

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/259527360>

Analysis of Soil Erosion and Sediment Yields at the Doam-dam Watershed considering Soil Properties from the Soil...

Article · June 2007

CITATIONS

3

READS

412

8 authors, including:



[Youn Shik Park](#)

Purdue University

62 PUBLICATIONS 275 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Jonggun Kim](#)

Texas A&M University

39 PUBLICATIONS 200 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

SATEEC 시스템을 이용한 객토 토양의 토성고려에 따른 도암댐 유역의 토양유실 및 유사량 분석

유동선 · 안재훈* · 윤정숙** · 허성구 · 박윤식 · 김종건 · 임경재 · 김기성[†]

강원대학교 농업공학부

*농업진흥청 고령지 농업연구소

**인하대학교 환경토목공학부

Analysis of Soil Erosion and Sediment Yields at the Doam-dam Watershed considering Soil Properties from the Soil Reconditioned Agricultural Fields using SATEEC System

Dongsun Yoo · Jaehun Ahn* · Jongsuk Yoon** · Sunggu Heo ·
Younshik Park · Jonggun Kim · Kyoung Jae Lim · Ki-sung Kim[†]

Division of Agricultural Engineering, Kangwon University

**National Institute of Highland Agriculture, Rural Development Administration*

***Division of environment civil Engineering, Inha University*

(Received 31 May 2007, Accepted 28 June 2007)

Abstract

There have been serious soil erosion and water pollution problems caused by highland agriculture practices at Doam-dam watershed. Especially agricultural activities, chemical and organic fertilizer and pesticide applications, soil reconditioning to maintain soil fertility are known as primary causes of soil erosion and water quality degradation in the receiving water bodies. Among these, soil reconditioning can accelerate soil erosion rates. To develop soil erosion prevention practices, it is necessary to estimate the soil erosion from the watershed. Thus, the Universal Soil Loss Equation (USLE) model has been developed and utilized to assess soil erosion. However, the USLE model cannot be used at watershed scale because it does not consider sediment delivery ratio (SDR) for watershed application. For this reason, the Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control (SATEEC) was developed to assess the sediment yield at any point in the watershed. The USLE-based SATEEC system can estimate the SDR using area-based SDR and slope-based SDR module. In this study, the SATEEC system was used to estimate soil erosion and sediment yield at the Doam-dam watershed using the soil properties from reconditioned agricultural fields. Based on the soil sampling and analysis, the USLE K factor was calculated and used in the SATEEC system to analyze the possible errors of previous USLE application studies using soil properties from the digital soil map, and compared with that using soil properties obtained in this study. The estimated soil erosion at the Doam-dam watershed without using soil properties obtained in the soil sampling and analysis is 1,791,400 ton/year (123 ton/ha/year), while the soil erosion amount is 2,429,900 ton/year (166.8 ton/ha/year) with the use of soil properties from the soil sampling and analysis. There is 35 % increase in estimated soil erosion and sediment yield with the use of soil properties from soil reconditioned agricultural fields. Since significant amount of soil erosion are known to be occurring from the agricultural fields, the soil erosion and sediment yield from only agricultural fields was assessed. The soil erosion rate is 45.9 ton/ha/year without considering soil properties from soil reconditioned agricultural fields, while 105.3 ton/ha/year after considering soil properties obtained in this study, increased in 129 %. This study shows that it is very important to use correct soil properties to assess soil erosion and sediment yield simulation. It is recommended that further studies are needed to develop environment friendly soil reconditioning method should be developed and implemented to decrease the speed of soil erosion rates and water quality degradation.

keywords : Soil Erosion, Sediment Yield, SATEEC (Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control), USLE (Universal Soil Loss Equation)

1. 서론

[†] To whom correspondence should be addressed.
kskim@kangwon.ac.kr

오랜 세월 인간은 흙 위에서 살았고 더불어 흙을 매만지며 살아왔다. 자연적인 강수와 바람 등에 의한 침식과 퇴

적 과정의 반복으로 오늘날의 지형이 만들어졌다. 하지만 인간중심의 개발로 인하여 토양의 자연적인 균형은 파괴되었다. 특히 국토면적의 대부분이 산림으로 이루어진 우리나라의 경우 경작지 확보 등을 위한 개간과 같은 비합리적인 토지이용에 따라 지력쇠퇴와 토양유실 문제가 심각해지고 있다. 이러한 토양유실은 표토의 유실 그 자체만으로도 문제가 되지만 이로 인하여 하류 하천에서 많은 환경적인 문제가 유발되기도 한다. 토양유실에 의한 문제점으로는 첫째, 농경지의 황폐화에 의한 생산성 저하 및 영농 작업수행의 곤란, 둘째, 농약과 비료 등의 오염물질과 영양물질의 흡착·이동에 따른 하천 및 호소의 오염, 셋째, 하천의 통수 능력 및 저수지의 수리적 기능의 저하 등을 지적할 수 있다(조 등, 2005).

최근 강원도 평창군에 위치한 도암댐 유역에서의 심각한 토양유실과 영양물질의 수계유입으로 인한 수질 악화가 큰 문제가 되고 있다. 도암댐 유역은 대부분 산간지를 개간하여 밭을 만든 고랭지 농업지대이다. 이러한 이유로 경사가 급하여 고랭지 농업이 본격적으로 추진되는 시기인 7~8월의 집중호우로 인한 토양침식이 매우 많이 발생되어 표토 유실과 더불어 고농도의 영양물질을 함유한 토사가 인근 하천으로 들어가 강릉, 정선, 영월 지역의 수질을 악화시키며, 크게는 서울의 상수원인 한강 상류까지 수(水) 환경적으로 심각한 영향을 미칠 수 있다. 이와 더불어 토양유실로 척박해진 고랭지 경사밭의 생산성을 유지하기 위한 비료, 농약, 가축분뇨 등의 과다 투입 및 객토로 인한 토양유실로 문제가 더욱더 심화되고 있는 실정이다. 이러한 탁수 및 수질 문제를 해결하기 위해서는 유역에서 발생하는 토양유실량을 정확하게 산정하는 것이 필요하다.

