한국습지학회지 제14권 제3호, 2012년 8월 (317 - 328)

USLE를 활용한 만경강 상류지역에서의 토양침식량 산정에 관한 연구

이 재 혁* / 심 은 증** / 이 연 길*** / 김 태 웅****+

A Study on the Estimation of Soil Erosion Quantity Using USLE in the Upper Region of ManKyoung River Basin

Jae Hyug Lee* / Eun Jeung Shim** / Yeon Kil Lee*** / Tae Woong Kim****+

요약 : 본 연구의 목적은 범용토양유실예측공식을 활용하여 모형의 적정성을 분석하고, 그 자료를 축적하는데 있다. 봉동 수위관측소의 유역면적은 342.27㎢이며, 유역에서의 유사유출량을 모의하고 이를 실측치와의 비교·분석하였다. 또한 토양침식량 산정에 있어 가장 큰 영향을 미치는 강우침식인자를 산정하기 위해 연도별 강우사상을 활용하였고, 연평균토양침식량 산정을 위해 공간적인 분포를 나타낼 수 있는 격자기반의 토양침식도를 생성하여 산정하였다. 토양침식도(30m×30m)는 강우침식인자(R), 지형인자(LS), 토양침식인자(K), 식생피복인자(C), 침식조절인자(P)를 ArcView Map Calculator에서 각각의 인자들을 곱하여 생성하였다. 그 결과 대부분의 유역에서 토양침식이 이루어지지 않음을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 범용토양유식공식, 토양침식량, 지리정보시스템

Abstract : The objects of this study are to perform appropriateness analysis of USLE(universal soil loss equation) model and to accumulate the data measured in field. The basin area of Bongdong station is 342.27㎢. This study simulated sediment outflows in the basin and performed a comparative analysis of simulated outputs with actual measurement values. Also annual rainfall was used to calculate rainfall-runoff erosivity factor which can influence soil erosion. The calculation of annual average soil erosion was made by soil erosion maps. The maps with a resolution of (30m×30m) were created by multiplication of factors(R, LS, K, C, P) from ArcView Map Calculator. In this paper, it was shown that soil erosion was not occur in the most of basin.

***keywords** : USLE(universal soil loss equation), Soil erosion, GIS(geographic information system)*

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

최근 강우의 시간적 분포에 따른 특성 변화와 산업화로 인한 급격한 도시화는 비옥한 토양을 유실시켜 농경지의 수확량을 감소시킬 뿐만 아니라 하천제방이나 구조물의 하상을 침식시켜 붕괴에 이르게 한다. 또한 교량이나 배수문, 보, 어도, 주운시설 등을 훼손하여 국민의 생명과 재산을 위협하는 원인이 되고 있다.

최근 4대강 사업 등으로 인해 하도의 특성이 인위적으로 변화하고 있는 점을 감안하여 볼 때 하상변동량을 예측하는 연구는 반드시 필요하다고

* 정회원・유량조사사업단 유량조사실 연구원・ E-mail : ljh@kict.re.kr
** 정회원・유량조사사업단 품질정책실 선임연구원・서울시립대학교 대학원 토목공학과 박사과정・E-mail : ejshim@hsc.re.kr
*** 정회원・유량조사사업단 유사량조사실 책임연구원・공학박사・E-mail: sugawon@hsc.re.kr
**** 정회원・교신저자・한양대학교 건설환경공학과 부교수・공학박사・ E-mail : twkim72@hanyang.ac.kr

판단된다. 본 연구에서는 강우에 의한 토양유실의 정도를 살펴보고자, 토양침식량 산정에 필요한 각각의 인자를 도출해 내고 토양침식도를 도시하였다. 본 연구의 목적은 퇴적재해 저감기술개발과 유역내의 바람직한 침식량에 대한 대책수립, 저수지 퇴사량 분석, 댐 상·하류 하천의 침식에 의한 하상변동 분석과 같은 토양침식관련 연구의 기반을 구축하는데 있다.

1.2 연구동향 및 내용

토양유실량에 관한 연구는 미국의 Wischmeier and Smith(1978)에 의해 농경지에서 강우-유출에 의한 토양유실을 산정하기 위해 제안된 범용토양유실공식(USLE; Universal Soil Loss Equation)을 근간으로 이루어져 왔다. 국내에서는 정필균 등(1983)과 김윤종 등(1994)이 토양침식량 예측을 위한 강우침식인자 산정 및 토양유실에 대한 환경평가분석에서 GIS 및 USLE 기법을 적용한 바 있으며, 많은 학자들이 USLE를 구성하는 각각의 인자에 대한 세부연구 및 국내 지형에의 적용성 검토를 실시하고 있다.

본 연구에서는 범용토양유실량공식(USLE)으로 토양침식량을 모의하였으며, GIS를 활용하여 USLE 모형의 강우침식인자(R). 토양침식인자(K), 지형인자(LS), 식생피복인자(C), 경작인자(P)를 수치화하여 토양침식량의 정도를 공간적으로 구현하였다. 강우침식인자의 산정에 있어서는 보통 정필균 등(1983)과 국토해양부/한국건설기술연구원(1992)에서 제시한 값을 사용하지만, 본 연구에서는 대상유역인 봉동 강우관측소에서 제공하는 2005년 ~ 2009년의 실제 강우자료를 바탕으로 강우량도 및 강우 에너지 등을 산정하여 토양침식량을 산정하였다.

