

토양침식량 산정에서 토양도 축척에 따른 적정 해상도 분석에 관한 연구*

이근상^{1*} · 장영률² · 조기성³

The Analysis of Optimum Resolution with Different Scale of Soil Map for the Calculation of Soil Loss*

Greun-Sang LEE^{1*} · Young-Ryul JANG² · Gi-Sung CHO³

요 약

최근 수정범용토양유실공식을 활용한 토양침식 연구가 활발히 진행중에 있으나, 실측자료와의 비교가 어렵기 때문에 계산된 결과를 정량적으로 검증하지는 못하였다. 본 연구에서는 RUSLE 모형을 구성하고 있는 인자들을 GIS 격자분석기법으로 분석하였으며, 특히 1:250,000 개략토양도를 주로 활용하였던 기존의 연구와 달리 1:25,000 정밀토양도를 활용한 토양침식인자를 제시하였다. 그리고 RUSLE 모형으로 계산한 토양침식량의 검증을 위해 보성강 유역의 비퇴사량 실측자료를 이용하였으며, 토양도의 축척을 고려한 결과 1:250,000 개략토양도의 경우는 120m의 해상도가 적합한 것으로 평가되었고 1:25,000 정밀토양도를 고려한 경우는 150m 해상도가 적합한 것으로 평가되었다.

주요어: 수정범용토양유실공식, 토양침식, 비유사량, 비퇴사량

ABSTRACT

RUSLE (revised universal soil loss equation) has been widely used for estimating soil loss. It is very difficult to validate the model estimation since the calculated soil loss should be compared with the survey data for quantification. The input variables for RUSLE model were estimated to grid cell for raster analysis in Bosung basin. Both reconnaissance (1:250,000) and detailed (1:25,000) soil maps were used to derive the input variables for soil erodibility factor. Soil loss calculated using RUSLE were compared to the unit sediment deposit surveyed by KICT (Korea Institute of Construction Technology, 1992) in Bosung basin for assessment. Unit sediment deposit from the cell size of 120m and 150m were the closest to the survey data in 1:250,000 and 1:25,000 map scale, respectively.

KEYWORDS: RUSLE, Soil Loss, Unit Sediment Yield, Unit Sediment Deposit

2003년 6월 4일 접수 Received on June 4, 2003 / 2003년 9월 9일 심사완료 Accepted on September 9, 2003

* 이 논문은 한국과학재단의 2003년 신진연구자 연수지원사업에 의해 수행되었음

1 한국수자원공사 수자원연구소 Water Resources Research Institute, Korea Water Resources Corporation

2 순천청암대학 GIS과 Department of Information System, Suncheon Chongam College

3 전북대학교 토목공학과 Department of Civil Engineering, Chonbuk National University

* 연락처자 E-mail: happyylks@hanmail.net

서 론

최근 이상기후에 따른 국지성 집중호우로 인해 유역내의 많은 토사들이 하천으로 유입되어 댐 저수지나 보에 퇴적되고 있으며, 이러한 토사유실은 저수지나 댐의 저수용량을 크게 감소시키게 된다. 토양침식은 환경 및 수자원관리 측면에서 부정적인 문제들을 수반하기 때문에 토양침식을 정량적으로 예측하는 기법이 필요하지만, 토양침식량을 실측하기는 기술이나 비용 등의 문제로 현실적으로 어려운 실정이다(Durgin, 1985).

최근, GIS와 원격탐사를 활용하여 유역내의 토양침식을 추정하기 위해, 과거 농경지의 토양침식을 예측하기 위해 활용했던 USLE(universal soil loss equation) 모형을 유역에 적합하게 수정한 RUSLE(revised universal soil loss equation) 모형을 이용한 연구들이 진행되고 있다(김주훈 등, 2003; Millward와 Mersey, 1999; Moore와 Wilson, 1992; Renard 등, 1991). 그러나, 현실적으로 실제 유역내의 실측자료가 없기 때문에 분석결과와의 검증이 어려운 실정이며, 또한 모형을 구성하고 있는 다양한 인자 중 토양침식인자인 K를 추정하기 위해 사용되는 토양도의 축척이 상세하지 못하여 보다 상세한 분석결과를 제공하지 못하고 있다.