시간적·공간적으로 변화하는 유역내 토양유실량을 정확하게 측정하는 방법은 현실적으로 불가능하다. 토양 유실을 정확하게 측정하기 위해서는 토양 유실에 대한 관측 및 토양 유실에 영향을 미칠 수 있는 요소들의 파악이 현실적으로 제한이 되어 있기 때문이다. 이에 따라 토양유실을 파악하기 위해서는 유사한 지역의 토양 유실량 실측자료를 이용하는 것이 한 방법이 될 수 있다. 그러나 실측자료가 없는 경우에는 미국에서 개발된 범용 토양 손실 공식인 Universal Soil Loss Equation (USLE)과 같은 토양 손실 추정방법을 이용할 수 있다(Wischmeier et al, 1978).

USLE 모형이란 강우, 토양, 지형 조건 등 토양침식에 영향을 미치는 여섯 가지의 입력인자를 이용하여 일정지역의 토양유실량을 예측하는 모형이다. 지난 40여 년간 우리나라에서 뿐만 아니라 전 세계적으로 USLE 모형이 토양 유실량 산정에 많이 이용(김 등, 2005)되고 있다. 조 등(2005)은 RUSLE와 SEDD를 이용한 고랭지 경작지로 부티의 토양유실을 평가하였다. 또한, 신 등(2004)은 대관령 지역의 토지이용이 오염물 유출부하량에 미치는 영향을 USLE계열 모형 및 CN법을 적용하여 연구하였다. 기존연구들은 USLE 모형의 토양특성 인자 산정시 농촌진흥청 등에서 제공하는 토양통 자료 등을 바탕으로 산정하고 있다. 하지만 토양통 자료 구축을 위한 조사는 인력과 비용 문제로 연단위로 하

고 있는 실정이다. 이러한 제한점으로 인하여 농경지에서 행하고 있는 객토와 같은 영농 행위 등에 의한 토양층 토양속성의 변화까지는 고려할 수 없다.

특히, 도암댐 유역내 농업지역내 영농활동으로 인한 객토된 토양은 토양구조가 흐트러져 있는 상태이기 때문에 강수에 따른 유출로 인하여 상당량이 쉽게 유실되는 경향이 있다(허 등, 2007). 이에 따라 원지반 토양의 특성을 고려하지 않고 단순히 토양통 자료에만 의존해서 토양특성 인자를 산정한다면 정확한 토양유실 평가를 기대하기 힘들 것이다. 또한, 고 등(2006)은 USLE 및 GIS/RS를 이용하여 서낙동강 유역의 농경지 토양침식위험도를 평가하였고, 한 등(2001)은 GIS와 USLE를 이용하여 유역의 토사발생량을 분석하였다. 하지만, USLE모형을 이용한 유역내 유사 모의시 신중히 검토해야 할 것으로 판단된다. 그 이유는 USLE 모형은 주로 소규모 시험포장 단위에서 적용하던 시험포장 단위 모형으로 유달률이 고려되지 않기 때문이다. 유달률이란 유역에서의 발생된 토양 유실량이 하천으로 직접적으로 유입되는 비율이다. 유달률이 중요시 되는 이유는 유달률이 고려되지 않는 모형은 하천에 직접적으로 유입되는 즉, 수질에 직접적으로 영향을 미치는 토양유실량의 추정이 힘들기 때문이다. 이를 위해 Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control (SATEEC) 시스템이 수계내 임의의 지점에서의 유사량을 구하기 위해 개발되었다(Lim et al., 2003, 2005). 이 SATEEC은 USLE에 기반을 두고 있으나 공간적으로 분포된 유달률 맵을 산정하기 위해 면적에 따른 유달률 공식을 이용할 수 있을 뿐만 아니라, 경사에 따른 유달률 공식을 사용할 수도 있다(Lim et al., 2003, 2005; 박 등, 2007).

따라서, 본 연구의 목적은 SATEEC 시스템을 활용하여 객토 토양의 토성을 고려하지 않고 전자토양도 자료만을 활용한 토양유실량 및 유사유입량 모의가 실제 발생 가능한 토양유실량 및 유사유입량과 얼마나 많은 차이가 발생할 수 있는지를 분석·평가하여 토양유실 모의시 정확한 토양 속성 자료 활용의 중요성을 일깨우는데 있다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구지역 선정

연구 대상지역은 행정구역상 강원도 평창군 도암면에 속하는 도암댐 유역이다. 도암면은 전체 면적 221.6 Km², 전체 인구 6,423명으로 북쪽으로는 강릉시 연곡면, 서쪽으로 진부면, 동쪽으로 강릉시 사천면·성산면·왕산면 등과 접한다(평창군 통계연보, 2005). 도암면 전체면적의 145.65 Km²(65%)를 차지하는 도암댐 유역면적의 82.6%는 산림지역이며 농경지와 초지는 각각 8.1%와 4.4%로 대부분의 면적이 산림지역으로 산세가 험한 전형적인 산림 고원지역이다. 특히, 이 지역에서는 고랭지의 기후적 특성으로 인해 영농활동이 활발히 이루어지고 있다. Fig. 1은 도암댐 유역의 수계를 나타내고 있다.



Fig. 1. Location of the Doam-dam watershed at PyeongChang, Gangwon-Do.

