

GIS를 이용한 대규모 단지 개발지의 토양유실량 추정을 위한 USLE의 인자값 결정과 적용 방법에 관한 연구

- 목포시 부주산을 대상으로 -

우창호* · 황국웅**

* 목포대학교 조경학과 · ** 광주대학교 도시공학과

A Study on the value decision and the application method of USLE factors
for the Soil Loss Estimation in the Large Scale Site Development Area Using GIS
- In the Case of BuJu Mountain in MokPo City -

Woo, Chang-Ho* · Hwang, Kook-Woong**

* Dept. of Landscape Architecture, MokPo National University

** Dept. of Urban Engineering, KwangJu University

ABSTRACT

The purpose of this study is to estimate the soil loss amount with Geographic Information System according to the land use change of Buju mountain area in Mokpo city. To estimate the soil loss, Universal Soil Loss Equation(USLE) which is the most proper technique to predict soil loss in this site condition is adopted and IDRISI, a raster GIS software, is used. GIS application with USLE is very efficient to estimate soil loss accurately and fastly.

In order to decide value and to find application method of USLE factors, we used existing rainfall erosion index, soil erodibility analysis, slope length, slope steepness, vegetation management and practices, which are rated by GIS through the analysis of various studies related USLE.

The result of this study was compared with the previous other researches to verify our method of constructing numerical data of USLE's factors. The result of verification of our way showed significance for the soil loss in forest area. But the result of verification for the soil loss of cultivated area showed some errors. It seems that this result was due to local variation of topographical map.

I. 서론

최근 우리나라는 급속한 경제성장의 결과 생활수준의 향상으로 레크레이션의 수요가 증대되어 대단위 위락시설과 골프장들이 많이 건설되었다. 그러나 대부분의 대규모 단지개발현장을 보면 심각한 토양침식과 토사 유출문제에 직면하고 있다.

토양침식이 우리의 생활환경에 매우 나쁜 영향을 미친다는것은 널리 알려진 사실이다. 공사 현장에서의 토양침식은 일반 자연지의 최고 40,000배나 많다(Goldman, 1986). 개발현장은 정지작업과 여러 다른 형태의 토목공사에 의하여 지표면이 침식에 노출된다. 그 결과로 침식에 의한 지력약화와 토사유출에 따른 퇴적에 의해 하천의 수위상승으로 홍수를 초래하고 하류의 수자원, 수생 동식물, 도시 배수시설에 막대한 피해를 준다. 최근 환경에 대한 문제가 많이 대두되는 시점에 토양유실과 퇴적은 매우 중요한 사안이다. 따라서 대규모 공사 현장에서는 개발에 따른 많은 환경의 변화로 공사 기간중과 공사후 어느정도의 환경의 변이가 있는지를 알기위한 환경영향 평가를 하기로 되어 있다. 환경영향평가지 개발에 따라 어느정도의 토양유실이 발생하는지 그 양을 아는 것은 매우 중요하다.

토양 침식에 따른 토양유실량을 계산하기 위하여 토양유실에 대한 기본적인 요인들을 고려하여 여러 형태의 공식이 발표되었다. Zingg는 경사장과 경사도의 토양유실과의 관계식을 경험적으로 유도하였고, Musgrave는 Zingg의 공식에 강우효과와 작물피복효과를 첨가하여 개량된 공식을 발표하였다. 그후 Musgrave공식은 지역의 조건에 맞추어 각종형태로 변형 사용되어 왔으며, Wischmeier 등은 Musgrave공식과 Browning 등의 개념을 합하여(권순국, 1981 재인용) USLE(Universal Soil Loss Equation)을 만들었다.

USLE는 농지와 농지이외의 토지이용에 따른 토양유실량과 토양보전방법을 결정하기 위하여 개략적으로 토양유실량을 추정하는데 널

리 사용되고 있는데 그 관계식은 약 10,000 plot 年의 데이터를 통계처리하여 얻은 경험적인 공식으로서 Wischmeier가 제안한 이래 많은 연구를 통하여 광범위한 지역에서 적용할 수 있음이 입증되어(Wischmeier & Smith, 1978) 미국 등 세계각국에서 널리 이용되고 있다. 그러나 USLE는 연평균 토양유실량을 추정하는 장기 모델이므로 하천과 호소에서의 유수량 추정에 필수적인 단기간 토양유실추정에는 적용하지 못한다는 결점도 있다. 단기간 토양유실량을 추정하기 위하여 AGNPS나 ANSWERS 등의 모형등이 개발되어 있다.

현재 한국에서 USLE를 활용하기 위하여 각 인자 규명실험이 이루어졌다. 그러나 토양 침식에 의한 토양의 유실이 정확하게 실측되었는가에 대해서는 아직까지 명확한 자료가 많지 않다. USLE와 관련하여 토양유실량의 예측에 관한 국내연구는 한국의 조건에 맞는 인자 값 산정 범위를 찾아내는 연구가 대부분으로서 실제 대상지를 선정하여 연구 실험치와 비교한 연구는 극히 드물다.

USLE를 이용한 토양 유실량 추정이 그동안 수작업에 의하여 이루어졌으나 최근들어 GIS를 이용하여 그 양을 추정하는 연구들이 이루어지고 있다. 김상욱(1995)은 경안천 소구역에서 87년에서 92년까지의 녹지변화에 따른 유역내 토양유실량의 증감을 분석하였고, 이석민(1994)은 부여군 금강유역에서 류주형(1995)은 충주호 주변에서 지역공간자료의 특성에 의하여 광역적 토양유실분석과 비점 오염원을 분석하였다.

GIS를 이용하여 USLE에 의한 토양유실량을 추정할 때, 각 인자에 대한 적절한 값의 결정과 적용과정은 매우 중요한데, 기존의 연구에서는 그 과정이 명확하게 나타나 있지 않다.

본 연구에서는 환경적으로 침식 문제가 심각하게 일어나고 있는 대규모 단지개발지를 대상으로, GIS를 이용하여 토지이용변화에 따른 토양유실량의 변이를 USLE를 사용하여 추정하고자 하며, USLE와 관련된 국내외 연구를 분석

하여 추정에 필요한 적정한 값의 결정과 적용방법을 모색하고, 적용결과에 대한 검증은 기존의 연구결과와 비교하여 검토하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구의 내용

현재 계획성 없는 무리한 토사 채취로 인하여, 환경적으로 침식 문제가 심각하게 일어나고 있는 목포시 부주산을 대상으로 USLE를 기본으로 GIS를 이용하여 토지 이용변화에 따른 토양유실량의 변이를 추정하고자 한다.

본 연구 대상지는 토사채취에 따른 토지이용 변화가 있는지 5년이 경과한 오래된 지역으로서, 10 ha 정도의 5개의 소유역으로 나누어져 있기 때문에 소유역에서 토양유실량을 추정하기 위한 장기 모형인 USLE의 적용은 타당할 것으로 생각된다.

토양유실량을 추정하는 방법은 주어진 대상지역에서의 토양 유실에 커다란 영향을 미치는 강우인자, 토양 침식률, 경사도 및 경사장, 식생 분포와 인위적인 형태들을 정량적으로 조사하여, 이들 인자들을 GIS 프로그램인 IDRISI를 이용하여 환경지형학적 데이터 베이스를 구축한 후, 그들 각각의 인자에 대하여 토양 유실 방정식에서 제시한 방법에 따라 환경지형학적 특성이 고려된 일정값을 설정하여, 이후 각 자료들을 중첩시켜 대상지의 토양 유실의 정도와 그 유실량을 구한다. 이때 합리적인 공간자료와 속성자료의 구축을 위하여, 기존의 USLE와 관련된 기존의 연구를 분석하여 한국과 대상지역 실정에 맞는 적절한 값을 취하고자하며, 자료구축의 타당성에 대한 검증은 국내외 유사 연구와 비교 검토하고자 한다.

2. 연구 대상지

1) 지리적 위치

연구 대상지는 목포시 부주산으로, 목포시의 기존 도심에서 동쪽으로 약 5Km, 시청에서 직선거리로 약 3Km에 위치하며, 대상지 남측은 하당, 옥암, 신도심 개발지와 접해 있으며 영산호와 대불 공단으로 연결되고 북쪽으로는 호남선철도가 입접해 있으며 서쪽으로는 중앙로를 통해 기존 시가지와 연결되어있다.

2) 부지 상황

목포 하당 신도시 해안 매립의 토취장으로 사용한 후 이곳을 공원화하여 목포 시민들의 보건 휴양 및 정서 생활의 향상에 기여할 수 있는 여가 공간을 제공한다는 큰 목적을 갖고 있었지만 계획성 없는 무분별한 절토작업과 식생 파괴로 많은 급경사지역의 노출로 인하여 강우시 심각한 토사유출 문제를 일으키고 있다.