2. 연구대상유역 선정

본 연구에서는 중규모 유역에 USLE 모형을 적용하였을 경우 어느 정도의 적정성을 가지는지를 평가하기 위해서 만경강 유역에 위치한 봉동 수위관측소를 대상유역으로 선정하였다. 봉동 수위관측소는 전북 완주군 봉동읍 장기리(경도 127-10-22, 위도 35-56-21) 용봉교에 위치해 있으며, 342.27㎢의 유역면적을 가진다. 하상경사는 만경강 하류부 30㎞ 구간이 1/3,800, 중류부 50㎞까지가 1/540, 상류부 구간이 1/120이며, 소양천과 전주천이 각각 1/360, 1/700 정도로서 만경강 본류 하류구간을 제외한 대부분의 구간은 비교적 경사가 급한 편이다. 만경강 본류의 전주천 합류점 하류 구간은 Silt 및 Clay로 구성되어 있으며, 그 상류 구간 및 소양천과 전주천은 모래 및 자갈로 구성되어 있다. 본 연구의 대상유역 위치도 및 봉동유역도는 Fig. 1과 Fig 2와 같다.

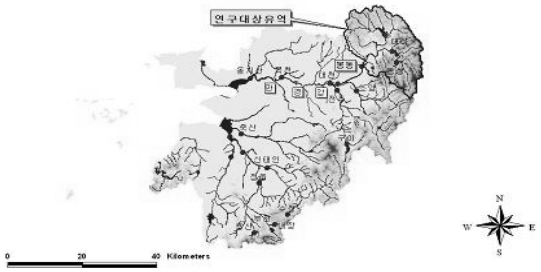


Fig. 1 Mankyung River Area

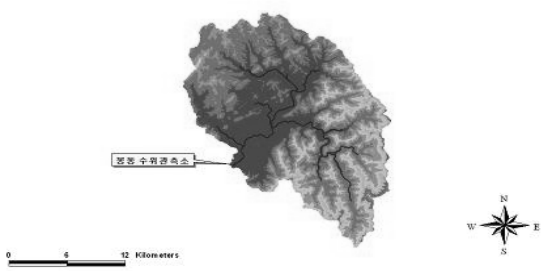


Fig. 2 Study Area

3. USLE

3.1 범용토양유실공식

범용토양유실공식(USLE)은 유역으로부터 발생되는 연간 토양침식량을 산정하기 위하여 제시된 경험적 방법에 의해 개발되었으며, 주어진 인자의 명칭에서 알 수 있듯이 다른 지역에 대해 범용적으로 적용할 수 있다. 이 공식은 유역의 강우, 토양특성, 지형특성, 토지특성 등의 변수를 식(1)을 이용하여 그 유역의 토양침식량을 산정할 수 있다.

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

여기서, A는 강우침식도 R인 경우 해당 기간 중 단위 유역면적에서 침식되어 유실되는 토사량(ton/acre; ton/ha), R은 강우침식도(100ft·ton/acre·in/hr; 10^7J/ha·mm/hr), K는 토양침식성 인자(ton/acre/R; ton/ha/R), LS는 지형인자(L : 침식경사면의 길이, S : 침식경사면의 경사), C는 작물형태, 피복상태 등의 경작종류와 형태에 따른 식생피복인자(무차원), P는 등고선 경작 등 토양보존대책 인자(무차원)이다.

이 공식을 개발하기 위해 Wischmeier and Simth(1965)는 침식측정용기구(Unit plot)를 이용하여 길이 72.6ft(22.13m)와 9%의 경작물을 위한 나지에서 토양유실 자료를 측정하였다. 따라서 USLE에서 제시되는 K는 침식측정 장치에서 단위 R당 해당 토양의 침식량을 의미한다. L은 같은 조건에서 실제 경사면 길이의 토양 유실량과 실험조건에서의 유실량의 비이다. S도 실제 경사에서 토양 유실량과 실험조건에서의 유실량의 비이다. C와 P 또한 각각 해당 조건에서의 단위면적당 유출되는 토양과 실험 조건에서의 유실량과의 비를 나타낸다. 따라서 강우인자 R값이 1년 평균인 경우 연평균 토양침식량을 의미하며, 단일 사상의 경우 단일 사상에서의 토양침식량이라 할 수 있다. 이 공식은 평면침식(sheet erosion)과 세류침식(rill erosion)에 의한 토양 유실량 산정에 대해서만 적용이 가능하며, 구곡침식(gully erosion)과 같은 대형침식과 수로침식(channel erosion)이 지배적인 경우 추가적인 침식량 보정이 필요하다. 또한 지표로 유출되는 유수에 의해 침식이 발생하는 지역과 퇴적이 되지 않는 지역 등을 가정하고 있기 때문에 산출되는 결과는 이러한 측면을 고려하여 침식이 일어나는 사면에 대하여 적용될 수 있다.

본 연구에서는 USLE 공식에 적용되는 각각의 인자를 정량화하고 지리정보시스템(GIS; Geographic Information System)을 활용하여 결과를 도시하였다.

3.2 강우침식인자(R)

강우침식인자(R; Rainfall Erodibility Factor)는 특정 지역에서 강우량 및 강우강도와 밀접한 관계를 가지는 침식성 인자이며, 정필균 등(1983)은 우리나라 기상청 산하 51개 관측소의 60~80년대의 자료를 이용하여 R값을 산정한 바 있다. 또한 국토해양부/한국건설기술연구원(1992)에서는 우리나라 등강우침식도를 제작하였다. USLE의 여러 인자들 중 강우침식인자(R)는 유일한 기상인자로서 토양침식이 강우에너지의 크기에 의해 결정되어진다는 사실에 미루어 볼 때 상당히 중요한 인자가 된다. 우리나라의 실무자들은 유역에서 토양침식량을 산정하고자 할 때, 정필균 등(1983)이 제시한 값과 국토해양부/한국건설기술연구원(1992)에서 제시한 강우침식인자를 활용하고 있다. 그러나 본 연구에서는 강우사상에 의해서 발생된 토양침식량의 정도를 파악하기 위해서 봉동 강우관측소의 2005년 ~ 2009년 강우량 자료로 5개년 강우침식인자를 직접 산정하여 분석하였으며, 연도별 강우량(Fig. 3)과 30분 단위 연도별 강우강도(Fig. 4) 및 강우침식인자를 도시하였다(Table 1, Fig. 5).