2.2. SATEEC 모형의 적용

2.2.1. SATEEC 모형 개요

SATEEC 시스템은 기존 USLE 모형의 입력자료(Rainfall erosivity, Soil erodibility, Slope length and steepness, Crop management, Practice factice)와 수치표고모형(Digital Elevation Model: DEM) 만을 이용하여 유역내 토양유실 및 유사발생을 모의할 수 있는 모형이다. 이 SATEEC 모형은 유역면적과 하천평균경사에 따른 유달률을 산정하여 유역에서 유실된 토양이 얼마만큼 하류로 유달되는지를 모의한다. 이 SATEEC 시스템은 ArcView GIS 기반의 공개용 모

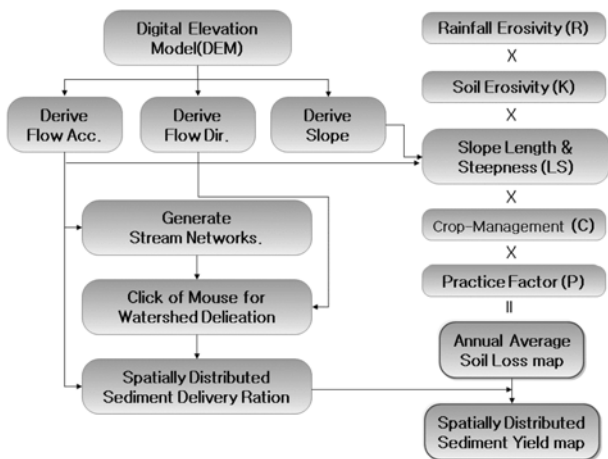


Fig. 2. Overview of the SATEEC System(Lim et al., 2003, 2005).

형으로 무료로 다운로드 받아 이용할 수 있다(SATEEC ArcView GIS 홈페이지, <http://www.EnvSys.co.kr/~sateec>). 아래 Fig. 2는 SATEEC시스템의 입·출력 및 구동과정에 관한 개요이다.

2.2.2. SATEEC시스템 및 USLE모형의 입력자료

2.2.2.1. R factor

강우인자(R)은 정 등(1999)에 의해 계산된 강우침식능 인자를 이용하였다. Table 1은 강원도 지역의 행정구역별 강우인자(R)를 나타낸다. 본 연구에서는 대관령에 해당하는 R factor(408.5)를 사용하였다.

2.2.2.2. K factor

토양침식인자(K)는 토양의 침식성에 따른 토양침식량의 변화를 나타내는 인자로서 입도분포, 토양의 구조 및 유기물 함량등에 관계된다. Wischmeier 등(1978)은 토양에서의 미사(silt)와 극세사(very fine sand)의 함량과 모래, 유기물, 토양구조, 투수성 등의 토양 특성에 따라 K factor를 결정하는데 다음과 같은 식을 제안하였다.

$$K = \left(\frac{2.1}{100}\right)M^{1.14}(10^{-4})(12-a) + 3.25(b-2)2.5(c-3) \quad (1)$$

Where, M = (slit(%) + vfs(%)) × (100 - clay(%))

a = OM.(%), b = Structure code(1~4),

c = Permeability Code(1~6)

VFS : 극세사 함량

OM : 유기물 함량

Structure code : 토양구조 등급

Permeability code : 투수도 등급

식 (1)의 토양구조 등급은 토양구조의 내외부의 입단정도, 안전성, 입단성 및 응집성 등의 정도에 따른 등급이며, 투수도 등급은 포화상태의 토양에서 중력에 의한 수분 이동 속도에 따른 등급이다.

본 연구에서는 농업진흥청 농업과학기술원 농업토양정보 시스템(ASIS, 2000)에서 제공해 주는 정밀토양도(1:25000)와 정 등(1999)에 의해 계산된 토양침식능 인자를 사용하여 객토를 하지 않는 원지반 토양의 K factor를 산정하였다. Fig. 3은 SATEEC시스템의 K factor 입력자료 이고 Table 2는 평창지역의 토양통에 따른 토양침식인자(K)값을 나타낸다.

또한, 객토된 토양의 토양침식인자(K)값의 산정을 위하여 도암댐 유역내의 농경지의 객토된 토양의 물리적/화학적 특성을 분석하기 위하여 2007년 2월 8일 토양 시료를 채취

Table 1. Precipitation and R-factor values for the universal soil loss equation in Taegwallyung (정 등, 1999)

Location			Precipitation (mm)			R-factor				
			Apr.-Nov.	Dec.-Mar.	Annual	Adjusted factor.U	Apr.-Nov	Dec.-Mar. R. 1.5R.	Annual	
High land	Taegwallyung	73-96	1,412.4	219.3	1,631.8	0.595	360.5	31.9	47.9	408.5

Table 2. Soil erodibility, K value, for various soils based on the pyungchang soil survey map (정 등, 1999)

Soil	Horizon	Depth (cm)	Particle size distribution				OM (%)	*S	*P	Soil erodibility K
			Sand (mm)		Silt	Clay				
			2-0.01	0.01-0.05	(0.05-0.002)	(>0.002)				
Gagwha	Ap.up	0-9	31.9	3.7	36.9	27.5	4.0	2.5	4.5	0.21
Mui	Ap.up	0-17	39.7	6.5	35.8	17.2	6.6	2.5	1.0	0.09
Bancheon	Ap.up	0-11	7.6	2.8	56.0	34.7	3.4	2.5	5.0	0.29
Bonryang	Ap.up	0-20	47.5	12.6	29.8	9.9	2.3	2.5	1.5	0.23
Songjeong	A.up/f	0-9	46.1	8.5	27.3	18.1	4	2.0	2.5	0.14
Sinbul	A.up/f.g	0-26	18.9	2.5	51.2	27.4	4.9	3.0	2.0	0.19
Odae	A11.f	0-12	32.4	6.3	41.6	19.7	7.6	1.0	2.0	0.06
Wangsan	Ap.up	0-15	17.1	2.0	66.9	14.0	6.8	2.0	3.0	0.22
Oesan	Ap.f	0-13	17.1	2.0	66.9	14.0	6.8	1.5	2.0	0.18
Ungyo	Ap.up	0-15	5.9	1.0	62.2	30.9	7.5	2.0	4.0	0.16
Weojeong	Ap.up	0-20	43.6	6.6	34.2	15.6	8.1	2.0	2.0	0.06
Imog	Ap.up	0-15	28.1	14.8	45.7	11.4	1.3	2.5	3.0	0.42
Jungdong	Ap1.up	0-10	47.8	20.9	27.0	4.3	1.2	2.0	2.5	0.33
Chahang	Ap1.up	0-12	29.3	4.0	45.0	21.7	6.7	2.0	3.0	0.14
Cheongsim	A1.up	0-6	22.3	3.9	59.9	13.9	3.3	2.0	3.0	0.34
Pyungchang	Ap.up	0-10	19.7	5.1	46.2	31.7	3.6	2.0	6.0	0.27
Hogye	Ap.up	0-12	23.3	8.2	53.7	14.8	3.2	2.0	2.0	0.30
Hwangryong	Ap.up	0-14	65.8	15.4	13.4	5.4	0.2	2.5	1.0	0.17

