

GIS를 이용한 USLE 지형인자(LS) 자동계산 방법에 관한 연구 *

우창호* · 황국웅**

*목포대학교 조경학과 · **대구효성카톨릭대학교 조경학과

Development of a GIS Method for the Automatic Calculation of LS Factor of USLE

Woo, Chang-Ho * · Hwang Kook-Woong **

* Dept. of Landscape Architecture, Mokpo National University

** Dept. of Landscape Architecture, Catholic University of Taegu-Hyosung

ABSTRACT

Conventionally, LS(Slope Length and Steepness) factor for the USLE suggested by Wischmeier has been computed manually on topographic maps based on one dimensional approach. But outcomes of the equation could be severely affected by the convergence and divergence of surface runoff at complex terrains. Thus the objectives of this research are to develop a method to automatically compute LS factor based on the multiple flow algorithm, and to test the accuracy of this method by comparing outcomes of this method to previous measurements or estimations of soil erosion.

The program for the automatic calculation of LS factor was developed by utilizing Fox Pro 4.5, and outcomes of the program is designed to input to IDRISI. The accuracy test of LS factor was carried out by comparing the actual measurements of soil loss at two test sites in and around of Suwon. The calculated volume of soil erosion at Buju mountain, Mokpo, was also compared to the outcome of a previous research based on the LS factor calculated by the conventional one-dimensional approach.

The outcomes of this research are as follows. First, the computed L(slope length) based on the

* 본 논문은 1997년 한국학술진흥재단 자유공모과제 연구비에 의하여 수행되었음

multiple flow algorithm for concave slopes are greater than those of convex slopes. Second, the estimated soil loss based on this method at the test site in Mokpo is much greater than the outcomes based on the conventional one-dimensional approach. It can be concluded that the application of this automatic calculation method of LS factor can improve the accuracy of USLE and facilitate soil erosion prevention methods.

Key Words : USLE(Universal Soil Loss Equation), LS(Slope Length and Steepness) factor, L(Slope length) factor, Multiple flow algorithm

I. 서론

Wischmeier and Smith(1978)가 제안한 USLE(Universal Soil Loss Equation)는 농지와 농지 이외의 토지이용에 따른 토양유실량과 토양보전방법을 결정하기 위하여 개략적으로 토양유실량을 추정하는 공식으로서, 균일한 경사면에서 면상침식(Sheet erosion) 및 세류(細流) 침식(Rill erosion)에 의한 장기간의 연평균 토양유실량을 예측하기 위한 것으로, 전세계적으로 적용할 수 있음이 입증되어 미국 등 여러나라에서 널리 사용되고 있다. 그러나, 계곡 침식(Gully erosion)이나 대유역에서의 특정강우 혹은 특정년도의 토양유실량 예측에 사용하는 것은 다소 무리가 있으며(Wischmeier, 1976), 하천과 호수에서의 유수량 추정에 필요한 단기간 토양유실량 추정에는 적용하지 못한다는 결점도 있다. Foster et al.(1994)과 McCool et al.(1987, 1989)은 이러한 USLE의 결점을 보완하기 위하여 RUSLE(Revised-USLE)를 만들었으며, USLE 중 강우요인을 변형 개량하여 폭우 사상별 토양유실량도 계산할 수 있도록 하였다.

USLE는 본래 경사가 일정한 지역에서 침식을 예측하기 위하여 만들어졌으며, 소유역에서 USLE를 이용한 토양유실량 추정은 그 동안 수작업에 의하여 이루어져 왔는데, 이때 가장 문제가 되는 것이 경사도와 경사장으로 구성되는 지형인자(LS: Slope Length and Steepness)이며, 그 중에서도 경사장인자(L)를 어떻게 결정하는가의 문제이다.

USLE에서 경사장의 개념은 지표면 월유수(越流水)가 발생되기 시작하는 지점으로부터 경사가 줄어서 퇴적이 일어나는 지점까지의 거리이거나 유출이 뚜렷하게 나타나는 형태인 수로나 지류로 합류되는

지점까지의 거리로 규정된다. 그런데, 문제는 복잡한 지형에서 유수의 흐름이 모이고 나누어지는 지점과 퇴적이 일어나는 지점을 정확히 찾기가 쉽지 않다는 데 있다.

또, 일정지역으로 유입되는 지표유수량과 그에 따른 토양유실량은 그 지역으로 유입되는 수계로부터 그 지점까지의 거리에 달려있지 않고 그 지점까지 유입수에 영향을 주는 유역면적에 달려 있다(Ahner, 1976; Bork and Hensel, 1988; Carson and Kirkby, 1972; Moore et al. 1989). 따라서, 수작업에 의한 경사장 결정은 침식에 영향을 주는 지형 단면형태의 선(線)적인(1차원적인) 영향은 고려되지 만 유수의 집중성(Convergence degree) 또는 분산성(Divergence degree) 등의 평면적인(2차원적인) 영향은 반영되지 않는다는데 문제가 있다.

Foster and Wischmeier(1974)는 경사가 일정하지 않은 지역에서의 토양유실량을 계산하기 위하여 경사지 단면의 형태를 고려하여 불규칙적인 복합 경사지를 일정수로 나누어 경사장인자(L)를 계산하는 과정을 발전시켰으며, LS값을 결정하기 위하여 계산도표를 만들어 발표하였다(1978, Wischmeier and Smith).

Wilson(1986)은 불규칙적인 경사지의 침식량을 추정하기 위하여 유역을 일정 수의 단면으로 나누어서 지형인자를 계산하는 방법을 제시하였으며, Griffin et al.(1988)은 지형적으로 불규칙한 경사지에서 토양유실량을 추정하기 위하여 경사장 결정을 위한 6가지의 적용 방법을 비교하였는데, 가장 정확한 최선의 방법은 없다고 결론지었다.

한편, 2차원적인 유역면적을 계산하기위한 여러 가지의 알고리즘이 제시되었고, 이미 침식연구에 적용되고 있다(Bork and Hensel, 1988; Desmet,

1993; Desmet and Govers, 1996b; Moore et al. 1988, 1989).

지리정보체계(Geographic Information System, GIS)는 복잡한 자연 지형에 대한 수치지형모델(Digital Elevation Model)의 구축과 조작을 비교적 쉽게할 수 있다. Desmet and Govers (1996b)는 지형적으로 복잡한 경사지에서 경사장을 계산하기 위하여 Quinn et al. (1991)이 제시한 multiple flow 알고리즘을 적용하여 GIS 환경하에서 2차원적인 단위유역면적 개념을 사용한 경사장을 계산하는 방법을 제안하여 위에서 제시한 문제점들을 해결하였다.

한편, 한국에서는 GIS환경하에서 USLE를 이용한 토양유실량 추정에 관한 연구가 시행되었으나(이석민, 1994; 류주형, 1995; 김상욱, 1995), 1차원적인 개념의 경사장인자를 주관적으로 적용하였으며, 그 적용과정이 명확하게 나타나 있지않다. 우창호와 황국웅(1996)은 GIS를 이용하여 USLE에 의한 토양유실량을 추정하는 방법에 대하여 연구하였으며, 목포시 부주산을 대상으로 하여 1차원적인 개념의 경사장인자를 적용한 사례를 보였다.

본 연구에서는 다음의 사항을 수행하고자 한다.

첫째, Desmet and Govers(1996b)가 제안한 2차원적인 경사장 계산방법과 Foster and Wischmeier(1974)가 제시한 경사도 계산방법을 합하여 지형인자(LS)를 자동계산하는 프로그램을 작성하고, 한국에서 토양유실량의 실측자료가 있는 대상지를 선정하여, 본 연구에서 만든 프로그램으로 USLE에 의한 토양유실량을 추정하여 실제 측정치와 비교하고, 지형인자(LS) 계산의 구체화를 검정하여 지금까지 한국에서 시도된 주관적인 경사장 결정을 객관화하여 USLE 적용력 향상에 기여하고자 한다.

둘째, 현재 계획성 없는 무리한 토사채취로 인하여, 환경적으로 침식과 토사유출 문제를 심각하게 일으키고 있는 목포시 부주산을 대상으로 토지 이용변화에 따른 토양유실량의 변이를 추정하고, 그 결과를 이전의 1차원적인 경사장 결정 연구와 비교해 보고자 한다.

II. 연구방법

본 연구의 진행순서는 다음과 같다.