현재 국내에서 GIS와 RUSLE를 이용하여 토양침식량을 산정하는 연구들은 1:250,000 이하 축척을 갖는 개략토양도의 토양별 K값을 기준으로 하고 있기 때문에 보다 상세한 K값 추정을 위해서는 정밀토양도를 기준으로 한 K값이 필요하다. 또한 유역내의 정량적인 토양침식량 산정을 위해서는 유역내의 실측자료 확보가 요구되나, 강우에 따른 침식을 현장에서 취득하기는 현실적으로 어려운 만큼 비유사량 및 비퇴사량 자료를 활용한 간접 비교가 바람직할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 전남 보성군에 위치하고 있는 보성강 유역을 대상으로 토양침식량 계산

을 위한 RUSLE 모형의 인자를 계산하였으며, 특히 최근 농촌진흥청에서 구축중인 1:25,000 정밀토양도에 대한 K값을 Erickson(1997)의 삼각형 도표를 이용하여 제시함으로써 보다 세밀한 형태의 토양침식량을 계산할 수 있는 기본자료를 제공하고자 한다. RUSLE 모형으로 계산한 토양침식량의 정확도를 확보하기 위해 보성강 유역의 비퇴사량 실측값을 이용함으로써 토양침식량 계산에 적합한 해상도를 결정하고자 하였으며, 특히 서로 다른 축척의 토양도를 활용할 경우 토양침식량 계산에 적합한 해상도를 분석하여 제시하고자 하였다.

RUSLE 침식모형

1. 토양침식량(A)

RUSLE 모형은 강우침식인자(R), 토양침식인자(K), 경사장(L), 경사도(S), 식생피복인자(C), 관리인자(P)로 구성되어 있으며, 토양침식량 A는 ton/ha/yr의 단위를 가진다.

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

2. 강우침식인자(R)

강우침식인자는 강우량과 강우강도에 영향을 받는 인자로서, 강우량보다는 강우강도가 강우침식인자에 더 큰 영향을 미치게 된다(Hudson, 1977).

그러나, 우리나라의 경우 강우강도에 대한 자료구축 및 정리가 부족하여, 본 연구에서는 연평균 강우량으로부터 강우침식인자를 계산할 수 있는 Toxopeus의 강우침식인자 계산식을 활용하였다(신계중, 1999). Toxopeus 식은 국내의 등강우침식선도와 매우 유사한 값을 나타내고 있다(정필균 등, 1983; 한국건설기술연구원, 1992).

$$R = 38.5 + 0.35 \times P \quad (2)$$

여기서 R은 강우침식인자(J/m³)이고, P는

연평균강우량(mm/yr)이다.

3. 토양침식인자(K)

토양침식성은 토양의 물리적, 화학적, 생물학적 특성과 복합적인 관계를 갖고 있다. 특히 물리적 특성은 토양침식성에 절대적인 영향을 미친다. 토양의 물리적 특성으로는 토립자의 입경분포, 조직, 유기물함량, 수분함량, 투수계수, 밀도 및 다짐도 등이 있다.

토양침식인자와 토립자 입경분포와의 관계는 범용토양유실공식 연구의 선구자인 Wischmeier (1971)에 의해 삼각형 도표가 제시되었다. 이를 Erickson(1997)이 보완하여 삼각형 도표를 완성하였으며 이로부터 구한 토양침식인자는 0.02~0.69 범위의 값을 갖는다.

4. 지형인자(LS)

지형인자는 경사장(L)과 경사도(S)로 구성되어 있다. 지형인자는 22.13m 길이와 9%의 표준경사를 기준으로 하는데 이때 표준경사의 지형인자 LS값은 1.00이 된다. 그리고 표준경사와 비교하여 상대적인 경사와 길이의 변화에 의해서 지형인자 값을 계산한다. 경사가 큰 경우에는 물이 중첩되고 속도가 증가하기 때문에 침식이 증가한다(신계종, 1999).

먼저, 경사장을 계산하기 위해 본 연구에서는 다중흐름알고리즘을 이용한 Desmet과 Govers (1996)의 식 (3)을 이용하였다.

$$L_{ij} = \frac{(A_{ij-m} + D^2)^{m+1} - A_{ij-m}^{m+1}}{D^{m+2} \times x_{ij}^m \times 22.13^m} \quad (3)$$

L_{ij} 는 격자에 대한 침식사면의 길이인자, A_{ij-m} 는 격자에 유입되는 상류 기여면적, D 는 격자크기, m 은 침식사면길이의 멱지수, x_{ij} 는 흐름방향에 직교하는 등고선 길이로 ($|\sin \alpha_{ij}| + |\cos \alpha_{ij}|$), α_{ij} 는 격자의 방향이다.