*S : structure code, *P : profile permeability class

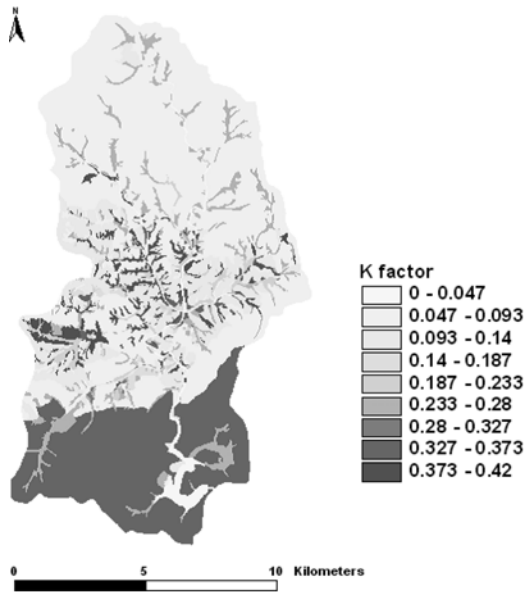


Fig. 3. K factor at the Doam-dam watershed.

하였다(Fig. 4(a)). 입도분석에 사용되는 토양입자의 크기는 2 mm 이하로 하는 것이 원칙이다(박 등, 2004). 그러나 도암댐 유역의 농경지 객토 토양에는 2 mm 이상 되는 입자

의 자갈이 20%를 포함되어 있다. 따라서 모재 객토지와 같이 자갈의 함량이 많은 곳에서의 입도 분석시 2 mm 이상의 입자도 함께 분석했다(박 등, 2004). 그리고 채취된 시료의 토양분류를 위하여 비중계 시험 및 체가름 시험을(Fig. 4(b)) 하여 입도가적곡선을 산출하였다(Fig. 4(c)).

토양분석 시험결과의 식 (1)에 대입하여 객토된 토양의 K값을 산정하였다(Table 3). 또한, 객토된 토양의 입도가적곡선을 바탕으로 산정한 K factor를 바탕으로 객토된 토양의 토성을 고려한 K factor 입력자료를 구축하였다. Fig. 5는 객토된 토양의 속성을 사용하여 산정한 K factor이다.

2.2.2.3. LS factor

LS인자는 무차원 상수로 경사도(S)와 경사길이(L)가 토양유실에 미치는 영향을 말하며, 경사도와 경사길이가 클수록 큰 값을 갖는다. 경사가 클 경우 물이 중첩되어 속도가 증가하기 때문에 침식성이 커진다. SATEEC시스템은 Moore 등(1986a, 1986b)의 방법(식 (3))을 이용하여 LS값을 계산한다. 본 연구에 사용된 DEM데이터는 환경부에서 발행한 1:5000 수치지도를 격자크기 5 m × 5 m로 하여 가공하였다. Fig. 6은 SATEEC시스템을 통해 산정된 LS값이다.

Table 3. Soil erodibility, soil particle size distribution, organic matter, structure, profile permeability class, K value considering soil reconditioned agricultural fields

Particle size distribution				OM (%)	*S	*P	Soil erodibility K
Sand		Silt	Clay				
2-0.01 mm	0.01-0.05 mm	(0.05-0.002 mm)	(>0.002 mm)				
71.0 %	17.0 %	23.0 %	3.0 %	2.0	2.5	2.5	0.25