- 1) 지형인자계산 알고리즘 검토
- 2) 지형인자(LS) 자동계산방법 프로그래밍
- 3) GIS 자료 구축(수치지형모델 작성 및 지형분석)
- 4) 프로그램 검정(적용 및 결과 검토)
- 5) IDRISI를 이용한 토양유실량 자동 계산
- 6) 대상지에 적용 및 결과 고찰

1. 지형인자(LS) 자동계산 모형

지형인자(LS) 값을 산정하기 위하여 Foster and Wischmeier(1974)가 제시한 계산도표의 유도식은(공식 1)과 같다.

$$LS = \left(\frac{65.41 \cdot s^2}{s^2 + 10,000} + \frac{4.56 \cdot s}{(s^2 + 10,000)^{1/2}} + 0.065 \right) \cdot \left(\frac{l}{22.13} \right)^m \quad (\text{공식 1})$$

위 식에서 s는 경사도(%), l은 경사장(m)을 나타내며, m은 지표면 경사도에 따른 상수로서 경사도가 1%미만인 경우에는 0.2, 1%이상 3%미만인 경우에는 0.3, 3%이상 5%미만인 경우에는 0.4, 5%이상인 경우에는 0.5를 적용한다.

1) 경사장인자(L) 자동계산 모형

Foster and Wischmeier(1974)는 경사지는 물론이고 평탄지조차도 경사가 완전히 일정할수 없다고 생각했다. 그러므로 그들은 복잡한 경사지를 몇 개의 경사면으로 구분한 다음, 한 경사면에서는 경사도와 토성이 균일하다고 가정할 때, LS값 계산공식을 다음과 같이 유도 하였다.

$$LS_j = S_j \cdot \frac{(\lambda_j^{m+1} - \lambda_{j-1}^{m+1})}{(\lambda_j - \lambda_{j-1}) \cdot (22.13)^m} \quad (\text{공식 2})$$

위 식에서 LS_j 는 j번째 경사면의 지형인자, S_j 는 j번째 경사면의 경사도인자, λ_j 는 경사지 최상단으로부터 j번째 경사면 하단까지의 거리, m은 지표면 경사도에 따른 상수로서, 0.2에서 0.5까지의 값을 가진다.

격자형의 수치지형모델(DEM)에서 지표면은 셀의

배열로 표현된다. LS인자를 계산하기 위하여는 각 셀에 영향을 미치는 유역면적을 알아야 한다. 각 셀에 영향을 미치는 면적(예로서, 각 셀에 영향을 미치는 셀의 경사지 상단 유역면적)을 계산하기 위한 여러 알고리즘이 기존 연구에 의하여 밝혀져 있다.

Desmet and Govers(1996b)는 작은 지형적인 기복에서도 유수의 흐름이 변하기 때문에, 지형적으로 복잡한 표면위로 흐르는 유수에서 single flow 알고리즘의 사용은 문제가 있다고 하였다. 따라서, 유수의 분산성 흐름에 적용시킬 수 있는 multiple flow 알고리즘이 이런 문제를 해결할 수 있다고 하였다.

Quinn et al.(1991)에 의해 개발된 multiple flow 알고리즘은 다음과 같이 설명된다. Multiple flow 알고리즘의 유수 배분비율은 Fig. 1과 같다. 3x3 서브메트릭스(submatrix)에서 중심 셀로 유입된 유역면적은 중심 셀의 이웃하는 고도가 낮은 셀로 나누어 흘러간다. 이때, 하단의 각 셀에 수용되는 유역면적은 인접 셀과의 거리가 가중된 높이 (Distance-weighted drop)와 유수방향을 결정하는 지형의 기하학적 가중요소(Geometric weight factor)에 비례한다.

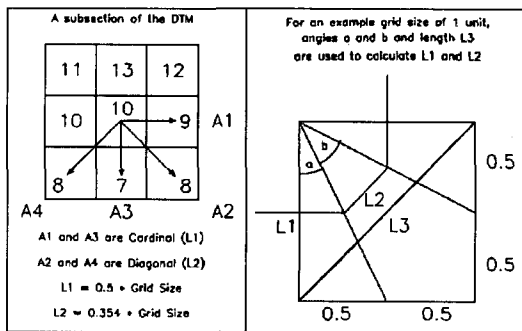


Fig. 1. Multiple flow 알고리즘에 의한 유수배분 (자료: Quinn et al., 1991)

Quinn et al.(1991)은 Fig. 1에서 가운데 셀의 유량을 주변의 8개 셀이 나누어 받는다고 가정할 때, i 번째 셀이 나누어 받게되는 영향을 미치는 상단 유역면적 A 의 부분면적 A_i 는 다음과 같이 된다 고 하였다.

$$A_i = A \frac{tg\beta_i \cdot W_i}{\sum_{j=1}^k tg\beta_j \cdot W_j} \quad (\text{공식 3})$$

위 식에서 A_i 는 i 번째 셀이 나누어 받게되는 A 의 부분면적, A 는 영향을 미치는 상단 유역면적, $tg(\beta_i)$ 는 이웃을 향하는 tangent 경사각(높이차/수평거리), W_i 는 i 번째 이웃 셀을 향하는 가중요소(위 그림에서 L1 또는 L2), k 는 중앙의 셀보다 낮은 표고값을 가진 주변 셀의 개수 등이다.

위 식을 사용하여 누적 계산하면, 각 셀의 유역면적을 산출하게 된다. 그런 다음, 여기서 구한 유역면적을 USEL의 경사장으로 적용하는 Desmet and Govers(1996b)의 제안은 다음과 같다.

먼저, 각 셀의 중심을 통과하는 등고선을 가정하고, 그 등고선의 길이를 구한다음, 셀이 가지는 유역면적(m^2)을 등고선의 길이(m)로 나누어 이를 경사장의 개념인 단위 유역면적(m^2/m)이라 하며, 이를 길이의 개념인 경사장으로 대신한다.

셀안에 형성되는 등고선 길이를 가정하면, 이것은 유수가 통과할 셀 안에서의 등고선의 길이이며, 셀 중간을 통과하고 경사방향과 수직인 선분의 길이와 같은데 그 계산은 다음과 같다.

$$D_{i,j} = D + (\sin\alpha_{i,j} + \cos\alpha_{i,j}) = D \cdot r_{i,j} \quad (\text{공식 4})$$

$$r_{i,j} = (\sin\alpha_{i,j} + \cos\alpha_{i,j})$$

위 식에서 $D_{i,j}$ 는 셀의 중심을 통과하는 등고선 길이(m), D 는 셀의 크기(m), $\alpha_{i,j}$ 는 좌표(i,j)로 된 셀의 격자 축에 대한 경사각(0도 - 90도) 등이다.

각 셀의 유입구에서의 단위유역면적(경사장)은 다음과 같이 계산된다.

$$As_{i,j,in} = \frac{A_{i,j,in}}{D_{i,j}} \quad (\text{공식 5})$$

위 식에서 $A_{i,j,in}$ 는 좌표(i,j)로 된 셀 입구에서의 유역면적(m^2), $As_{i,j,in}$ 은 좌표(i,j)로 된 셀 입구에서의 단위유역면적(m^2/m)을 나타낸다.

또, 셀의 출구에서의 유역면적은 셀의 면적 만큼 증가하므로,

$$A_{i,j,out} = A_{i,j,in} + D^2 \quad (\text{공식 6})$$

위 식에서 $A_{i,j,out}$ 은 좌표(i,j)된 셀의 출구에서의 유역면적(m^2)을 나타낸다.

Foster and Wischmeier(1974)가 제시한 공식 2를 2차원적인 단위유역면적 개념에 적용할 수 있다.

