장조사를 통한 4대강 유역의 보전관리인자 산정 연구

A Study to Define USLE P Factor from Field Survey in the Four Major Watersheds

유나영* · 신민환** · 서지연*** · 박윤식* · 김종건****,†

Yu, Nayoung · Shin, Minhwan · Seo, Jiyeon · Park, Youn Shik · Kim, Jonggun

Abstract

Universal soil loss equation (USLE) had been employed to estimate potential soil loss since it was developed from the statewide data measured and collected in the United States. The equation had an origin in average annual soil loss estimation though, it was modified or improved to provide better opportunities of soil loss estimation outside the United States. The equation has five factors, most studies modifying them to adapt regional status were focused on rainfall erosivity factor and cover management factor. While the conservation practice factor (USLE P factor) is to represent distinct features in agricultural fields, it is challenging to find studies regarding the factor improvements. Moreover, the factor is typically defined using slopes. The factor defining approach was suggested in the study, the approach is a step-by-step method allowing USLE P factor definition with given condition. The minimum condition is slope and field location to provide an opportunity for using in any GIS software and to reflect regionally distinct features. If watershed location, slope, crop type, and mulching type on furrows are given, detailed definition of the factors are possible. The approach was developed from field survey in South-Korea, it is expected to be used for potential soil loss using USLE in South-Korea.

Keywords: GIS; field survey; P factor; soil erosion; USLE

1. 서론

토양 유실은 전 세계적으로 가장 중요한 환경적 문제 중의 하나이며, 토양구조의 파괴, 유기물의 손실, 경작 가능한 토심의 깊이 절감 등 다양한 부정적 영향을 유발한다. 최근에는 다양한 지구 물리학적 특징과 토양 침식 과정의 연관성을 이해하고 토양 유실에 대한 적절한 대안 관리 기법 및 시나리오 분석을 위해 범용토양유실공식 (Universal Soil Loss Equation; USLE) 기반의 모형이 광범위하게 활용되고 있다. 그러나 다양한 토지이용에 대한 범용토양유실공식의 유용성이 검증되었음에도 불구하고, 모형의 매개변수 산정 및 계산 능력 면에서 간소화에 대한 요구가 계속되고 있는 실정이다. 특히, 인구 증가나 산업 기술의 발달로 자원 수요가 증가하고, 경작지에서의 과도한 시비 및 관개활동, 산불 등과 같은 이유로 지나치

게 토양유실이 발생하고 있다.

범용토양유실공식을 구성하는 다섯 인자 중 보전관리인자 (Conservation practice factor; USLE P factor)는 계산이 아닌 경작지의 환경조건 및 관리방법에 따라 그 값이 결정되도록 구성 되어있다. 1978년에 발간된 ‘Predicting rainfall erosion losses. A Guide to Conservation Planning’에 따르면 경작지에 적용되는 관리방법인 등고선방법과 등고선 대상재배, 계단재배 등으로 분류하여 각 관리방법에 맞는 보전관리인자를 제안하였다 (Wischmeier and Smith, 1978). 국내에서는 유실된 토양의 가치를 인정하고 보호하기 위해 2012년 7월 토양환경보전법 제6조의2 및 동법 시행규칙 제5조의2 규정에 따라 “표토의 침식 현황 조사에 관한 고시”를 제정하였다 (Ministry of Environment, 2012). 해당 고시는 토양의 침식 현황조사 시 범용토양유실공식에 기반한 예비조사방법과 현장조사방법을 제시하고 있다. 이에 따라 많은 토양 유실관련 연구에서는 범용토양유실공식을 사용하여 토양유실량을 산정하고 있다 (Park et al., 2010; Park et al., 2014).

보전관리인자는 등고선 경작 (contouring), 등고선 대상재배 (contour strip cropping), 등고선 단구효과, 지표 하 배수, 건조한 경작지의 조도 효과를 평가하기 위해서 사용된다. 밭에서 고랑이 경사와 같은 방향을 이루는 상하경 (up and downhill culture)에 의한 토양유실량을 기준으로 침식조절관행에 따른 토양유실량의 비를 나타내는 무차원수이다. 침식조절관행에는 등고선경작, 등고선 대상재배, 테라스 등고선경작 (terracing)

* Rural construction Engineering, Konju National University
** Korea Water Environment Research Institute
*** National Institute of Environmental Research
**** Department of Regional Infrastructures Engineering, Kangwon National University
† Corresponding author
Tel.: +82-33-250-6468 Fax: +82-33-259-5560
E-mail: kimjg23@gmail.com