(1) 개발전 부지 상황

전체 면적은 831,000m² 이고 개발전 토지 이용은 임야가 주를 이루었으며(87%), 그외 田 12%, 畝 1% 순이었다. 부지 서쪽 구릉지에는 옥암동 공동묘지가 분포되어 있고 북사면과 동사면 구릉 아래 田畝이 주로 분포되어 있었으며 국유지는 공동묘지 부근의 임야로 17%를 차지하고 있었고 대상지와 근접하여 300호 이상의 가옥이 현존하고 있었다.

(2) 현재의 부지상황

본 대상지의 3차 절토후 현재의 부지 현황을 보면, 생태·환경을 무시한 계획성없고, 무절제한 절토에 의한 토사채취로 인하여 변형이 있는 전체 면적의 55% 이상이 급경사지와 발파암으로 노출되었으며, 부지내 공동묘지 근처 일부 지역을 제외한 변형이 있는 부지의 90% 이상의 기존식생이 거의 파괴되었다. 이에따라 6월에서 8월사이의 우기시 집중 호우의 영향으로 30% 이상의 급경사지가 지반침하되어 토양슬라이딩과 심한 침식이 일어나고 있으며, 부지밖으로 토사 유출을 막기 위하여 현재 6곳에 토사유출 방지용 침사지를 만들었으나 부적절한 크기와 유지관리로 인하여 호우시 토사 유출로 인근

전답과 마을에 직접적인 피해를 주고 있다. 그리고 기존 삼림의 파괴에 따라 인근 마을의 지하수가 고갈되었고, 밭파작업에 따른 소음과 진동 등 부수적인 생활환경 문제를 일으키고 있다. 현재 목포시의 계획안을 보면 현재 부지에서 100만m³의 흙을 더 채취한 후 목포시민을 위한 공원을 만든다는 계획이 마련되어 있다.

3. 사용기기

본 연구에서 사용된 소프트웨어는 AutoCAD R 12, IDRISI 4.1, Borland C++ 4.5 등을 사용하였으며, 하드웨어로는 8메가바이트의 메인 메모리를 가진 IBM호환기종 80486-DX2(66Mhz)개인용컴퓨터를 사용하였으며, 입력장치로 A1 사이즈 디지털타이저와 출력장치로는 14인치 칼라모니터, 잉크젯칼라프린터 등을 사용하였다.

4. 연구 수행 절차

본 연구의 전체적인 흐름은 다음과 같다.

- 1) 대상지 선정
- 2) 토양유실 모형 선정
- 3) USLE 모형분석
- 4) 자료 수집(기상, 토양, 지형, 식생, 기타)
- 5) USLE 인자값 결정
- 6) GIS 자료입력(수치지형모델 작성, 레이아웃 작성)
- 7) 토양유실량 추정(분석프로그래밍)
- 8) 결과 및 고찰

Ⅲ. USLE 모형 분석

1. USLE

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \text{ ————— (식 1)}$$

위식에서 A : 연평균 토양유실량(t/ha/yr)

R : 강우침식능인자

K : 토양침식성인자

LS : 지형인자

C : 식생피복인자

P : 침식조절방법인자

위 공식은 균일한 경사면에서 面狀침식(Sheet erosion) 및 細流침식(Rill erosion)에 의한 장기간의 연평균 토양유실량을 예측하기 위한 것으로서, 실제 적용에 있어서는 계곡침식(Gully erosion)이나 대유역 전체에서 토양유실량의 예측에 이용하거나 특정강우 혹은 특정년도의 토양유실량예측에 이용하는 것은 다소 무리가 있다고 한다 (Wischmeier, 1976). 이런 USLE의 결점을 보완하기 위한 작업이 Foster 등에 의하여 많이 이루어져 있다.

현재 한국에서 토양유실예측공식을 활용하기 위하여 각 인자 규명실험이 이루어지고 있다.

2. USLE 적용에 필요한 각각의 요소

1) 강우 침식능인자 (R)

강우침식능인자(Rainfall erosivity factor)는 강우사상별 빗방울에 의한 타격에너지, 강우의 운동에너지(Kinetic energy)와 최대강우강도(Maximum 30-minute rainfall intensity)에 의해 좌우되며 토양유실예측공식에서 각 인자 중 가장 큰값을 가지는 인자로 다음 식으로 정의된다.

$$R = \frac{\sum EI_{30}}{100}$$

여기서 R = 강우침식능인자

E = 강우에너지(kg. m/m². mm)

I₃₀ = 30分 최대 강우강도(mm/hr)이다

미국에서 Wischmeier공식을 이용하여 토양유실량을 예측하는데 R값으로 EI₃₀의 적용 범위를 보면 강우 형태가 일정하지 않은 Rocky산맥 동부 산악 지방을 제외하고는 광범위하게 적용되며 특히 온대강우형에 잘 맞는다는 사실이 밝혀졌다. (Wischmeier & Smith, 1978)

정필균 등은(1983) 전국 측우소의 강우 성

적을 분석하여 토양유실량을 예측하기 위한 강우침식능인자(R)값을 산정했는데, 조사지역의 우리나라 연평균 EI₃₀의 R값은 438이었으며 일반적으로 우리나라 동부지역은 R값이 200-300으로 낮았고 서부 및 남부 지역과 제주도에서는 300-700으로 높았다고 하였다. 그는 반드시 강우량이 많은 지역이 R값이 높지는 않지만 강우침식능인자(R)와 강우량과 관계는 지수함수의 유의성이 있는 상관이 있었으며 이 관계식을 이용해 R값을 추정할 수 있다고 하였다. 그리고 그는 수원에서 6년차에 걸쳐 실험포장에서 조사한 결과 강우인자는 EI₃₀을 사용하는 것이 타당하다고 하였다.

한편, 신 등(1980)은 7월과 8월의 강우량으로 R값을 추정하였는데 동해안 지역을 제외하고 정필균 등의 계산치와 10% 미만의 차이가 있었다.

2) 토양침식성인자 (K)

토양침식성인자 (Soil erodibility)는 어떤 토양의 고유한 침식성을 정량적으로 나타낸 것으로서 토양침식에 영향을 끼치는 모든인자가 동일한 경우 토양특성에 의한 유실량의 차이를 말한다.

토양침식성인자는 토양의 물리, 화학적 성질에 따라 좌우되는데, K값의 측정은 22.1m 길이와 9%의 경사도를 가진 기본 모델(unit plot)이 기준이 되어 측정이 된다(Wischmeier & Smith, 1978). 그 주요인자는 입경분포, 토양구조, 투수성, 유기물함량등이다.

Wischmeier 등(1971)은 토양침식성에 영향을 미치는 인자(토성, 유기물함량, 토양구조, 투수성)로부터 K값을 정할수 있는 Nomograph(그림 1)를 제시하였는데 우리나라 토양에 대한 적용성 검토 결과 타당한것으로 보고된바 있다. (정 등, 1976)

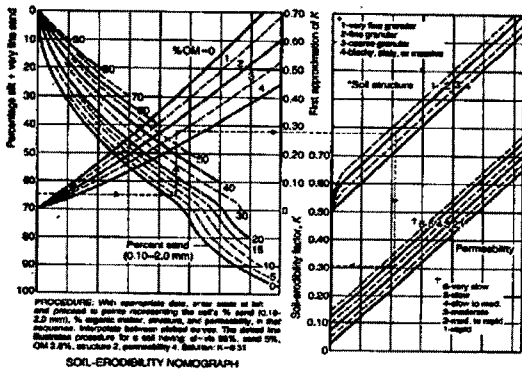
3) 지형인자 (LS)

지형인자는 사면장과 경사도인데, 사면장과 경사도로에 따른 단위 면적당 예상되는 토양유실의 비를 말한다(Wischmeier & Smith, 1978). 사면장은 지표越流水가 발생되기 시작하는 지점으로부터 경사가 줄어서 퇴적이 일어나는 지점까지의 거리이거나 유출이 뚜렷하게 나타나는 형태인 수로나 支流로 합류되는 지점까지의 거리로 규정하며, 경사도는 일정 구역의 지면 경사로서 보통 수평거리에 대한 고저차의 백분율로 표시된다.

LS값의 표현은 22.1m의 길이와 9% 경사도를 갖는 표준 경사(standard reference slope)를 기준으로 하는데 이때 표준 경사의 LS요소값은 1.00으로 한다. 그리고 표준 참고 경사와 비교하여 상대적인 경사와 길이의 변화에 의해서 LS값을 구한다.

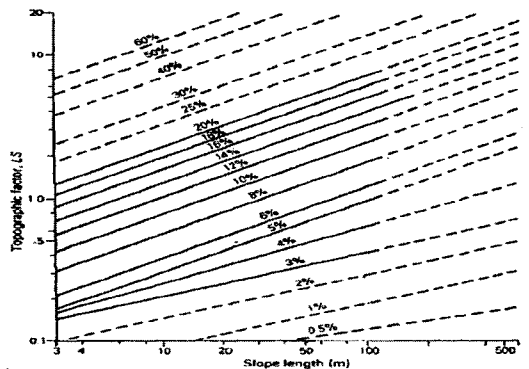
(그림 2)는 경사도와 사면장을 통하여 경사인자값을 산정하기 위하여 Wischmeier(1978)가 제시한 계산도표이다.