공식 2에서 경사도 인자 S를 빼고 단위유역면적 개념을 적용시키면 좌표(i,j)의 셀의 L인자는 다음과 같이 유도된다.

$$L_{i,j} = \frac{A_{Si,j,out}^{m+1} - A_{Si,j,in}^{m+1}}{(A_{Si,j,out} - A_{Si,j,in}) \cdot (22.13)^m} \quad (\text{공식 7})$$

위 식에서 $L_{i,j}$ 은 좌표(i,j)로 된 셀의 경사장인자값(공식 7)에 (공식 5, 6)을 대입시키면 다음과 같이 유도된다.

$$L_{i,j} = \frac{\left(\frac{A_{i,j,in} + D^2}{D \cdot \kappa_{i,j}}\right)^{m+1} - \left(\frac{A_{i,j,in}}{D \cdot \kappa_{i,j}}\right)^{m+1}}{\left(\frac{A_{i,j,in} + D^2}{D \cdot \kappa_{i,j}} - \frac{A_{i,j,in}}{D \cdot \kappa_{i,j}}\right) \cdot (22.13)^m} \quad (\text{공식 8})$$

위 식은 다음과 같이 유도되고

$$L_{i,j} = \frac{(A_{i,j,in} + D^2)^{m+1} - A_{i,j,in}^{m+1}}{(D \cdot \kappa_{i,j})^{m+1} \cdot \left(\frac{D^2}{D \cdot \kappa_{i,j}}\right) \cdot (22.13)^m} \quad (\text{공식 9})$$

위 식은 프로그래밍하기 쉽게 정리하면 다음과 같다.

$$L_{i,j} = \frac{(A_{i,j,in} + D^2)^{m+1} - A_{i,j,in}^{m+1}}{D^{m+2} \cdot \kappa_{i,j} \cdot (22.13)^m} \quad (\text{공식 10})$$

위 식에서 $L_{i,j}$ 는 경사장인자이고, 본 연구에서는 경사장인자의 자동계산을 위하여 (공식 10)을 사용하였으며, Fox Pro 4.5를 사용하여 프로그램하고자 한다.

2) 경사도인자(S) 자동계산 모형

경사도는 일정 구역의 지표면 경사로서 보통 수평 거리에 대한 고저차의 백분율로 표시된다. Wischmeier의 (공식 1)에서 경사장인자(L)를 빼면 경사도인자(S)는 다음과 같이 표현 된다.

$$S = \frac{65.41 \cdot s^2}{s^2 + 10,000} + \frac{4.56 \cdot s}{(s^2 + 10,000)^{1/2}} + 0.065 \quad (\text{공식 11})$$

위 식에서 S는 경사도인자이고 s는 지표면 경사도(%)이다. 본 연구에서는 경사도인자(S)의 자동계산

을 위하여 (공식 11)을 사용하고자 하며, Fox Pro 4.5를 사용하여 프로그램하고자 한다.

3) 지형인자(LS)값 계산

지형인자(LS)값의 계산은 대상지 내의 모든 셀에 대하여 (공식 11)에 의한 경사장인자(L)값과 (공식 12)에 의한 경사도인자(S)값을 곱하여 계산하였다.

$$LS_{i,j} = L_{i,j} \cdot S_{i,j} \quad (\text{공식 12})$$

2. 검정대상지 및 GIS 자료 구축

토양유실 장기예측 모형인 USLE를 검정하기 위하여는 장기간에 일어난 토양유실에 대한 실측자료가 필요하다. 그러나, 현재 한국에는 그 실측자료가 거의 없기 때문에 김진택(1989, 1995)에 의하여 경기도 수원과 반월지역에서 강우사상별 비점원 오염모형의 적용을 위하여 단기간에 실측한 시험유역을 대상으로 위에서 설명한 지형인자(LS) 자동계산 프로그램을 검정해 보려고 한다

1) 검정대상지

(대상지 1) 경기도 수원시 서울대학교 농과대학 부속목장의 경작초지로서 유역의 면적은 약 0.6ha이며 평균 경사는 3.3%이다. 유역의 경작형태는 옥수수, 피이며 작황은 양호한 편이다. 유역의 토양은 2개의

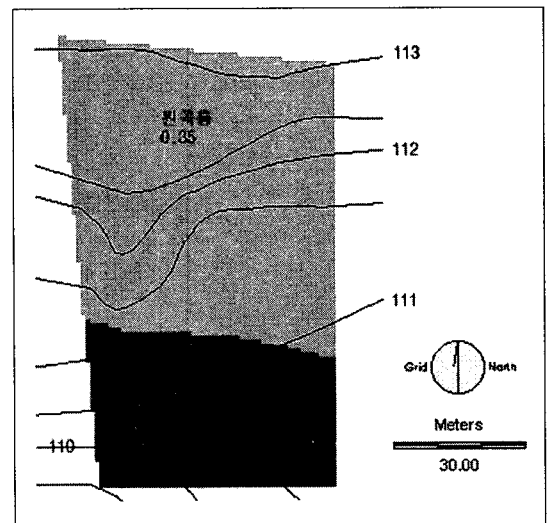


Fig. 2. 검정대상지1의 지형 및 토양도

토양통으로 구분되는데, 지형도와 토양분포도는 Fig. 2와 같다.

(대상지 2) 경기도 화성군 반월면에 위치하고 있는 수리산 계곡이다. 시험구역의 북쪽은 군포면, 남쪽은 비봉면, 서쪽은 수암면과 접하고 있으며 개발제한 구역으로 삼림, 농경지의 훼손이 적으며 자연 부락이 산재되어 있는 전형적인 농촌유역이다. 시험구역의 토지이용은 삼림이 전체면적의 98%를 차지하고 토양은 청산통이다. 지형도는 Fig. 3과 같다.

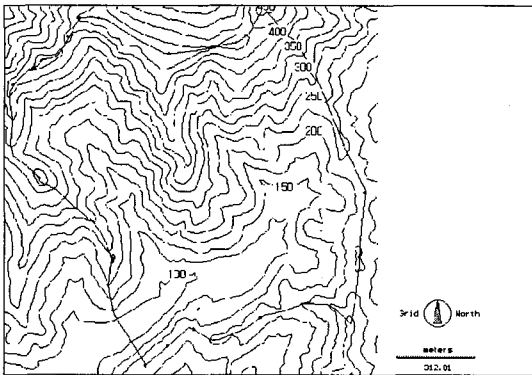


Fig. 3. 검정대상지2의 지형도

2) GIS 자료구축

대상지의 지형에 대한 수치지형모델을 작성하기 위하여 검정대상지 1에서는 지형특성을 파악하고자 실제 측량하여 만든 지형도를 사용하였으며, 검정대상지 2에서는 국립지리원이 발행한 1:5,000 지형도를 사용하여 10m 간격의 등고선을 입력하였다.

한편, 식생피복인자(C)는 정밀식생도, 침식조절방법인자(P)는 지형도와 농촌진흥청 자료, 토양침식성인자(K)는 대상지역 정밀토양도에 나타난 각 토양의 물리적 특성을 Wischmeier(1971)의 계산도표 유도식(공식 13)에 의해 산정하여 이를 속성값으로 하였다.

$$K = \frac{2.1M^{1.4}(10^{-4})(12-a)+3.25(b-2)+2.5(c-3)}{100}$$

..... (공식 13)

위 식에서, K = (silt함량(%) + 극세사함량(%) (100 - 점토함량(%)), a = 유기물함량(%), b = 토양구성비 수준, c = 투수성 수준을 나타낸다.

본 연구에서는 GIS프로그램인 IDRISI를 사용하여 대상지에 대한 수치지형모델을 작성하고, 이를 바탕으로 지표면 경사와 향을 분석하였으며, 정밀식생도와 정밀토양도에 근거하여 식생피복인자(C), 침식조절인자(P), 토양침식성인자(K) 등에 대한 레이어를 작성하였으며, 또, 대상지1에 대하여는 1m/셀의 해상도로, 대상지2에 대하여는 10m/셀의 해상도를 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 지형인자(LS) 자동계산 모형검정

Foster and Wischmeier(1974)가 제시한 불규칙한 경사지에서 1차원적인 지형인자(LS) 계산방법인 (공식 1)에다 Quinn et al.(1991)이 제시한 multiple flow 알고리즘을 적용시켜 2차원적인 개념을 사용한 Desmet and Govers(1996b)의 제안을 Fox Pro 4.5를 사용하여 만든 지형인자(LS) 자동계산 프로그램(부록 참조)을 검정하기 위하여 김진택(1989, 1995)이 실측한 검정대상지 1, 2에서 토양유실량을 추정해 보았다.

1) 검정대상지 1

(1) 지형인자(LS) 자동계산 결과 및 고찰

Fig. 4와 5는 검정대상지1에 대한 경사장인자(L) 값과 경사도인자(S) 값의 분포도이다. 수치지형모델과 지표면 경사, 향 분석도를 입력자료로 하여 위에서 설명한 프로그램을 사용하여 L값과 S값을 계산하고, 그 결과를 IDRISI를 사용하여 출력한 것이다.