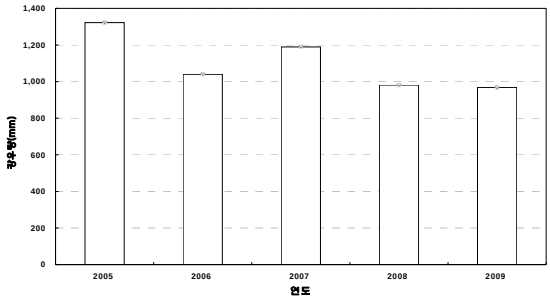


Fig. 3 Annual rainfall

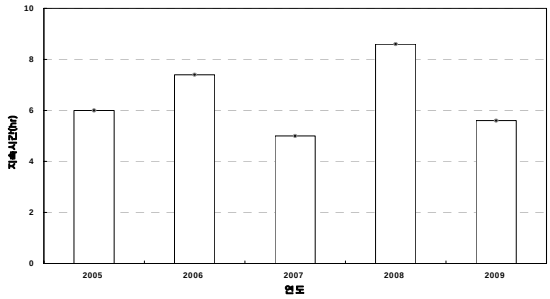
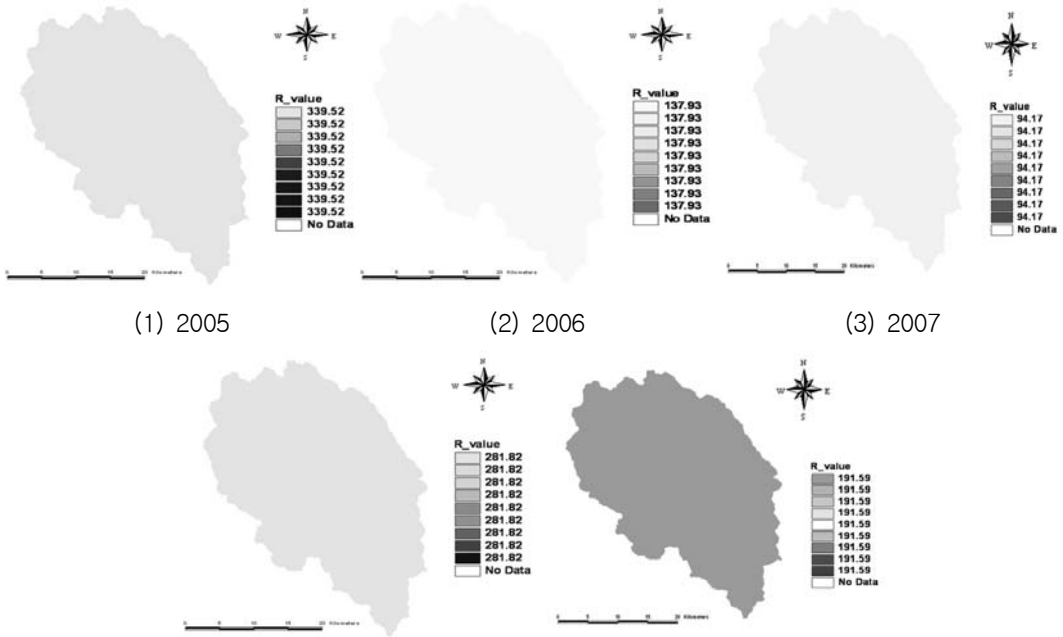


Fig. 4 Annual rainfall intensity by half-hour unit

Table 1. Estimation of rainfall erosivity in Bongdong (2005 ~ 2009)

Year	Duration (hr)	Rainfall (cm)	Rainfall per interval (cm)	Time interval (hr)	Rainfall intensity (cm/hr)	Energy unit (m·ton/ha)	Sum of energy unit (m·ton/ha)	Rainfall Erodibility Factor (R) (107joule/ ha·mm/hr)
2005	0	0.0					5,658.71	339.52
	0.5	3.0	3.0	0.5	6.0	837.77		
	1	5.5	2.5	0.5	5.0	680.52		
	2	7.5	2.0	1	2.0	473.58		
	3	9.5	2.0	1	2.0	473.58		
	6	13.5	4.0	3	1.3	884.48		
	12	17.6	4.1	6	0.7	800.66		
	24	25.4	7.8	12	0.7	1,508.12		
2006	0	0.0					1,863.88	137.93
	0.5	3.7	3.7	0.5	7.4	1,063.24		
	1	4.3	0.6	0.5	1.2	130.23		
	2	4.3	0.0	1	0.0	0.00		
	3	4.3	0.0	1	0.0	0.00		
	6	5.6	1.3	3	0.4	230.98		
	12	7.4	1.8	6	0.3	294.23		
	24	8.6	1.2	12	0.1	145.20		
2007	0	0.0					1,883.40	94.17
	0.5	2.5	2.5	0.5	5.0	680.52		
	1	2.5	0	0.5	0.0	0.00		
	2	4.0	1.5	1	1.5	338.51		
	3	5.6	1.6	1	1.6	365.07		
	6	7.2	1.6	3	0.5	297.12		
	12	7.7	0.5	6	0.1	56.98		
	24	8.9	1.2	12	0.1	145.20		
2008	0	0.0					3,76.93	281.82
	0.5	4.3	4.3	0.5	8.6	1,260.63		
	1	6.1	1.8	0.5	3.6	467.12		
	2	7.8	1.7	1	1.7	391.87		
	3	8	0.2	1	0.2	29.56		
	6	8.4	0.4	3	0.1	52.85		
	12	13.3	4.9	6	0.8	990.64		
	24	14.1	0.8	12	0.1	84.26		
2009	0	0.0					3,421.22	191.59
	0.5	2.8	2.8	0.5	5.6	774.45		
	1	4.6	1.8	0.5	3.6	467.12		
	2	6.2	1.6	1	1.6	365.07		
	3	9.2	3.0	1	3.0	757.39		
	6	13.1	3.9	3	1.3	858.55		
	12	14.4	1.3	6	0.2	196.15		
	24	14.5	0.1	12	0.0	2.50		