경사도는 토양침식에 대한 사면경사의 영

향을 나타내는 인자로서 침식사면의 길이인자에 비해 더욱 민감한 특성을 갖는다. 경사도를 산정하기 위해 본 연구에서는 Nearing(1997)이 제안한 식 (4)를 활용하였다. 여기서 θ 는 경사각이다.

$$S = -1.5 + \frac{17}{1 + \exp(2.3 - 6.1 \sin \theta)} \quad (4)$$

5. 식생피복인자(C)

특정지역내의 식생피복인자값은 식생의 종류, 식생이 성장하는 상태, 경작형태와 관리요소들에 의하여 좌우된다(Dissmeyer와 Foster, 1981). 식생피복인자값의 비율은 식생이 성장하기 전의 맨 땅에서와 같은 지역에서는 약 1.0으로 높은 값을 가진다. 그리고 삼림이 밀집된 지역이나 곡물의 밀도가 높은 지역에서는 0.1 이하로 낮은 값을 갖는다.

6. 관리인자(P)

관리인자는 지표면에서의 여러 가지 경작지에 따른 토양침식의 비를 나타낸다. 경작지 형태에는 등고선 경작(contour), 등고선 대상 경작(cropping), 테라스 경작(terrace) 등이 있으며 침식을 통제할 수 있는 중요한 요소로 해석되고 있다. 표 1은 신계종(1999)이 제시한 경작지 형태 및 경사에 따른 관리인자값을 나타낸 것이다.

TABLE 1. Support practice factor considering support type and slope

Slope(%)	Contour	Cropping	Terrace
0.0 - 7.0	0.55	0.27	0.10
7.0 - 11.3	0.60	0.30	0.12
11.3 - 17.6	0.80	0.40	0.16
17.6 - 26.8	0.90	0.45	0.18
> 26.8	1.00	0.50	0.20

비퇴사량 산정

침식된 토사는 하천이나 저수지에 도달하는 과정에서 다양한 이송 특성을 나타내며, 이러한 유사의 이송 특성을 고려하기 위해 유사 운송비의 개념이 도입되었다. 침식량에 유사 운송비를 곱하여 하류부에서의 유사량을 계산하게 되는데, 본 연구에서는 중규모유역에서 유사 운송비 계산을 위해 주로 활용되는 Boyce의 식 (5)를 활용하였다(윤태훈, 1999).

$$SDR = 0.41A^{-0.3} \quad (5)$$

SDR(sediment delivery ratio)은 유사운송비이고 A는 유역면적(km²)이다(Da Ouyang, 2001).

비퇴사량이란 비유사량과 마찬가지로 단위 기간(1년)에 단위면적(km²)당 상류유역에서 유출되어 저수지 바닥에 퇴적되는 퇴사량을 말하며 보통 m³/km²/yr로 표시된다.

저수지나 댐에 유입되는 유사의 대부분은 저수지내에 퇴적되고 이는 저수지의 용량감소를 유발한다. 유사퇴적에 의한 저수지 용량감소는 유입유사량, 유입유사의 저수지내 포착률, 퇴적토사밀도의 영향을 받는다. 저수지나 댐계획에 관한 목적을 위해서는 저수지 수명 동안 유사의 퇴적용량 산정이 필요하고 이는 유사의 포착률의 향으로 표현이 가능하다.

$$V_s = E Q_s \quad (6)$$

V_s 는 연평균 비퇴사량(m³/yr), Q_s 는 저수지로 유입되는 유사유입량(m³/yr)이고 E는 포착률이다. 저수지 포착률은 흐름에 의해 수송되는 유사를 저수지가 포착하는 능력으로서, 보성강댐의 경우 저수용량과 연평균 유입량의 비가 약 0.03 정도로 Brune의 중위곡선에서 포착률은 약 0.7을 갖는다(한국건설기술연구원, 1992). 유입유사량 Q_s 는 유입되는 비유사량 Y_r 과 퇴사의 평균단위중량 γ_m 로서 계산된다.