Wischmeier가 제시한 USLE의 경사장 개념은 지표 율유수가 발생되기 시작하는 지점으로부터 경사가 줄어서 퇴적이 일어나는 지점까지의 거리이거나 유출이 뚜렷하게 나타나는 형태인 수로나 지류로 합류되는 지점까지의 거리로 규정된다. 따라서, 유수가 합쳐지는 지점에서는 그 값이 급속히 증가하여야 한다. 즉, 오목한 지역은 볼록한 지역보다 훨씬 더 큰 L값을 가진다. 이것은 지표류는 지형적으로 오목한 지역에서 집중되는 경향을 보이기 때문이다. Fig. 4

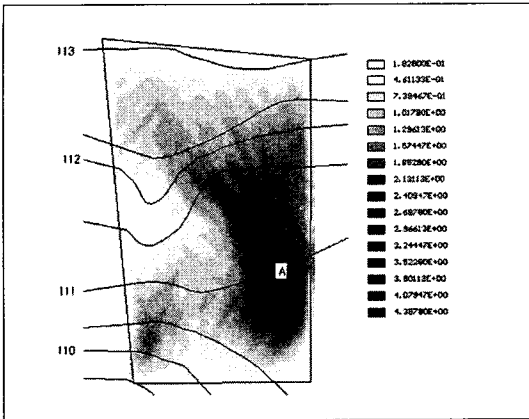


Fig. 4. 검정대상지1의 경사장인자(L)값 분포도

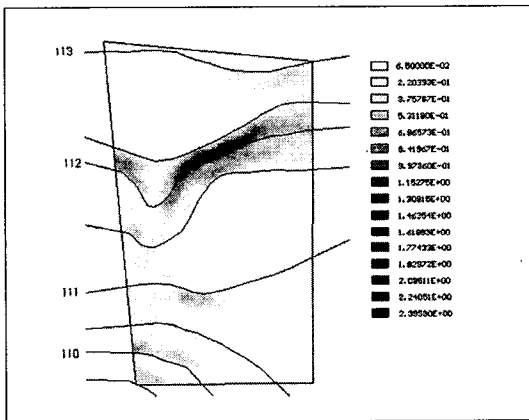


Fig. 5. 검정대상지1의 경사도인자(S)값 분포도

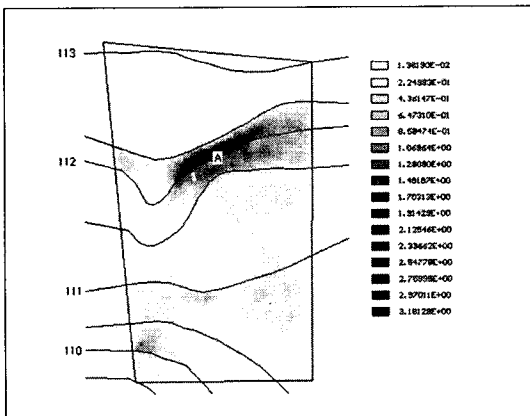


Fig. 6. 검정대상지1의 지형인자(LS)값 분포도

의 A, B부분의 L값의 분포는 Wischmeier의 경사장 개념을 잘 나타내 주고 있다. 즉, A부분과 같이 유수가 집중되는 지점에서는 높은 L값을 가지고, B부분과 같이 유수가 분산되는 지점에서는 낮은 L값을 가진다.

Fig. 6은 IDRISI를 사용하여 L값 레이어와 S값 레이어를 곱하여 만든 지형인자(LS)값 분포도를 표현하고 있다. 경사도는 지형인자(LS)에서 주요 지배자이기 때문에 최대경사지에서 최대 LS값을 갖는다. Fig. 6의 A 부분은 이런 경향을 잘 보여 주고 있다.

(2) 토양유실량 검토

본 연구에서 계산한 유실량 추정치와 실제 측정된 실측치는 아래 Table 1과 같다.

김진택은 대상지에 대한 유사량을 1988년 7월 12일부터 7월 20일 까지 5회 측정하였으며, 강우사상별 유역 유사량은 7월 20일의 폭우사상(Storm event)이 최고치를 나타내었다.

본 연구에서 계산한 추정치와 김진택(1989)이 측정한 실측치는 대체적으로 일치하나 일부에서 약간의 차이를 보이고 있다. 검정대상지 1에서 강우사상별 추정유사량 평균은 22.88kg이었고, 실측유사량 평균은 29.98kg이었다. 추정유사량과 실측유사량과의 상대 오차는 최저 114%에서 최고 475%이었고 상대오차 평균은 131%였다.

Table 1. 강우사상별 유실량 추정치와 실측치 비교

1988	R	K	C	P	추정치 (Kg)	실측치 ⁵⁾ (Kg)	상대오차 (%)
7/12	15.4	0.36	0.01	0.5	13.3	2.8	475
7/13	28.1	0.36	0.01	0.5	24.3	37.9	156
7/14	12.0	0.36	0.01	0.5	10.4	18.3	176
7/15	26.1	0.36	0.01	0.5	22.5	52.5	233
7/20	50.8	0.36	0.01	0.5	43.9	38.4	114
평균	-	-	-	-	22.88	29.98	131

2) 검정대상지 2

(1) 지형인자(LS) 자동계산 결과 및 고찰

Fig. 7, 8, 9는 검정대상지 2에 대한 경사장인자(L)값의 분포도이다.

Fig. 7에서 보면, 검정대상지 1에서와 마찬가지로

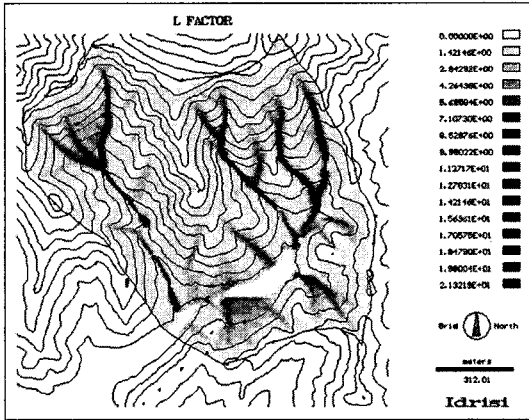


Fig. 7. 검정대상지2의 경사장인자(L) 값 분포도

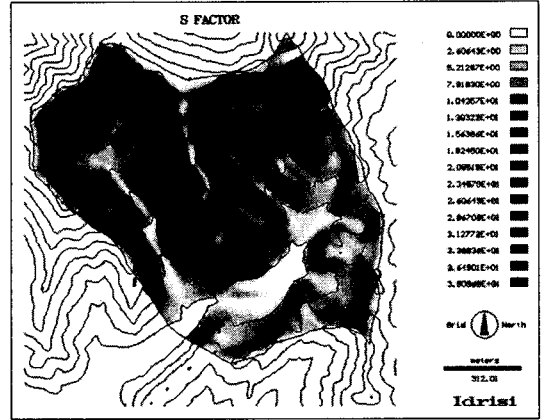


Fig. 10. 검정대상지2의 경사도인자(S) 값 분포도

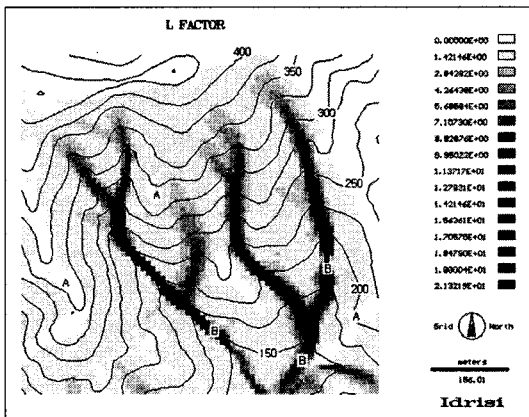


Fig. 8. 검정대상지2의 경사장인자(L) 값 분포도(부분)

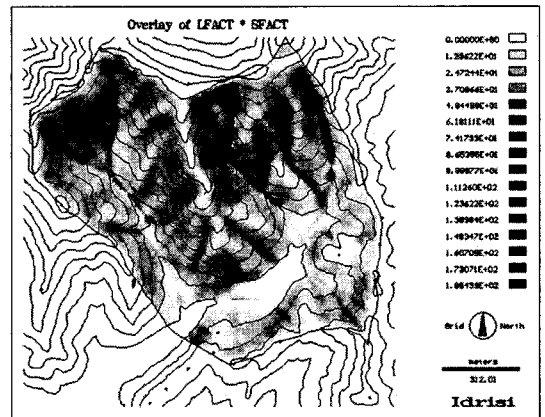


Fig. 11. 검정대상지2의 지형인자(LS) 값 분포도

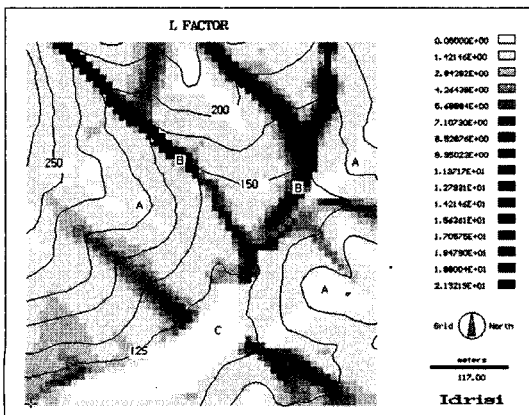


Fig. 9. 검정대상지2의 경사장인자(L) 값 분포도(부분)

