

GIS와 RS를 이용한 범용토양손실량(USLE) 적용

Application of USLE(Universal Soil Loss Equation) using GIS and RS

○권형중*, 김성준**

1. 서론

인간의 개발활동으로 인하여 자연적인 토지피복 및 식생, 토지이용형태의 변화가 일어나고 그로 인하여 과거 1차 생산 중심의 농업지역들이 풍업 및 상업이 가미된 도시지역으로 발전하면서 토양 유실량의 변화를 포함한 여러 수문 환경이 변화하고, 환경문제로도 대두되고 있다.

토양유실량을 산정하는 모형에는 USLE(Universal Soil Loss Equation), TRB(Transform Research Board), USDA-WEPP(Water Erosion Prediction Project) 등 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 과거 농업지역에서 적용하던 USLE 모형을 유역에 적용할 수 있도록 개선한 모형인 RUSLE 침식모형을 사용하였다.

김(1994) 등은 GIS를 이용하여 토양 유실에 대한 환경영향 분석과 평가를 하는데 있어서 자료의 부정확성을 보완할 수 있는 토양유실계수(Soil Loss Index)를 개발하였고, 이(2001) 등은 토양침식에 영향을 미치는 인자를 GIS 공간분석기법을 활용하여 추출하고자 하였으며, 박(2001) 등은 실무에서 적용 가능한 모형인 USLE, TRB, MUSLE, SLEMA, Morgan과 Finney 모형을 실 유역에서 토양유실량을 예측 비교하여 모형의 적용성을 검토하였다.

본 연구는 안성천 유역에서 수년동안 토지피복 및 토지이용형태의 변화에 따른 토양침식 변화량을 RS 및 GIS 분석기법을 이용하여 산정하고, 토양침식에 지배적인 영향을 미치는 인자를 분석하고자 한다.

2. 위성영상자료 처리 및 분석

2.1 대상유역의 영상자료

본 연구에서 토지피복 변화의 경향을 살펴보기 위하여 분류영상의 선정은 1983년 Landsat-4 MSS (Path 116/Row 34) 영상과 1990년, 2000년 Landsat-5 TM (Path 116/Row 34) 영상을 사용하였다.

2.2 영상의 전처리

① 기하보정

2000년 5월의 Landsat-5 TM 영상을 환경부에서 구축한 GCP(지상기준점)를 이용하여 Datum TOKYO, Projection UTM-52의 좌표체계로 기하보정 하였으며, 이 영상을 이용하여 남은 2개의 영상을 Image to Image 방법을 사용하여 같은 좌표체계로서 기하보정 하였다. 기하보정된 각 영상

* 전국대학교 지역생태시스템공학과 대학원

** 전국대학교 지역생태시스템공학과 조교수

에 유역경계를 중첩한 결과 유역의 출구 및 산림에 의한 유역경계가 잘 일치하여 기하보정으로 인한 토양유실량 변화 분석의 오차는 배제하였다.

② 밴드구성

본 연구대상 지구는 대부분의 산림 및 논 지역과 농업용수 보급을 위한 중·소규모의 저수지가 산재하여 있으므로, Landsat TM 영상은 식생 형태, 생장, 함수량과 토양 함수량의 지표가 되는 4·5번 밴드와 수계 투파를 위해 디자인된 1번 밴드를 주로 사용하였고, Landsat MSS 영상의 경우는 밴드 4, 5, 6, 7을 모두 사용하였다.

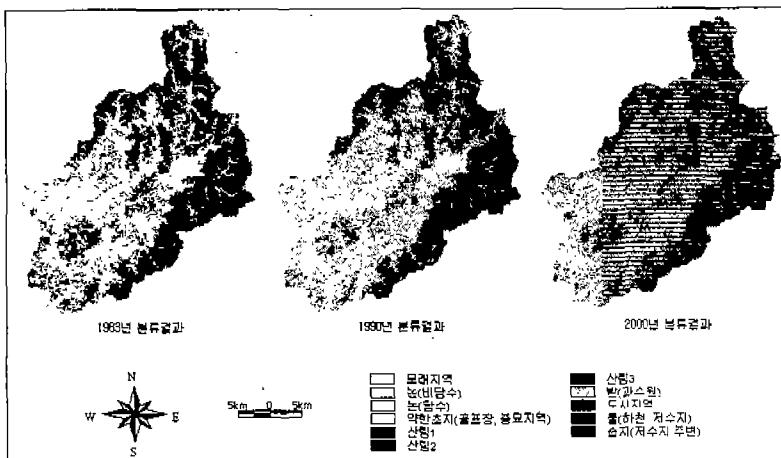
2.3 영상분류

① 분류 방법

본 연구에서 사용된 분류항목은 Landsat TM 영상의 경우 $30 \times 30\text{m}$ 의 공간 해상도를 고려하여 산림, 논, 밭, 초지, 나지, 물, 도시지역으로 분류하였으며, Landsat MSS 영상의 경우 $80 \times 80\text{m}$ 의 공간 해상도를 고려하여 산림, 논, 초지, 물, 도시지역으로 분류하여 최대우도법을 이용한 감독분류를 실시하였다.

② 분류결과

감독분류로서 분류한 후, 대상지역을 Masking한 결과가 <그림 1>과 같다. 각 분류항목별로 면적변화를 분석한 결과 산림지역이나 논지역이 산업개발로 인하여 택지로서 토지이용이 변화했음을 알 수 있다 <표 1>.