$$Q_s = \frac{Y_r}{\gamma_m} \quad (7)$$

따라서, 비퇴사량은 식 (8)과 같이 계산된다(윤태훈, 1999).

$$V_s = E \frac{Y_r}{\gamma_m} \quad (8)$$

보성강유역에서의 단위중량은 평균적으로 1.1 ton/m³의 값을 나타내었고, 댐 완공시부터 33년동안 1.841 × 10⁶m³의 퇴사가 발생하였으며, 비퇴사량은 약 200m³/km²/yr의 값을 나타내었다(한국건설기술연구원, 1992).

결과 및 고찰

1. 대상지 선정 및 자료구축

본 연구는 전남 보성군에 위치하고 있는 보성강댐 유역을 공간적 범위로 선정하였으며, 표 2의 자료를 이용하여 필요한 주제도를 구축하였다.

TABLE 2. Database used

Data	Detail items
Digital map	Scale (1:25,000)
Landcover map	Resolution (30m×30m)
Soil map	Scale (1:25,000) Scale (1:250,000)
Rainfall data	Raingauge name(Bosung, Boknae, Doam, Yeonsan)

1:25,000 수치지형도의 등고선과 표고 레이어를 이용하여 변환한 격자크기 22m DEM으로부터 유역추출 알고리즘을 활용하여 유역경계를 추출하였으며, 추출한 유역면적과 둘레는 각각 274.046km²과 97.614km였다. 그림 1은 보성강 유역이다.

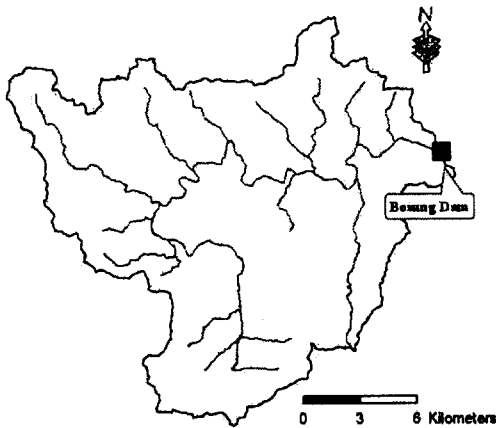


FIGURE 1. Bosung basin area

2. 토양침식량 계산

1) 강우침식인자(R)

강우침식인자를 분석하기 위해 선정한 보성, 복내, 도암, 연산 강우관측소의 1991년부터 1999년까지의 일우량 자료를 정리하여 관측소별 연평균강우량 자료 준비하였다. 강우관측소별 연평균강우량 자료를 kriging(exponential model)으로 보간하여 유역전체에 대한 연평균 강우량을 계산한 후, Toxopeus가 제안한 식(2)를 적용하여 강우침식인자를 계산하였다.

TABLE 3. Statistics of annual average rainfall and rainfall erosivity factor estimated

Statistics	Annual average rainfall	R
Min	1064.026	410.909
Max	1181.650	452.078
Mean	1138.319	436.912
S.D.	24.278	8.497

2) 토양침식인자(K)

토양침식인자를 추출을 위해 농촌진흥청에서 제작한 1:250,000 개략토양도와 1:25,000 정밀토양도를 활용하였다. 먼저 1:250,000 개략토양도

에 대한 K값 산정은 한국건설기술연구원(1992)에서 제시한 토양부호별 K값을 이용하여 22m 해상도의 격자자료로 구축하였다. 표 4는 보성강 유역에 포함되어 있는 1:250,000 개략토양도의 토양별 K값과 토양특성을 보여준다.

TABLE 4. Soil erodibility factors according to soil series and soil characteristics

Soil series	K
Af	0.39
An	0.31
Ap	0.32
Ma	0.27
Ms	0.20
Mv	0.35
Ra	0.21
Rv	0.25

표 4의 토양별 토양침식인자를 보성강 유역에 적용한 결과는 표 5와 같다.