로, 유수가 합쳐지는 지점에서는 그 값이 급속히 증가하는 Wischmeier의 경사장 개념을 잘 반영하고 있다. 즉, 유수의 흐름이 모이는 오목한 계곡지역은 유수의 흐름이 분산되는 볼록한 능선지역보다 훨씬 더 큰 L값을 보여주고 있다. 그리고, 세류(細流) 침식율은 유수량에 따라 증가하는 것이 잘 알려져 있는 사실(Govers and Loch, 1993)이므로 오목한 지역에서 세류 밀도나 부피 모두 더 많아지는 것을 예상할 수 있다.

Fig. 8과 9는 위에서 언급한 Wischmeier의 경사장 개념을 잘 보여 주고 있다. 즉, 그림에서 볼록한 능선지역(A부분)에서는 낮은 L값을 보여주고 있으며, 오목한 계곡지역(B부분)에서는 높은 L값을 보여

주고 있다. 또, 경사가 줄어서 퇴적이 일어나는 지점(C부분)에서는 L값이 감소하는 경사장의 개념을 잘 보여주고 있다.

Fig. 10과 11은 검정대상지2의 경사도인자(S) 값과 지형인자(LS) 값의 분포도이다. 경사도는 지형인자(LS)에서 주요 지배자이기 때문에 최대 경사지는 최대 LS값을 갖는다. Fig. 11은 이런 경향을 잘 보여주고 있다. 즉, 급경사지에서는 높은 LS값을 나타내고 완경사지에서는 낮은 LS값을 나타내고 있다.

2) 토양유실량 검토

김진택(1995)의 연구에서는 검정대상지2에 대하여 유역의 하천유실량과 그에 따른 유사농도로부터 구한 부유사량으로 유사량을 계산하였다. 이는 폭우사상별 단기 유사량이다.

김진택은 총유실량-유사운송비법으로 유역에서의 유사량을 추정하였다. 총유실량-유사운송비법은 총토양유실량을 구하여 특정 지점까지의 운송되는 비율, 즉, 유사운송비를 곱하여 유역 유사량을 추정하는 방법이다.

본 연구에서는 IDRISI를 사용하여 RUSLE에 의한 강우 사상별 토양유실량 합계를 계산한 후, 이를 근거로 유사량을 추정하였으며, 이를 김진택(1995)의

실측치와 비교하였다(Table 2).

추정유사량을 계산하기 위하여는, 경사지에서의 유실량과 하도(河道)에서의 유실량을 합하여 총유실량을 구한 후, 총유실량에 유사운송비를 곱하여 유사량을 추정하였다.

또, 하도 유실량은 Maner(황은 등, 1993)가 제시한 대로 경사지 유실량의 15%를 가정하였으며, 유사운송비는 US SCS(1971)가 제시한 대로, 유역면적 1km²에 대하여 0.35로 계산하였다.

강우사상별 유역유사량은 7월 13일의 폭우사상이 1년중 최고치를 나타내었다.

본 연구에서 계산한 추정치와 김진택의 실측치는 큰 상대오차를 보였다. 추정유사량은 실측 유사량보다 모두 많았는데 7월 13일 강우의 최소 11배에서 4월 22일 강우의 최대 1,318배였다. 김진택에 의해 연구된 대상지역은 전체 약 1,300ha의 대유역으로 실측지점이 5개소로 나누어져 있다. 대유역에서 유사량 추정을 위한 실측시 어떤 방법에 의하여 시료가 채취되는가는 매우 중요하다. 왜냐하면, 강우 후, 시료가 채취되는 시간에 따라 그 오차가 크기 때문이다. 따라서, 대유역에서 실측지점이 여러개소로 나누어져 있는 경우, 정확한 유사량을 측정하기 위하여는 강우 후 일정 시간에 동시 다발적으로 시료를 채취할

Table 2 강우사상별 유사량 추정치와 실측치 비교

1993	강우강도 (EI ₃₀)	a: 유사량 실측치 (ton)	b: 경사지 유실량추정치 (ton)	c: 하도유실량 추정치 (ton)	d: 총유실량 추정치 (ton)	e: 유사량 추정치 (ton)	f: 유사량상대 오차(추정치/실측치)
4/22	7.46	0.004	13.1	1.965	15.065	5.270	1,318
6/12	24.58	0.027	43.3	6.495	49.795	17.428	645
7/8	10.73	0.092	18.9	2.835	21.735	7.607	83
7/11	314.58	0.978	554.1	83.115	637.215	223.025	228
7/13	29.58	1.852	52.1	7.815	59.915	20.970	11
7/17	24.99	1.201	44.0	6.600	50.600	17.710	15
7/29	79.55	1.400	140.1	21.015	161.115	56.390	40
8/13	1.64	0.002	2.9	0.435	3.335	1.167	584
9/16	48.34	0.107	85.1	12.765	97.865	34.253	320
9/20	15.0	0.046	26.4	3.960	30.360	10.626	231

- a : 김진택(1995)의 유사량 실측치
- b : 토양유실량 추정치 = RUSLE에 의한 단기 유실량 추정
- c : 하도 유실량 추정치 = b * 0.15
- d : 총유실량 추정치 = b + c
- e : 유사량 추정치 = d * 0.35
- f : 유사량 상대오차 = e / a

Table 3. 토사채취 전후의 토지이용별 토양유실량

구 분	삼림(청산통)		논(임곡통)		밭(안룡통)		밭(장원통)	
	채취전	채취후	채취전	채취후	채취전	채취후	채취전	채취후
면적(ha)	57.45	57.45	0.92	0.92	4.61	4.61	1.56	1.56
총유실량(t/yr)	245.53	207,715.40	2.57	994.20	78.24	3,309.07	81.74	2,909.89
t/ha/yr	4.27	3,615.59	2.79	356.34	16.97	717.80	52.40	1,865.31

수 있는 시설이 필요하다. 김진택의 연구에서는 시료 채취방법에 대한 것이 기술되어 있지 않아 실측의 정확도를 알 수 없었고, USLE의 본래 개념대로 대유역에서 본 연구의 적용 추정은 다소 무리가 있는 것으로 생각된다.

2. 토양유실량 추정 사례

현재 계획성 없는 무리한 토사채취로 인하여, 환경적으로 침식과 토사유출 문제를 심각하게 일으키고 있는 목포시 부주산을 대상으로 토지 이용변화에 따른 토양유실량의 변이를 추정하고 이전 연구(우창호와 황국웅, 1996)의 결과와 비교하였다. 이때, 지형인자는 본 연구에서 사용한 방법으로 적용하였으며, 그 외의 인자는 이전 연구와 동일한 값을 적용하였다. 수치지형모델 작성의 기본 자료인 등고선은 이전 연구와 동일한 CAD 자료파일을 사용하였으나, 이전 연구에서는 20m/셀의 해상도를 사용하였으며, 본 연구에서는 보다 정밀한 유역분석(multiple flow 알고리즘 적용)을 위하여 10m/셀의 해상도를 사용하였다.

Table 3은 지형변형이 생긴 경계내에서 토지이용에 따른 토사채취 전후의 총 토양유실량 합계를 나타낸 것이다. 이 지역내의 총 삼림면적은 57.45ha로서 토사채취전 1년 총 토양유실량은 245.53t이었으며, ha당 1년 평균유실량은 4.27t이었다. 토사채취후 1년 총 토양유실량은 207,715.4t으로서 토사채취전보다 약 846배 많았다.