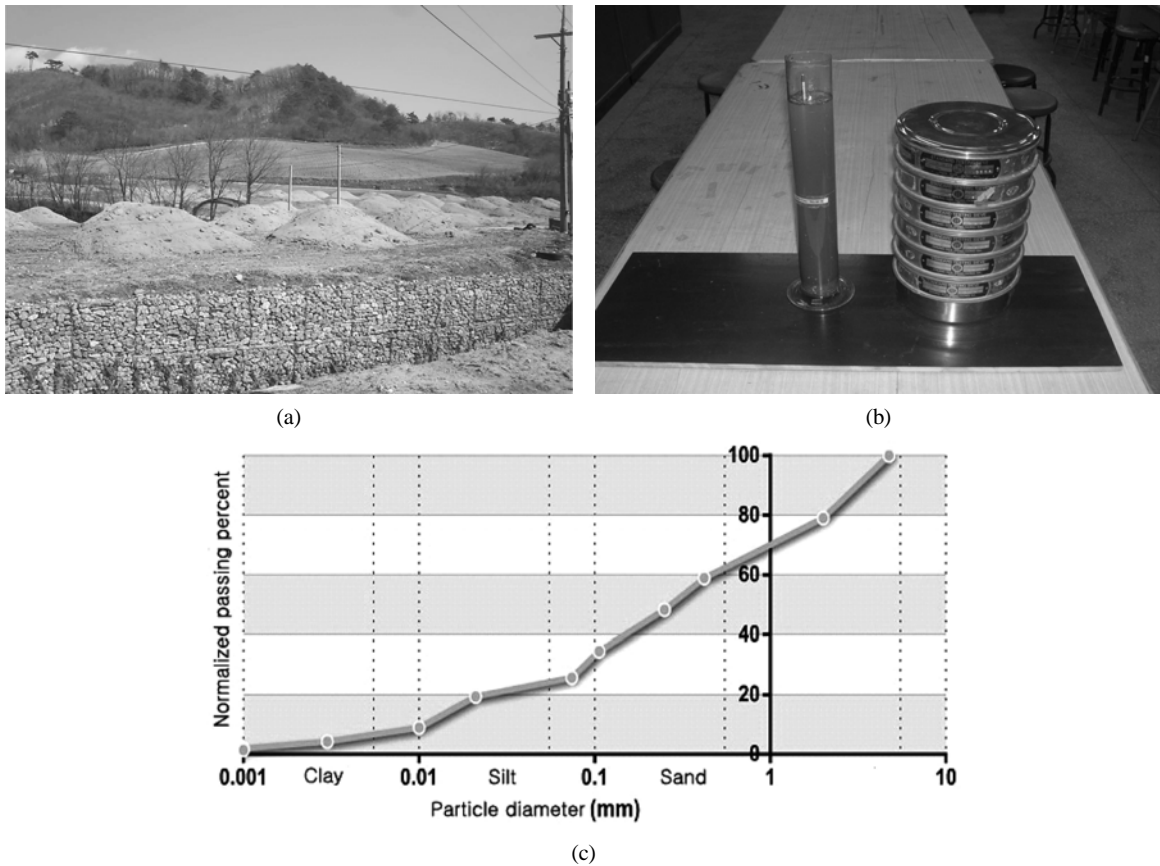


Fig. 4. (a) Soil sampling site view at the Doam-dam watershed, (b) soil hydrometer test (c) soil gradation & particle size distribution test.

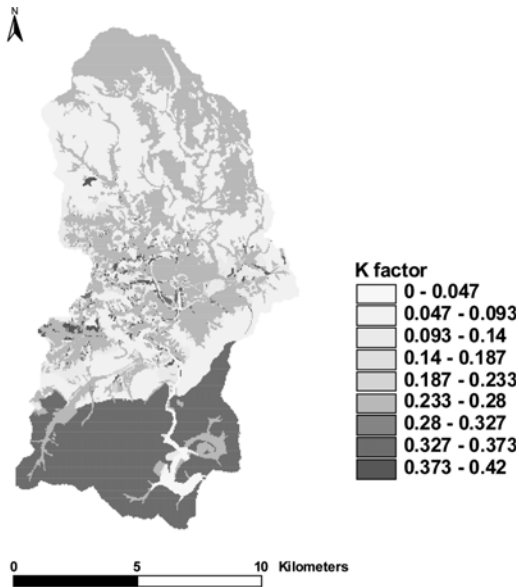


Fig. 5. K factor considering soil reconditioned agricultural fields at the Doam-dam watershed.

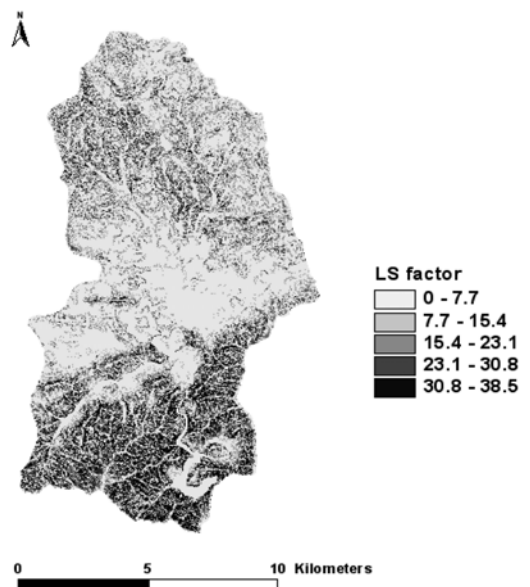


Fig. 6. LS factor at the Doam-dam watershed.

$$LS = \left(\frac{A}{22.13}\right)^{0.6} \left(\frac{\sin\theta}{0.0896}\right)^{1.3} \quad (3)$$

Where, A is specific watershed area (flow acc. * cell size²/cell size)
 Θ is slope angle in degree

2.2.2.4. C factor

작물생장인자(C)는 본래 작물의 생육에 따라 토양유실량의 실측값에 따라 구해야 하지만 이 점에 대해 검토한 연구가 국내에서는 정 등(1985)의 연구를 제외하면 거의 없는 실정이다. 본 연구에서는 환경부 환경지리정보에서 배포

Table 4. C Factor for Various Land Uses (정 등, 1985)

Landuse	WATR.	FRST.	PAST.	AGRL.	URLD.	Bare ground
C factor	0.0	0.001	0.01	0.26	0.01	1

WATR : Water, FRST : Forest, Past : Pasture, AGRL : Agricultural land URLD : Urban residential low density

Table 4. P Factor for Various Slopes (박 1999, 2002)

	Slope (%)	P factor
Upland	0-2	0.60
	2-7	0.50
	7-12	0.60
	12-18	0.80
	18-24	0.90
	24-30	0.95
	>30	1.00

하는 2005년 1/2,5000의 대분류 수치 토지피복도 자료를 이용하였다. 이를 이용하여 각 토지피복별로 Table 4는 정 등(1985)의 C factor값을 적용하여 산정하였다. Fig. 7은 테이블 자료를 바탕으로 구축된 SATEEC시스템의 입력자료이다.

2.2.2.5. P factor

작물경작인자(P)는 경운방법과 보전영농시설 등 토양침식에 영향을 미치는 값이다. 경운방법에는 등고선 경작, 등고선 대상재배 등의 방법이 있다. 본 연구에서는 박(1999, 2002)에 의해서 제안한 작물경작인자를 경사도에 따라 산정하였다. 또한 토지이용상 농업지역 이외의 지역에서는 P factor 값은 1을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 객토고려 유무에 따른 도암댐 전체유역의 토양유실/유사유입량

Fig. 9는 객토고려에 따른 전체유역에 대한 토양유실량 분포도이다. Table 5는 객토토성 고려에 따른 도암댐 전체 유역의 토양유실과 유사 발생량이다. 객토토성을 고려하지 않고 산정한 도암댐 전체 토양유실량은 1,791,400 ton/year이다. 하지만 객토토성 고려후 발생한 토양유실량은 2,429,900 ton/year이다. 이를 단위면적당 토양유실량으로 환산 했을시 객토토성 고려전 발생한 토양유실량은 123.0 ton/ha/year이며 객토토성 고려후 발생한 토양유실량은 166.8 ton/ha/year이다. 객토토성 고려전과 후의 차는 43.8 ton/ha/year였다. 객토토성 고려전 하류지역으로 유사 유입량은 770,302 ton/year이며, 객토토성을 고려후 하류지역으로 1,044,857 ton/year이다. 단위면적 1 ha에서 발생하는 유사량은 객토토성 고려전에는 52.9 ton/ha/year였으며, 객토토성 고려후에는 71.7 ton/ha/year이었다.