TABLE 5. Statistics of soil erodibility factor estimated (scale 1:250,000)

Statistics	K
Min	0.200
Max	0.390
Mean	0.273
S.D.	0.040

현재 국내 연구 및 보고서 등에서 발표된 K값은 1:250,000 개략토양도를 기초로 하고 있기 때문에 보다 정밀한 분석을 위해서는 1:25,000 정밀토양도에 대한 K값 제시가 필요하다. 본 연구에서는 1:25,000 정밀토양도의 영문으로 표기된 토양코드를 한글식 토양통으로 통합한 후, 농촌진흥청 농업기술연구소(1992)의 한국토양총설에 제시된 토양별 입경분포, 유기물함량, 석력함량을 참조하여 Erickson(1997)의 삼각형 도표를 적용함으로써 토양별 토양침식인자를 표 6과 같이 계산하였다.

TABLE 6. Soil erodibility factors according to soil series

Soil name	Soil code	K	Soil name	Soil code	K
Anryong	ArB, ArC, ArD, ArE	0.49	Hwangryong	Hl, Hr	0.35
Asan	AsC2, AsD2, AsE2	0.33	Hwasun	HIB	0.43
Baeksan	BeB, BjB, BjC	0.29	Imgok	IgB, IgC	0.31
Bansan	BdB	0.30	Jigok	JoB, JoC	0.18
Bokchun	BH	0.43	Jisan	JiB, JiC	0.31
Boknae	BMB, BMC	0.28	Jungdong	Jd	0.50
Bongsan	BxC2, BxD2, BxE2, BxE3	0.33	Maegok	MoB, MoC, MoD	0.22
Cheongwon	Cw	0.31	Masan	MzC2, MzD2, MzE2	0.30
Cheonsan	CaE2, CaF2	0.33	Mudung	MdE2, MdF2, MvF2	0.35
Chilgok	CGB, CGC	0.30	Namgae	Ng	0.2
Chogae	ChB, ChC	0.44	Nasan	NtC2, NtD2	0.42
Gakhwa	GaC2, GaD2, GIB2, GIC2, GID2	0.21	Okchun	Oc, OcB	0.30
Gamchun	Gc, GcB, GcC	0.30	Overflow district	RCS, RS	0.00
Geumgok	GmC, GmD	0.25	Pori	Pr	0.37
Geumji	Gq	0.16	Pyungtek	Pt	0.42
Gochun	Gz	0.18	Rock	RO	0.00
Gongsan	GfC2, GfD2, GfE2	0.24	Seokchun	SE	0.31
Gopyung	GpB	0.32	Seokto	SbC, SbD, SbE, StC, StD, StE	0.11
Gosan	GxD2, GxE2, GxF2	0.25	Songsan	SNE2, SNF2	0.18
Haeri	Hu	0.17	Suam	SqC, SqD	0.19
Hamchang	Hh	0.43	Ugok	UoB, UoC	0.30
Hampyung	Hi, HiB	0.45	Ungok	UnE	0.31
Henggok	HMB	0.30	Wansan	WsC2, WsD2	0.29
Hengsan	HpF2, HzE2, HzF2	0.28	Wolgok	WoB, WoC, WoD	0.28
Heygok	HEB, HEC	0.19	Wongok	WdB, WdC	0.31
Hogae	Hg, HgB	0.35	Yochun	YdB	0.36
Honam	Hn	0.46	Yonggae	Yx, YxB	0.28
Hwadong	HjB	0.35	Yongji	YjB, YjC	0.40

표 6의 토양별 토양침식인자를 보성강 유역에 적용하여 분석한 결과는 표 7과 같다.

TABLE 7. Statistics of soil erodibility factor estimated (scale 1:25,000)

Statistics	K
Min	0.100
Max	0.500
Mean	0.286
S.D.	0.114

3) 지형인자(LS)

22m 해상도의 DEM 자료로부터 Desmet과

Govers(1996)가 제안한 식 (3)을 활용하여 경사도를 계산하였으며, 경사도는 Nearing(1997)가 제시한 식 (4)를 이용하여 계산하였다.