한편, 논면적은 0.92ha로서 토사채취전 1년 총 토양유실량은 2.57t이었으며, ha당 1년 평균유실량은 2.79t이었다. 토사채취후 1년 총 토양유실량은 994.20t으로서 토사채취전보다 약 387배 많았다. 밭지역에서 안룡통의 총 면적은 4.61ha로서 토사채취전 1년 총 토양유실량은 78.24t이었으며, ha당 1년

평균유실량은 16.97t이었다. 토사채취후 1년 총 토양유실량은 3,309.07t으로서 토사채취전보다 약 42배 많았다. 그리고, 장원통의 총 면적은 1.56ha로서, 토사채취전 1년 총 토양유실량은 81.74t이었으며, ha당 1년 평균유실량은 52.40t이었다. 토사채취 후 1년 총 토양유실량은 2,909.89t으로서 토사채취전보다 약 36배 많았다.

지형변경이 있는 경계내에서의 토사채취 전후의 총 토양유실량을 비교해 보면 Table 4와 같다. 토사채취전 총 토양유실량은 408.08t이었으며, ha당 1년 평균유실량은 6.32t이었다. 한편, 개발후 총 토양유실량은 214,928.98t이었으며, ha당 1년 평균유실량은 3,330.17t으로 토사채취전보다 약 527배 많았다. 자연상태에서 토양유실 허용량은 1년에 ha당 약 14t이다. 따라서, 토사채취전 부주산에서의 토양유실량은 침식면에서 문제가 되지 않았던 것을 알 수 있다.

Table 4. 변경지역내 토사채취 전후 토양유실량

	토사채취전	토사채취후
면적(ha)	64.54	64.54
총유실량(t/yr)	408.08	214,928.90
t/ha/yr	6.32	3,330.17

지형변경이 발생한 경계선 내의 전체 토양유실량에 대하여 이전 연구와 비교해 볼 때, 토사채취전의 토양유실량은 이전 연구의 M_1방법에서는 4.62t/ha/yr, M_2방법에서는 5.91t/ha/yr이었으며, 본 연구에서는 6.32t/ha/yr이었다. 토사채취후의 토양유실량은 전 연구의 M_1방법에서는 1,245.20t/ha/yr, M_2방법에서는 1,541.86t/ha/yr이었으며, 본 연구에서는 3,330.17t/ha/yr이었다.

본 연구방법의 결과는 토사채취 전의 상태에 대한 토양유실량 추정에서는 이전 연구에 비하여 40%이내의 증가가 있었고, 토사채취 후의 상태에 대한 토양

유실량 추정에서는 이전 연구에 비하여 110 - 170% 정도의 증가가 있었다. 이는 이전 연구에서는 경사장을 계산할 때 2차원적인 단위유역면적 개념이 아닌 1차원적인 길이 개념으로 생각하여 경사장이 작게 측정되었기 때문인 것으로 생각되어진다.

IV. 결론

본 연구에서는 Desmet and Govers가 제안한 경사장 계산방법과 Wischmeier의 경사도 계산방법을 합하여 복잡한 지형에서 USLE 지형인자(LS)를 자동계산할 수 있는 프로그램을 작성하였다. 이 프로그램을 GIS 프로그램인 IDRISI에 연결시켜 토양유실량 실측자료가 있는 대상지의 실측치(김진택, 1989; 1995)와 추정치를 비교하여 지형인자(LS) 계산의 구체화를 검정하였다.

그 결과, 검정대상지 1, 2 모두에서 L값의 분포는 Wischmeier의 경사장 개념을 잘 나타내 주었다. 즉, 유수가 집중되는 오목한 지역은 유수가 분산되는 볼록한 지역보다 훨씬 큰 L값을 보여 주었고, 경사가 줄어서 퇴적이 일어나는 지점의 L값이 감소하는 경향을 보여주었다.

본 연구에서 계산한 추정치와 김진택(1989, 1995)이 측정한 실측치는 소유역의 검정대상지 1에서는 거의 일치하나 대유역 검정대상지 2에서는 큰 상대오차를 보였다. 이는 USLE의 본래 개념대로 대유역에서의 적용은 다소 무리가 있는 것으로 생각된다.

목포시 부주산을 대상으로 토지이용 변화에 따른 토양유실량의 변이를 추정한 결과, 이전의 연구결과(우창호와 황국웅, 1996) 보다는 토양유실량 추정치가 많게 나왔다. 그 이유는 이전의 연구에서는 경사장을 계산할 때 2차원적인 단위유역면적 개념이 아닌 1차원적인 길이 개념으로 적용되어 경사장이 짧게 계산되었기 때문인 것으로 생각된다. 따라서, 본 연구에서 적용한 방법이 지형의 변화를 더 잘 반영한다고 생각된다.

이론적으로, 지형도에서 수작업에 의한 1차원적인 경사장 결정은 매우 주관적이기 때문에 연구자마다 각기 다른 결과를 얻게 된다. 그리고, 수작업 방법은 지형학적으로 복잡한 지역에서의 유수의 집중성과 분산

성을 잡아내지 못하기 때문에 토양유실량 계산의 정확도에서 떨어진다. 본 연구에서 만든 지형인자(LS) 자동계산 프로그램은 이런 면에서 객관성과 정확성을 높일 수 있으며, USLE의 적용력을 향상시켜 이론적이거나 실제적으로 큰 장점이 있을 것으로 여겨진다.

한편, 토양유실량을 추정하기 위한 GIS 프로그램의 사용은 모든 인자를 쉽게 저장할 수 있고 조작하고, 표현한다는 여러 이점이 있었다. 즉, 지형, 토양, 토지이용에 관한 디지털링과 디지털 정보와 데이터베이스의 유용성은 데이터의 저장과 갱신을 모두 쉽게 할 수 있었다. 따라서, GIS 프로그램에서 데이터 조작의 용이성은 다른 토지이용 계획이나 침식방지에 대한 전략과 평가시 빠르게 일을 처리할 수 있게하여 시간적으로 매우 경제적인 것이다.

본 연구는 Desmet and Govers가 제안한 경사장 계산방법과 Wischmeier의 경사도 계산방법에 따라 지형인자(LS)를 자동계산할 수 있는 프로그램을 만들고, 이를 국내의 대상지에 적용하였으며, 이론적으로 타당한 결과를 얻었다는데 그 의의를 찾을 수 있다. 또, 본 연구에서 만든 USLE 지형인자(LS) 자동계산 프로그램은 USLE 적용력을 향상시켰으며, 개발에 의한 토지이용 변화에 따른 토양유실량의 변이를 쉽게 추정할 수 있기 때문에 환경영향평가 및 침식 저감방안에 내실을 기할 수 있을 것으로 생각된다. 그리고, USLE 모형에 의하여 토양침식에 영향을 미치는 인자들을 파악하여 그 인자들을 어떻게 조절하는 것이 개발현장에서 최대한 침식과 토양유실을 줄일 수 있는지 단지계획가로서 적용가능한 단지계획기법을 생각하는데 도움을 줄 것으로 생각된다.

인용문헌

1. 김상욱(1995) 토지이용변화에 따른 경안천 유역 토양유실에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
2. 김진택(1989) 소유역의 토양침식 및 퇴적모형의 적용, 서울대학교 농공학과 석사학위 논문.
3. 김진택, 박승우(1993) 관개용 저수지의 퇴사량과 포착효율의 추정, 한국수문학회지, 제26권 제3호: 63-74.
4. 김진택, 박승우(1993) 관개용 저수지의 퇴사량과 유역 유수량 추정식, 한국농공학회지, 제35권 제2호: 104-115.
5. 김진택(1995) 농업 비점원 오염모형을 위한 지리정보시스템 호환모형의 개발 및 적용, 서울대학교 대학원 박사학위논문.

