

연구논문

태풍 루사에 의한 토양 침식량 산정을 위한 GIS와 범용토양손실공식(USLE) 연계 Integration of GIS with USLE in Assessment of Soil Erosion due to Typhoon Rusa

함창학* · 김병식**

Hahm, Chang Hahk · Kim, Byung Sik

要 旨

토양침식의 산정은 많은 비용과 시간을 요구한다. 한 지역에서 토양침식을 예측하기 위한 많은 모형들이 있지만, 범용토양손실공식(USLE, Universal Soil Loss Equation)이 연 토양 침식량 산정을 위한 경험식으로 가장 널리 사용되고 있다. 토양침식은 강우강도, 토양의 종류, 토지 피복과 토지이용, 사면경사와 경사길이, 그리고 토양보전을 위한 시설의 영향을 받는다. 이러한 모든 변수들은 공간적으로 분포되어 있기 때문에 지형정보시스템(GIS)이 토양침식 영향평가에 널리 적용될 수 있다. 본 연구에서는 IHP 대표 유역인 보청천 유역을 대상으로 지형정보시스템(GIS)과 범용-토양손실 공식을 연계하여 태풍루사의 강우에 의한 유역에서의 토양 침식량을 산정하였다.

핵심용어 : GIS, 수치고도모형, 토양도, 토지피복도, 토양 침식량, 범용토양손실공식(USLE)

Abstract

Assessment of soil erosion is a cost and time-consuming task. There are many models developed to predict soil erosion from an area, but Universal Soil Loss Equation (USLE) is most widely used empirical equation for estimating annual soil erosion. Soil erosion depends upon-rainfall intensity, type of soil, land cover and land use, slope degree, slope length and soil conservation practice. All these parameters are have spatial distribution and hence satellite remote sensing and Geographic Information System (GIS) are applicable in the assessment of the influence on soil erosion. GIS has been integrated with the USLE (Universal Soil Loss Equation) model in identification of rainfall-based erosion to the Bocheong River which is the representative basin of IHP due to Typhoon Rusa. Similar studies are available in literature, ranging from those that use a simple model such as USLE to others of a more sophisticated nature.

Keywords : GIS, DEM, Soil type map, Land cover map, Soil erosion, USLE

1. 서 론

인간의 개발활동으로 농업지역들이 공업 및 상업이 가미된 도시지역으로 발전하면서 지형, 토지피복 및 식생 그리고, 토지이용형태의 변화가 일어나고 그로 인하여 토양손실량 및 그 이동경로가 변화되므로써 침투유출이나 도달시간과 같은 여러 수문환경이 변화되고 있다. 이러한 변화에 따라서 환경기초시설 및 재해방지시설이 건설되고 있으나 세계적으로 범람과 토양손실은 아직까지 중요한 문제로 남아 있는 실정이다. 토양침식에 의한 인위적 피해를 최소화하기 위해서는 토양침식의 지배인자

특성은 물론 토양침식량 산정기법에 대한 세밀한 검토가 따라야 하나 우리나라의 경우 토양침식에 대한 연구는 거의 전무한 상태로 재해영향평가 제도가 실시된 이후 모든 재해영향평가에서는 미국에서 개발된 범용토양손실공식(USLE)을 사용하여 토사유출량을 산정하고 있는 실정이다.

USLE모형은 농업지역의 토양손실량을 산정하기 위하여 Wischmeir와 Smith(1965)에 의해 처음 제안 되었는데 이 모형이 개발 당시 강우에 의한 토립자의 이탈 및 운송에 의한 개념을 기초로 하여 강우에 의한 침식성 인자(R)에 대한 연구가 집중되었다. Wischmeir(1971) 등은 토양

2007년 8월 6일 접수, 2007년 9월 14일 채택

* 정회원·인하공업전문대학 항공지형정보시스템과 교수 (chhahm@inhac.ac.kr)

** 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원 (hydrokbs@kict.re.kr)

침식성에 영향을 미치는 요소(토성, 유기물함량, 토양구조, 투수성)로부터 K값을 정할 수 있는 계산도표(Nomograph)를 제시하였는데 한국토양에 대한 적용성 검토 결과 타당한 것으로 보고된 바 있으며, Wischmeir(1978)는 LS 값을 산정하기 위하여 계산도표를 만들었다. Curran(1994) 등은 도시에서의 퇴적물 평가를 위하여 USLE를 적용하였으며, Mitsova(1998) 등은 GIS를 이용하여 토양손실 및 퇴적에 대한 다차원적인 모의를 수행하였다. 우(1998)는 GIS를 이용하여 단지개발지의 토양유실량 예측모형을 USLE의 L 인자를 프로그래밍에 의한 추출한 바 있으며, 박(2001) 등은 개발지역에서의 토사발생규모에 대한 다양한 토양손실모형의 적용성을 연구하였다. De Roo(2000)는 USLE 모형에 GIS를 연계하여 토양손실량, 및 그 이동 경로를 추정하였다.