Wischmeier가 제시한 계산도표의 추정식은 다음과 같다.



(그림 1) 토양침식성인자 산정 Nomograph (K)

자료: Wischmeier(1971): Journal of Soil & Water Conservation



(그림 2) 지형인자 산정 Nomograph (LS)

자료: Wischmeier & Smith, 1978.

$$LS = \left(\frac{65.41 * S^2}{S^2 + 10,000} + \frac{4.56 * S}{(S^2 + 10,000)^{1/2}} + 0.065 \right) * \left(\frac{L}{72.6} \right)^m \text{---(식 2)}$$

S : 경사도(%)

L : 경사장 (ft = m * 3.2808)

m : 경사도(%)에 따른 지수

0.2 for S < 1

0.3 for 1 < S < 3

0.4 for 3 < S < 5

0.5 for S > 5

4) 식생피복인자 (C)

식생피복인자는 강우, 토양, 지형조건이 동일한 경우에 특정한 식생피복상태에 따른 토양유실량의 비로서 정의되는데, 경사지의 피복상태, 식생의 종류, 식생상태, 생육 정도 등의 복합적인 조건에 대한 토양유실량의 영향을 나타낸 것이다.

미국 토양보전청이 제시한 삼림지에서 식생피복인자의 값은 <표 1>과 같다.

5) 침식조절방법인자 (P)

침식조절방법인자(Erosion control practice factor)는 특정한 침식조절방법에 의한 토양유실량과의 비로서 정의되는데, 즉 지표상에서의 여러 가지 경작지에 따른 토양유실의 비를 말한다. 경작지 형태 요소는 등고선경작,

등고선 대상경작, 테라스 등고선 경작등이 있으며, 침식을 통제할 수 있는 중요한 요소로 해석되고 있다.

토양보존인자는 상하경(Up & Down Slope Culture)에서의 토양유실량을 1로 하였을 때 토양보전 농법을 적용하여 감소되는 토양유실량의 비로써 경작지 형태에 따른 P값은 경사도에 따라 분류된다. 각종 보전 농법에 대한 P값의 예는 <표 2>와 같다. 또한 경작지가 논인지 밭인지에 따라서 토양유실량 또한 차이를 보이고 있다.

IV. IDRISI를 이용한 토양유실량 계산방법

USLE공식에 의한 연평균 토양유실량(A)을 계산하기 위하여는 R, K, LS, C, P등 다섯 가지 요인에 대한 값을 공간적인 위치를 기준으로 계산하여야 하므로 IDRISI를 사용하여 USLE의 각각의 요소에 대한 레이어를 생성하고, 이를 모두 차례로 OVERLAY(곱하기)하여 A값을 가진 레이어를 생성하였다.

이를 위하여 연구대상지전체를 일정한 크기

<표 2> 침식조절 방법인자 (P)

경사도(%)	등고선경작	등고선대상경작	테라스 등고선경작
0 - 7	0.55	0.27	0.10
7 - 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 이상	1.00	0.50	0.20

자료: 농촌지도소 농업기술 연구소

<표 1> 삼림식생피복인자값

TREE CANOPY (% OF AREA)	% OF ATEA COVERED BY >2 INCHES OF FOREST LITTER	UNDERGROWTH	C
100 - 75	100 - 90	Grazing and burning controlled Heavily grazed and burned	0.001 0.003 - 0.011
70 - 40	80 - 75	Grazing and burning controlled Heavily grazed and burned	0.002 - 0.004 0.01 - 0.04
35 - 20	70 - 40	Grazing and burning controlled Heavily grazed and burned	0.003 - 0.009 0.02 - 0.09
<20		Treated as grassland or cropland	

자료: U.S. Soil Conservation Service

의 셀로 나누고, 각 셀에 대하여 위치를 기준으로 하여, 위 식에 나타난 각 인자의 값을 적용하여 각 셀에 대한 연평균 토양유실량을 구한 다음, 각 셀의 값을 모두 합계하여 대상지 전체의 토양유실량을 구하였다. IDRISI 프로그램을 사용한 작업의 순서는 다음과 같다.

- (1) 대상지를 포함하는 공간적 작업범위 설정, 해상도(셀크기) 결정
 - (2) AutoCAD를 사용하여 등고선, 대상지 범위 입력
 - (3) 대상지 경계 레이어 생성
 - (4) IDRISI를 사용한 수치표고모형 작성
 - (5) 경사, 향 분석
 - (6) 경사장 계산
 - (7) 지형인자(LS factor) 값 계산
 - (8) 지형인자(LS) 레이어 생성 → L1
 - (9) 강우인자(R) 레이어 생성 → L2
 - (10) 토양인자(K) 레이어 생성 → L3
 - (11) 작물 경작인자(C) 레이어 생성 → L4
 - (12) 토양침식조절인자(P) 레이어 생성 → L5
 - (13) L1, L2, L3, L4, L5를 중첩하여 A 값을 계산한 레이어 생성
 - (14) A 레이어의 각 셀값을 합계하여 대상지 전체에 토양유실량 계산
- 각 요소별 레이어를 생성한 방법은 아래와 같다.

1. 셀의 크기 결정

본 연구에서는 Wischmeier의 시험구의 크기인 가로 세로 22.1m를 기준으로 LS값을 계산하기 위하여 이와 비슷한 20m로 셀의 크기를 결정하였다.

2. 강우침식능인자(R) 레이어 생성

- 1) AutoCAD를 사용하여 대상지 경계선을 디지털이징한 후, DXF로 변환
- 2) IDRISI의 벡터화일로 변환한 후, 다시 래스터 파일로 변환하여 대상지 경계 레이어 작성 (대상지 내부 : 1, 대상지

외부 : 0)

- 3) 대상지 내부에 R값을 적용하여 R레이어 작성

3. 토양침식성인자(K) 레이어 생성

- 1) AutoCAD를 사용하여 논밭지역과 산림지역의 경계선을 디지털이징한 후, DXF로 변환
- 2) IDRISI의 벡터화일로 변환한 후, 다시 래스터 파일로 변환하여 논, 밭, 산림지 구분레이어 작성 (논지역: 1, 밭(1)지역: 2, 밭(2)지역: 3, 산림지역: 4, 대상지외부: 0)
- 3) 각 지역에 K값을 적용하여 K레이어 작성

4. 식생피복인자(C) 레이어 생성

- 1) 논밭/산림지 구분레이어에 C값을 적용하여 C레이어 작성

5. 침식조절방법인자(P) 레이어 생성

- 1) 논밭지역과 산림지역을 별도의 레이어로 구분하여 작성
- 2) 수치지형모델에서 분석한 경사레이어에서 논밭지역만 별도로 구분해냄
- 3) 논밭지역을 경사도별로 구분하여 P요소 값 적용 → 논밭지역 P레이어
- 4) 수치지형모델에서 분석한 경사레이어에서 산림지역만 별도로 구분해냄
- 5) 산림지역을 경사도별로 구분하여 P요소 값 적용 → 산림지역 P레이어
- 6) 논밭지역과 산림지역의 P레이어를 결합(OVERLAY(+))하여 P레이어 작성

6. 지형인자(LS) 레이어 생성

- 1) AutoCAD를 사용하여 등고선을 디지털이징한 후, DXF로 변환
- 2) IDRISI의 벡터화일로 변환한 후, 다시

래스터 파일로 변환

- 3) IDRISI의 INTERCON, FILTER 명령을 사용하여 등고선과 등고선 사이의 셀에 대한 표고값을 계산하여 수치표고모델 작성
- 4) IDRISI의 SURFACE명령을 사용하여, 경사레이어와 향레이어를 생성한다.
- 5) 경사와 경사장을 고려하여 LS값 레이어를 생성하는 프로그램을 직접 작성하였다.

7. LS값을 계산하는 방법

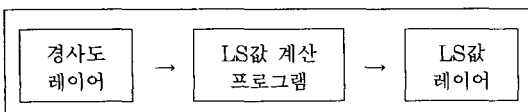
LS인자는 USLE에서 R인자를 제외하고 그 값이 1을 넘는 유일한 인자이다. USLE에서 토양 유실에 미치는 그 영향력은 매우 크기 때문에 USLE개념에 맞는 합리적인 자료 구축은 토양유실 추정에 매우 중요하다. 기존의 연구에 의하면 자료 구축시 LS인자의 적용 과정이 잘 나타나 있지 않다.

LS인자중 경사도 인자는 자동계산되지만 경사장인자를 얼마로 할 것인가가 중요 관건이다. 아직 다양하고 복잡한 지형조건에서 경사장의 개념인 유출이 뚜렷이 나타나는 지점을 얼마로 할 것인가에 대한 연구가 되어 있지 않고 불확실하다.

본 연구에서 LS값을 계산하는 방법을 2가지로 설정하였다.