Received: December 4, 2017

Revised: December 20, 2017

Accepted: December 26, 2017

등이 있으며, 강우, 토양, 지형 등의 조건이 동일하고, 토양유실방지만을 위해서 경작하는 작물의 종류나 작부체계를 바꾼다는 것이 어렵다는 점을 고려한다면 토양유실량을 줄일 수 있는 중요한 요소 중 하나로 여겨진다. 하지만 보통의 경우에는 보전관리인자를 간접적으로 정의하기 위해 경사도를 이용하고 있다 (Park et al., 2010). 또한 실제 경사도가 아닌 수치지도를 통해 얻어낸 경사도를 사용하여 해당 경작지의 보전관리인자를 선정하고 있다. 이는 범용토양유실공식에서 제시된 조건을 고려하지 않았기 때문에 정확한 유실량을 평가하기에는 한계점이 존재하게 된다. 또한 실제 경작지는 작물의 생산량과 함께 상품성을 높이기 위한 벚짚피복이나 비닐멀칭 등 복합적인 관리방법을 적용하고 있으므로 현재 사용되는 보전관리인자를 사용하기에는 문제가 있다. 따라서 이러한 문제점들을 고려하여 경작지의 경사도와 관리방안을 복합적으로 고려한 보전관리인자 선정 방안이 필요하다.

Jung et al. (2004)은 한국의 경작지에 대해서 작물의 종류, 고랑의 방향, 멀칭 유무의 세 가지 조건에 의해 보전관리인자를 산정할 수 있는 방법을 제시하였다. 이 방법은 현장조사가 가능할 정도의 유역 규모일 경우에는 적용이 가능하지만, 유역의 크기가 일정 범위를 넘을 경우 모든 경작지에 대한 현장조사가 수행되기에는 한계가 있다. 즉, Jung et al. (2004)등에 의해 제안된 방법을 광범위한 지역의 경작지에 적용할 수 있는 방안이 필요하다.

따라서 본 연구의 목적은 4대강 유역별 대표지점에 대해 지역별 작물 경작방법 경향과 같은 특수성을 고려하여 GIS에서 산정할 수 있는 경사도를 결정하는데 있다. 또한, 대상 지역의 경작지들에 대해 현장조사를 통해 Jung et al. (2004)등에 의한 보전관리인자를 산정한 뒤, 이를 경사도 조건에 따라 재분류함으로써 임의 지점에 대해서 유역과 경사도를 반영한 보전관리인자를 산정하는데 있다.

II. 방 법

1. 연구대상지역

현장조사를 통해 보전관리인자를 산정하기 위해 4대강 유역별 대표지점을 선정하였다. 한강 유역은 비점오염원 관리지역으로 고시된 지역인 강원도 양구군 해안면과 강원도 홍천군 내면 자운리 유역을 선정하였으며, 낙동강 유역은 흙탕물 발생 빈도가 높은 임하호 유역 내 경작지 경사도 구성이 가파른 경북 안동시 임동면 대곡리의 반변천 상류유역을 선정하였다. 금강유역과 영산강 유역은 경작지, 특히 논보다 밭의 비율이 높고, 수질오염이 문제되었던 금강의 미호 A2 유역과 영산강 유역의 중류인 봉황천 유역을 선정하여 조사하였다.

선정된 4대강 유역을 대상으로 23개의 세분류 분류항목으로 토지이용도를 분석한 결과 4대강 대표지점 중 낙동강 유역이 23,690 km²으로 가장 큰 면적인 것으로 나타났으며, 산림지역이 67.4%, 농업지역이 16.9%를 차지하는 것으로 나타났다. 한강의 유역면적은 22,298 km²으로 나타났으며, 이중 산림이 71%, 농업지역이 12.8%를 차지하는 것으로 나타났다. 다음으로 금강과 섬진강 그리고 영산강 순으로 면적이 큰 것으로 나타났다. 영산강 유역은 농업지역이 차지하는 면적이 35.7%로 가장 큰 것으로 나타났다 (Table 1).