토양손실량을 산정하고 예측하기 위해서는 그 지역의 강우 분포, 토양의 종류, 지형경사 등의 시·공간적인 다양한 인자들에 대한 정확한 정보를 획득하는 일이 선행되어야 한다. 지금까지의 수작업 과정을 통해 토양 침식량 산출 방법은 각각의 개별적 지배인자들의 산정으로 많은 시간과 정확성의 문제가 야기되었다. 그러나, GIS의 활용은 USLE 공식 적용에 야기될 수 있는 부정확성을 보완할 수 있다.

본 논문은 보청천유역을 대상으로 DEM, 토지피복도, 토양도 등과 같은 수치지도를 GIS 분석기법을 통하여 여러 장의 주제도를 중첩하여 처리함으로써 유역에서의 토양침식량을 산정하였다. 이때 강우자료는 보은 관측소의 빈도별 확률강우량과 태풍루사의 자료를 이용하였다.

2. 방법론

2.1 USLE의 이론

본 연구에서 이용한 USLE(Wischmeir and Smith, 1978)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

여기서, Y : 강우침식도 R의 해당기간 중 단위 면적당 토사침식량 ($\frac{tonnes}{ha}$)

R : 강우침식도 ($\frac{MJ \cdot mm}{ha \cdot hr}$)

K : 토양침식성 인자 ($\frac{tonnes \cdot hr \cdot year}{ha \cdot R}$ 또는 $\frac{tonnes \cdot hr \cdot year}{MJ \cdot mm}$)

LS : 유역의 지형학적 특성을 나타내는 무차원 인자

C : 식생 및 피복상태 등 경작 종류와 형태에 따른 무차원 인자

P : 토양보전 대책을 나타내는 무차원 인자

(1) 침식능 인자 R의 산정

토사유출량은 강우의 크기 및 형태에 직접적인 영향을 받게 된다. 따라서 강우에 의한 침식능 R의 산정은 매우 중요하다. 연평균 침식능 R을 이용한 토양침식량 산정은 빈도개념이 없으므로 단일호우(50년 재현기간, 24시간 지속강우)에 의한 침식능 R값을 이용한다. 강우강도에 에너지의 산정공식은 강우강도 76mm/hr을 경계로 다음과 같이 두 가지 형태로 표현된다.

$$e = 0.119 + 0.0873 \log I \quad I \leq 76 \text{mm/hr} \quad (2)$$

$$e = 0.283 \quad I > 76 \text{mm/hr} \quad (3)$$

여기서, e : 강우운동에너지(MJ/ha/mm)

I : 호우의 평균강우강도(mm/hr), MJ : 10^6 joule

호우의 총강우에너지는 다음과 같이 강우운동 에너지에 강우깊이를 곱하여 산정한다.

$$E = e \cdot P'' \quad (4)$$

여기서, E : 강우의 총 에너지($\frac{MJ}{ha}$)

P'' : 강우의 총깊이(mm)

(2) 침투능지수 K의 산정

토양의 침식성이란 강우에너지와 유출에 의한 침식능에 저항하는 토양의 저항도를 나타내며 실험적으로 토양의 침식성은 표준침식밭(standard erosion plot)에서의 단위 강우지수당 토양의 손실량을 나타낸다. 표준침식밭이란 사면의 상하방향으로 경작된 길이 22.1m 사면경사 9%의 휴경지로 이때의 L, S, C, P는 모두 1.0이 된다. 따라서 K는 다음과 같이 산정된다.

$$K = \frac{\text{측정된 침식량}}{\sum EI_{30}} \quad (5)$$

USDA(1997)는 55개의 중서부 농경지의 자료를 기초로 토양 및 토양 특성인자를 이용하여 K를 산정할 수 있는 도표를 발표하였으며, 해석적 관계식은 다음과 같다.

