

산불발생지역에서의 토양유실량에 관한 연구

A Study on Soil loss in Forest fire area

양인태* · 박재훈** · 천기선***

Yang, In-Tae · Park, Jae-Hoon · Chun, Ki-Sun

要 旨

강우에 의한 토양유실은 환경에 심각한 영향을 미치고 있음에도 불구하고, 인식의 부족으로 실제 유역에서 발생되고 있는 유실량을 측정할 자료가 없는 실정이다. 본 연구에서는 GIS와 연계가 가능하고 일반적으로 사용할 있는 USLE 모형을 선정하여 토양유실량 예측에 이용하였으며, 모형에 입력되는 인자들을 GIS 공간분석 기능을 이용하여 추출하였다. 특히 USLE 모형을 다소 수정하여 유역에 적용할 수 있도록 하였으며, 산불전과 후의 토양유실량을 계산하여 토지피복변화가 토양유실량에 미치는 영향을 분석하였다. 격자크기를 22m로 구성하여 격자별 침식량을 확인할 수 있어 토양유실량 분포현황을 파악할 수 있었다.

Abstract

Soil loss by the rains has effect on natural environment. But It is difficult to find out the data that is surveyed in watershed. In this paper, we choose USLE erosion model, which could be connected easily with GIS and available generally, and extracted factors which is entered model by using GIS spatial analysis method. Especially, As revised USLE model, It should be applied in watershed and as it calculated soil loss before forest fire and behind, it analysed the degree that it have an effect on soil loss. As each analyzed factors and the result of soil loss estimate consist of 22m-pixel size, we could identify soil loss by each pixel and distribution pattern.

1. 서 론

토양침식은 주위 환경에 많은 문제점을 수반하기 때문에 유실된 토사로 인한 문제발생에 적절한 대책 및 토양유실량 예측 기법 개발에 대한 연구가 장·단기적으로 이루어져야 할 것이다.

토양침식에 사용하는 일반적인 모형인 USLE 모형은 농경지의 토양침식을 예측하기 위해 사용했던 경험식으로 최근에는 특정상태에서의 토양유실을 예측하기 위한 수정식들이 많이 연구되고 있다. 특히 이러한 수정식들은 모형에 필요한 각각의 인자별로 연구되는 경우가 많으며, 지역별 강우사상에 따른 영향에 대한 분석이 주를 이루고 있었다. 최근 들어 각 인자별 연구가 많이 진행되고 있으나 입력인자들에 대한 많은 변수들이 정량적이지 못한 상태로 적용되고 있는 현실이며 토지피복상태에 따른 변수들의 입력에 대한 연구는 극히 미비한

실정이다.

본 연구에서는 간성지역의 산불 발생 지역을 연구대상지로 선정하고 USLE 모형을 수정하여 토양유실량 예측에 이용하였으며, 입력인자인 강우침식인자 R, 토양침식인자 K, 지형인자 LS, 토양침식조절인자 VM을 GIS 기법을 이용하여 추출하고, 산불 발생 지역을 내에 존재하는 입력값들을 분석함으로써 각 인자들의 최대값, 최소값, 평균값, 표준편차 등의 분포현황을 제시하여 각각의 인자들이 토양유실에 미치는 영향을 알아보았으며, 또한 산불 발생 전과 후의 토양유실량의 변화를 서로 비교하여 토지피복상태가 토양유실량에 미치는 영향을 추가로 분석하였다.

2. USLE 인자

USLE 모형은 기존의 농업지역에서 발생하는 토양유

* 강원대학교 토목공학과 교수
** 경동대학교 건축환경공학부 교수
*** 강원대학교 토목공학과 박사수료

실량을 추정하기 위해 제시된 모형으로 토립자가 빗방울의 타격이나 지표유출수에 씻겨서 원래의 위치로부터 이동되는 양을 토양유실량이라 정의할 수 있다. 따라서 침식량의 일부는 농경지 밖으로 유거되지 않고 퇴적되기도 하므로 실제 유실량보다 많을 수도 있다.