2. 대상유역의 경작지 조사

4대강 유역을 대상으로 현장조사 및 데이터 구축을 위해 1차 작업으로 수치지도를 이용하여 대상유역의 경작지를 추출하였으며, 2차 작업으로 경작지에 대한 디지털작업을 실시하였다 (Fig. 2). 디지털작업은 위성사진 및 항공사진을 이용하여 대상유역에 위치하는 경작지의 경계를 추출하기 위한 작업으로, 현장조사 시 필요한 정보 및 위치를 확인하기

Table 1 Landuses in the four major watersheds

	Guemgang	Hangang	Nakdonggang	Seomjingang	Youngsangang
Area (km ²)	9,903	22,298	23,690	4,903	3,473
Urban (%)	4.9	5.8	4.6	2.6	7.4
Agriculture (%)	25.5	12.8	16.9	19.5	35.7
(Paddy)	(12.9)	(4.0)	(7.5)	(10.5)	(21.3)
(Crop)	(10.1)	(7.5)	(5.4)	(7.3)	(10.9)
Forest (%)	57.9	71.0	67.4	68.1	45.4
Pasture (%)	6.0	5.1	5.8	5.1	5.0
Wetland (%)	1.5	0.8	1.3	1.3	1.4
Bare land (%)	1.9	2.2	2.2	1.2	1.8
Water (%)	2.3	2.3	1.8	2.2	3.3

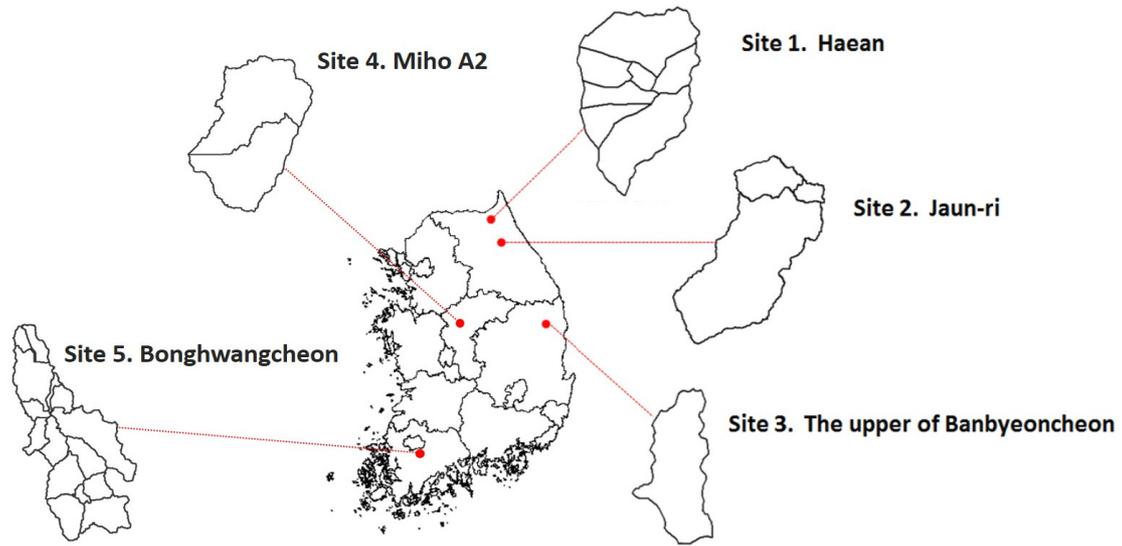


Fig. 1 Locations of the field survey watersheds



Fig. 2 Digitization of crop land images into GIS file format

위해 실시하였다. 각 필지별로 수치지도와 위성사진을 비교하여 경작지를 구분하였으며, 현장조사를 통해 수치지도와 위성사진의 경작지를 재확인하였다.

디지털라이징 작업을 위해 사용된 도구는 GNU General Public License 하에서 제공되는 사용자 친화적 오픈소스인 Quantum Geographical Information System (QGIS)를 사용하였다. QGIS를 이용하여 유역 내 경작지 데이터를 구축하기 위해 사용된 항공사진은 Google에서 제공해주는 항공사진을 이용하였다. 해당 항공사진은 2015년 3월에 측정된 사진으로서 유역 내 위치한 경작지의 현황 확인이 가능하였다. 디지털라이징 작업

은 유역 내 위치한 경작지의 경계를 Polygon 형태로 생성한 뒤 각 경작지 별 이름을 부여하여 DB 구축을 위한 기본자료를 생성하였다. 디지털라이징 작업이 완료된 후 실제 유역에서 이뤄지고 있는 경작현황에 대한 정보를 구축하기 위해 유역 내 위치하고 있는 경작지를 방문하여 작물의 종류와 영농관리방법에 대한 조사를 진행하였다. 조사기간은 각 유역별로 2년 동안(2015~2016) 작물이 재배되고 있는 6월부터 7월까지 실시하였으며, 각 경작지의 재배작물 종류, 비닐/벼짚 등의 멀칭 유무, 등고선 및 상하경 등의 고랑 방향 정보가 수집되었다. Kongju National University (2016)와 Sung (2016)에 의하면