$$K = \frac{2.1 \times 10^{-4} (12 - OM) M^{1.14} + 3.25 (S_1 - 2) + 2.5 (P_1 - 3)}{100} \quad (6)$$

여기서, K는 토양의 침식성으로 단위는 tons/(acre·unit rainfall index)이고, OM은 함유 유기물의 백분율, P1은 투수지수, S1은 토양의 구조지수를 나타내는 값이며 표

표 1. 토양의 구조 및 투수성 구분

| 토양의 구조 | | 토양의 투수성 | |
|----------------|-----------------------------|----------------|------------------|
| S _i | Soil Structure | P _i | Permeability |
| 1 | Very Fine Granular | 1 | Rapid |
| 2 | Fine Granular | 2 | Moderate Rapid |
| 3 | Moderate or Coarse Granular | 3 | Moderate |
| 4 | Block, Platy, Massive | 4 | Slow to Moderate |
| | | 5 | Slow |
| | | 6 | Very Slow |

1과 같이 분류되고, M은 입경에 있어 주종을 이루는 토립자와 토사 전체에 대한 비율(fraction)에 대한 함수로 다음과 같이 표현된다.

$$M = (\%MS + \%VSF)(100\% - CL) \quad (7)$$

여기서, CL은 입도분포곡선에서 점토($\leq 0.002\text{mm}$)의 백분율, MS는 실트($0.002 \sim 0.05\text{mm}$)의 백분율, VFS는 매우 고운 모래($0.05 \sim 0.1\text{mm}$)의 백분율이다.

R인자의 ES단위는 앞에서 기술한 바와 같이 EI30 지수로 표현되므로 K의 ES단위는 $\frac{\text{tons} \cdot \text{acre} \cdot \text{hr}}{100 \cdot \text{acre} \cdot \text{ft} \cdot \text{tons} \cdot \text{f} \cdot \text{in}}$ 이며 SI단위는 $\frac{\text{tons} \cdot \text{ha} \cdot \text{hr}}{\text{ha} \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm}}$ 이다. 따라서 ES단위의 K값을 SI단위로 환산하기 위해서는 ES단위의 K값에 0.1317을 곱하면 된다.

이외에도 우리나라의 경우 토양층에 따른 대표적 K값을 건설부(1992)와 한국수자원학회(1998)에서 발표한바 있다. 단, 건설부(1992)또는 한국수자원학회(1998)의 K값은 단위가 $\frac{\text{tonnes} \cdot \text{ha}}{\text{ha} \cdot 10^7 \cdot \text{J} \cdot \text{mm}}$ 으로 표현되어 있어 앞에서 제시한 K 산정식을 사용할 경우보다 그 값이 10배 크게 나타난다.

따라서 세계적으로 통용되고 있는 R의 단위인 $\frac{\text{MJ} \cdot \text{mm}}{\text{ha} \cdot \text{hr} \cdot \text{year}}$ 또는 $\frac{\text{MJ} \cdot \text{mm}}{\text{ha} \cdot \text{hr} \cdot \text{storm}}$ 을 사용하여 유출토사량을 산정할 경우 건설부(1992)또는 한국수자원학회(1998)의 도표로부터 읽은 K값을 10으로 나눈 값을 사용해야 할 것이다. 토양침식은 토양 덩어리로부터 토양입자가 떨어져 나가는 이탈과정과 흐름에 의해 운반되는 이송과정으로 구성되며, 일반적으로 토양입자가 크면 쉽게 이탈되나 이송은 어렵다. 토양에 대한 침식을 나타내는 지표인 토양침식계수(K)는 Erickson의 삼각도표를 이용하여 건설교통부(1992)의 “댐 설계를 위한 유역단위 비유사량 조사연

표 2. 토지피복과 토양토에 따른 C와 P 산정

| Land-use/land-cover type | C Factor | P Factor |
|--------------------------|----------|----------|
| Fallow | 1.0 | 1.0 |
| Laterite cap | 1.0 | 1.0 |
| Agricultural crop (rice) | 0.1 | 0.03 |
| Settlement | 0.1 | 1.0 |
| Dry fallow | 1.0 | 1.0 |
| Open forest | 0.8 | 0.8 |
| Water bodies | 0.1 | 1.0 |

구(부록, 1992. 11.”에서 제시한 한국 전역의 토양통별 K값을 1:250,000 개략토양도의 구분에 따라 적용할 수 있도록 대표 토양통으로 분류된 토양침식계수 K값을 이용하였다. 개략토양도의 구분에 따른 K값은 표 2와 같다. 본 연구에서는 표 2를 이용하여 보청천 유역의 정밀토양도로부터 토양침식계수를 추출하였다.