(1) 2005 (2) 2006 (3) 2007

(4) 2008 (5) 2009

Fig. 5 Estimation of rainfall erosivity map (2005 ~ 2009)

3.3 토양침식인자(K)

토양침식인자(K; Soil Erodibility Factor)는 주어진 토양에 대한 강우와 유출에 의한 충격력의 합으로 표현되며, 강우로 인한 침식을 나타내는 특성으로 사면길이 22.13m와 표면경사 9%의 나지인 표준유역에서 측정된 특정 토양에 대한 단위 강우침식인자 당 토양유실율을 의미한다. 또한 토양이 강우에 의한 침식에 저항하는 능력을 나타내는 척도로서 토양입자 및 분포, 공극 및 공극크기와 크기 및 유기물 함량 등에 관계된다. K 인자는 Wischmeier의 추정도표(Wischmeier et al., 1971)를 이용하거나 Wischmeier and Smith (1965), Erickson(1997)의 삼각형 도표 및 보정표 등을 활용하여 추정할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 추정도표를 활용하지 않고 1:50,000 개략토양도에 나타난 토양종류의 대표토양도의 침식성 계수를 참고하여 격자기반의 토양침식인자도(30m×30m)를 직접 생성하였다(Fig. 6과 Fig. 7).

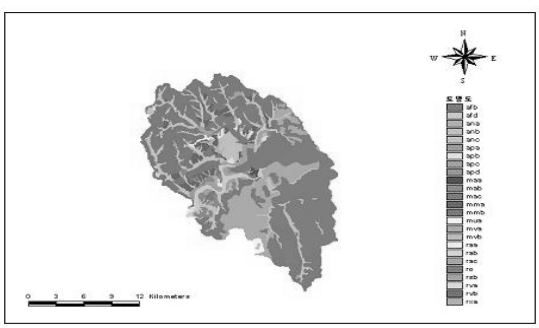


Fig. 6 Soil map (30m×30m)

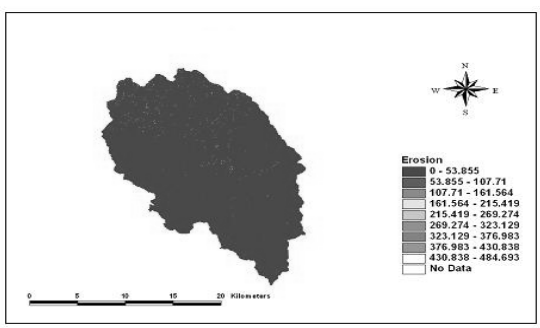


Fig. 7 K factor map (30m×30m)

3.4 사면길이 및 경사도 인자(LS)

사면길이인자(L; Slope Length Factor)는 주어진 사면길이 22.13m에 대한 토양손실량의 비를 의미하며, 사면경사인자(S; Slope Steepness Factor)는 주어진 사면경사 9%에 대한 토양손실량 비를 나타낸다. 아울러 이 두 개의 인자를 지형인자(LS)로 사면길이, 사면경사 계수라 한다. 사면경사인자(S; Slope Steepness Factor)는 주어진 사면경사 9%에 대한 토양손실량 비를 나타낸다.

최근 지리정보시스템(GIS)이 발달함에 따라 지형분석 자료처리 분야에서 LS 인자를 계산하는 방법에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. Foster and Wischmeier(1974)는 평탄한 경사 조건하에서 적용 가능한 LS 산정 식을 제안한 바 있으며, Moore and Burch(1986)은 unit stream power 이론을 근거로 하여 LS 인자를 물리학적으로 유도였다. 또한 Moore and Burch(1986)의 식을 ArcView를 이용하여 LS 인자를 산정할 수 있는 방법을 제시하였다. 본 연구에서는 LS 인자를 계산하기 위하여 Bernie의 식을 이용하였으며, 이용된 식은 다음과 같다.

$$LS = (FlowAccumulation \times CellSize/22.13)^{0.3} \times (\sin slope/0.0896)^{1.3} \quad (2)$$

Bernie 식을 이용하여 격자기반의 지형인도를 생성하기 위해서 수치표고분포도(DEM)를 활용하였고, 이를 통해 흐름방향격자도, 누적흐름도 등을 생성한 후 지형인자도(30m×30m)를 생성하였다(Fig. 8~11).

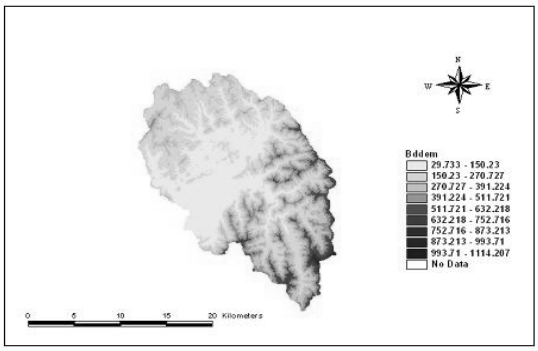


Fig. 8 Digital Elevation Model (30m×30m)

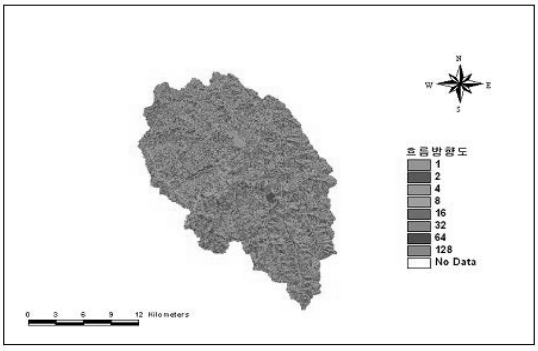


Fig. 9 Flow Direction map (30m×30m)