경사장을 적용하는 방법에 따라 (1) 각 셀을 하나의 독립된 시험포로 가정하고, 각 셀이 가진 경사값을 기준으로 경사장과 LS 값을 계산하는 방법(이하 M_1 방법이라고 칭함)과, (2) 각 셀의 향과 경사에 대하여 어느정도 범위를 가진 구간으로 구분한 후, 같은 향과 경사를 가진 셀이 연속할 때에는 누적된 경사장을 적용하여 LS값을 계산하는 방법(이하 M_2 방법이라고 칭함) 2가지를 사용하여 비교하였다.

(1) 각 셀을 하나의 독립된 시험포로 가정하고, 각 셀이 가진 경사값을 기준으로 경사장과 LS 값을 계산하는 방법(M_1)은 다음과 같다.



즉 Wischmeier의 LS를 구하는 공식(식2)에서 경사도(S)는 수치표고모델에서 구한 경사도 레이어의 각셀의 경사도를 그대로 사용하였다.

경사장(L)은 셀의 단위길이(해상도)와 셀의 경사도(% 단위)에 의하여 결정되는 값이며, 셀의 단위 길이는 20m로 일정하므로 경사도 값만 있으면 계산해 낼 수 있다. 경사면의 길이 즉 경사장을 L, 한 셀의 높이차를 H라 하면,

$$L^2 = \text{해상도}^2 + H^2, \text{----- (식 3)}$$

이 식에서 L값을 알기위하여는 해상도는 20m로 일정하고, H값을 알아야 한다. 각 셀의 경사도(S)는 셀의 평면거리에 대한 높이차의 비에 곱하기 100을 한 것이므로 이를 식으로 나타내면 $S = H/\text{해상도} * 100(\%)$ 이다. 해상도는 20m 이므로 $S = H/20 * 100$, 즉 $S = 5H$ 가 되며, $H = S/5$ 가 된다. 따라서, 위의 (식 3)에 이를 적용하면, $L^2 = 20^2 + (S/5)^2$ 이 되고, $L^2 = 400 + S^2/25$, $L = \text{SQRT}(400 + S^2/25)$ 가 된다. 이때, S의 단위는 %, L의 단위는 m이다.

LS 값을 계산하기 위하여는 ft단위를 사용하므로 m단위값에 3.2808을 곱하기 하여야 하므로, 결국 $L = \text{SQRT}(400 + S^2/25) * 3.2808$ (ft) 이다.

m은 경사에 따라 적용되는 값이나, 본 연구 대상지 내에서는 경사 5% 미만인 지역은 0.7% (전체 1616셀 중 11셀)에 불과하므로 경사 5%미만지역을 무시하고 모든 셀에 대하여 $m = 0.5$ 를 적용하였다.

모든 셀에 대하여 경사도 레이어를 입력자료로 하여 앞에서 제시한 (식2)에 L, S, m 값을 적용하여 LS값을 계산하는 프로그램을 작성하였으며, 이 프로그램중 LS값을 계산하는 부분은 아래와 같다.

```

int ls_method_1(
// LS값을 계산하는 함수
{
float slop, length, ls_value, tmp_1,
tmp_2, tmp_3, tmp_4 ;
int i, j ;
for(i=0; i < rows ; i++)
  
```



```

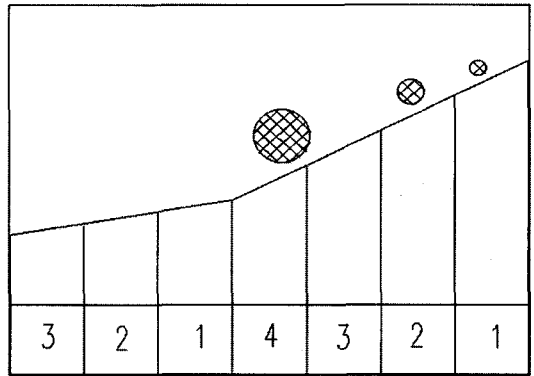
for(j=0; j < columns ; j++)
{ in_file >> slop ;
    // 경사도 값(%)을 읽어옴
    length = sqrt(400 + slop * slop / 25) ;
    // 경사장(m) 계산
    length = length * 3.2808 ;
    // m를 ft로 환산
    tmp_1 = (65.41 * slop * slop) / (slop
    * slop + 10000) ;
    // LS값을 계산하는 과정
    tmp_2 = (4.56 * slop) / (sqrt(slop *
    slop + 10000)) ;
    tmp_3 = tmp_1 + tmp_2 + 0.065 ;
    tmp_4 = sqrt(length / 72.6) ;
    ls_value = tmp_3 * tmp_4 ;
    // LS값을 계산하였음
    out_file << ls_value << "\n" ;
    // LS값을 출력화일에 기록
};
return 0 ;
};
    
```

(2) 각 셀의 향과 경사에 대하여 어느정도 범위를 가진 구간으로 구분한 후, 같은 향과 경사를 가진 셀이 연속할 때에는 누적된 경사장을 적용하여 LS값을 계산하는 방법(M₂)은 다음과 같다.

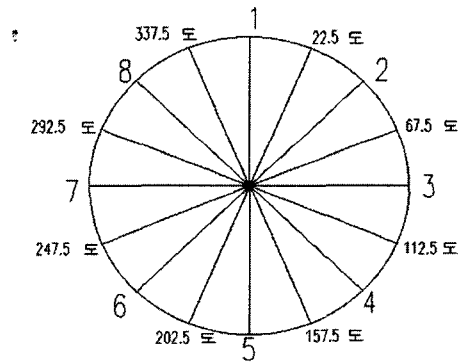
경사장은 유출이 시작된 지점에서 같은 경사와 향을 가진 인접한 지점으로 갈수록 그 값이 커져야 하는 특성이 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 래스터구조의 레이어에서 이러한 원리를 적용하기 위하여 각 셀이 가진 경사와 향을 일정한 간격으로 구분한 후, 같은 향과 경사를 가진 셀이 연속할 때에는 누적된 경사장을 적용하였다. 아래 그림에서와 같이, 인접한 셀이 같은 경사와 향을 가지고 있으면, 流下방향으로 가중치를 부여하고, 이를 누적된 경사장을 계산하는데 활용하였다.

아래 (그림 3)은 인접한 셀이 같은 경사와 향을 가지고 있으면 流下방향으로 가중치를 부여하여 유량 및 유속의 증가에 따른 유실량의 증가를 나타낸 것이다.

이를 위하여 먼저 셀의 향을 8개 방향으로



(그림 3) 누적 경사장의 개념

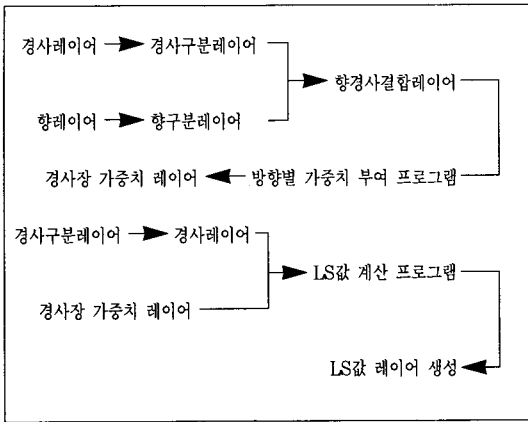


(그림 4) 셀의 방향 구분 개념도

구분하였다.(그림 4)

또, 본 연구대상지는 5%미만의 완만한 경사는 거의 없고, 20 - 60% 경사가 대부분을 차지하고 있기 때문에 10% 간격으로 경사를 구분하여 기호를 부여하였으며, 나중에 다시 경사를 입력자료로 사용할 때에는 중간값을 그 셀의 경사도로 사용하였다.

이렇게하여 구분된 경사레이어와 향레이어를 결합하여 같은 경사와 향을 가진 셀을 같은 속성 값을 가지게 하기 위하여 (향구분기호 * 10 + 경사구분기호)하여 향경사 결합레이어를 만들었으며, 따로 프로그램을 만들어 동일한 속성을 소유한 셀들이 인접할 때에는 가중치를 부여하였다. 가중치를 부여할 때, 대각선 방향의 셀은 직교방향의 셀보다 길이가 1.414배 길다. 따라서, 동, 서, 남, 북 방향에 대하여는 1, 2, 3, 4, ... 등으로 부여하였고, 대각선 방향에 대하여는 1.414배



(그림 5) 누적 경사장의 개념을 적용한 LS레이어 작성 순서도

곱하여 부여하도록 프로그램을 만들었다. 이에 대한 작업 흐름도는 (그림 5)와 같다.

이렇게하여 구한 경사장 가중치 레이어와 경사구분레이어를 입력자료로하여 각 셀의 LS값을 계산하였다. 즉 위(식2)의 LS를 구하는 공식에서 경사도(S)는 경사도구분레이어에서 각 구간의 중간값을 경사도로 적용한 경사레이어를 작성하여 경사도 입력값으로 사용하였다.

경사장(L)은 위 M₁의 방법에서와 같이 $L_i = \text{SQRT}(400 + S^2/25) * 3.2808$ (ft)에다 경사장 가중치를 곱한 값 즉, $L = L_i * \text{경사장가중치}$ 로 구하였다.

m은 위 M₁의 방법에서와 같이 모든 셀에 대하여 $m = 0.5$ 를 적용하였다.