(3) 피복관리인자 C

농경이나 토양의 관리기법이 침식에 미치는 영향을 반영하거나 토양보존 대책 중 토양의 관리가 토양침식에 미치는 상대적 영향을 비교하기 위하여 피복-관리인자(cover-management factor) C를 사용하고 있다. 이 C인자는 보존대책이 연평균 토양손실량에 어떤 영향을 미치는가 또는 토양손실 잠재능이 건설 활동, 농경활동 또는 토양 관리계획 기간 중 시간적으로 어떻게 분포되는가를 나타내고 있다. C값 산정기법은 크게 두 가지 방법으로 나뉜다. 현장의 일반적 조건에 대한 C값을 나타내는 도표를 이용하는 방법과 침식 관련인자들에 대한 보다 세밀한 기술을 통하여 피복인자 C값을 지배하는 subfactor들의 값을 산정하여 전체적인 C값을 산정하는 subfactor기법이 있다.

(4) 토양보존 대책인자 P의 산정

토양 보존대책인자는 어떤 토양 보존대책을 세운 사면의 상·하 방향 경사지로부터의 토양유실에 대한 보존대책에 대한 토양유실의 비로 정의된다. 이것은 등고선 경작, 등고선 대상재배, 등고선 단구효과, 지표 하 배수, 건조한 농경지의 조도의 효과를 평가하기 위해서 사용된다. P값은 농경지와 목장지에 대해서만 사용되고 있으나, 건설현장과 지표면 교란지역에 대해서도 약간의 주의를 기울이면 사용할 수 있다.

(5) LS Factor

토양 손실과 관련된 지형특성 인자는 유역길이, 지표면

경사, 유역면적, 기복도 등이 있으며, 통상적으로 유역 사면의 길이(L), 사면의 기울기(S)를 통합하여 하나의 무차원 인자(LS)로 간주하여 토사유출량을 산정한다. 사면경사인자 S는 사면경사가 토양손실에 미치는 영향을 예측하는데 활용된다. LS Factor은 다음 식을 이용하여 산정하였다.

$$LS = (L/22.13)^n \times (0.065 + 0.045S + 0.0065S^2) \quad (8)$$

여기서, n은 사면 경사가 5%이상이면 0.5를 사용하고, 3.5%~4.5%이면 0.4, 1%~3% 이면 0.3, 1%이하면 0.2를 사용한다.

2.2 USLE 모형과 GIS와의 연계

본 연구에서는 GIS 자료로부터 Arc-view와 Idrisi을 이용하여 USLE의 각 인자들을 추출하였으며 그림 1은 분

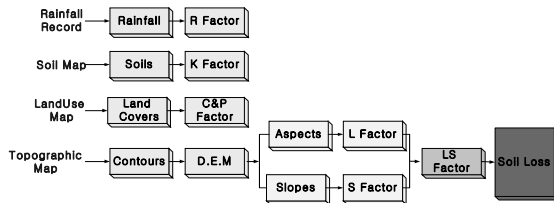


그림 1. GIS와 USLE을 연계한 토양침식량 산정과정

석방법과 흐름을 나타낸 것이다.

3. 적 용

본 연구에서는 IHP 대표유역인 보청천 유역을 대상으로 설계강우(50년 빈도, 1시간 지속기간)와 태풍루사의 실제 강우자료(2002년 8월 31일 08시~2002년 9월 1일 08시)를 이용하여 토사침식량을 산정, 비교하였다.

3.1 대상유역의 개황

보청천 유역은 보은군 내북면 하궁리에서 발원하여 북류하다가 지류인 종곡천, 향건천, 오덕천과 합류하면서 유하한다. 보청천은 익주봉을 정점으로 우측으로는 속리산 대청봉으로 이어지면 좌측으로 국사봉으로 이어지는 해발 500~1000m 정도의 능선으로 분수령을 이루고 있다. 유역의 최하류에 설치된 산계수위관측소의 상류의 유역면적은 약 478.58km²이며, 유로연장은 49km이다. 본 유역은 전반적으로 지세가 험준한 편이나 서측으로 다소 완만하다. 또한 농경지가 잘 발달하였고 그 외의 지역은 산지로 형성되어 있다.