식 (2-1)은 USLE 모형의 기본식으로 강우침식인자 R, 토양침식인자 K, 지형인자 LS, 작물경작인자 C, 침식조절방법인자 P로 구성되어 있다^{1),2)}.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (2-1)$$

토양유실모형인 USLE 모형을 수정하여 유역이나 농업지역 이외의 지역에 적용하기 위해 제시된 모형을 RUSLE 모형이라 하는데, 지역특성을 고려하거나 강우사상에 대한 적용을 고려하기 위해서 또는 유사량의 추정을 위하여나 USLE 모형의 예측정도를 높이기 위한 목적으로 다양한 수정식들이 제시되었다.

본 연구에서는 USLE 모형을 식 (2-2)와 같이 수정하여 유역에 적용하였다¹⁾.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot VM \quad (2-2)$$

여기서 VM 토양침식조절인자이다.

2.1 강우침식인자 (R)

강우침식인자(Rainfall erosivity factor)는 강우사상의 침식능을 나타내는 것으로 강우의 운동에너지와 30분 최대강우강도의 곱으로 정의할 수 있다. 강우침식인자는 Wischmeier와 Smith(1958)가 처음 제안하였는데 자연 강우입경분포를 근거로 강우의 강우하강속도와 강우강도와와의 관계를 계산하였다. 본 연구에서는 강우침식인자를 계산하기 위해 일반적으로 간편하게 사용할 수 있는 Toxopeus가 제안한 경험식을 이용하였다.

$$R = 38.5 + 0.38P \quad (2-3)$$

여기서 P는 연평균강우량(mm/yr)이다.

2.2 토양침식인자 (K)

토양침식인자는 어떤 토양의 고유한 침식성을 정량적으로 표시한 것으로 정의할 수 있으며, 토양침식에 영향을 미치는 다른 요소들이 동일한 경우 토양특성의 차이로 인한 유실량의 차이를 나타낸다. 즉, 토양이 강우에 의한 침식에 대해 저항하는 능력을 나타내는 척도로서 토양입자 및 분포, 구조, 공극 및 공극크기, 유기물함량 등에 관계가 있다.

토양침식인자 K값의 범위는 0.13에서 0.91(ton/ha ·

R)로 Wischmeier와 Smith(1965)의 삼각형 도표 및 계산식 등을 이용하여 구할 수 있으며, 건교부/건기연에서 작성한 토양통별로 제시한 값을 사용하여 구할 수 있다²⁾.

2.3 지형인자 (LS)

USLE에 사용되는 지형인자는 경사길이(L)와 경사도(S)가 토양유실에 미치는 영향을 설명하는 인자로서, 경사길이와 경사도에 따른 단위 구획당 유실되는 토양유실량의 비로 정의될 수 있다. 경사길이는 초기 강우에 의해 흐름이 시작되는 지점으로부터 경사가 충분히 작아져서 퇴적이 일어나는 지점까지의거리, 혹은 유출이 뚜렷하게 나타나는 형태인 수로나 지류로 합류되는 지점까지의 거리로 정의되며, 경사도는 지표면의경사로서, 수평거리에 대한 고저차의 백분율로 표시된다.

LS는 약 22.1m와 경사 9%를 각각 기준 경사길이와 경사도로 규정하며 이 때의 값을 1.0으로 규정하고 이 값과 비교하여 LS값을 구한다.

Wischmeier와 Smith(1978)는 지형인자를 구하기 위해 다음과 같은 경험식을 제시하였다.

$$LS = \left(\frac{l}{22.1}\right)^m \left(\frac{65.4S^2}{S^2 + 10000} + \frac{4.6S}{\sqrt{S^2 + 10000}} + 0.065\right) \quad (2-4)$$

l = 경사길이(m), S = 경사(%)

m = 경사에 따라 변하는 지수

($S < 1\%$, $m=0.2$) ($1\% \leq S < 3\%$, $m=0.3$)

($3\% \leq S < 5\%$, $m=0.4$) ($S \geq 5\%$, $m=0.5$)

2.4 토양침식조절인자 (VM)

일반적으로 토양유실량 예측에 사용되는 USLE 기본 모형은 ' $A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$ ' 로 구성되어 있는데, 작물경작인자라 불리는 C와 토양보전대책인자라 불리는 P가 구성요소에 포함되어 있다. 여기서 작물경작인자 C는 강우, 토양, 지형조건이 동일한 경우에 특정한 작물이나 피복조건에서 발생한 토양유실량과 표준포에서 발생한 토양유실량의 비로 결정되는 값으로써, 경사지의 피복상태, 윤작조건, 수확량의 수준, 재배기간, 경운방법, 작물잔재상태, 강우분포 등의 복합적인 영향을 반영하는 값이다. 이에 농촌진흥청은 각종 작물에 따른 작물경작인자 값을 계산하여 제공하고 있다.