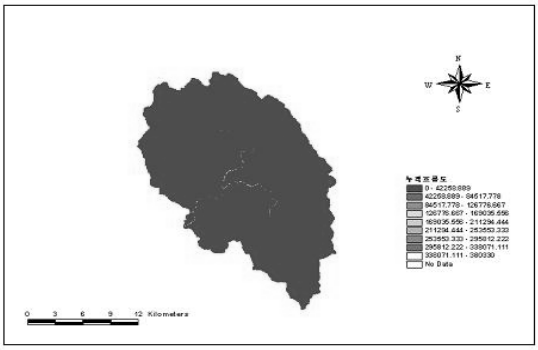


Fig. 10 Flow Accumulation map (30m×30m)

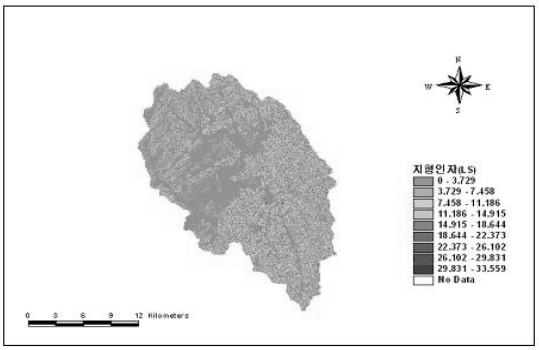


Fig. 11 LS Factor map (30m×30m)

3.5 피복지형인자(C)

경작인자(C; Cover Management Factor)는 주어진 피복 및 관리상태 하에 발생되는 토양손실량과 동일지역에 대한 연속 휴경지에서 발생하는 토양손실량과의 비를 뜻한다.

본 연구에서는 식생피복인자를 산정하기 위해서 Table 2에 제시된 식생피복인자 값을 이용하였다(한국지질자원연구원, 2004). Table 2에서 보는 바와 같이 식생피복인자의 특성은 경작지, 인공지물, 수계, 산림지역 및 나지로 구분되며, 경작지의 밭이 가장 큰 인자 값으로 나타나고, 인공지물과 수계의 경우 0의 값이 부여되어 있다. 본 연구에서 생성한 격자기반 식생피복인자도는 Fig. 12와 Fig. 13과 같다.

Table 2. Land Cover and C factor

Land usage	Details	Factor	Note
farmland	rice paddy	0.3	ground coverage map (30m×30m)
	field	1.0	
	orchard	0.5	
man-made features	road	0.0	
	building	0.0	
	city	0.0	
water system	river and reservoir	0.0	
forested areas	high density	0.001	
	midium density	0.003	
	low density	0.009	
etc	bare soil	0.043	

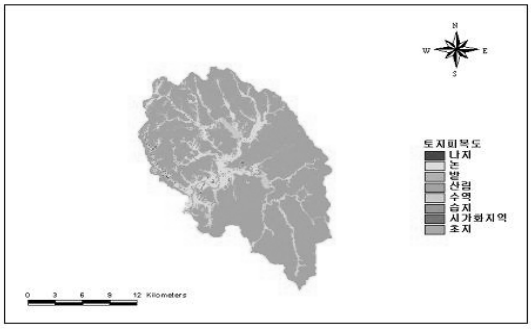


Fig. 12 Land Cover map (30m×30m)

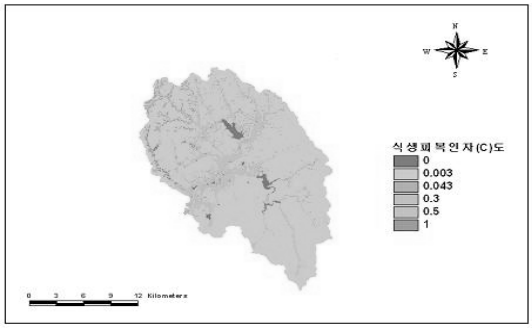


Fig. 13 C factor map (30m×30m)

3.6 경작인자(P)

토양보존인자(P; Support Practice Factor)는 주어진 토양보존 대책기법 적용시 발생하는 토양손실량과 사면 상·하 방향 일직선으로 형성되어 있는 곳에서의 토양유실 비를 의미한다.

유역에서 발생 가능한 토양침식량은 등고선 효과와 대상재배, 단구효과에 따라 조절되며 이에 대한 특성은 Wischmeier and Smith(1978)가 제시한 Table 3에서 찾아 볼 수 있다. 본 연구에서는 등고선 효과, 대상재배, 단구효과 중에서 등고선 효과만을 고려하여 경작인자도를 생성하였다. 연구대상유역의 등고선 효과를 적용하기 위해서 수치표고분포도(30m×30m)로부터 Slope Request를 이용한 후 경사도를 산정하였다. 생성된 경사도에 Wischmeier and Smith(1978)가 제시한 속성을 각각 부여하므로 Fig. 14, Fig. 15와 같은 경사도와 경작인자 P를 생성하여 도시할 수 있었다.

Table 3. P value by Wischmeier and Smith(1978)

Land slope	Plan for farm	
	Contour factor	Strip cropping factor
1 ~ 2	0.60	0.30
3 ~ 8	0.50	0.25
9 ~ 12	0.60	0.30
13 ~ 17	0.70	0.35
81 ~ 20	0.80	0.40
21 ~ 25	0.90	0.45

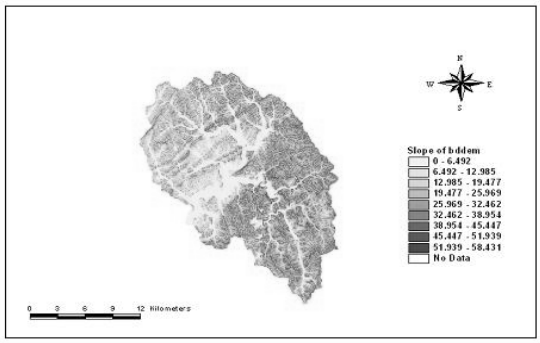


Fig. 14 Slope map (30m×30m)