3.2 강우자료의 분석

본 연구에서는 보은 기상관측소의 강우량자료를 이용

표 3. 보은 강우강도식 산정

| 구 분 | 상수 | 확 률 년 | | | | | | 비고 |
|-----------|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----|
| | | 10년 | 20년 | 30년 | 50년 | 80년 | 100년 | |
| Talbot형 | a | 15646 | 18219 | 19559 | 21465 | 23012 | 23867 | |
| | b | 242.92 | 249.79 | 250.25 | 255.23 | 255.51 | 257.95 | |
| | c | - | - | - | - | - | - | |
| | 편차 | 10.88 | 11.93 | 12.45 | 13.18 | 13.76 | 14.15 | |
| Sherman형 | a | 689.86 | 752.18 | 792.44 | 833.33 | 877.79 | 897.57 | |
| | b | 0.58462 | 0.57565 | 0.57265 | 0.56694 | 0.56409 | 0.56240 | |
| | c | 9.00 | 9.00 | 9.00 | 9.00 | 9.00 | 9.00 | |
| | 편차 | 1.19 | 1.53 | 1.66 | 1.85 | 2.05 | 2.15 | |
| Japanese형 | a | 551.42 | 610.94 | 641.78 | 685.94 | 721.84 | 741.43 | 채택 |
| | b | 1.33320 | 1.15950 | 1.01830 | 0.95907 | 0.83995 | 0.82909 | |
| | c | -4.50 | -4.50 | -4.50 | -4.50 | -4.50 | -4.50 | |
| | 편차 | 1.61 | 1.37 | 1.04 | 1.63 | 2.47 | 2.63 | |
| Semi-Log형 | a | 253.66 | 263.14 | 270.41 | 280.66 | 294.21 | 301.03 | |
| | b | -80.640 | -83.885 | -86.281 | -89.552 | -93.836 | -95.994 | |
| | c | 135.0 | 99.0 | 85.5 | 73.8 | 69.3 | 67.5 | |
| | 편차 | 19.02 | 20.46 | 21.19 | 22.07 | 23.07 | 23.62 | |

표 4. 태풍루사에 의한 강우 침식능(R) 산정

| 시간 | | 강우강도 | 강우량 | | e (MJ/ha*mm) | E (MJ/h) |
|--------|---------|----------|---------|--------|-----------------|-------------|
| t(min) | dt(min) | I(mm/hr) | P(mm) | dP(mm) | | |
| 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | |
| 60 | 60 | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 0.283 | 45.280 |
| 120 | 60 | 145.00 | 290.00 | 130.00 | 0.283 | 36.790 |
| 180 | 60 | 130.00 | 390.00 | 100.00 | 0.283 | 28.300 |
| 240 | 60 | 117.50 | 470.00 | 80.00 | 0.283 | 22.640 |
| 300 | 60 | 109.00 | 545.00 | 75.00 | 0.283 | 21.225 |
| 360 | 60 | 108.33 | 650.00 | 105.00 | 0.283 | 29.715 |
| 420 | 60 | 107.86 | 755.00 | 105.00 | 0.283 | 29.715 |
| 480 | 60 | 106.88 | 855.00 | 100.00 | 0.283 | 28.300 |
| 540 | 60 | 106.11 | 955.00 | 100.00 | 0.283 | 28.300 |
| 600 | 60 | 103.50 | 1035.00 | 80.00 | 0.283 | 22.640 |
| 660 | 60 | 98.64 | 1085.00 | 50.00 | 0.283 | 14.150 |
| 720 | 60 | 94.17 | 1130.00 | 45.00 | 0.283 | 12.735 |
| 780 | 60 | 90.00 | 1170.00 | 40.00 | 0.283 | 11.320 |
| 840 | 60 | 87.50 | 1225.00 | 55.00 | 0.283 | 15.565 |
| 900 | 60 | 84.00 | 1260.00 | 35.00 | 0.283 | 9.905 |
| 960 | 60 | 80.00 | 1280.00 | 20.00 | 0.283 | 5.660 |
| 1020 | 60 | 76.47 | 1300.00 | 20.00 | 0.283 | 5.660 |
| 1080 | 60 | 72.78 | 1310.00 | 10.00 | 0.282 | 2.816 |
| 1140 | 60 | 70.00 | 1330.00 | 20.00 | 0.280 | 5.602 |
| 1200 | 60 | 67.00 | 1340.00 | 10.00 | 0.278 | 2.784 |
| 1260 | 60 | 64.05 | 1345.00 | 5.00 | 0.277 | 1.384 |
| 1320 | 60 | 61.14 | 1345.00 | 0.00 | 0.275 | 0.000 |
| 1380 | 60 | 58.48 | 1345.00 | 0.00 | 0.273 | 0.000 |
| 1440 | 60 | 56.04 | 1345.00 | 0.00 | 0.272 | 0.000 |
| 합계 | | | | | | 380.485 |