3.2. 객토고려 유무에 따른 도암댐 전체유역내 농경지의 토양유실/유사유입량

Fig. 10과 Table 6은 상당량의 토양유실이 발생하는 농경지에서의 토양유실량을 분석해 본 결과이다. 객토토성 고려전에 농경지에서는 총 488,998 ton/year (106.8 ton/ha/year)의 토양유실이 발생가능하는 것으로 분석되었고, 객토 토성을 고려한 후 도암댐 유역내 농경지에서만 총 1,121,280 ton/year (244.8 ton/ha/year) 토양유실이 발생할 것으로 분석되었다. 객토토성을 고려했을 때 농경지에만 1 ha당 연간 138 ton/year의 토양유실이 더 많이 발생할 것으로 분석되었다. 객토토성 고려전 발생한 유사유입량은 210,268 ton/year이며 객토토성 고려후 유사유입량은 482,150 ton/year

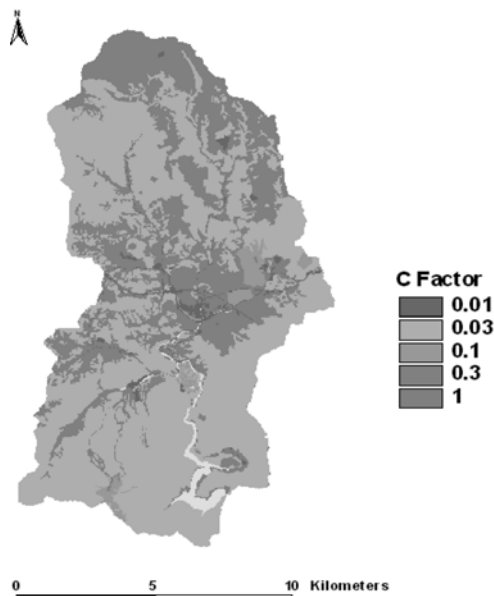


Fig. 7. C factor at the Doam-dam watershed.

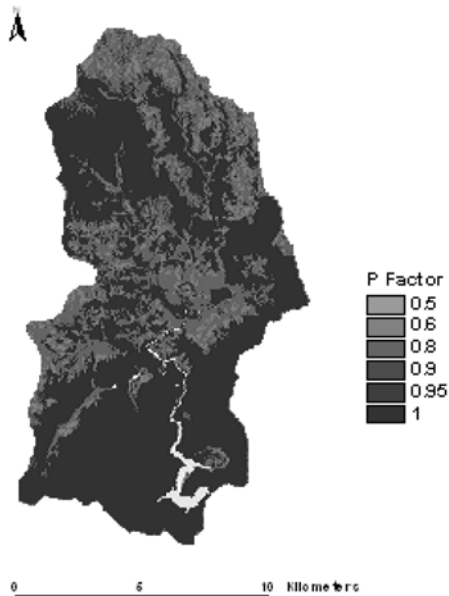
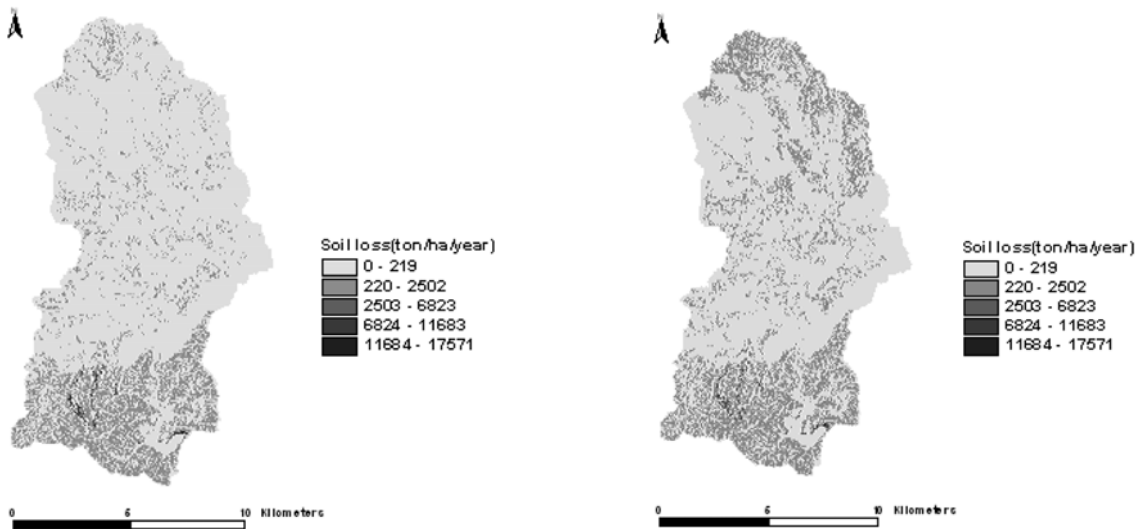


Fig. 8. P factor at the Doam-dam watershed.