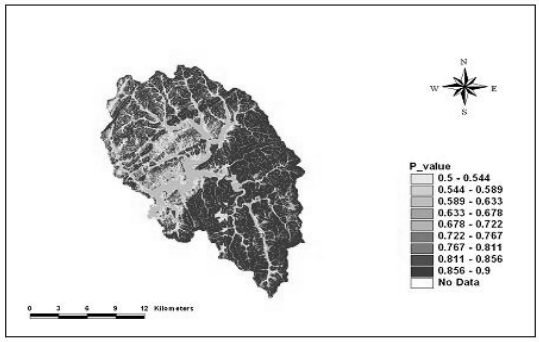


Fig. 15 P factor map (30m×30m)

4. 토양침식량 산정

토양침식량의 공간적인 분포를 나타낼 수 있는 격자기반의 토양침식도를 생성하기 위해서 Fig. 16에 나타나 있는 것과 같이 강우침식성인자도, 지형인자도, 토양침식성인자도, 식생피복인자도, 침식조절인자도를 각각 곱하였다. 본 연구에서는 ArcView의 Map Calculator에서 5개 인자들의 곱을 수행하여 산정하였다. 본 연구에서 생성된 2005년 ~ 2009년 5개년 토양침식도(30m×30m)를 분석한 결과는 Table 4, Fig. 17과 같다.

$$A = R K L S C P$$

- A is the computed soil loss (tons/acre/year)
- R is the rainfall-runoff erosivity factor
- K is the soil erosivity factor
- L is the slope length factor
- S is the slope steepness factor
- C is the cover-management factor
- P is the supporting practices factor

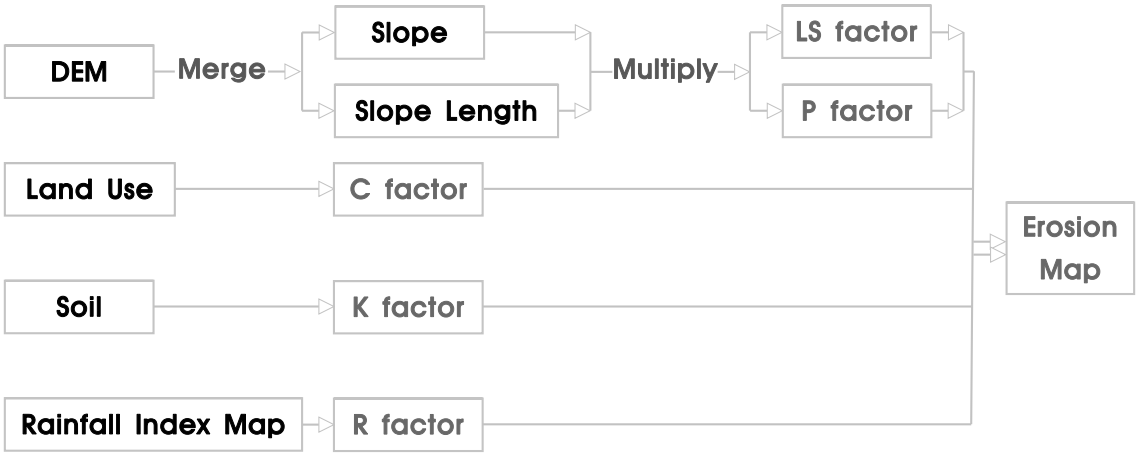
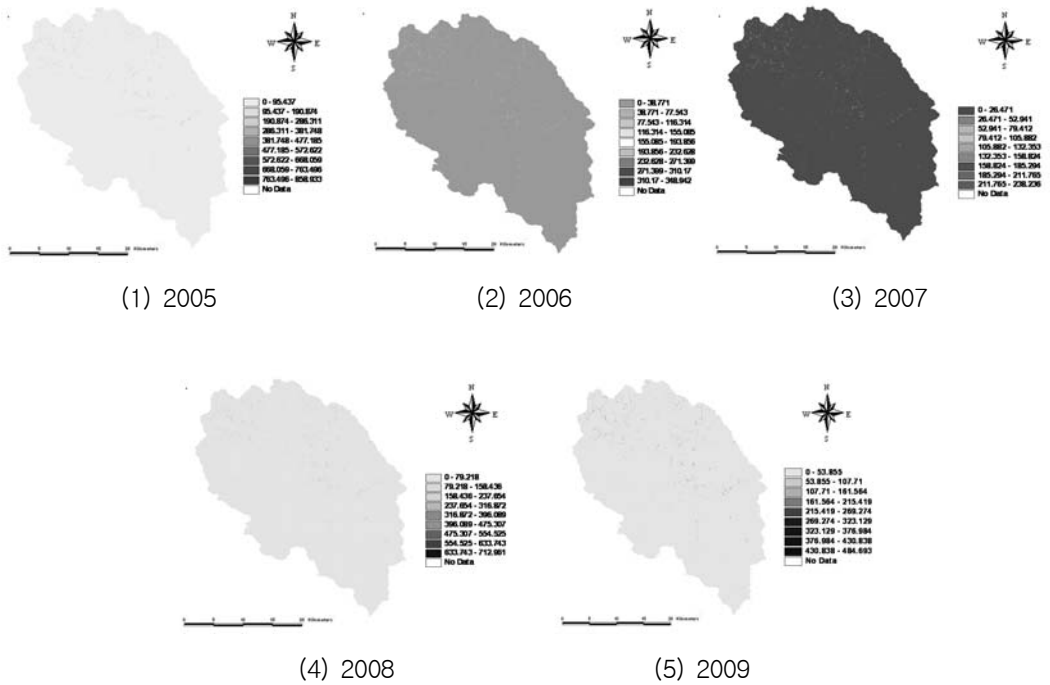


Fig. 16 Process of USLE Model

Table 4. Analysis of soil erosion (2005 ~ 2009)