따라서, 재현기간 50년, 지속시간 24시간 단일호우에 대한 R은

$$R = \sum(E \cdot I60) / \text{stom} = 160 \times 380.485 (\text{MJ/ha})(\text{mm/hr}) / \text{storm} = 60877.563 (\text{MJ/ha})(\text{mm/hr}) / \text{storm}$$

표 5. 설계호우에 의한 강우 침식능(R) 산정

| 시간 | | 강우강도 | 강우량 | | e (MJ/ha*mm) | E (MJ/h) |
|--------|---------|----------|--------|--------|-----------------|-------------|
| t(min) | dt(min) | I(mm/hr) | P(mm) | dP(mm) | | |
| 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | |
| 10 | 10 | 161.93 | 26.99 | 26.99 | 0.283 | 7.638 |
| 30 | 20 | 102.07 | 51.04 | 24.05 | 0.283 | 6.805 |
| 60 | 30 | 74.30 | 74.30 | 23.26 | 0.282 | 6.567 |
| 120 | 60 | 53.08 | 106.15 | 31.86 | 0.270 | 8.588 |
| 180 | 60 | 43.22 | 129.65 | 23.49 | 0.262 | 6.151 |
| 360 | 180 | 29.91 | 179.48 | 49.83 | 0.248 | 12.350 |
| 540 | 180 | 23.85 | 214.63 | 35.16 | 0.239 | 8.411 |
| 720 | 180 | 20.18 | 242.18 | 27.54 | 0.233 | 6.415 |
| 1080 | 360 | 15.78 | 284.05 | 41.88 | 0.224 | 9.363 |
| 1440 | 360 | 13.13 | 315.13 | 31.08 | 0.217 | 6.733 |
| 합계 | | | | | | 79.022 |

따라서, 재현기간 50년, 지속시간 24시간 설계단일호우에 대한 R은

$$R = \sum(E \cdot I60) / \text{stom} = 79.022 \times 4.30 (\text{MJ/ha})(\text{mm/hr}) / \text{storm} = 5871.127 (\text{MJ/ha})(\text{mm/hr}) / \text{storm}$$

하여 지속기간별 재현기간별 강우량을 산정하였으며 또한, 태풍루사의 강우자료(2002년 8월 31일 08시~2002년 9월 1일 08시)을 이용하였다.

$$I_{50} = \frac{685.94}{\sqrt{t} + 0.9591} - 4.50 \quad (9)$$

3.3 GIS 자료 및 분석

본 연구에서 이용한 GIS 자료(도엽: 1:25,000; 격자크기: 30m×30m; 좌표시스템: TM)는 다음과 같다.

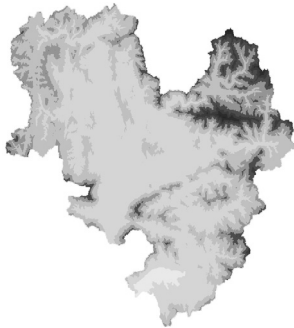


그림 2. DEM 자료

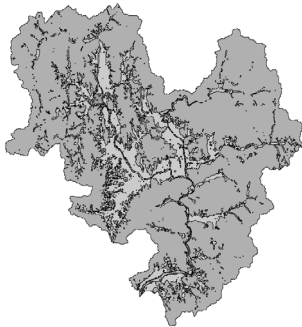


그림 3. 토지피복도

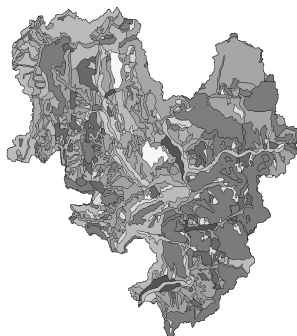


그림 4. 정밀 토양도

3.4 GIS을 이용한 USLE 인자의 산정

앞에서 언급한 5가지의 K, R, C, P, LS의 USLE 인자를 추출하기 위해 선행 작업으로써 DEM 자료를 이용하여 유역의 3차원 분석을 실시하였다. 또한, LS 인자를 추출하기 위해 경사도(slope), 사면도(aspect) 등을 분석하였