모든 셀에 대하여 경사도 레이어와 경사장 가중치레이어를 입력자료로하여 이러한 계산 과정을 거쳐, LS값 레이어를 생성하는 프로그램을 작성하였다. 이 프로그램중 LS값을 계산하는 부분은 다음과 같다.

```
int ls_method_2 ( )
// LS값을 계산하는 함수
{
float slop, s_tmp_1, s_tmp_2, s_tmp_3 ;
float length, l_tmp_1, l_tmp_2,
l_tmp_3, l_tmp_4 ;
```

```
float ls_value, ls_tmp_1, ls_tmp_2 ;
float weight ;
int i, j ;
for(i=0; i < rows ; i++)
for(j=0; j < columns ; j++)
{ in_file_1 >> slop ;
// 경사도 값을 읽어옴
in_file_2 >> weight ;
// 경사장 가중치 값을 읽어옴
l_tmp_1 = sqrt(400+ slop * slop/25) ;
// 셀별 경사(%)에 따른 사면길이 계산
l_tmp_2 = l_tmp_1 * 3.2808 ;
// 'm' 단위를 'ft'로 환산
length = l_tmp_2 * weight ;
// 가중치를 반영한 경사장 계산
s_tmp_1 = (65.41 * slop * slop)/(slop *
slop + 10000) ;
// LS값을 계산하는 과정
s_tmp_2 = (4.56 * slop)/(sqrt(slop * slop
+10000)) ;
s_tmp_3 = s_tmp_1 + s_tmp_2 + 0.065
;
l_tmp_3 = sqrt(length/72.6) ;
ls_value = s_tmp_3 * l_tmp_3 ;
// LS 값을 계산하였음
out_file << ls_value << "\n" ;
// LS값을 출력확화일에 기록
};
return 0;
};
```

V. 연구 대상지의 USLE 인자값 결정

연구대상지의 토지이용 변화에 따른 토양 유실량을 추정하기 위하여 USLE와 관련된 요소들을 수집하고 분석한 자료는 다음과 같다.

1. 강우침식능인자(R)

정필균(1983) 등이 농촌진흥청 농업기술연

구소에서 전국 주요측우소(51개지역)의 磁氣 降雨紙를 분석하여 R값을 계산했는데, 그 값은 112 - 681 범위로서 전국 평균은 438이다. 목포지방은 인근의 주변지역들보다 降雨의 침식능이 약간 낮아 323으로 기록되고 있다.

2. 토양침식성 인자(K)

토사채취전의 토양 상태를 알기 위하여 농촌진흥청에서 발행한 전국 정밀토양도를 사용하였으며, 삼림지역에서 현재의 토양상태는 삼림 파괴지에서 직접 토양을 채취 분석하였다.

토사채취전 삼림지역에서의 토양의 물리 및 화학적 특성은 <표 3>과 같다.

<표 3> 토사채취전 삼림지의 토양의 물리 화학적 특성

토양 층위	깊이 (cm)	토양 특성	pH	OM (%)	유효 인산 (%)	치환성 양이온 (me/100g)			
토명						Ca	Mg	Na	K
청산	Ap 0-10	양토	4.7	1.86	7	1.20	0.50	0.26	0.26
	B 10-22	양토	4.7	1.55	14	0.68	0.63	0.25	0.54
Cl	22-50	사질식양토	4.8	0.66	6	0.44	0.70	0.23	0.24
		양토							
C2	50-100	사양토	4.7	0.48	9	0.27	0.21	0.19	0.14

이와 비교하여 토사 채취후 삼림지역의 토양을 분석해 본 결과는 <표 4>와 같다. 현재의 토양상태는 토사채취에 따라 표토층이 거의 손실되어 심토층이 노출되어 있는데, 토성은 사양토로서 pH와 토양중의 유기물함량등이 정밀토양도에서의 C2층과 거의 비슷한 결과로 나타났다. 이는 토사채취에 따라 기존의 표토층이 파괴되고 하부의 C2층이 노출된 증거로 볼 수 있다.

한편, 부주산 대상지역내 북사면 발의 토양은 안릉통이고 남사면 발은 장원통이었으며,

<표 4> 토사채취후 삼림지의 토양의 물리 화학적 특성

지역	함량(%)			토성	pH	OM (%)	유효 인산 (%)	치환성 양이온 (me/100g)		
	Silt	Clay	Sand					Ca	Mg	
채취 I	18	13	69	사양토	5.15	0.46	24	0.85	1.35	
채취 II	15	10	75	사양토	4.33	0.23	25	1.34	1.98	

논은 임곡통으로 나타나 있다. 토사채취전 기존의 토양상태는 A층을 기준으로 하였으며, 토사 채취후 현재의 토양상태는 C층을 기준으로 하여 K값을 구하였다.

토사채취후 만들어진 침사조 지역은 현재 물이 고여 있으므로 K요소의 값을 0으로 하였다.

<표 5>는 대상지에서 나타나는 토양통별 토양의 특성을 정밀토양도와 실제 분석을 통하여 구한 후 Wischmeier의 계산도표(그림 1)에 의하여 구한 토사채취 전후의 토양 침식률이다.

<표 5> 대상지내 지형변경 전후의 토양 침식률(K)

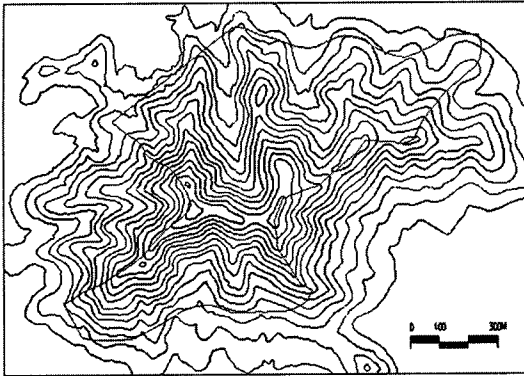
토양명	토사 채취	사토, 극세사	모래	유기물 함량	토양 구조	투수성	K 값
청산(산)	전	53.8	32.3	1.86	4	1	0.36
	후	59.9	24.9	0.33	4	1	0.44
안릉(밭)	전	37.9	39.6	1.29	3	2	0.22
	후	31.5	34.0	0.31	3	2	0.23
장원(밭)	전	68.0	11.6	1.55	2	3	0.41
	후	54.7	19.8	0.32	2	3	0.34
임곡(논)	전	60.7	20.6	2.88	1	4	0.31
	후	56.2	24.3	0.34	1	4	0.36

3. 지형인자(LS)

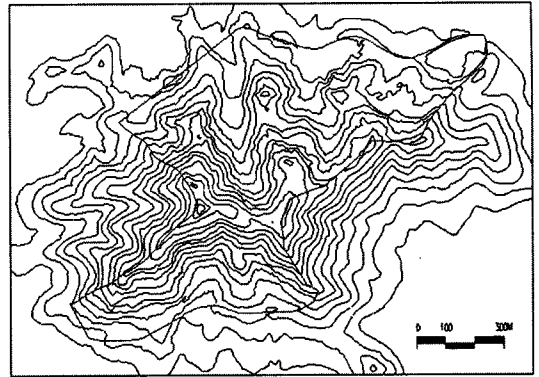
IDRISI에 입력하기 위한 토사채취전 지형상황은 기존의 1:1200 지형도(그림 6-1)를 사용하였으며, 토사채취후의 지형상황은 고도 400m에서 촬영한 항공사진으로 만든 1:1200 지형도(그림 6-2)를 사용하였다. 또, 토사채취전과 토사채취후의 지형도를 중첩하여 대상부지내에서의 변형된 지역의 경계선을 설정하였다.

본 대상지에서 변형이 생긴 경계선내의 삼림지역과 논밭지역의 위치는 그림 6-3과 같고 침사조의 위치는 그림 6-4와 같다.

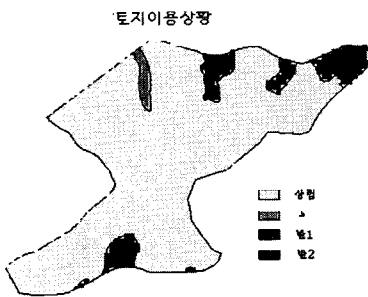
이러한 지형요소를 입력자료로하여 LS요소 값을 본 연구에서 제안한 두가지 방법(M_1, M_2)으로 계산하였으며, 토사채취전 M_1, M_2 방법에 의한 LS 값의 분포와 구성비는 <표 7>과 같다.