토양보전대책인자 P는 침식조절관행인자라고도 하는데, 특정한 침식조절관행에 의한 토양유실량과 표준포에서 적용한 경작방법에 따른 유실량의 비로써, 침식조절관행에는 등고선경작, 등고선대상재배, 테라스등고선경작 등이 포함된다.

본 연구지역의 범위내에는 경작지 뿐만 아니라 산지 지형이 많이 분포하고 있어 토지피복에 따른 입력값이 필요하며, 각 경작지는 벼농사를 짓는 논을 제외하고는 매년 경작대상물의 토지이용에 대한 조사 수행에 많은 어려움이 있어 본 연구에서는 VM이라는 토양침식조절인자를 적용하여 경작인자와 토양보전대책인자를 대신하였다. 여기서 토양침식조절인자는 USLE의 경작인자(C)와 토양보전대책인자(P)를 결합한 것으로 정의할 수 있다. 이 값은 식생 특성과 침식방지 대책을 대표하는 것으로, 값의 범위가 0에서 1까지 매우 넓기 때문에 값의 선정에 세심한 주의가 필요하다.

3. 자료구축 및 적용

3.1 토양유실 인자값 계산 및 분석

3.1.1 강우침식인자 (R)

강우침식인자를 계산하기 위해 연구대상지역인 1986년부터 1996년까지 속초지방의 월강우량자료를 조사하여 연평균강우량을 구하였다. 속초지역의 연평균강우량은 1622.4mm/yr로 우리나라의 연평균강우량(1000~1200mm/yr)보다 많은 강우분포를 보이고 있다.

앞에서 제시한 식 (2-1)에 의해 계산한 결과 연구지역의 강우침식인자 값은 540.99로 우리나라 평균값이 438보다 높았다³⁾.

3.1.2 토양침식인자(K)

토양침식인자를 구하기 위해 농업진흥청에서 작성한 수치토양도(축척, 1/25,000)를 사용하였으며 토양통별 토양침식인자 값을 적용하였다⁴⁾.

3.1.3 지형인자(LS)

지형인자 LS 입력값을 계산하기 위해 식 (2-4)에서 제시한 Foster & Wischmeier가 제안한 경험식을 사용하였다.

표 1. 대상지역의 강우량(mm/yr)

연도	연강우량	연도	연강우량
1986	1378.6	1992	1556.4
1987	1290.9	1993	1405.3
1988	907.9	1994	1109.2
1989	1530.1	1995	1097.5
1990	2011.7	1996	1249.6
1991	1008.7	합	14545.9
연평균강우량		1322.4	
강우침식인자		540.99	

표 2. 대상지역의 토양통별 K값 분포표

토양명	토양통	K값	토양명	토양통	K값
Gq	가천	0.34	SRE2	송산	0.22
Gt	강서	0.53	SRF2	송산	0.22
Gz	고천	0.30	SoD2	송정	0.19
KcB	과천	0.18	SqC	수암	0.25
Ki	금진	0.05	SqD	수암	0.25
Nn	낙동	0.38	SqE	수암	0.25
Ng	남계	0.21	AnC	안릉	0.45
Ny	남계	0.21	ArC	안릉	0.45
NkB	뇌곡	0.21	YaC2	예산	0.30
DkB	대곡	0.30	YaD2	예산	0.30
DbF2	덕산	0.16	YbD2	예산	0.30
DF	덕천	0.36	YbE2	예산	0.30
BeB	백산	0.30	YdB	예천	0.39
BeC	백산	0.30	YeB	예천	0.39
Bv	백수	0.09	OdE	오대	0.14
BqB	부곡	0.39	OdF	오대	0.14
Vc	비천	0.36	OcB	옥천	0.31
VcB	비천	0.36	YjB	용지	0.35
ScB	사촌	0.26	Yjc	용지	0.35
ScC	사촌	0.26	Yf	용호	0.26
SfB	사촌	0.26	UpB	우평	0.43
SgC2	삼각	0.26	WoB	월곡	0.30
SgD2	삼각	0.26	WjE	월정	0.11
SgD3	삼각	0.26	JoC	지곡	0.11
SgE2	삼각	0.26	JiB	지산	0.31
SgE3	삼각	0.26	CGC	칠곡	0.29
SgF2	삼각	0.26	PxB	풍천	0.21
SgF3	삼각	0.26	HF	하사	0.26
SmD2	삼각	0.26	HYB	학곡	0.17
SmD3	삼각	0.26	Hh	함창	0.54
SmE2	삼각	0.26	HU	함창	0.54
SmE3	삼각	0.26	Hu	해리	0.26
SmF2	삼각	0.26	HuB	해리	0.26
SmF3	삼각	0.26	HdB	화동	0.33
SAB	상주	0.23	HI	황룡	0.26
SAC	상주	0.23	HN	황룡	0.26
SE	석천	0.53			