TABLE 8. Statistics of topographic factors estimated

Statistics	L	S
Min	0.767	0.049
Max	9.769	14.948
Mean	2.448	3.593
S.D.	1.751	3.108

4) 식생피복인자(C)

식생피복인자 계산을 위해, 본 연구에서는

환경부에서 1995년 5월 21일 LANDSAT TM 영상을 이용하여 구축한 토지피복도를 이용하였으며, 논(paddy)은 0.30, 밭(upland)은 0.40, 주거지(residential)는 0.01, 초지(grass)는 0.20, 산림(forest)은 0.10, 불모지(barren)는 0.50 그리고 수역(water)은 0을 적용하였다(신계중, 1999). 표 9는 식생피복인자의 분석결과를 보여주고 있다. 보성강 유역은 다른 유역에 비해 개발정도가 매우 느린 유역중의 하나이므로 1995년을 기준으로 작성된 토지피복도는 1992년에 실측한 비퇴사량과의 비교대상으로 적절하다고 판단된다.

TABLE 9. Statistics of cover management factor estimated

Statistics	C
Min	0.000
Max	0.500
Mean	0.150
S.D.	0.091

5) 관리인자(P)

경작형태에 따른 토양침식의 영향을 평가하는 관리인자를 추출하기 위해, 토지피복도와 DEM 자료를 이용하였다. 토지피복도에서 논인 경우는 테라스 방식을 밭인 경우는 등고선 대상 방식을 적용하였으며, DEM에서 추출한 경사와의 중첩을 통해 관리인자를 계산하였다.

표 10은 표 1에서 제시한 경작형태 및 경사에 따른 관리인자를 적용하여 계산한 보성강 유역의 결과이다.

TABLE 10. Statistics of support practice factor estimated

Statistics	P
Min	0.100
Max	1.000
Mean	0.808
S.D.	0.363

6) 토양침식량(A)

RUSLE 각 인자인 R, K, L, S, C, P의 곱으로부터 토양침식량을 계산하였다. 특히 표 11과 같이 토양도를 1:250,000 개략토양도와 1:25,000 정밀토양도로 구분하여 토양침식량을 계산하였다. 그림 2는 1:25,000 정밀토양도를 이용하여 계산한 토양침식량 분포도이다.

TABLE 11. Statistics of soil loss estimated

Statistics	A(MT/ha/yr)	A(MT/ha/yr)
	1:250,000	1:25,000
Min	0.000	0.000
Max	3721.390	3491.135
Mean	139.664	118.554
S.D.	208.972	154.459

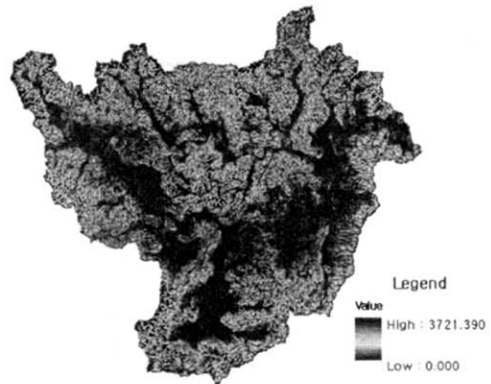


FIGURE 2. Soil loss map

3. 비퇴사량 계산

1) 토양침식 정량화를 위한 인자의 선정

RUSLE를 구성하고 있는 인자 중 해상도에 영향을 받는 인자는 지형인자와 관리인자이다. 지형인자는 DEM 해상도에 따라 값이 변화하며, 관리인자 역시 DEM에서 추출한 경사의 영향을 받게 된다. 그러나, 관리인자의 범위는 논인 경우 0.1~0.2로 변화의 폭이 매우 작다는 점을 고려하여, 본 연구에서는 해상도의 영

향평가를 위해 지형인자만을 이용하였다.

먼저, 22m에서 200m까지 20m 간격으로 DEM을 구축한 후 해상도별로 지형인자를 추출하였다. 분석한 해상도별 지형인자를 다른 인자들과 연계하기 위해 22m로 재배열한 후 강우침식인자, 토양침식인자, 식생피복인자, 관리인자와 곁하여 다양한 해상도별 토양침식량을 계산하였다.

2) 토양도 축척에 따른 비퇴사량 계산

비퇴사량은 RUSLE 모형으로 계산한 토양 침식량 자료를 기반으로 유사운송비, 포착률, 단위중량을 이용하여 계산하였다.

먼저, 유사운송비는 Boyce 공식을 적용하였으며, 이때 유역면적은 유역추출 알고리즘을 활용하여 계산한 값 274.046km²을 이용하여 식 (5)로부터 유사운송비 0.0761을 계산하였다.