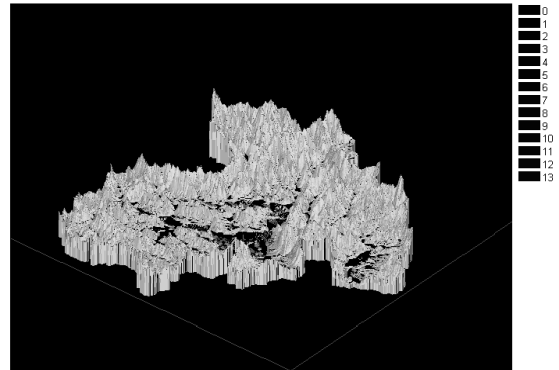


그림 5. 3차원 유역도

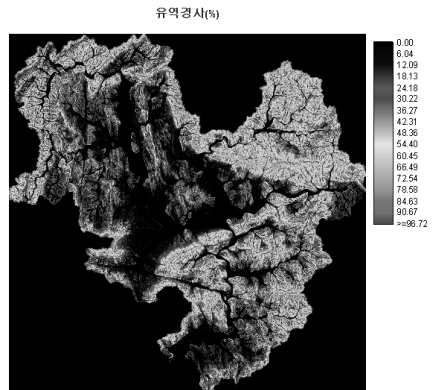


그림 6. 유역경사

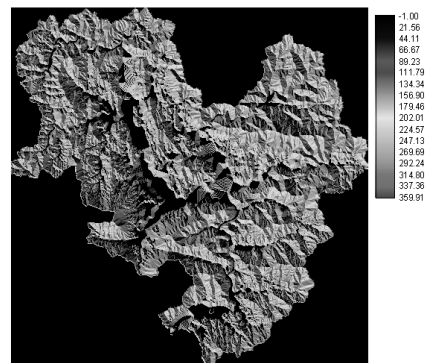


그림 7. 유역의 사면도

다. 그림 5는 3차원 유역도를 나타낸 것으로 이를 통해 전반적인 유역의 경사 및 하천의 방향을 파악 할 수 있다. 그림 6과 7은 각각 유역의 경사, 사면도를 나타낸 것이다.

그림 8과 9는 각각 설계호우사상과 태풍루사에 의해 산정된 침투능 인자를 나타낸 것이며 식 (2)~(4)을 통해 알 수 있듯이 R은 호우사상의 함수임을 알 수 있다. 그림을 통해 알 수 있듯이 태풍루사에 의한 호우는 설계강우에 약 10배 이상 크을 알 수 있다.

본 연구에서는 정밀토양도와 표 2를 이용하여 K값을 추출하여 그림 10과 같은 정밀 토양도를 재구성하였다.

그림 11은 표 3을 이용하여 토지피복도로부터 추출된 C 값을 재구성한 것이다.