3.1.4 토양침식조절인자(VM)

토양침식조절인자를 구하기 위해 토지이용도를 수치화하여 사용하였으며 표 1에서 제시한 토양침식조절인자 값을 활용하였다. 토지피복상태별 토양침식조절인자 값은 1998년 수공학위학 석 교재에서 제시한 내용을 참고로 작성하였다.

우리나라의 경우 대부분의 임야는 교목, 관목, 풀로 덮혀 있기 때문에 토양침식조절인자 값은 0.01로 간주하였다²⁾.

초지의 경우는 값의 범위가 0.01에서 1.0까지 매우 넓어 값의 추정이 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 우리나라의 초지 대부분이 자연상태로 발생한 풀과 키가 작은 관목이 섞여 피복된 상태로 판단하였고 지표면의 피복정도가 80%이상으로 간주하여 0.03의 값을 부여하였다²⁾.

농경지의 경우 0.05로 처리하였는데, 우리나라의 강우가 여름철에 집중하고 있고 대부분의 작물들을 봄에 파종하기 하기 때문에 파종 60일 간주하여 0.05를 적용하였으며, 과수원이나 뽕나무 지역은 관목으로 간주하여 0.35의 값을 부여하였다²⁾.

3.2 공간자료 구축 및 적용

3.2.1 연구대상 지역

본 연구의 공간범위는 산불발생지역중 연구지역을 충분히 포함할 수 있도록 하기 위해 경도 128° 22' 30" ~ 128° 37' 30", 위도 38° 15' 00" ~ 38° 22' 30" 범위에 포함되는 간성(1/25,000), 교암(1/25,000)지역을 선정하였다.

이 지역은 속초의 북쪽에 위치하며, 도시개발이 매우 미비한 지역에 해당한다. 따라서 이 지역은 토지개발로 인한 자연훼손이 거의 이루어지지 않은 지역으로 지형의 변화는 없고 단지 산불로 인한 피복상태의 변화만 있다고 할 수 있다.

표 3. 대상지역의 토지상태별 VM값 분포표

토지피복상태	VM
삼림	0.01
초지	0.03
농경지(논, 밭)	0.05
과수원	0.35
나지	1
시가지	0
수계	0

3.2.2 자료 구축

표 4는 연구를 수행하기 위해 구축한 자료이며 공간데이터와 속성데이터를 입력하고 분석하기 위해 Arc/Info 7.02 및 EXCEL Program을 사용하였다.

표 4. 자료구축 현황

자료명	
수치지형도	1/25,000
DEM 자료	DTED (3초)
토양도	1/25,000 정밀토양도, 개략토양도
강우자료	강우관측소
토지이용도	1/25,000

USLE 모형의 입력인자인 강우침식인자(R), 토양침식인자(K), 지형인자(LS), 토양침식조절인자(VM)에 대한 자료를 각각 Arc/Info 커버리지 형태로 구축한 다음, 분석을 위해 그리드 자료로 저장하였다.

3.2.2 토양유실량 예측

산불발생지역에 대한 토양유실량을 계산하기 위해서 USLE 모형의 수정식인 식 (2-2)를 적용하였다.

Arc/Info 그리드 분석 기능을 이용하여 격자별 연산을 수행하여 산불발생지역의 토양유실량을 계산하였다.

표 5는 계산된 그리드자료에서 산불발생지역에 해당하는 부분만을 추출한 토양유실량이다.