TABLE 12. Statistics of unit sediment deposit

Resolution	Unit sediment deposit (m ³ /km ² /yr)	Unit sediment deposit (m ³ /km ² /yr)
	1:250,000	1:25,000
22	574.12	676.35
30	496.77	576.09
40	419.14	494.91
50	369.26	437.74
60	333.89	394.98
70	309.13	342.04
80	271.24	321.29
90	253.80	295.74
100	232.34	274.38
110	217.78	253.60
120	201.32	238.01
130	187.07	224.05
140	177.28	208.70
150	168.64	195.05
160	158.98	187.44
170	152.97	179.05
180	144.97	170.21
190	139.50	163.08
200	131.93	154.81

비유사량은 토양침식량에 유사운송비를 곱하여 계산할 수 있으며, 비퇴사량은 비유사량,

포착률 그리고 단위중량으로부터 식 (8)을 이용하여 계산하였다. 이때, 포착률(E)와 단위중량(γ_m)은 보성강유역의 실측값인 E=0.7, $\gamma_m=1.1$ 을 적용하였다(한국건설기술연구원, 1992). 표 12는 1:250,000 개략토양도와 1:25,000 정밀토양도를 이용하여 각각 계산한 해상도별 비퇴사량이며, 그림 3은 이를 그래프로 표현한 것이다.

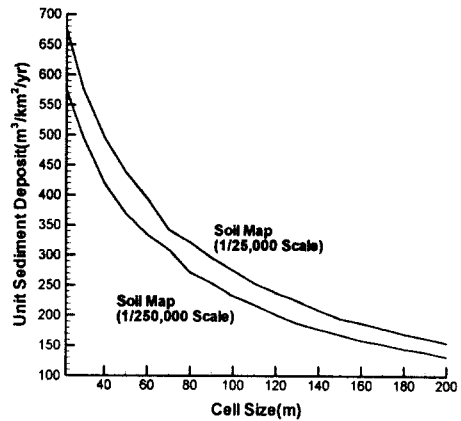


FIGURE 3. The comparison of unit sediment deposit by scale of soil map

3) 토양침식 정량화를 위한 해상도 결정

보성강 유역에서는 댐의 저수용량을 평가하기 위해 비퇴사량을 실측하여 200(m³/km²/yr)을 얻었다(한국건설기술연구원, 1992). 이러한 실측치와 본 연구의 RUSLE 모형으로부터 토양도 축척을 고려하여 최종적으로 계산한 비퇴사량을 상호 비교한 결과, 1:25,000 정밀토양도를 이용하여 계산한 비퇴사량은 해상도 150m, 1:250,000 개략토양도를 이용하여 계산한 비퇴사량은 해상도 120m가 가장 근접한 결과를 나타내었다. 그러므로 1:25,000 정밀토양도를 이용하여 토양침식량을 계산하기 위한 적정 해상도는 150m, 1:250,000 개략토양도를 이용하여 토양침식량을 계산하기 위한 적정 해상도는 120m임을 알 수 있었다.

본 연구에서 제시한 토양도 축척별 적정 해상도는 RUSLE 각 인자별 모형식이 국내

현실과 부합한다는 가정하에 출발하였다. 따라서, 본 연구에서 제시한 토양도 축척별 해상도는 실제현상과 차이가 발생할 수 있으나, 향후 국내 현실에 맞는 각 인자별 모형식이 개발될 경우 본 연구에서 제시한 방법은 토양침식량 계산의 적정 해상도 결정에 좋은 방법으로 활용될 수 있으리라 기대한다.

결 론

GIS와 RUSLE 모형을 연계하여 토양침식량을 추정하였던 기존의 연구들은 유역의 토양침식 실측자료 부족으로 계산된 결과의 검증이 어려웠으며, 또한 토양침식인자 계산시 개략토양도를 활용하였기 때문에 토양의 특성을 보다 상세하지 고려하지는 못하였다. 본 연구에서는 이러한 기존연구의 문제점을 개선하고자 보성강 유역을 대상으로 분석한 결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1. 보성강 유역 내의 보성, 복내, 도암, 연산 강우관측소의 연평균 강우자료로부터 GIS 격자분석으로 exponential kriging 보간을 수행함으로써 연속적인 형태의 강우침식인자를 계산하였다.
2. 1:25,000 정밀토양도의 토양별 입경분포, 유기물함량, 석력함량을 고려한 토양침식인자를 제시함으로써 향후 RUSLE 모형을 이용한 토양침식량 산정 연구의 기초자료로 제시하였으며, 정밀토양도에 기초하여 토양침식량을 계산함으로써 개략토양도에 비해 보다 정밀한 분석이 가능해졌다.
3. DEM으로부터 Desmet과 Govers(1996) 식을 이용하여 침식방향까지를 고려한 경사장을 구축하였으며, Nearing(1997) 식을 활용하여 경사도를 분석하였다. 또한 토지피복도로부터 식생피복인자를, 그리고 토지피복도와 DEM 자료를 이용하여 관리인자를 분석하였다.