현장에서 각각의 농경지에서 측정된 경사도와 디지털화된 농경지 GIS 자료를 Google Earth에서 불러온 뒤에 각각의 농경지에 대한 경사도를 추정하여 비교한 결과, 오차범위 2 % 이내 경작지가 80 % 이상이었기 때문에 본 연구에서는 각 경작지에 대한 경사도는 경작지 디지털이 된 농경지 자료와 Google Earth를 이용하여 산정하였다.

3. 경작현황 및 경사도를 고려한 보전관리인자

경작현황과 경사도를 고려한 보전관리인자를 산정하기 위해서는 우선적으로 동일한 조건을 가지는 경작지를 대상으로 구분해야 한다. 각 유역 별 동일한 범위의 경사도를 가지는 경작지별로 구분하였으며, 다시 동일한 작물, 동일한 관리방법을 적용한 경작지별로 구분하였다. 또한 각 분류 별 대표 보전관리인자를 산정하기 위해 경작지의 면적을 이용하여 면적가중치를 적용한 보전관리인자를 산정하였다. 경작지의 면적가중치를 적용하기 위해 사용된 식은 식 (1)과 같다.

$$P_{factor} = \frac{Extent\ of\ same\ field \times P_{factor}}{Total\ extent\ of\ feild} + \frac{Extent\ of\ another\ same\ feild \times P_{factor}}{Total\ extent\ of\ feild} \quad (1)$$

분류된 경작지에 보전관리인자를 정의하기 위해 사용된 값은 Jung et al. (2004) 등이 제안한 보전관리인자를 사용하였다(Table 2). 각 경작지에 경운, 벧짚이나 비닐 등의 멀칭에 따라 부여된 보전관리인자와 면적을 이용하여 상위 분류의 보전관리인자를 산정하였다. 산정된 보전관리인자에 동일한

조건을 가진 경작지의 총 면적 가중치를 주고, 면적이 더 넓은 경작지의 보전관리인자의 가중치를 높게 부여하여 경사도로 분류된 보전관리인자 값을 산정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 경작지 GIS 자료 구축 및 현장 조사

4대강 유역별 수치지도의 디지털이징 작업을 통해 대상 유역 내 필지별 작물과 영농방법, 경사도, 경사방향 등에 대한 경작지 데이터 정보를 구축하였다. 구축된 자료는 한강유역 양구군 해안면 4,192개 (Fig. 3 (a))와 홍천군 자운리 617개 (Fig. 3 (b)), 낙동강 유역은 반변천 상류 1,147개 (Fig. 3 (c)), 금강유역은 미호A2 유역 1,321개 (Fig. 3 (d)), 영산강유역은 봉황천 유역 487개 (Fig. 3 (e))로 총 7,764개의 필지 자료를 구축하였다.

필지별 경작지의 작물 및 영농방법을 조사하여 경작지에 대한 DB를 구축한 결과, 한강유역인 양구군 해안면의 경우 전체 경작지의 85 %가 고랭지 작물인 감자 등의 뿌리채소를 경작하고 있으며, 경작지의 69 %가 등고선방법, 그리고 54 %가 비닐멀칭을 적용하여 작물을 경작하고 있는 것으로 나타났다. 홍천군 자운리의 경우는 무 등의 뿌리채소가 전체 경작지의 78 %에서 경작되고, 전체 경작지의 99 %가 비닐멀칭을 적용하여 작물을 경작하고 있는 것으로 나타났다. 홍천군 자운리 유역의 특성상 경사장이 길고 좁은 형태인 상하경을 적용한 경작지가 23 %를 차지하고 있었으며, 이외의 경작지는 등고선 방법을 적용하여 작물을 경작하고 있었다.

낙동강 유역인 반변천 상류의 경우 경작하는 작물은 주로 고추와 깨, 콩 등을 경작하고 있었으며, 98 %가 엽경채류에 해당 하는 것으로 나타났다. 전체 경작지 중 90 %가 등고선 방법을 적용하여 경작하고, 94 %의 경작지에서 비닐멀칭을 적용하여 작물을 경작하고 있었다. 양구군 해안면과 홍천군 자운리는 기후조건이 비슷하여 감자와 무가 많이 재배되고 있으나, 경사도의 차이가 커서 경운방법이 다르게 적용되고 있는 것으로 나타났다.