(그림 6-1) 토사채취전의 기존 지형



(그림 6-2) 토사채취후의 변경된 지형



(그림 6-3) 토사채취전의 토지이용상황



(그림 6-4) 토사채취후의 침사조 위치

<표 7> 토사채취전 M_1, M_2에 의한 경사도별 LS값의 구간별 최대치

경사도 (%)	삼림지역		논밭지역	
	M_1	M_2	M_1	M_2
0 - 10 미만	1.0821	0.6132	1.0374	0.6132
10 - 20 미만	3.3348	3.6110	3.3348	4.2939
20 - 30 미만	6.5756	15.2397	6.3946	12.8799
30 - 40 미만	10.6318	22.6618	10.3348	17.5538
40 - 50 미만	15.2657	34.2830	13.6342	21.6825
50 - 60 미만	20.1425	42.1574	—	—
60 - 70 미만	25.2785	51.0232	—	—
70 - 80 미만	25.4432	28.0059	—	—

4. 식생피복인자(C)

토사채취전의 식생 상태는 환경처에서 발행한 녹지자연도 지역 정밀조사도를 사용하였고, 토사채취후의 식생상태는 현지 답사에 의하였다.

식생피복인자 C 값은 지표면의 상태가 식생이 전혀없이 나지로 드러난 상태를 1로 하며, 삼림지에서는 피도의 정도에 따라 0.001에서 0.09까지 설정된다.

본 대상지에서는 토사채취전 삼림지의 C 값은 파손되지 않은 인근 삼림의 피복상태 70%를 기준으로하여 0.002로 하였으며, 논밭지역은 0.30으로 하였다. 토사채취후인 현재의 삼림지와 논밭지역의 C의 값은 일부 공동묘지 지역을 제외한 90% 이상의 자연식생이 거의 파괴되어 나지로 드러났으므로 1로 하였고, 침사지 지역은 현재 물이 고여있으므로 0으로 하였다.

5. 침식조절방법인자(P)

침식조절방법인자는 지형경사와 밀접한 관계가 있으므로 이 값들은 앞의 LS 요소와

〈표 8〉 C인자값

토사채취전		토사채취후	
구분	C값	구분	C값
논밭	0.30	나지	1
삼림	0.002	침사지	0

더불어 분석하였다. 토사채취전의 논밭지역은 북사면과 남사면 구릉 아래 전답이 약간 분포되어 있는데, 경작 형태상 논밭은 테라스 등고선경작으로 보고, 삼림지역은 등고선 경작으로보고 〈표 2〉에서 제시된 값을 경사에 따라 분류하여 그 값을 설정하였다. 토사 채취후는 삼림, 논밭지역이 모두 나지로 드러난 공사현장으로 변하여 P의 값으로 볼때 논밭지역에서 상당한 변이가 있을것으로 예상되는데 삼림, 논밭 지역 모두 자연지형 그자체의 등고선경작 형태로 보고 〈표 2〉에서 제시된 값을 경사에 따라 분류하여 그값으로 설정하였다.

토사채취전 후의 P요소의 값은 〈표 9〉와 같다.

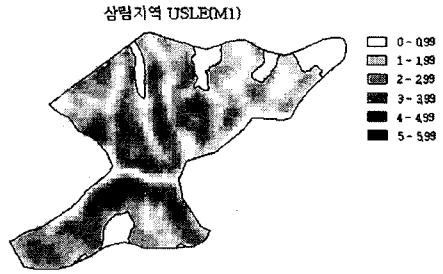
〈표 9〉 지형변경전, 후의 P인자의 값

경사구분	변경전		변경후
	삼림	논밭	
0 - 7% 미만	0.55	0.10	0.55
7 - 11.3% 미만	0.60	0.12	0.60
11.3 - 17.6% 미만	0.80	0.16	0.80
17.6 - 26.8% 미만	0.90	0.18	0.90
26.8% 이상	1.00	0.20	1.00

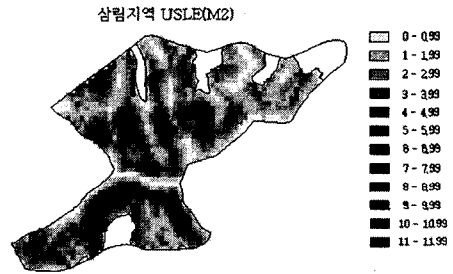
VI. 결과 및 고찰

목포시 부주산을 연구대상으로 GIS를 이용하여 USLE공식을 적용하여 토사 채취에 의한 변형이 생긴 지역 내에서 토지이용변화에 따른 토양유실량을 분석한 결과는 다음과 같다. 본 연구는 지형요소에 대한 LS값을 적용하는 방법에 따라 크게 두가지 방법으로 계산하였다.

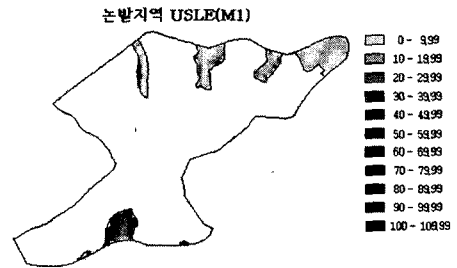
(그림 7-1)과 (그림 7-2)는 각각 토사 채취



(그림 7-1) M1방법에 의한 삼림지역의 셀별 USLE값 분포도



(그림 7-2) M2방법에 의한 삼림지역의 셀별 USLE값 분포도



(그림 7-3) M1방법에 의한 논밭의 셀별 USLE값 분포도



(그림 7-4) M2방법에 의한 논밭의 셀별 USLE값 분포

전 삼림지역에서 M_1, M_2 방법에 의한 토양유실 분석도이고, (그림 7-3)과 (그림 7-4)는 각각 논밭지역에서 M_1, M_2 방법에 의한 토양유실 분석도이다.

〈표 10〉은 기존지형에서 경사도별 토양 유실량의 최대값을 비교한 것이다. 삼림지역에서 M_1 방법에 의한 경사도별 최대값의 범위는 0.1510t/ha/yr에서 5.9171t/ha/yr로 추정되었고, M_2에 의한 경사도별 최대값의 범위는 0.0784t/ha/yr에서 11.8659t/ha/yr로 추정되었다.

한편, 논밭지역에서 M_1 방법에 의한 경사도별 최대값의 범위는 2.6537t/ha/yr에서 108.3340t/ha/yr로 추정되었고, M_2에 의한 경사도별 최대값의 범위는 1.8587t/ha/yr에서 172.2848t/ha/yr로 추정되었다.

〈표 10〉 기존지형에서 M_1, M_2 방법에 의한 경사도별 토양유실량의 최대값 비교(t/ha/yr)

경사도 (%)	삼림지역		논밭지역	
	M_1	M_2	M_1	M_2
0 - 10 미만	0.1510	0.0784	2.6537	1.8587
10 - 20 "	0.6980	0.7338	23.6328	18.7415
20 - 30 "	1.5292	3.5441	49.1193	69.2807
30 - 40 "	2.4725	5.2702	82.1180	113.8840
40 - 50 "	3.5502	7.9729	108.334	172.2848
50 - 60 "	4.6843	9.8041	--	--
60 - 70 "	5.8788	11.8659	--	--
70 - 80 "	5.9171	6.5130	--	--

〈표 11〉은 토사채취에 따라 지형 변경이 생긴 경계내에서 M_1, M_2 방법에 의한 토사 채취 전, 후의 총 토양유실량 합계를 나타낸 것이다. 이 지역내의 총 삼림 면적은 57.44ha로서 M_1 방법에 의한 토사채취전 기존 자연상태에서의 총 토양유실량은 136.9854t/yr이었으며, ha당 연평균 유실량은 2.38t이었다. 토사 채취후 지형변경이 있는 상태에서의 총 토양유실량은 79023.0391t/yr로서 기존상태때 보다 약 577배 많았다. 한편, M_2 방법에 의한 토사채취전 기존 자연상태에서의 총 토양유실량은 176.7018t/yr이었으며, ha당

연평균 유실량은 3.08t이었다. 토사 채취후 지형변경이 있는 상태에서의 총 토양유실량은 97671.9766t/yr로서 기존상태때 보다 약 553배 많았다.

한편, 이 지역내의 총 논밭 면적은 7.20ha로서, M_1 방법에 의한 토사채취전 기존 자연상태에서의 총 토양유실량은 161.8365t/yr이었으며, ha당 연평균 유실량은 22.48t이었다. 토사 채취후 지형 변경이 있는 상태에서의 총 토양유실량은 1466.3951t/yr로서 기존상태때 보다 약 9배 많았다. 한편, M_2 방법에 의한 토사채취전 기존 자연상태에서의 총 토양유실량은 205.4151t/yr이었으며, ha당 연평균 유실량은 28.53t이었다. 토사 채취후 지형 변경이 있는 상태에서의 총 토양유실량은 1994.0468t/yr로서 기존상태때 보다 약 10배 많아 M_1 방법과 거의 같은 비율이었다.

	삼림지역(57.44ha)		논밭지역(7.20ha)	
	기존지형	변경지형	기존지형	변경지형
M_1	136.9854	79023.0391	161.8365	1466.3951
M_2	176.7018	97671.9766	205.4152	1994.0468

〈표 11〉 M_1, M_2에 의한 토양유실량 합계(t/yr)

본 연구에서의 수집된 자료의 구축과 방법성의 정확성을 검증하기 위하여 국내외 다른 연구와 비교해 보면 다음과 같다.