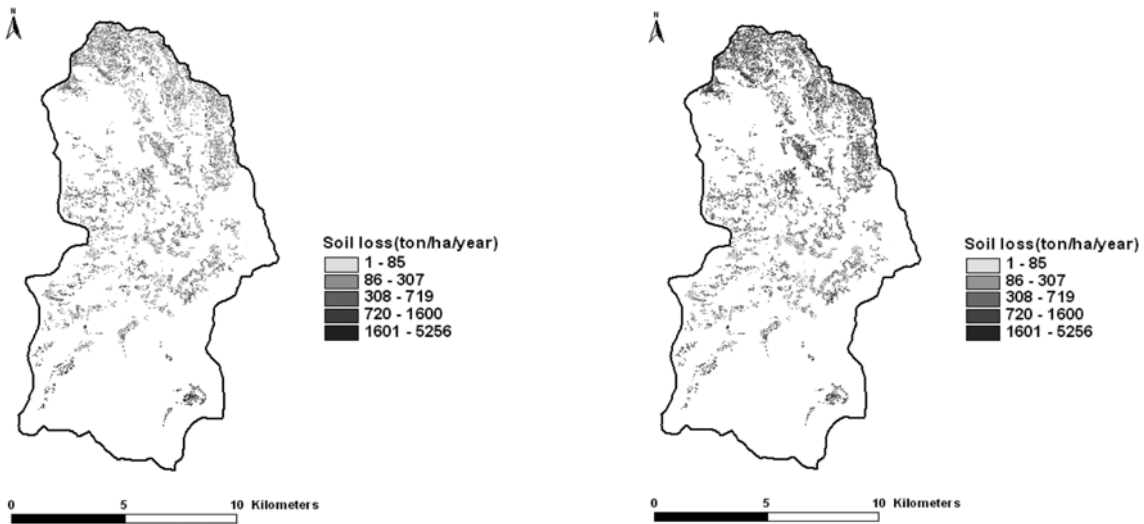


(a) Annual average soil loss distribution before considering soil properties from soil reconditioned agricultural field (b) Annual average soil loss distribution after considering soil properties from soil reconditioned agricultural field

Fig. 9. Annual average soil loss at the Doam-dam watershed.

Table 5. Soil loss at the Doam-dam watershed

	Watershed area	Soil loss		Area-based sediment delivery ratio	Sediment yield	
		(ton/ha/yr)	(ton/yr)		(ton/ha/yr)	(ton/yr)
Before	14,564 ha	123.0	1,791,400	0.43	52.9	770,302
After		166.8 (↑ 43.8)	2,429,900 (↑ 638,500)	0.43	71.7 (↑ 18.8)	1,044,857 (↑ 274,555)



(a) Annual average soil loss distribution at agricultural field before considering soil properties from soil reconditioned agricultural field (b) Annual average soil loss distribution at agricultural field after considering soil properties from soil reconditioned agricultural field

Fig. 10. Soil loss at agricultural fields of the Doam-dam watershed.

Table 6. Soil loss at agricultural fields of the Doam-dam watershed

	Agricultural area	Soil loss		Area-based sediment delivery ratio	Sediment yield	
		(ton/ha/yr)	(ton/yr)		(ton/ha/yr)	(ton/yr)
Before	4,580 ha	106.8	488,998	0.43	45.9	210,268
After		244.8 (↑ 138)	1,121,280 (↑ 632,282)	0.43	105.3 (↑ 59.4)	482,150 (↑ 271,882)

이다. 단위면적 1 ha에서 발생하는 유사량은 객토토성 고려전에는 45.9 ton/ha/year였으며 객토토성 고려 후에는 105.3 ton/ha/year였다.

3.3. 객토고려에 따른 도암댐 전체유역과 전체유역내 농경지에서의 토양유실/유사유입량 비교분석 및 고찰

토양유실량이 객토토성 고려에 따라 638,500 ton/year의 양이 도암댐 전체유역에서 추가로 발생 가능할 것으로 분석되었다. 도암댐 전체유역내 농경지에서 객토토성 고려에 따라 632,282 ton/year의 양이 추가로 발생 가능할 것으로 분석되었다. 유사유입량의 경우 객토토성 고려에 따라 274,555 ton/year의 양이 도암댐 전체유역에서 추가로 발생 가능할 것으로 분석되었다. 도암댐 전체유역내 농경지에서 객토토성 고려에 따라 271,882 ton/year의 양이 추가로 발생 가능할 것으로 분석되었다. 이러한 차이를 보이는 것은 객토를 고려하여 산정한 K factor 값이 원지반 K factor보다 상대적으로 값이 커져 토양유실이 추가로 발생한 것으로 판단된다. 도암댐 전체유역에서 추가로 발생 가능할 것으로 분석되는 토양유실량과 유사유입량의 대부분은 객토가 행해지는 농경지에서의 발생량에 의한 것으로 판단된다.

4. 결론

근래 토양유실이 점점 이슈화 되고 있다. 특히, 도암댐 유역은 고령지 농업지역은 지형/기후적 특수성에 따른 영농으로 인해 토양유실과 이로 인한 수질오염으로 많은 문제점이 제기되어 왔다. 본 연구의 주요목적은 도암댐 유역의 객토토양을 시료 채취후 K값 산정과 이를 SATEEC시스템에 이용하여 도암댐 유역의 토양침식 모의시, 객토 토양의 특성을 고려하지 않을 경우 발생 가능한 오류를 분석하는 것이다. 연구지역에 대해서 원지반 토양에 대한 K인자값 적용시 1,791,400 ton/year (123.0 ton/ha/year)의 토양유실이 발생하였고, 객토된 토양에 대해서 K인자값 0.25를 적용시 2,429,900 ton/year (166.8 ton/ha/year)의 토양유실이 발생하였다. 객토된 토양의 토성 고려 유무에 따라서 도암댐 유역 전체에 대해서 약 638,500 ton/year (43.8 ton/ha/year)의 토양유실량 차이가 나타났다. 객토토성 고려전 발생한 유사유입량은 770,302 ton/year (52.9 ton/ha/year)이며 객토토성 고려후 유사유입량은 1,044,857 ton/year (71.7 ton/ha/year)으로 나타났다. 객토된 토양의 토성 고려 유무에 따라서 약 35% 가량 토양유실량 및 유사유입량이 증가할 것으로 분석되었다. 특히 객토가 행해지고 있는 농경지에서만의 토양유실량은 객토토성 고려전 488,998 ton/year (106.8 ton/ha/year), 객토토성 고려후 1,121,280 ton/year (244.8 ton/ha/year)이며 객토토성 고려전 발생한 유사유입량은 210,268 ton/year (45.9 ton/ha/year)이며 객토토성 고려후 유사유입량은 482,150 ton/year (105.3 ton/ha/year)으로 나타났다. 객토된 토양의 토성 고려 유무에 따라서 농경지에서만 약 129% 가량 토양유실량 및 유사유입량이 증가할