금강유역인 미호A2 유역의 경우 등고선 방법과 상하경 방법이 59 %와 41 %로 나타났으며, 뿌리채소와 엽경채류가 49 %와 51 %로 고추나 깨, 인삼, 콩 등 다양한 작물이 재배되고 있는 것으로 나타났다. 경작지의 60 %가 비닐멀칭을 하고 재배 하는 것으로 나타나 멀칭을 이용한 피복 재배율이 홍천군 자운리보다 다소 적은 것으로 나타났다.

영산강 중류유역은 등고선 방법과 상하경 방법의 면적비율이 동일하였으며, 엽경채류의 작물이 85 %를 차지하는 것

Table 2 Definition of USLE P factor in South Korea

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	

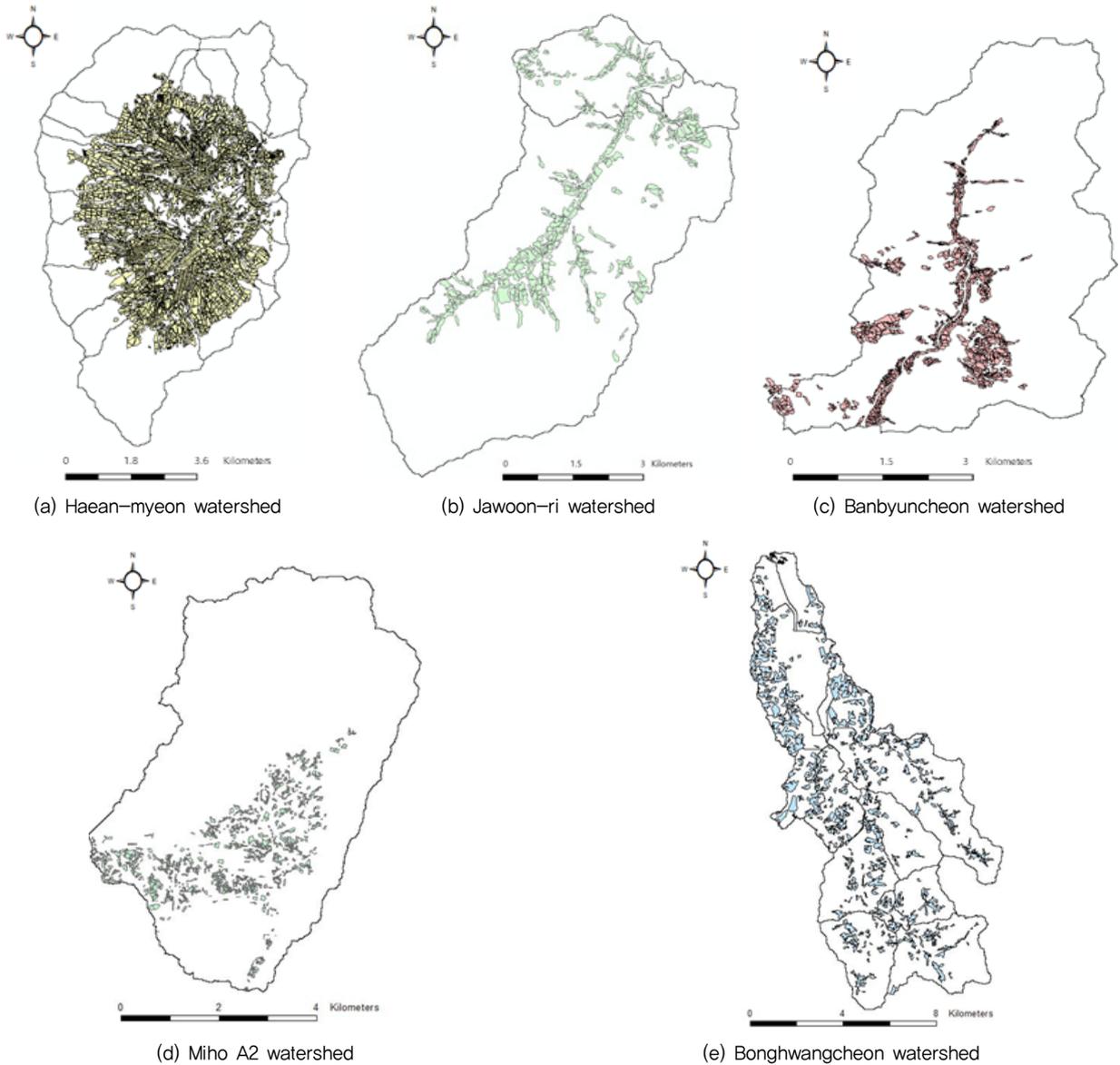


Fig. 3 Digitized crop land in watersheds

으로 나타났다. 이와같이 지역별로 경작방법이나 재배작물 그리고 작물에 따라 비닐멀칭 등을 이용하여 피복함으로써 보전관리인자에 영향을 주는 인자들이 지역마다 상이한 것으로 나타났다. 현장조사 결과에 대한 요약은 Table 3에서 보이는 바와 같으며, 각 유역별 경작현황 조사 결과는 웹페이지 (Kongju National University, 2016; <http://npslab.kongju.ac.kr/KORSLE/>)를 구축하여 상세한 결과가 제공될 수 있도록 하였다.

2. 유역별 및 경사도별 영농방법에 따른 보전관리인자 산정 결과

작물종류 및 영농방법에 의한 보전관리인자 정의를 위해 대상유역 내 각 필지를 경사도별로 구분하였다. 경사도는 Wischmeier and Smith (1978)에 분류한 기준에 의해서 0~3%, 3~9%, 9~13%, 13~17%, 17~21%, >21% 이상의 6단계로 구분하였다. 경사도별로 구분된 보전관리인자는 Jung et al. (2004)등에 제시된 값을 이용하여 작물종류 (뿌리작물과 입경작물)와 멀칭유무 (비닐멀칭, 볏짚멀칭, 나지상태 등)를

Table 3 Summary of field survey results

Site	Tillage system	Percent	Crops	Percent	Support practice	Percent
Haean-myeon watershed	contour	69%	Root vegetables	85%	normal	6%
	up and down	31%	leaf and stem vegetable	15%	Vinyl mulching of ridge	54%
					Mulching of furrow	40%
Jawoon-ri watershed	contour	77%	Root vegetables	78%	normal	0%