Statistics	Soil erosion (ton/km^2/year)					Grid resolution	Note
	2005	2006	2007	2008	2009		
Maximum	85,893.3	34,894.1	23,823.6	71,296.0	48,469.3	30m×30m	셀(1개)
Minimum	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30m×30m	
Average	366.3	148.8	101.6	304.0	206.7	30m×30m	면적가중평균



(1) 2005 (2) 2006 (3) 2007

(4) 2008 (5) 2009

Fig. 17. The map of Soil erosion (2005 ~ 2009)

4.1 연평균 토양침식량 산정

연평균 토양침식량 산정은 공간적인 분포를 나타낼 수 있는 격자기반의 토양침식도를 생성하여 강우침식인자(R), 지형인자(LS), 토양침식인자(K), 식생피복인자(C), 침식조절인자(P)를 ArcView Map Calulator에서 각각의 인자들을 곱하여 토양침식도(30m×30m)를 생성한다. 본 연구에서 생성된 2005년 ~ 2009년 5개년 토양침식도를 분석한 결과 2005년에는 강우침식인자 339.5(10^7Joule/ha・mm/hr)에 토양침식량 366.3(ton/km^2/year)을 2006년 강우침식인자 137.9(10^7Joule/ha・mm/hr)에 토양침식량 148.8(ton/km^2/year), 2007년 강우침식인자 94.2(10^7Joule/ha・mm/hr)에 토양침식량 101.6(ton/km^2/year), 2008년 강우침식인자 281.8(10^7Joule/ha・mm/hr)에 토양침식량 304.0 (ton/km^2/year)의 값을 보였고, 2009년에는 강우침식인자 191.6(10^7Joule/ha・mm/hr)에 토양침식량 206.7(ton/km^2/year)을 나타냈다. 따라서 강우침식인자가 크게 나타날수록 토양침식량도 크게 나타나는 현상을 보였으며, Fig. 18은 연평균 토양침식량을 나타내며, Table 5는 연도별 연평균 토양침식량 및 유사유출량 산정을 나타낸다.

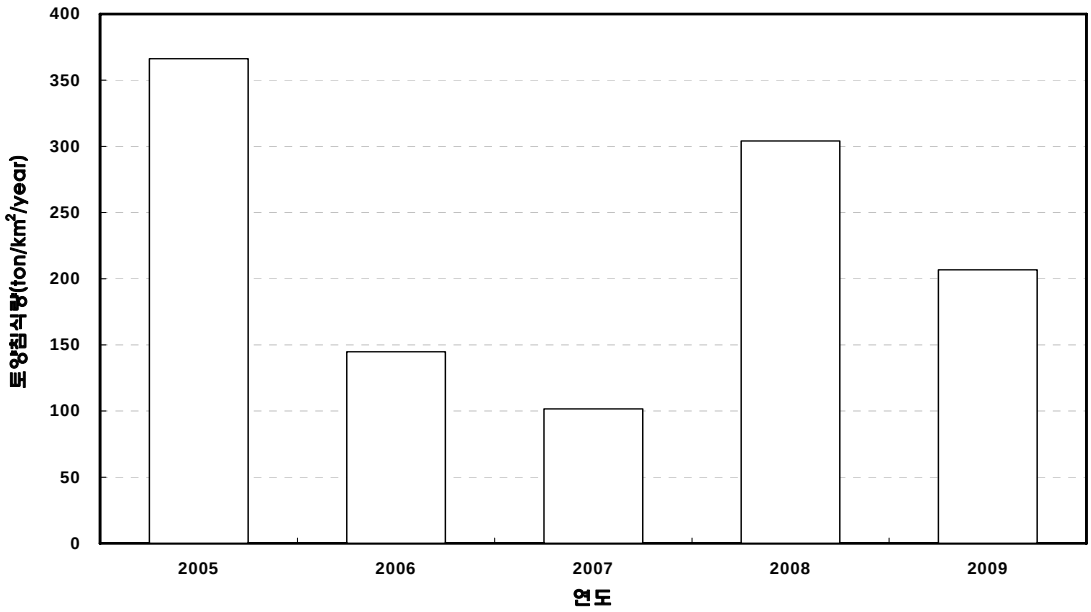


Fig. 18 The average annual soil erosion

Table 5. The average annual soil erosion and estimation of sediment runoff discharge

Researcher	Year	Average annual soil erosion (ton/km^2/year)	Sediment runoff discharge (USLE×SDR)	
			(ton/km^2/year)	(ton/year)
Vanoni(1975)	2009	206.7	47.128	16,130
	2008	304.0	69.310	23,722
	2007	101.6	23.160	7,928
	2006	144.8	33.93	11,611
	2005	366.3	68.90	23,582
Boyce(1975)	2009	206.7	19.223	6,579
	2008	304.0	28.27	9,676
	2007	101.6	9.45	3,233
	2006	144.8	13.84	4,736
	2005	366.3	28.10	9,619
USDA(1972)	2009	206.7	61.597	21,082
	2008	304.0	90.59	31,006
	2007	101.6	30.28	10,362
	2006	144.8	44.34	15,176
	2005	366.3	90.06	30,822

4.2 유사전달비 및 유사유출량 산정

모의된 토양침식량은 2009년 강우침식성인자에 대응하는 토양침식량으로 유사유출량과는 다른 의미를 갖는다. 강우 에너지의 크기에 의해 세굴된 토양침식량이 유역의 표면과 하천을 따라 유하하다가 얼마만큼 차단되고 하천으로 유입되는지를 알 수 있게 하는 유사전달비(SDR; Sediment Delivery Ratio)를 고려해야 유사유출량으로 변환이 가능하다.