본 연구에서 이용한 보청천 유역은 대부분이 산지 유역으로 농업지역의 경우 자연상태가 아닌 교란된 지역으로 보고 P값을 0.03으로 수정하였다

LS 인자를 추출하기 위해서는 유역의 경사도(Slope, %)와 사면방향도(aspect, °) 자료로부터 추출된 L, S가 필요

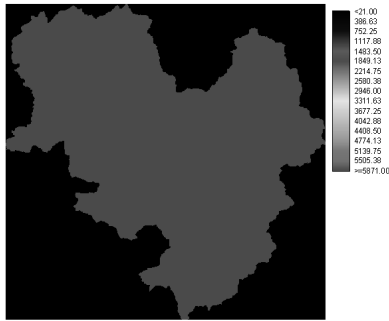


그림 8. 설계강우에 의한 R

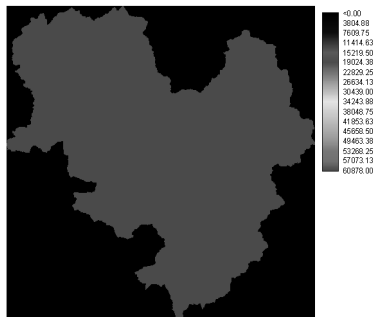


그림 9. 태풍루사에 의한 R

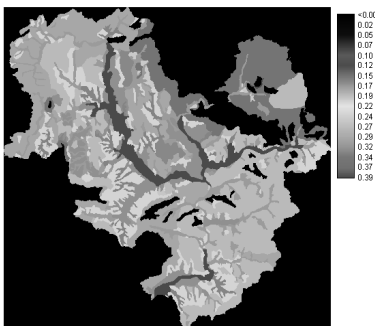


그림 10. 침투능지수 K의 산정

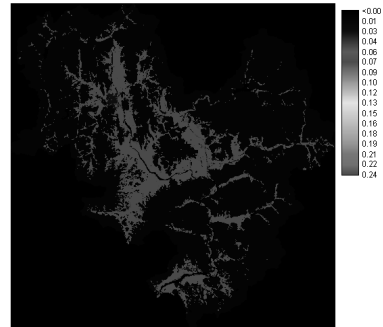


그림 11. 피복관리인자 C

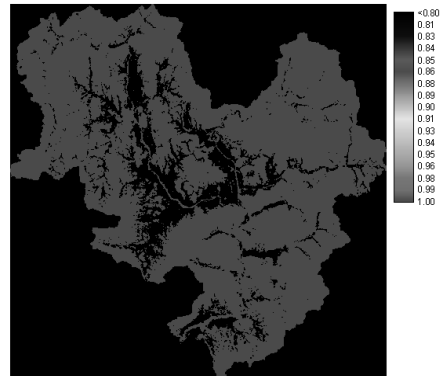


그림 12. 토양보존 대책인자 P

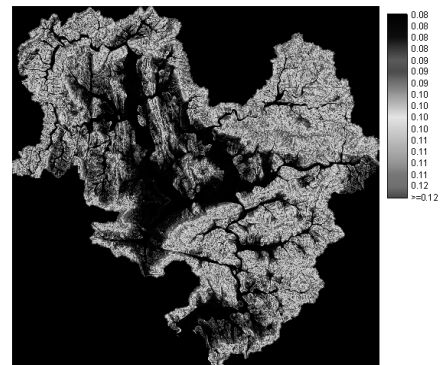


그림 13. LS 인자

- (2)-MUSLE를 중심으로”, *한국수자원학회논문집*, 한국수자원학회, 제34권 제3호, pp. 209-216.
4. 이상진, 이배성, 최현, 곽영주, 2007, “소유역의 토사유실량에 따른 유사저류지 설계적정 검토”, *한국지형공간정보학회지*, 한국지형공간정보학회, 제15권 제2호, pp. 25-31.
 5. 한국지질자원연구원 공공원격탐사 지상센터, GIS와 RS를 이용한 범용토양손실공식 적용, <http://krsc.kigam.re.kr>
 6. Bill Forbes et. al., 2001, Using GIS to Estimate Soil Loss Rates in Denton County, Texas.
 7. De Roo, A.P.J 2000, “Soil Erosion Assessment using GIS, in, V.P.Sinh and M.Fiorentino”, *GIS in Hydrology*, Vol. 26, pp. 339-356.
 8. Mohan Lal Agrawal, et. al., 2003, Impact Assessment on Soil Erosion due to Highway Construction using GIS, *EJGE*.
 9. National Science & Technology Center, Sheet and rill erosion evaluation with the Revised Universal Soil Lose Equation (RUSLE)-Geographic Information System Interface, <http://www.blm.gov>
 10. Okan Fistikoglu, Nilgun B. Harmancioglu, 2002, “Integration of GIS with USLE in Assessment of Soil Erosion”, *Water Resources Management* 16, pp. 447-467.
 11. P.I.A. Kinnell, 2000, AGNPS-UM : applying the USLE-M within the Agricultural Non-point Source Pollution Model, *Environmental Modelling & Software* 15, pp. 331-341.
 12. Wischeimer, W.H. and Smith D.D., 1965, “Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of Rocky Mountain”, *U.S. Department of Agricultural Handbook*, No.282.
 13. Wischeimer, W. H., Johson, C. B., Cross, B.V., 1971, “A Soil Erodibility Nomograph for Farmland and Construction Sites”, *Journal Soil Water Conservation*, Vol. 26(5), pp. 93-189.