	up and down	23%	leaf and stem vegetable	22%	Vinyl mulching of ridge	99%
					Mulching of furrow	1%
Banbyuncheon watershed	contour	90%	Root vegetables	2%	normal	6%
	up and down	10%	leaf and stem vegetable	98%	Vinyl mulching of ridge	94%
					Mulching of furrow	0%
Miho A2 watershed	contour	59%	Root vegetables	49%	normal	22%
	up and down	41%	leaf and stem vegetable	51%	Vinyl mulching of ridge	60%
					Mulching of furrow	17%
Bonghwangcheon watershed	contour	50%	Root vegetables	15%	normal	28%
	up and down	50%	leaf and stem vegetable	85%	Vinyl mulching of ridge	71%
					Mulching of furrow	1%

구분한 보전관리인자를 다시 산정하면서, 식(1)에 의해서 멀칭의 형태(비닐멀칭과 벧짚멀칭)와 나지상태의 필지별 면적비를 고려하였다. 비닐멀칭의 경우 지표면이 비닐막으로 덮혀 벧짚멀칭에 비해 침투가 상대적으로 적기 때문에 벧짚멀칭이 토양유실 방지에 더 효과적이다(Park et al., 2015). 그리고 산정된 결과는 다시 경운방법(상하경과 평행경)에 따라 구분하였다(Table 4). 다시 말해, 보전관리인자는 농경지에 대한 정보인 등고선 재배 및 상하경 재배, 근채류 및 엽채류, 멀칭 유형의 세 단계에 의해 정의될 수 있으나(Jung et al., 2004), 큰 유역의 경우에는 유역 내 모든 농경지에 대해 이와 같은 정보를 수집하는 것에는 다소 무리가 있을 수 있다. 따라서 Sung (2016)은 농경지에 대해 주어진 정보에 따라 보전관리인자를 정의할 수 있는 방법을 제시하였다. 즉, 유역 내 각 농경지에 대한 정보의 세 단계에 따라 인자를 정의한 뒤(Jung et al., 2004)(Table 4, D1), 식(1)을 이용하여 농경지 면적 비율과 정의된 인자(D1)에 의해 첫 번째(등고선 재배 및 상하경 재배)와 두 번째 단계(근채류 및 엽채류)에 의한 인자를 정의(D2)하였다. 그리고 같은 방법으로, 식(1)을 이용하여 농경지 면적 비율과 D2 단계에서의 인자를 첫 번째 단계에 의해 인자에 대한 값(D3)을 정의하였다. 즉, 경사도에 의해 각 농경지를 분류한 뒤, 주어진 정보의 단계의 정도와 농경지의 면적 비율에 의해 순차적으로 보전관리인자를 정의하였다(Table 4, D1-D4).