본 연구에서는 유사전달비를 산정하기 위해서 Vanoni(1975), Boyce(1975), USDA(1972) 등이 제시한 공식을 이용하였다. 각각의 식에서 산정된 유사전달비는 Table 6에 나타내는 바와 같이 Vanoni와 USDA는 0.228과 0.298도 비교적 유사하였으나, Boyce는 이에 비해 상당히 적은 값을 가졌다. 또한 2009년에 발생한 강우사상에서 최고수위를 포함한 상승부와 하강부의 유사를 채취하여 총 19회의 측정성과를 확보하여 연간 유사 유출총량을 산정하였다. 연간 유사 유출총량을 산정한 결과, 부유사량은 40.72ton/km^2/year의 값을 총유사량은 51.39ton/km^2/year의 값으로 산정되었다. 2009년에 모의된 유역 유사유출량을 2009년에 실측된 자료를 기반으로 적정성을 검토한 결과, Vanoni(1975)의 유사전달비를 고려한 유사유출량이 보다 실측치에 근접한 결과를 나타내었다. Table 7은 모의된 유사유출량과 실측된 유사유출량과의 비교표를 나타낸다.

Table 6. Estimation of SDR

Method	Formula	Area (km^2)	SDR
Vanoni(1975)	SDR=0.4724 A-0.125	342.262	0.228
Boyce(1975)	SDR=0.3750 A-0.238	342.262	0.093
USDA(1972)	SDR=0.5656 A-0.110	342.262	0.298

Table 7. Comparison with simulated and measured sediment outflow

Year	Simulated sediment outflow (ton/km^2/year)			Measured sediment outflow (ton/km^2/year)	
	Vanoni(1975)	Boyce(1975)	USDA(1972)	Suspended sediment discharge	Total load
2005	68.90	28.10	90.06	49.38	60.43
2006	33.93	13.84	44.34	41.02	50.01
2007	23.16	9.40	30.28	50.62	61.38
2008	69.31	28.27	90.59	40.87	51.42
2009	47.13	19.22	61.60	40.72	51.39

5. 결 론

범용토양유실예측공식을 활용하여 모형의 적정성을 분석하고, 자료를 축적하고자 대상유역의 강우침식인자를 분석하고, 유역 토양침식량 및 유사전달비와 유역 유사유출량을 산정한 결과는 다음과 같다.

강우침식인자 R은 강우량이 많을수록 침식인자가 크게 산정되는 일반적인 결과를 기대할 수 있지만, 2005년 ~ 2009년까지 5개년 강우침식인자를 분석한 결과 강우량이 많다하여 침식인자의 변화 값이 크게 반응하는 값보다 강우강도에 의해 침식인자가 크게 반응하는 결과를 보였다. 따라서 강우침식인자는 강우량보다는 강우강도에 좌우됨을 알 수 있었다.

토양침식량의 공간적인 분포를 나타낼 수 있는 격자기반의 토양침식도를 생성하기 위해서 강우침식인자도(R), 토양침식인자도(K), 지형인자도(LS),

식생피복인자(C), 침식조절인자도(P)를 ArcView의 Map Calculator에서 각각 곱하여 2005년 ~ 2009년까지 5개년 유역의 토양침식량을 산정한 결과, 2005년 366.3ton/km^2/year, 2006년 144.8ton/km^2/year, 2007년 101.6ton/km^2/year, 2008년 304.0ton/km^2/year, 2009년 206.7ton/km^2/year의 값을 가졌으며, 대부분의 유역에서는 토양침식량이 발생되지 않았다.

유사전달비를 산정하기 위해서 Vanoni(1975), Boyce(1975), USDA(1972) 등이 제시한 공식을 적용한 결과, Vanoni와 USDA는 0.228과 0.298의 값을 가져 비교적 유사하였으나, Boyce는 0.093의 상당히 적은 값을 가졌다. 또한 각각의 유사전달비에 토양침식량을 곱하여 유사유출량을 산정한 결과, 유사전달비의 값과 마찬가지로 Vanoni와 USDA는 47.128ton/km^2/year과 61.594ton/km^2/year의 값을 가져 비교적 유사하였으나 Boyce는 19.223ton/km^2/year의 적은 값을 가졌다.

참 고 문 헌

국토해양부/한국건설기술연구원, 1992, 댐 설계를 위한 유역단위 비유사량 조사 · 연구.

김윤종, 유일현, 김원영, 신은선, 1994, 환경지질도 작성을 위한 GIS 응용연구. 지질공학회지, 4권, p.321-331.

정필균, 고문환, 임정남, 엄기태, 최대웅, 1983, 토양유실량 예측을 위한 강우인자의 분석. 한국토양비료학회지, 16권, 2호, p.112-118.

한국지질자원연구원, 2004, 침식퇴적재해 저감기술 개발.

Boyce, R.C., 1975, Sediment Routing with Sediment Delivery Ratios. In: Present and Prospective Technology for ARS, USDA, Washington, D.C.

Erickson, A.J., 1997, A disforestimating soil erodibility - K value class and soil loss tolerance. U.S.D.A. Soil Conservation Service, USA.

Foster, G.R. and Wischmeier, W.H., 1974, Evaluating Irregular Slopes for Soil Loss Prediction. TRANSACTION of the ASAE, vol.17, p.304-309.

Moore, I.D. and Burch, G.J., 1986, Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. Soil Sci. Soc. Am. J., vol.50, p.1294-1298.

Wischmeier, W.H. and Smith, D.D., 1965, Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. U.S.D.A. Handbook, p.282.

Wischmeier, W.H. and Smith, D.D., 1978, Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. U.S.D.A. Handbook, p.537.

Wischmeier, W.H., John, C.B., and Cross, B.V., 1971, A Soil erodibility monograph for farm land and conservation sites. Journal of Soil and Water Conservation, vol.26.

USDA, 1972, Sediment Source, Yields, and Delivery Ratios, National Engineering Handbook, Section 3 Sediment.

Vanoni, V.A., 1975, Sedimentation Engineering, Manual and Report No.54, American Society of Civil Engineers, New York, N.Y.

○ 논문접수일 : 2012년 02월 15일
○ 심사의뢰일 : 2012년 02월 15일
○ 심사완료일 : 2012년 07월 19일