6. 류주형(1995) 지리정보시스템(GIS)을 이용한 충주호 주변 지역의 비점 오염원 분석, 연세대학교 지질학과 석사학위논문.
7. 우창호(1994) 무계획적인 토사채취지의 문제점과 복구방안에 관한 연구, 목포대학교 연안환경연구소 논문집, 제11권: 61-79.
8. 우창호, 황국용(1996) GIS를 이용한 대규모 단지개발지의 토양유실량 추정을 위한 USLE의 인자값 결정과 적용 방법에 관한 연구, 한국조경학회지, 제23권 3: 115-132.
9. 이석민(1994) 지리정보시스템(GIS)을 이용한 부여군 금강유역의 토양유실분석, 연세대학교 지질학과 석사학위논문.
10. 황은 외(1993) 농지공학, 향문사.
11. Ahner, F.(1976) Brief Description of a Comprehensive Three-Dimensional Process-Response Model of Landform Development. *Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl. Band 25*: 29-49.
12. Bork, H.R., and H. Hensel(1988) Computer - Aided Construction of Soil Erosion and Deposition Maps, *Geologisches Jahrbuch A 104*: 357-371.
13. Carson, M.A., and M.J. Kirkby(1972) *Hillslope Form and Process*, Cambridge University Press, Cambridge, 475 p.
14. Desmet, P.J.J.(1993) The Use of Digital Elevation Models in Geomorphology, *Tijdschrift Belg. Ver. Aardr. Studies, BEVAS 62(1)*: 47-66.
15. Desmet, P.J.J., and G. Govers(1996a) Comparison of Routing Systems for DEMs and their Implications for Predicting Ephemeral Gullies, *Intern. J. GIS*, 10(3): 311-331.
16. Desmet, P.J.J., and G. Govers(1996b) A GIS Procedure for Automatically Calculating the USLE LS Factor on Topographically Complex Landscape Units, *Journal of Soil and Water Conservation*, 51(5): pp427-433.
17. D'Souza, V.P.C., and R.P.C., Morgan(1976) A Laboratory Study of the Effect of Slope Steepness and Curvature on Soil Erosion, *J. Agr. Eng. Res.*, 21:21 -31.
18. Foster, G.R., W.H. Wischmeier(1974) Evaluating Irregular Slopes for Soil Loss Prediction, *TRANSACTION of the ASAE*. 17: 305-309.
19. Foster, G.R., and et al(1994) The Revised Universal Soil Loss Equation, *Soil Erosion Research Methods*, 2nd Edition, Soil and Water Conservation Society, pp 105-124.
20. Govers, G., and R.J. Loch(1993) Effects of Initial Water Content and Soil Mechanical Strength on the Runoff Erosion Resistance of Clay Soils, *Aust. J. Soil Res*, 31: 549-566.
21. Griffin, M.L., D.B. Beasley, J.J. Fletcher, and G. R. Foster(1988) Estimating Soil Loss on Topographically Nonuniform Field and Farm Units, *J. Soil and Water Conservation*, 43: 326-331.
22. Kirkby, M.J., and R.J. Chorley(1967) Throughflow, Overland Flow and Erosion, *Bulletin Int. Ass. of Hydrol. Sci.* 12: 5-21.
23. McCool, D.K., L.C. Brown, G.R. Foster, C.K. Mutchler, and L.D. Meyer(1987) Revised Slope Steepness Factor for the Universal Soil Loss Equation, *Trans. American Society of Agricultural Engineers* 30: 1387- 1396.
24. McCool, D.K., G.R. Foster, C.K. Mutchler, and L.D. Meyer(1989) Revised Slope Length Factor for the Universal Soil Loss Equation, *Trans. American Society of Agricultural Engineers* 32(5):1571-1576.
25. Moore, I.D., and G.J. Burch.(1986) Physical Basis of the Length-Slope Factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1294-1298.
26. Moore, I.D., G.J. Burch, and D.H. Mackenzie (1988) Topographic Effects on the Distribution of Surface Soil Water and the Location of Ephemeral Gullies, *Trans. ASAE* 31(4): 1098-1107.
27. Moore, I.D., and J.L. Nieber(1989) Landscape Assessment of Soil Erosion and Nonpoint Source Pollution, *Journal of the Minn. Acad. Sci.* 55(1): 18-25.
28. Moore, I.D., and R.B. Grayson(1991) Terrainbased Catchment Partitioning and Runoff Prediction Using Vector Elevation Data, *Water Res. Research* 27: 1177-1191.
29. Moore, I.D., R.B. Greason, and A.R. Ladson (1991) Digital Terrain Modelling: A Review of Hydrological, Geomorphological, and Biological Applications. *Hydrol. Processes* 5:3-30.
30. Quinn, P.F., K.J. Beven, P. Chevallier, and O. Planchon(1991) The Prediction of Hillslope Flow Paths for Distributed Hydrological Modelling Using Digital Terrain Models, *Hydrological Processes*, 5: 59-79.
31. Williams, J.R., and H.D. Berndt(1977) Determining the USLE's Length-Slope Factor for Watersheds. In: *Soil Erosion: Prediction and Control*, Proc. of a National Conference on Soil Erosion, May 24-26, 1976, Purdue University, West Lafayette, Indiana:217-225.
32. Wilson, J.P.(1986) Estimating the Topographic Factor in the Universal Soil Loss Equation for Watersheds, *J. Soil and Water Conservation*, 41(3): 179-184.
33. Wischmeier, W.H., and D.D. Smith(1965) Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains. *USDA Agr. Handbook* 282.
34. Wischmeier, W.H., et al.(1971) A Soil Erodibility Nomograph for Farmland and Construction Sites, *J. of Soil & Water Conservation*, 26: 189-193.

35. Wischmeier, W.H.(1976) Use and Misuse of The Universal Soil Loss Equation, J. Soil and Water Conservation, 31(1): 5-9.
 36. Wischmeier, W.H., and D.D. Smith(1978) Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. USDA Agr. Handbook 537.
 37. Young, R. A., and C.K. Mutchler(1969) Soil Movement on Irregular Slopes, Water Res. Research 5(5): 1084-1089.

38. Zevenbergen, L. W., and C.R. Thorne(1987) Quantitative Analysis of Land Surface Topography, Earth Surface PROC. AND LANDFORMS 12: 47-56.
 39. Zingg, A.W.(1940) Degree and Length of Land Slope as it Affects Soil Loss in Runoff, Agricultural Engineering, 2(12): 59-64.

APPENDIX

지형인자(LS) 자동계산 프로그램

1) 경사장인자(L) 계산 프로그램

- (1) 입력자료: DEM, 경사향 레이어
- (2) 출력자료: 경사장인자(L) 값 레이어
- (3) 계산식:

$$L_{i,j} = \frac{(A_{i,j,in} + D^2)^{m+1} - A_{i,j,in}^{m+1}}{D^{m+2} \cdot x_{i,j}^m \cdot (22.13)^m} \quad (\text{공식 } 10)$$

(4) 프로그램

? ' MAIN PROCEDURE (L- FACTOR) '
 ? ' MULTIPLE FLOW ALGORITHM을 이용하여 L-FACTOR를 계산하는 프로그램'

* Date : 1997. 9. 10

* 1 5 2

* 6 9 7

* 3 8 4

CLEAR

SET TALK OFF

* Variables(Gloval) ----- 전역변수 설정

dir_name = ''

dbf_name = 'TEMP'

doc_in_1 = '' && DEM 입력파일 이름을 지

정하는 변수

img_in_1 = ''

doc_in_2 = '' && ASPECT(향) 입력파일 이

름을 지정하는 변수

img_in_2 = ''

doc_out = '' && L- FACTOR 계산결과 출력

파일 이름을 지정하는 변수

img_out = ''

rows = 0

cols = 0

csize = 0 && 셀 해상도

my_max = 0

my_min = 0

dimension el(9), ai(9), ta_li(9)

DO MY_INIT

DO STEP0

DO STEP1

DO STEP2

DO STEP3

DO STEP31

DO STEP4

DO STEP5

ENDPROC && END OF MAIN PROCEDURE

PROCEDURE MY_INIT && MULTIPLE FLOW 계산을 위한 변수 초기화

for i = 1 to 9

el(i) = 0.0

ai(i) = 0.0

ta_li(i) = 0.0

endfor

ENDPROC

PROCEDURE STEP0 && 입출력 파일이름 지정

img_in_1 = GETFILE('IMG', '입력파일')

if img_in_1 == ''

CANCEL

endif

doc_in_1 = left(img_in_1, len(img_in_1)-4) + '.DOC'

img_in_2 = GETFILE('IMG', '입력파일')

if img_in_2 == ''

CANCEL

endif

doc_in_2 = left(img_in_2, len(img_in_2)-4) + '.DOC'

img_out = PUTFILE('출력파일 저장', 'LEN', 'IMG')

if img_out == ''

CANCEL

endif

doc_out = left(img_out, len(img_out)-4) + '.DOC'

ENDPROC

PROCEDURE STEP1 && 입력파일에서 자료크기, 해상도를 읽음.