본 연구에서는 이와 같은 과정을 각 유역에 대해 반복하였다. Table 4는 주어진 조건에 따라 보전관리인자를 결정할 수

있는 방법을 보여주는 것으로, 만약 해안면 유역(한강 유역)에서 3%의 경사도, 평행경, 뿌리작물, 비닐멀칭의 조건까지 주어진다면 보전관리인자는 0.302로 정의될 수 있다(Table 4, C1). 같은 유역에서 1%의 경사도, 평행경, 입경작물의 조건이 주어지고 멀칭에 대한 정보가 주어지지 않는다면 0.327로 정의될 수 있다(Table 4, C2). 즉, 주어진 정보의 단계에 따라서 보전관리인자가 정의될 수 있도록 하였다. 보전관리인자 산정 결과에 대한 요약은 Table 5에서 보이는 바와 같으며, 각 유역별 경사도에 따른 보전관리인자는 웹페이지(<http://npslab.kongju.ac.kr/KORSLE/>)를 구축하여 상세한 결과가 제공될 수 있도록 하였다. Table 5는 유역의 면적이 넓어서 각 경작지에 대한 조사가 불가능할 경우 경사도에 의해서 간접적으로 산정할 수 있도록 보전관리인자가 제시된 것으로 GIS 기반의 소프트웨어에 바로 적용될 수 있다.

일반적으로 토양유실량은 보전관리인자를 포함한 5개의 인자를 곱해서 산정되기 때문에 다른 인자가 동일할 때 특정 인자의 크기에 따라 토양유실량의 크기도 같은 비율의 차이를 가지게 된다. 즉 보전관리인자가 클수록 토양유실량이 커진다는 것을 의미하며, 일반적으로 경사가 급할수록 토양이 유실될 가능성은 크다. 그러나 Table 5에서 볼 때 경사도의 증가에 따라 보전관리인자는 반드시 증가하는 경향을 보이지는 않는다. 이는 각 지역에서 경사도에 따른 작물의 종류나 재배형태가 토양유실에 얼마나 취약한지가 경사도에 따라 분류되었기 때문이며, 경사가 토양유실에 미치는 영향이 반영된 것은 아니기 때문이다. 이 경사에 따른 토양유실량의 변

Table 4 Example of USLE P definition

Range (%)	P factor ^{D4}	Tillage system	P factor ^{D3}	Crops	P factor ^{D2}	Support practice	P factor ^{D1}	
0 ≤ Slope < 3 ^{C2}	0,402	contour ^{C2}	0,273	Root vegetables	0,314	normal	0,503	
						Vinyl mulching of ridge	0,300	
						Mulching of furrow	0,155	
				leaf and stem vegetable ^{C2}	0,327	normal	0,468	
						Vinyl mulching of ridge	0,281	
						Mulching of furrow	0,144	
		up and down	0,640				normal	1,000
							Vinyl mulching of ridge	0,850
							Mulching of furrow	0,320
3 ≤ Slope < 9 ^{C1}	0,377	contour ^{C1}	0,293	Root vegetables ^{C1}	0,291	normal	0,518	
						Vinyl mulching of ridge ^{C1}	0,302	
						Mulching of furrow	0,158	
				leaf and stem vegetable	0,337	normal	0,455	
						Vinyl mulching of ridge	0,283	
						Mulching of furrow	0,145	
		up and down	0,616				normal	1,000
							Vinyl mulching of ridge	0,850
							Mulching of furrow	0,320
...	
21 ≤ Slope	0,343	contour	0,297	Root vegetables	0,280	normal	0,540	
						Vinyl mulching of ridge	0,300	
						Mulching of furrow	0,170	
				leaf and stem vegetable	0,353	normal	0,443	
						Vinyl mulching of ridge	0,283	
						Mulching of furrow	0,140	
		up and down	0,702				normal	1,000
							Vinyl mulching of ridge	0,850
							Mulching of furrow	0,320

Table 5 USLE P definition with watersheds and slopes

Range (%)	Haean-myeon watershed	Jawoon-ri watershed	Banbyuncheon watershed	Miho A2 watershed	Bonghwangcheon watershed
0 ≤ Slope < 3	0,402	0,419	0,361	0,483	0,510
3 ≤ Slope < 9	0,377	0,503	0,399	0,537	0,579
9 ≤ Slope < 13	0,343	0,389	0,309	0,585	0,689
13 ≤ Slope < 17	0,342	0,412	0,332	0,489	0,615
17 ≤ Slope < 21	0,343	0,369	0,292	0,823	0,570
21 ≤ Slope	0,343	0,412	0,312	0,234	0,644

화는 범용토양유실공식의 경사장·경사도인자 (LS)에 의해 고려되기 때문에 보전관리인자에서 이 부분을 반영할 필요는 없다.