것으로 분석되었다. 따라서 객토 토성을 고려하지 않고 토양유실을 모의할 경우 도암댐 유역 전체에서는 약 35% 가량, 밭 지역에서는 약 129% 가량 오류가 발생할 수 있다는 것을 보여준다. 특히 유역내 농경지의 면적이 큰 경우 더 큰 오류가 발생할 수 있기 때문에 유역에서의 토양유실량 및 유사유입량 모의시 현장방문을 통한 모형 입력자료의 검증 작업이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구의 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다. 첫째, 객토토성 고려 유무에 따라 모의되는 토양유실량에 있어서 상당한 차이가 발생할 수 있다. 둘째, 유역의 토양유실을 모의시 정확한 토양 특성 자료 사용이 모의 토양유실 및 유사유입량에 상당한 영향을 줄 수 있다. 더불어, 생산성 위주의 객토를 지양하고 작물별 적정 객토를 통해 하류 지역으로의 유사유입량을 상당부분 줄일 수 있을 것으로 사료된다. 기존 선행된 연구들은 토양특성 인자 산정시 단순히 토양통 자료를 사용하였는데, 이는 전자 토양도가 구축된 이후 표토의 유실이 전혀 없고 객토가 행해지지 않았다고 가정하여 토양유실량을 모의한 것이었다. 따라서 본 연구의 결과는 유역내 토양유실량 및 유사유입량 모의시 객토토성 고려 필요 가능성을 보여준다.

본 연구에서는 객토 토양의 특성 분석시 강원도 평창군 도암면 내 농경지 객토 토양 샘플을 분석하여 도암댐 유역내 객토 토양의 대표특성으로 가정하여 분석하였다. 본 연구의 차이가 이로 인한 결과의 차이를 무시 할수 없음이 판단되므로 향후, 보다 정확한 모의를 위해서는 도암댐 유역내 많은 곳에서의 토양샘플링을 통한 특성 분석을 수행하여 보다 정확한 K인자 값의 산정이 필요할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 고령지 농업연구소와 강원대학교 농업과학연구소의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

참고문헌

- 고지연, 이재생, 정기열, 윤을수, 치영대, 김춘식, 박성태, 김복진, USLE 및 GIS, RS를 이용한 서낙동강 유역 농경지 토양침식 위험도 평가, *한국토양비료학회지*, **39**(3), pp. 173-183 (2006).
- 김기성, 허성구, 정영상, 김지만, 임경재, 홍천군 산지농업지대의 토양침식취약성 분석, *농촌계획학회지*, **11**(2), pp. 51-57 (2005).
- 박윤식, 임경재, 김종건, 허성구, 유동선, 안재훈, 김기성, 최중대, SATEEC GIS 시스템을 이용한 면적/경사도에 의한 유달률 산정 방법에 따른 유사량 분석, *춘계 GIS 워크숍 및 학술대회 논문집, 한국지리정보학회*, pp. 145-156 (2007).
- 박철수, 울문천 소유역에서 토지이용에 따른 불특정 오염 Monitoring, *석사학위논문, 강원대학교* (1999).
- 박철수, 고령지 농경지의 유실방지를 위한 토양관리 방법, *박사학위논문, 강원대학교* (2002).

- 박철수, 정영상, 주진호, 양재의, 강원도 고랭지의 석비례 성토지 토양 특성, *한국토양비료학회지*, **37**(2), pp. 66-73 (2004).
- 신영규, 김종욱, 대관령지역의 토지이용이 오염물 유출부하 량에 미치는 영향, *한국지형학회지*, **11**(1), pp. 91-104 (2004).
- 정영상, 권영기, 임형식, 하상건, 양재의, 강원도 경사지 토양 유실예측용 신 USLE의 적용을 위한 강수 인자와 토양 침식성인자의 검토, *한국토양비료학회지*, **32**(1), pp. 31-38 (1999).
- 정필균, 고문환, 엄기태, 토양유실량 예측을 위한 작부인자 검토, *한국토양비료학회지*, **18**(1), pp. 7-13 (1984).
- 조홍래, 정종철, RUSLE와 SEDD를 이용한 고랭지 경작지로부터의 토양유실 평가, *한국GIS학회지*, **13**(1), pp. 79-90 (2005).
- 한재석, 김주훈, GIS와 USLE를 이용한 유역의 토사발생량 분석, *환경관리학회지*, **7**(1), pp. 145-152 (2001).
- 허성구, 김재영, 유동선, 김기성, 안재훈, 윤정숙, 임경재, 객토 농경지의 토양특성을 고려한 도암댐 유역에서의 수문 및 유사 거동 모의, *한국농공학회지*, **49**(2), pp. 49-60 (2007).
- (평창군 통계연보, 2005)
- ASIS Agricultural Soil Information System <http://asis.rda.go.kr> (accessed Jun. 2007)
- Lim, K. J., Choi, J. D., Kim, K. S., Sagong, M. and Engel, B. A., Development of sediment assessment tool for effective erosion control (SATEEC) in small scale watershed, *Transactions of the Korean Society of Agricultural Engineers*, **45**(5), pp. 85-96 (2003).
- Lim, K. J., Sagong, M., Engel, B. A., Zhenxu, T., Choi, J. D. and Kim, K. S., GIS-based sediment assessment tool, *Catena*, **64**, pp. 61-80 (2005).
- Moore, I. and Burch, G., Physical Basis of the Length-Slope Factor in the Universal Soil Loss Equation, *Soil Science Society of America Journal*, **50**, pp. 1294-1298 (1986a).
- Moore, I. and Burch, G., Modeling Erosion and Deposition: Topographic Effects, *TRANS of ASAE*, **29**(6), pp. 1624-1630, 1640 (1986b).
- Wischmeier, W. H. and Smith, D. D., Predicting rainfall erosion losses, A Guide to Conservation Planning, *The USDA Agricultural Handbook*, **537** (1978).