select 1

create table doc_t (name c(12), colon c(2), data c(40))

append from &doc_in_1 type sdf

locate for name = 'columns'

cols = val(data)

locate for name = 'rows'

rows = val(data)

locate for name = 'resolution'

csize = val(data)

```

if csize == 0
n = MESSAGEBOX('Resolution Not Found')
CANCEL
endif
use
ENDPROC

PROCEDURE STEP2  && 입력자료(DEM, ASPECT)
를 읽어서 DBF를 구성
select 1          && DEM을 읽는다.
create table &dbf_name (vall c(23), elev n(8,4), area
n(8,4), aspect n(8,4), cont_len n(8,4), l_factor n(8,4))
append from &img_in_1 type sdf
scan
replace elev with val(vall)
replace area with 1.0
endscan
select 2          && 향(ASPECT) 데이터를 읽는다.
create table tmp2 (vall c(23), aspect n(8,4))
append from &img_in_2 type sdf
scan
replace aspect with val(vall)
endscan
select 2          && 각 셀에 대한 DEM과 ASPECT를
정렬한다.
use tmp2 alias tm2
go top
select 1
go top
do while !eof()
replace aspect with tm2->aspect
select 2
skip
select 1
skip
enddo
select 2
use
select 1
use
ENDPROC

```

```

PROCEDURE STEP3
* Multiple Flow Algorithm을 적용하여 유역면적을 계산함.
* (참고) - 셀 번호
* 1 5 2
* 6 9 7
* 3 8 4
*
select 2
use &dbf_name
? ' Multiple Flow Algorithm (1/2)'
for i=1 to (rows-2)
for j=1 to (cols-2)
tmp = make_33win(i, j, cols)
do cal_area
tmp = write_area(1, i, j, cols)
endifor

```

```

endifor
? ' Multiple Flow Algorithm (2/2)'
for i=(rows-2) to 1 step -1
for j=(cols-2) to 1 step -1
n = make_33win(i, j, cols)
do cal_area
n = write_area(2, i, j, cols)
endifor
endifor
use
ENDPROC

PROCEDURE STEP31
* 유역면적과 경사향에 근거하여 각 셀의 L-FACTOR를 계산
함.
select 2
use &dbf_name
go top
dd = csize*csize
scan
Xij = abs(sin(DTOR(aspect))) +
abs(cos(DTOR(aspect)))
replace cont_len with Xij
tmp1 = ((dd*area)**1.5) - ((dd*(area-1))**1.5)
tmp2 = (csize**2.5)*(Xij**0.5)*(22.13**0.5)
replace l_factor with (tmp1/tmp2)
endscan
use
ENDPROC

```

```

PROCEDURE STEP4
* L-FACTOR를 계산한 결과를 새로운 ASCII 파일로 출력함.
select 2
use &dbf_name
COPY TO &img_out FIELDS l_factor TYPE SDF
use
ENDPROC

```

```

PROCEDURE STEP5
* 파일닫기, 작업종료
select 1
use
select 2
use
ENDPROC

```

```

PROCEDURE MAKE_33WIN && Multiple flow
algorithm 계산을 위한 부 프로그램
parameter r, c, cls
el(9) = get_elev(r, c, cls)
el(1) = get_elev(r-1, c-1, cls)
el(5) = get_elev(r-1, c, cls)
el(2) = get_elev(r-1, c+1, cls)
el(6) = get_elev(r, c-1, cls)
el(7) = get_elev(r, c+1, cls)
el(3) = get_elev(r+1, c-1, cls)
el(8) = get_elev(r+1, c, cls)
el(4) = get_elev(r+1, c+1, cls)

```

ENDPROC

PROCEDURE WRITE_AREA && Multiple flow
algorithm 계산을 위한 부 프로그램

```
parameter d, r, c, cls
carea = get_area(r, c, cls)
if d = 1 && 계산순서가 left/top -->
right/down 인 경우
tmp = put_area(r, c+1, carea*ai(7), cls)
tmp = put_area(r+1, c-1, carea*ai(3), cls)
tmp = put_area(r+1, c, carea*ai(8), cls)
tmp = put_area(r+1, c+1, carea*ai(4), cls)
else if d = 2 && 계산순서가 right/bottom -->
left/up 인 경우
tmp = put_area(r, c-1, carea*ai(6), cls)
tmp = put_area(r-1, c+1, carea*ai(2), cls)
tmp = put_area(r-1, c, carea*ai(5), cls)
tmp = put_area(r-1, c-1, carea*ai(1), cls)
endif
```

ENDPROC

PROCEDURE CAL_AREA && Multiple flow
algorithm 계산을 위한 부 프로그램

```
tanb = 0.0
for n=1 to 8
ta_li(n) = 0.0
ai(n) = 0.0
endfor
cen = el(9)
for n=1 to 4
elv = cen - el(n)
if elv > 0
tanb = elv / (csize*1.414)
else
tanb = 0.0
endif
ta_li(n) = tanb * 0.354
endfor
for n=5 to 8
elv = cen - el(n)
if elv > 0
tanb = elv / csize
else
tanb = 0.0
endif
ta_li(n) = tanb * 0.5
endfor
sum = 0
for n=1 to 8
sum = sum + ta_li(n)
endfor
if sum > 0
for n=1 to 8
ai(n) = ta_li(n) / sum
endif
endif
ENDPROC
```

* 사용자 정의 함수들

```
FUNCTION get_elev(row, col, columns)
go row*columns + col + 1
return elev
ENDFUNC
```

```
FUNCTION get_area(row, col, columns)
go row*columns + col + 1
return area
ENDFUNC
```

```
FUNCTION put_area(row, col, val, columns)
go row*columns + col + 1
replace area with area + val
return area
ENDFUNC
```

2) 경사도인자(S) 계산 프로그램

(1) 입력자료: 경사도레이어(%)

(2) 출력자료: 경사도인자(S) 값 레이어

(3) 계산식:

$$S = \left(\frac{65.41 \cdot s^2}{s^2 + 10,000} + \frac{4.56 \cdot s}{(s^2 + 10,000)^{1/2}} + 0.065 \right) \text{ (공식 11)}$$

(4) 프로그램

```
*****
? ' MAIN PROCEDURE ( S - FACTOR ) '
? ' 경사도를 이용하여 L-FACTOR를 계산하는 프로그램 '
* Date : 1997. 9. 20
*****
CLEAR
SET TALK OFF
* Variables(Gloval) ----- 전역변수 설정
dir_name = ''
dbf_name = 'SLOPE'
doc_in = '' && 입력파일(경사도) 이름지정하
는 변수
img_in = ''
doc_out = '' && 출력파일 이름지정하는 변수
img_out = ''
rows = 0
cols = 0
csize = 0

DO STEP0
DO STEP1
DO STEP2
DO STEP3
DO STEP4
DO STEP5
ENDPROC && END OF MAIN PROC

PROCEDURE STEP0 && 입출력파일 이름지정
img_in = GETFILE('IMG', '입력파일')
if img_in = ''
CANCEL
endif
```

```

doc_in  = left(img_in, len(img_in)-4) + '.DOC'
img_out = PUTFILE('출력파일 저장', 'S1', 'IMG')
        if img_out == ''
            CANCEL
        endif
doc_out = left(img_out, len(img_out)-4) + '.DOC'
ENDPROC

PROCEDURE STEP1  &&  입력화일에서 자료크기, 해
상도를 읽음.
select 1
create table doc_t (name c(12), colon c(2), data c(40))
append from &doc_in type sdf
locate for name = 'columns'
        cols = val(data)
locate for name = 'rows'
        rows = val(data)
locate for name = 'resolution'
        csize = val(data)
        if csize == 0
            n = MESSAGEBOX('Resolution Not
Found')
            CANCEL
        endif
use
ENDPROC

PROCEDURE STEP2  &&  입력자료(경사도)를 읽어서
DBF를 구성
select 2
create table &dbf_name (vall c(23), slop n(8,4), s_fact
n(8,4))
append from &img_in type sdf
scan
    replace slop with val(vall)
endscan
browse
use
ENDPROC

PROCEDURE STEP3  &&  경사도를 이용하여 S-
FACTOR를 계산함.
select 2
use &dbf_name
scan
    tmp1 = (65.41 * slop * slop) / (slop*slop+10000)
    tmp2 = (4.56 * slop)/sqrt(slop*slop+10000)
    sf = tmp1 + tmp2 + 0.065
    replace s_fact with sf
endscan
browse
use
ENDPROC
PROCEDURE STEP4
* L-FACTOR를 계산한 결과를 새로운 ASCII 파일로 출력함.
select 2
use &dbf_name
COPY TO &img_out FIELDS s_fact TYPE SDF
use
ENDPROC

PROCEDURE STEP5  &&  파일닫기, 작업종료
select 1
use
select 2
use
ENDPROC

```