우선 비교의 타당성을 위하여 외국의 경우 본 연구 대상지와 비슷한 강우인자 값(300-350)을 가지는 미국 North Carolina주와 Texas주 지역을 선정하였고, 국내의 경우 수작업으로 의암호 유역의 토양유실량을 예측한 구분경의 연구(1988)와 GIS로 경안천 유역을 예측한 김상욱의 연구(1995)를 선정하였다. 이석민(1994)과 류주형의 연구(1995)는 토양유실량을 예측하지 않고 연구대상 지역 내에서의 상대적인 토양유실 위험도만 나타나 있어 본 연구와는 서로 비교할 수 없었다.

삼림지역에서 각 연구자별 토양유실량은 〈표 12〉와 같다.

〈표 12〉의 비교 분석 결과를 보면, 미국의

〈표 12〉 국내의 삼림지역에서 연구자별 토양유실량 비교 분석

연구자	R	K	LS	C	P	총유실량(t/ha/yr)
구본경	355	0.27	11.0	0.004	1.0	4.22
김상욱	370	0.27	0.32-24.7	0.001	1.0	0.1 - 2.0
North Carolina	-	-	-	-	-	0.036
Texas	-	-	-	-	-	0.160
본연구(M_1)	323	0.36	0.1339-25.4432	0.002	1.0	0.0171-5.9171
(M_2)	323	0.36	0.4336-51.0232	0.002	1.0	0.0515-11.8659

경우 각 인자별 취한값이 나타나있지 않고, 국내 연구의 경우 본 연구와 비교하여 C인자는 구본경의 경우 2배 많은 값으로 계산하였고, 김상욱의 경우는 1/2 적은값으로 계산하였다. 그리고 LS인자 이외에는 거의 유사한 값으로 유실량을 계산하였다.

비교 대상지로 선택한 미국 North Carolina 주와 Texas주의 삼림지는 한국의 삼림 지역과는 달리 지형적으로 거의 완만한 지역이므로 토양유실에서 경사도인자의 영향이 적을 것으로 감안하여 본다면 본연구(M_1 방법) 10% 이하의 완만한 지역의 토양유실량 추정치와 거의 일치 하므로 본 연구의 자료 구축 방법이 유의성이 있다고 생각한다. 반면에, 우리나라 삼림지역은 대체로 경사가 급하기 때문에 LS인자의 영향을 많이 받을것으로 예상되는데 따라서 토양유실량 추정시 LS인자를 신중히 고려하여야 할것이다. 그러므로 경사도별 경사장을 어느정도 정할것인가는 매우 중요한 것으로 생각 된다. 따라서 앞으로 우리나라 지형과 환경 조건에 맞는 경사도에 따른 경사장의 길이 선정에 대한 연구가 많이 이루어져야만 할것이다.

대상지를 전체적으로 보아, 본 연구 대상지와 같이 급경사가 많은 지역의 경우 경사장을 짧게 잡는 것이 타당하다고 생각된다. 왜냐하면, 급경사지일수록 지표수간의 응집력이 떨어지고 그럼으로써 지표면 유출량은 증가하는데 이는 보다 많은 토양의 분리와 이동을 유발시키기 때문이다. 따라서 본연구의 M_1 방법인 각 셀을 하나의 독립된 시험포로 가정하고, 각 셀이 가진 경사값을 기준으로하여 경사장과 LS 값을 계산하는 방법은 급경사지역에서 유리할 것으로

생각되며, 반대로 완만한 지역이 많은 지역은 M_2 방법인 각 셀의 향과 경사에 대하여 어느 정도 범위를 가진 구간으로 구분한 후, 같은 향과 경사를 가진 셀이 연속할 때에는 누적된 경사장을 적용하여 LS값을 계산하는 방법이 더 유리할 것으로 생각된다.

한편, 구본경의 연구에서와 같이 LS인자의 값을 경사가 다양한 삼림지 전체를 하나로 동일하게 보고 유실량을 추정하는 것은 다소 무리가 있다고 생각된다. 그리고 김상욱의 연구에서는 LS인자의 값을 경사향 분석을 통하여 경사도에 따른 경사장을 임의로 선정하여 Wischmeier가 제시한 계산도표에서 경사인자 값을 산출하여 구하였는데 그 방법은 어느 정도 타당성이 있다고 생각된다. 김상욱연구와 본 연구의 토양유실량의 결과치와 비교하였을 때 C인자 값을 삼림지역을 1/2 적은 값을 취한 것을 고려한다면 M_1 방법의 유실량과 매우 유사한 경향을 보였다.

〈표 13〉 논밭지역에서 연구자별 토양유실량 비교 분석

연구자	R	K	LS	C	P	총유실량(t/ha/yr)
구본경	355	0.30	0.1	0.30-0.34	0.63	2.28-10.06
김상욱	370	0.27	0.32-24.7	0.30-0.34	1.0	0.5-10.0
India(논)	-	-	-	-	-	4.2
(밭)	-	-	-	-	-	2.78
Java(논)	-	-	-	-	-	5.01
본연구(M_1)	323	0.22-0.44	0.13-13.63	0.30-0.34	1.0	0.2856-108.3344
(M_2)	323	0.22-0.44	0.43-21.68	0.30-0.34	1.0	0.9244-172.2848

논밭지역에서 연구자별 비교 분석결과 〈표 13〉를 보면, 외국의 연구는 각인자별 선정값은 나타나 있지 않았다. 국내 다른 연구와 본 연구를 비교하여 보면 LS인자 이외의 인자는 거의 유사한 값으로 토양 유실량을 추정하였는데 총 토양유실량에서 서로가 다르게 나타난 것은 결국 LS인자값의 차이 때문인 것으로 생각된다.

본 연구에서 논밭지역의 최소값과 최대값의 변이가 큰 것은 일부 논밭지역이 지형도상 급경사지역에 위치하였기 때문인 것으로 생각된다. 실제 지역에서 논밭은 테라스형태로서 테

라스상단은 완만한 경사로 이루어져 있고 테라스 옆면은 급한경사로 이루어져 있는데, 지형도상에서는 그 형상이 제대로 표기되지 못하고 위치하는 지역의 평균 경사로 나타나있다. 따라서 지형도상 급한 지역에 위치한 논밭부분에서 높은 LS값이 나왔다. 때문에 이런 문제는 자료 구축시 특수한 지형적인 여건이 고려되어야 할 것으로 생각된다.

본 연구에서 LS인자의 두가지 적용방법을 비교하여 볼 때, 본 대상지는 전반적으로 급한 경사지이므로 M_1 방법이 더 합리적인 것으로 생각된다.

VII. 결론

본 연구는 현재 계획성없는 토사 채취로 인하여 환경적으로 침식문제가 심각하게 일어나고 있는 목포시 부주산을 대상으로 GIS를 이용하여 토지이용변화에 따른 토양유실량의 변이를 USLE를 사용하여 추정비교해 보았다. USLE와 관련된 연구를 분석하여 추정에 필요한 적정한 값의 결정과 적용방법을 모색하였고, 적용 결과에 대한 검증은 기존의 연구 결과와 비교 검토하여 보았다.

1. 본 연구에서는 USLE모형을 연구대상지에 적용하기 위한 다섯가지 인자의 값을 검토하였다.

2. USLE모형에 의한 토양유실량을 계산하기 위하여 GIS 프로그램인 IDRISI를 사용하였으며, IDRISI가 제공하지 않는 기능을 C++ 컴파일러를 사용하여 직접 개발하였다.

3. 목포시 부주산을 연구대상지로하여 토양유실량을 계산하였으며, 그 결과는 지형인자에 대한 LS값을 적용하는 방법에 따라 두가지 방법으로 계산하였다.

1) 변형이 있는 경계내의 삼림지 면적은 57.44ha로서, 토사채취전 삼림지에서 M_1 방법에 의한 총토양유실량은 136.9854t/yr이었으며, M_2 방법에 의한 총 토양유실량은 176.7018t/yr 이었다. 토사채취후 삼림지에

서 M_1 방법에 의한 총 토양유실량은 79023.0391t/yr이었으며, M_2 방법에 의한 총 토양유실량은 97671.9766t/yr이었다.

2) 변형이 있는 경계내의 논밭 면적은 7.20ha로서, 토사채취전 논밭에서 M_1 방법에 의한 총토양유실량은 161.8365t/yr이었으며, M_2 방법에 의한 총 토양유실량은 205.4152t/yr이었다. 토사채취후 논밭지에서 M_1 방법에 의한 총 토양유실량은 1466.3951t/yr이었으며, M_2 방법에 의한 총 토양유실량은 1994.0486t/yr이었다.

4. 본 연구에서의 수집된 자료 구축방법의 타당성을 검증하기 위하여 국내외 다른 연구와 비교해 보았다. 본 연구 대상지와 비슷한 강우인자의 값(300-350)을 가지는 지형적으로 완만한 미국 North Carolina주와 Texas주 삼림지역에서의 토양유실의 값은 본연구(M_1 방법)의 삼림지 10% 이하의 완만한 지역의 추정치와 거의 일치 하였고, 김상욱의 연구의 결과와 비교하였을 때 매우 유사한 경향을 보였다.