계산결과 산불발생 이전의 토양유실량은 연간 44.785 (ton/ha/year)인 반면, 산불발생 이후의 토양유실량은 736.467(ton/ha/year)이 발생하였다.

산불발생 이전보다 발생 후의 토양유실량의 변화가 급격히 늘어난 것을 알 수 있다. 이것은 토양유실량에 영향을 주는 인자 중 토양침식조절인자 VM의 격자값의 변화에 기인한다고 할 수 있다.

토지피복상태가 산불로 인하여 식생지역이 나지로 대부분 변화되었고 이 때문에 강우로 발생되는 토립자의 유실을 막는 기능이 없어졌기 때문이다.

그림 1과 그림 2는 각각 산불발생 전과 후의 토양유실량 분포도를 나타낸 것이다. 격자별 토양유실량의 값 분

표 5. 산불 전·후의 토양유실량

구 분	토양유실량(ton/ha/year)
산불발생 이전	44.785
산불발생 이후	736.467

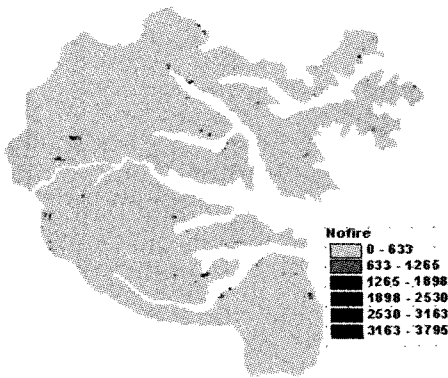


그림 1. 산불발생 이전의 토양유실량 분포도

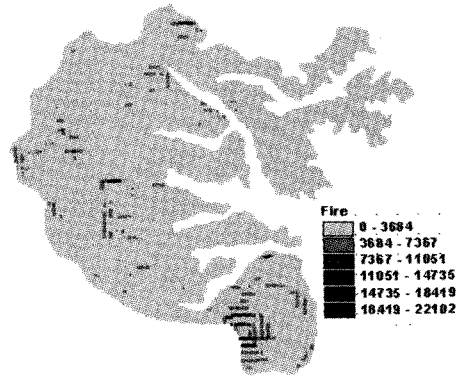


그림 2. 산불발생 이후의 토양유실량 분포도

포가 그림 1보다 그림 2에서 매우 크다는 것을 알 수 있으며, 유실되는 토립자의 공간적 분포 형태도 변화되었음을 알 수 있다.

그림 1과 그림 2의 토양유실 분포형태상 하단 부분의 변화가 가장 두드러졌다. 이것은 하단 부분에 운봉산이라고 하는 봉우리가 있어 다른 곳에 비하여 이 곳의 경사도가 심하기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 강우침식인자 R의 경우 연구지역내를 동일한 값으로 처리하였고, 토양침식조절인자의 값도 산불발생이후는 동일한 값으로 처리하였기 때문에 값의 절대적인 분포형태는 지형인자 LS의 영향이 가장 크게 작용하였다고 할 수 있다.

4. 분석 및 고찰

토양유실량에 영향을 미치는 인자들에 대한 분석을 수행하기 위해서 본 연구에서는 상대적인 영향을 평가할 수 있는 표준편차와 평균값의 비를 도입하여 계산하였다.

강우침식인자 R값은 해당지역을 동일한 값으로 처리하였기 때문에 값의 분포에 따른 영향을 분석할 수 없다.

표 6은 산불발생지역에 대한 격자별 토양침식인자 K의 분포값을 분석한 결과이다. 최소값이 0, 최대값이 0.54, 평균은 0.254로 계산되었으며 표준편차와 평균의 비가 0.173으로 비교적 낮게 평가되었다. 이는 토양침식인자의 영향이 다른 인자들에 비하여 대상지역의 토양유실량에 미치는 영향이 적다고 할 수 있다. 최소 격자값인 0은 토양침식인자 K값을 결정할 때 토양통별 K값을 기준으로 입력하였는데, 이 때 암석지역이라든지 하천변의 자갈 및 모래지역 또는 저수지 등에 0의 값을 부여하였기 때문이다.