IV. 결 론

토양유실량을 예측하는 여러가지 방법 중, 범용토양유실공식은 여러 수문 모형으로 응용되었을 뿐만 아니라 현재까지 그 자체로 사용되기도 하며, 환경부에 의한 표토 침식 대책

관련 고시에서도 이 공식을 사용하도록 하고 있다. 그러나 범용토양유실공식은 미국의 환경에서 개발된 공식이기 때문에 각 인자에 대한 검토가 필요하다. 공식의 인자 중에서 보전관리인자는 경작지에서 작물이 어떻게 재배되고 있는지가 토양 유실에 미치는 영향을 반영하기 위한 것으로 0에서 1의 값을 가지는 인자이다.

본 연구에서는 기존에는 실측이 어렵다는 이유 때문에 경사도에 의해 일괄적으로 정의되었던 보전관리인자 산정의 문제점을 해결하고자 하였다. GIS와 현장 조사를 통해서, 유역에 위치한 경작지에 대한 경사도, 작물의 종류(뿌리작물과 입경작물), 경운방법(상하경과 평행경), 멀칭의 형태(비닐멀칭, 벚짚멀칭, 나지상태)와 같은 주어진 조건에 따라 유역별로 보전관리인자를 정의할 수 있도록 하였다. 반드시 모든 조건이 주어지야 인자의 값을 정의할 수 있는 것이 아니라, 동일한 조건을 가지는 농경지에 대한 면적을 고려하여, 일부 조건만 주어지더라도 인자의 값을 정의할 수 있도록 하였다. 따라서 본 연구를 통해 제시된 보전관리인자는 “표토의 침식 현황 조사에 관한 고시”의 예비조사 과정에서 농경지에 대한 인자 산정 시에 사용이 될 수 있을 것으로 판단된다. 더욱이 광범위한 지역에 대해서도 적용할 수 있도록 경사도에 따라 경작지의 특성을 분류하여 GIS 소프트웨어를 통한 인자의 정의도 가능할 것으로 판단된다.

본 연구의 결과는 기존의 다른 연구에서는 다루지 않은 범용토양유실공식의 인자에 대해 수많은 지점에 대해서 장기간에 걸친 현장조사를 통해 도출된 것으로, 범용토양유실공식을 이용하여 우리나라에서의 토양유실량을 산정할 때 그 활용성이 매우 높을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 토양지하수오염방지기술개발사업 일환으로 한국환경산업기술원의 지원을 받아 연구되었음 (2014000540004).

REFERENCES

1. 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(4): 19-206.
2. Kongju National University, 2016. Development of topsoil erosion model for Korea. Yesan-gun: Republic of Korea (<http://np slab.kongju.ac.kr/KORSLE/>).
3. Ministry of Environment, 2012. A bulletin on the survey of the erosion of topsoil. Sejong-si: Ministry of Environment.
4. Park, M., J. L. Lee, K. Y. Shin, I. Ryu, H. S. Cho, J. D. Choi, and J. K. Lee, 2015. A study on management and reduction plan of non-point source in Doam lake watershed (I). Han River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, NIER-RP2015-356.
5. Park, Y. S., J. Kim, N. W. Kim, S. J. Kim, J. H. Jeon, B. A. Engel, W. Jang, and K. J. Lim, 2010. Development of new R, C and SDR modules for the SATEEC GIS system, *Comp. Geo.*, 36: 726-734. doi:10.1016/j.cageo.2009.11.005.
6. Park, Y. S., B. A. Engel, and J. Harbor, 2014. A web-based model to estimate the impact of best management practices, *WATER*, 6, 455-471. doi:10.3390/w6030455.
7. Sung, Y. S., 2016. Study of the USLE P factor in USLE Equation. Master's thesis, Kangwon National University of Korea.
8. Wischmeier, W. H., and D. D. Smith, 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning Handbook No.537. U. S. Department of Agriculture.