논밭지역은 외국의 연구는 각인자별 선정값은 나타나 있지 않아 상대적으로 비교할 수 없었고, 국내 연구의 경우 본 연구와 비교하여 LS인자 이외의 인자는 거의 유사한 값으로 유실량을 계산하여, 총유실량에서 서로가 다르게 나타난 것은 결국 LS인자 값의 차이 때문인 것으로 생각된다.

5. 본 연구에서 논밭지역의 최소값과 최대값의 변이가 커진것은, 실제 지역에서 논밭은 테라스형태로 형성하여져 있는데 반하여 지형도상에서는 그 형상이 제대로 표기되지 못하고 위치하는 지역의 평균 경사로 나타나 이런 높은 값이 나온 것으로 생각된다.

6. 대상지를 전체적으로 보아 급경사가 많은 지역은 경사장을 짧게 잡아야 하기 때문에 각 셀을 하나의 독립된 시험포로 가정하고, 각 셀이 가진 경사값을 기준으로하여 경사장과 LS 값을 계산하는 M_1 방법이 유리할 것으로 생각되며, 반대로 완만한 지역이 많은 지역은 각 셀의 향과 경사에 대하여 어느정도 범위를

가진 구간으로 구분한 후, 같은 향과 경사를 가진 셀이 연속할 때에는 누적된 경사장을 적용하여 LS값을 계산하는 M_2 방법이 더 유리할 것으로 생각된다.

7. 본 연구에서 사용한 LS인자의 두가지 적용방법을 비교하여 볼 때, 본 대상지는 전반적으로 급한 경사지이므로 M_2 방법보다 M_1 방법이 더 유리할 것으로 생각된다.

8. 본 연구결과에서 드러난 문제점은, 테라스형태의 논밭을 그대로 묘사한 정밀한 지형도가 없어서 논밭지역이 급경사지에 위치할 경우 최소값과 최대값의 변이가 커질 수 있으므로, 앞으로 이런 지역에서의 자료 구축시 실제 지역의 지형조건을 고려하여 조정 처리가 필요한 것으로 생각된다.

9. 현재까지 USLE와 관련하여 우리나라의 조건에 맞는 각 인자값 산정 범위를 찾아내는 연구가 많이 이루어져 있다. R 인자는 우리나라 실정에 맞는 값이 지역별로 정하여져 있고, K 인자는 Wischmeier의 Nomograph를 쓰는 것도 좋다는 것이 검증되었으며, P 인자에 대한 값도 대체로 정하여져 있다.

이에 반하여, 토사유출량에 크게 영향을 미치고 변이가 큰 C인자와 LS인자에 대한 연구가 아직 부족하다고 생각되므로 앞으로 이들 인자에 대한 정확한 규명이 필요하다고 생각된다. C인자의 경우 미국과 우리나라의 녹지체계가 다르기 때문에 미국 농무성에서 제시한 C인자의 값과 약간의 차이가 있을 것으로 생각되고, LS인자는 본 연구에서와 같이 경사인자에 따른 유실량의 변이가 크게 나타나므로 우리나라 환경질정에 맞는 경사도에따른 경사장의 선정범위에 대한 연구가 필히 요구된다.

한편, 우리나라에서 실제 대상지를 선정하여 연구 실험치와 실측치를 비교한 연구는 아직 드물기 때문에 각 인자에 대한 검증을 위하여 이에 대한 연구도 많이 있어야 할 것으로 생각된다.

참고 문헌

1. 구본경(1988), 유역내 토지이용상태가 수질에 미치는 영향에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
2. 권순국(1980), 농업 소유역으로부터의 토양침식 및 유사량 시산을 위한 전산모의모델(I), 한국농공학회지, 22(4): 108-114.
3. 권순국(1980), 농업 소유역으로부터의 토양침식 및 유사량 시산을 위한 전산모의모델(II), 한국농공학회지, 23(1): 75-85.
4. 김상욱(1995), 토지이용변화에 따른 경안천 유역 토양유실에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
5. 김진택, 박승우(1993), 관개용 저수지의 퇴사량과 포착효율의 추정, 한국수문학회지, 제26권 제3호: 63-74.
6. 김진택, 박승우(1993), 관개용 저수지의 퇴사량과 유역 유사량 추정식, 한국농공학회지, 제35권 제2호: 104-115.
7. 류주형(1995), 지리정보시스템(GIS)을 이용한 충주호 주변지역의 비점 오염원 분석, 연세대학교 지질학과 석사학위 논문.
8. 신계성, 신용화(1980), 토양보전인자가 토양유실에 미치는 영향, 농시보고, 제22집: 36-41.
9. 신계성(1983), 토양유실량예측을 위한 강우인자의 추정, 한국토양비료학회지, 16(3): 106-118.
10. 예우성, 이희선, 이규석(1994), GIS를 이용한 계룡산 국립공원 제2집단시설지구개발의 수문영향과악, 환경영향평가학회지, 제3권 제2호: 57-67.
11. 우창호(1994), 무계획적인 토사채취지의 문제점과 복구방안에 관한 연구, 목포대학교 연안환경연구소 논문집, 제11권: 61-79.
12. 이기춘 외(1987), 산지 소유역에서의 퇴사량과 Delivery Ratio의 산정, 전북대학교 농대논문집, 제18집: 110-119.
13. 이명우(1989), 토지이용을 고려한 소유역의 수질예측모형에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원 박사학위 논문.
14. 이상민(1994), 지리정보시스템(GIS)을 이용한 부여군 금강유역의 토양 유실 분석, 연세대학교 지질학과 석사학위 논문.
15. 임병선, 1993, 녹지자연도 지역 정밀조사, 환경처.
16. 정영상 외(1976), 야산개발지의 토양침식에 관하여, 한국토양비료학회지, 제9권 제1호: 9-16.
17. 정영상 외(1976), 경사지 토양의 침식성 인자에 관하여, 한국토양비료학회지, 제9권 제2호 107-113.
18. 정필균 외(1983), 토양유실량 예측을 위한 강우인자의 분석, 한국토양비료학회지, 제16권 제2호 112-118.
19. 정필균 외(1985), 토양유실량 예측을 위한 작부인자 검토, 한국토양비료학회지, 18(1): 113-114.
20. 조국광, 박성우(1981), 경사지에서의 토양유실, 한국농공학회지, 제23권 제2호 54-60.
21. 황은 외(1993), 농지공학, 향문사.
22. Beasley, D.B., L.F. Huggins, and E.J. Monke, (1980), ANSWERS: A Model for Watershed

- Planning, Transaction of the ASAE, 23(4): 938-944.
23. Browning, G.N., C.L. Parish, J. Glass(1947), A Method for Determining the Use and limitations of Rotation and Conservation Practices in the Control of Soil Erosion in Iowa, J. Am. Soc. Agron. 39:65-73.
 24. Dunne(1978), Water in Environmental Planning, W.H. Freeman, pp 506-543.
 25. Foster, G.R. and W.H. Wischmeier, (1974), Evaluating Irregular Slopes from Soil Loss Prediction, Transaction of the ASAE., 7(2) 305-309.
 26. Foster, G.R., Lane, L.J., Nowlin, J.D., Laflen, J.M., and Young, R.A., (1981), Estimating Erosion and Sediment Yield on Field-Sized Areas, Transaction of the ASAE., 24:1253-1262.
 27. Foster, G.R., and Highfill, R.E., (1983), Effect of Terraces on Soil Loss:USLE P factor values for Terraces, J. of Soil and Water Conservation, 38: 48-51.
 28. Goldman, Steven J. et al.(1986), Erosion and Sediment Control Handbook, McGraw Hill Inc., NY.
 29. Hession, W.C., and V.O. Shanholtz, (1988), A GIS for Targeting Nonpoint-Source Agricultural Pollution, J. of Soil and Water Conservation, 43(3): 264-266.
 30. Moore, I.D., and G.J. Burch, (1986), Modelling Erosion and Deposition: Topographic Effects, Transactions of the ASAE, 29(6): 1624-1630.
 31. Musgrave, G.W., (1947), The Quantitative Evaluation of Factors in Water Erosion - a First Approximation, J. of Soil and Water Conservation, 2(3): 133-138.
 32. Wischmeier, W.H., et al., (1971), A Soil Erodibility Nomograph for Farmland and Construction Sites, J. of Soil and Water Conservation, 26: 189-193.
 33. Wischmeier, W.H., (1976), Use and Misuse of the Universal Soil Loss Equation, J. of Soil and Water Conservation, 31(1): 5-9.
 34. Wischmeier, W.H., and D.D. Smith, (1978), Predicting Rainfall Erosion Losses, USDA Agr. Handbook.
 35. Young, R.A., C.A. Onstad, D.D. Basch and W.P. Anderson, (1989), AGNPS: A Nonpoint-Source Pollution Model for Evaluating Agricultural Watersheds, J. of Soil and water Conservation, 44(2): 168-173.
 36. Zingg, A.W., (1940), degree and Length of Land Slope as it Affects Soil Loss in Runoff, Agricultural Engineering, 2(12):59-64.