표 7은 지형인자의 격자별 분포값을 분석한 결과이다. 표준편차와 평균의 비가 1.806으로 토양침식인자가 토

표 6. 토양침식인자의 분석결과

구분	값
최소 격자값	0
최대 격자값	0.540
평균	0.254
표준편차	0.044
표준편차/평균	0.173

표 7. 지형인자의 분석결과

구분	값
최소 격자값	0.065
최대 격자값	169.678
평균	5.726
표준편차	10.340
표준편차/평균	1.806

양유실에 미치는 영향에 비해 약간 크게 계산되었으나 다른 그 영향이 크지 않은 것으로 판단된다. 표준편차의 경우 10.340으로 다른 인자의 분포에 비해 상당히 크게 계산되었는데, 이것은 이 지역의 지형을 나타내는 경사와 경사길이의 분포가 다양하며 지형이 복잡하다는 것을 알 수 있다. 따라서 우리나라의 경우는 토양유실의 일반 식인 USLS 모형을 사용하는데는 다소 무리가 있다고 판단된다. 따라서 우리나라의 지형에 맞는 지형인자 LS의 연구가 많이 수행되어야 할 것이다.

표 8은 토양침식조절인자의 격자별 분포값을 분석한 결과이다. 최소값이 0.010, 최대값이 1.0, 평균이 0.124로 계산되었으며 표준편차는 0.249로 나타났다. 토양유실에 미치는 상대적인 영향을 나타내는 표준편차와 평균

표 8. 토양침식조절인자의 분석결과

구 분	값
최소 격자값	0.010
최대 격자값	1.000
평균	0.124
표준편차	0.249
표준편차/평균	2.008

의 비는 1.806으로 토양유실량을 계산하기 위해 사용된 인자값 중에서 가장 큰 값으로 계산되었다. 이것은 대상 지역내에서 토양유실량에 미치는 영향이 가장 크다고 할 수 있다. 따라서 토양유실량을 줄이기 위한 가장 좋은 방법으로 토지피복의 상태를 조정함으로써 해결될 수 있을 것으로 판단된다.

특히, 표 5에서 언급하였듯이, 산불발생 이전의 토지 피복상태와 비교해서 산불발생 이후의 토지피복상태가 나지일 경우의 토양유실량이 16배정도로 매우 큰 차이를 보이고 있어 지표면에 토양유실을 방지하기 위한 식물의 식생분포가 중요한 요인이 될 수 있다고 판단된다.

기존에 범용적으로 사용하고 있는 USLE 기본식은 지형이 복잡하지 않은 농경지에서의 토양유실량을 계산하기 위해 만든 경험식으로 우리나라처럼 지형이 복잡한 경우나 유역과 같은 특정 지역의 적용은 다소 무리가 따를 수 있다. 따라서 토양유실량 모형의 적용은 토양침식 인자 K에 대한 다양한 연구, 우리나라 지형에 맞는 지형 인자에 대한 분석, 토양침식조절인자 VM의 입력인자

값에 대한 연구 등 각 인자에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다.

5. 결 론

1. USLE 모형을 약간 수정하여 대상지역의 토양유실량을 계산한 결과, 토지피복에 따른 영향을 나타내는 토양침식조절인자의 영향이 상대적으로 높게 평가되었다.
2. 산불발생 이전과 이후로 나누어 토양유실량을 계산한 결과, 산불발생 이후가 이전보다 16배 정도 많이 발생한 것으로 예측되었다.
3. 토양유실량 계산에 사용된 각 인자들에 대한 격자별 분포값을 분석하여 각 인자들이 미치는 상대적인 영향의 정도를 분석할 수 있었다.
4. 산불발생 이전과 이후에 발생한 토양유실량을 예측한 결과, 토지피복상태의 영향을 배제할 경우 지형인자의 영향으로 토양유실 발생이 경사가 급한 산지에서 많이 발생한다는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 신계종, 지형공간정보체계를 이용한 유역의 토양 유실 분석, 강원대학교 대학원 토목공학과 박사논문, 1999, 8.
2. 한국수자원학회, 수공학익습 교재, 1998, pp. 20-21.
3. 한국토양비료학회지, Vol. 16(2), 1983, pp. 112-118.
4. 박재훈, 지형공간정보체계와 수정토양유실모형에 의한 토양유실량 예측, 강원대학교 대학원 토목공학과 박사논문, 2000. 2.

(접수일 2003. 4. 17, 심사 완료일 2003. 5. 14)