4. RUSLE 모형으로 계산한 토양침식량에 유사운송비, 포착률, 단위중량을 고려하여 비퇴사량을 계산하였으며, 계산된 결과를 보성강 유역의 비퇴사량 실측값인 200(m³/km²/yr)와 비교함으로써 1:25,000 정밀토양도의 경우는 해상도 150m, 그리고 1:250,000 개략토양도의 경우는 해상도 120m가 가장 적절한 격자크기임을 알 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 한국과학재단의 '2003년 신진연구자 연수지원 사업'으로 수행되었으며, 강우자료를 제공해 주신 한국수자원공사와 정밀토양도를 제공해 주신 농촌진흥청에 감사드립니다. **KAGIS**

참고문헌

- 김주훈, 김경탁, 연규방. 2003. GIS를 이용한 토양침식 위험지역 분석. 한국지리정보학회지 6(2):22-32.
- 농촌진흥청 농업기술연구소. 1992. 한국토양총설. 725쪽.
- 신계종. 1999. 지형공간정보체계를 이용한 유역의 토양유실분석. 강원대학교 박사학위논문. 116쪽.
- 윤태훈. 1999. 응용수문학. 청문각. 549-553쪽.
- 이근상, 이환주, 임승현, 조기성. 2001. GIS를 활용한 토양침식모형에서 지형인자의 영향 분석. 대한토목학회논문집 21(4-D):545-554.
- 이환주. 2002. GIS 공간분석 기법을 활용한 토양침식 잠재성 평가에 관한 연구. 전북대학교 박사학위논문. 141쪽.
- 정필균, 고문환, 임정남, 임기태, 최대웅. 1983. 토양유실량 예측을 위한 강우인자의 분석. 한국토양비료학회지 16(2):112-118.
- 한국건설기술연구원. 1992. 댐설계를 위한 유역단위 비유수량 조사 연구 보고서. 47-80쪽.

- Da Ouyang. 2001. Modeling sediment and phosphorus loading in a small agricultural watershed. Ph.D. Thesis, Univ. of Michigan State, East Lansing, USA. pp.35-50.
- Desmet, P.J. and G. Govers. 1996. A GIS procedure for the automated calculation of the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation* 51(5):427-433.
- Dissmeyer, G.E. and G.R. Foster. 1981. Estimating the cover management factor in the USLE for forest conditions. *Journal of Soil and Water Conservation* 36(4):235-240.
- Durgin, P.B. 1985. Burning changes the erodibility of forest soils. *Journal of Soil and Water Conservation* 40(3):299-301.
- Erickson, A.J. 1997. Aids for estimating soil erodibility - K value class and soil loss tolerance. U.S. Department of Agriculture. Soil Conservation Service. Salt Lake City of Utah.
- Hudson, N. 1977. Soil Conservation. Cornell University Press. 324pp.
- Millward, A.A. and J.E. Mersey. 1999. Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. *CATENA* 38:109-129.
- Moore, I.D. and P. Wilson. 1992. Length-slope factors for the revised universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation* 47(5):423-428.
- Morgan, R.P.C. 1981. Field measurement of splash erosion. *International Association of Scientific Hydrology Publication* 133:378-382.
- Nearing, M.A. 1997. A single, continuous function for slope steepness influence on soil loss. *Journal of Soil Science Society of America* 61(3):917-919.
- Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies and P.J. Porter. 1991. RUSLE : Revised Universal Soil Loss Equation. *Journal of Soil and Water Conservation* 46(1):30-33.
- Wischmeier, W.H. 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation* 26:189-193. ~~2235~~