<그림 1> Landsat MSS 및 Landsat TM 영상의 분류결과

<표 1> 연도별 토지피복 변화량

(단위: km^2)

| 분류년도 | 산림 | 도시 | 논 | 초지 | 물 | 밭 | 모래지역 | 총면적 |
|-------|-------|------|-------|-------|-----|------|------|-------|
| 1983년 | 256.7 | 4.7 | 278.0 | 21.7 | 6.8 | | | 583.9 |
| 1990년 | 231.2 | 5.9 | 187.8 | 54.41 | 8.7 | 74.8 | 17.1 | |
| 2000년 | 205.9 | 33.0 | 202.2 | 28.9 | 6.0 | 97.3 | 8.7 | |

1983년의 Landsat MSS 영상은 공간해상도가 $80 \times 80\text{m}$ 이므로 밭과 모래지역 항목은 3개 이상의 픽셀을 포함하는 지역이 영상에 나타나지 않으므로 훈련지역을 획득할 수가 없었다. 따라서, Landsat TM과 Landsat MSS 영상의 공간해상도의 차이로 밭지역과 초지의 일부지역이 눈으로 분류되는 오차가 있으나 유역의 대부분을 차지하는 산림 지역과 가장 많은 변화를 나타내는 도시지역이 토지피복 변화의 경향을 나타내고 있으므로, 공간해상도의 차이로 인한 토양유실량의 오차는 배제하였다.

3. 모형의 적용 및 결과

3.1 침식모형의 개요

USLE는 농업지역에 적용하기 위하여 Wischmeier와 Smith(1965)에 의해 처음 제안되었는데 이 모형이 개발될 당시 강우에 의한 토립자의 이탈 및 운송에 의한 개념을 기초로 하여 강우에 의한 침식성(R)에 보다 많은 연구가 집중되었다. 경사가 완만하고 경사길이가 짧은 경우에는 강우에 의한 토립자의 이탈과정이 주요한 침식기작이 될 수도 있지만 실제 유역에서는 이와 같은 환경만이 존재하는 것은 아니다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 수정한 방정식이 RUSLE로서 다양한 시나리오하에서 유역이라는 광범위한 지역에 적용될 수 있게 되었다.

3.2 RUSLE 인자 추출

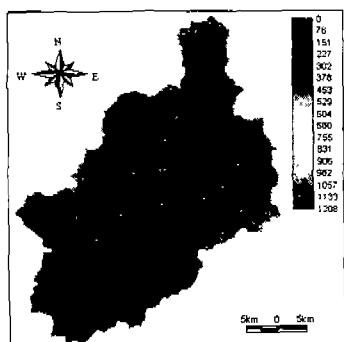
RUSLE 침식모형식은 다음 방정식으로 표현된다.

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

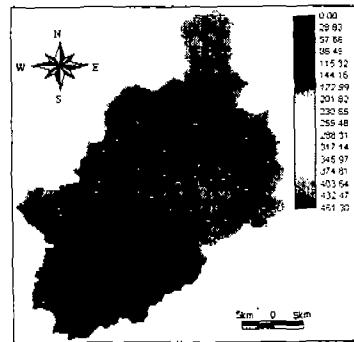
여기서 A 는 연평균 토양침식량, R 은 강우에 의한 침식성(erodibility), K 는 토양에 의한 침식성(erosivity), L 은 경사길이, S 는 경사도, C 는 식생피복인자, P 는 토양보전 대책인자이다.

① 강우침식인자(R)

본 연구의 대상유역의 강우 관측소는 안성관측소와 성거관측소가 있다. 1993년부터 2000년까지의 강우자료로부터 각 관측소의 연평균 강우량을 구한 후, 거리 가중치의 평균(distance-weighted average)으로서 보간하는 방법인 surface interpolation을 실시하여 A. G. Toxopeus(1998)가 제안한 $R = 3.85 + 0.35 \times P(\text{mm}/\text{yr})$ 를 이용하여 R 인자를 추출하였다.



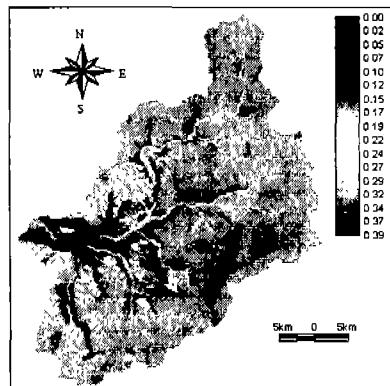
<그림 2> 연평균 공간강우



<그림 3> R value

② 토양침식인자(K)

대상유역의 1:50,000 개략토양도로부터 resampling 하여 K 값을 추출하였다.



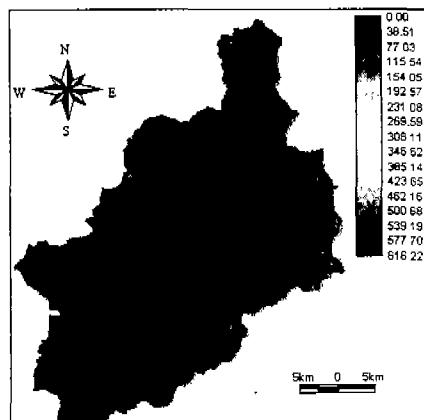
<그림 4> K value

③ 경사면 및 경사인자(LS)

$$LS = (X/22.3)^m (0.065 + 0.045S + 0.0065S^2)$$

여기서, X는 사면장으로서 본 연구에 사용된 격자 크기는 $30 \times 30\text{m}$ 이므로 USLE공식의 흐름방향도에 따라 사면장을 구하였다. S는 %경사도, m은 지면경사도 S에 따라 변하는데 추천값은 다음과 같다 ($S > 5\%$, $m=0.5$; $3\% < S < 5\%$, $m=0.4$; $1\% < S < 3\%$, $m=0.3$; $S < 1\%$, $m=0.2$).

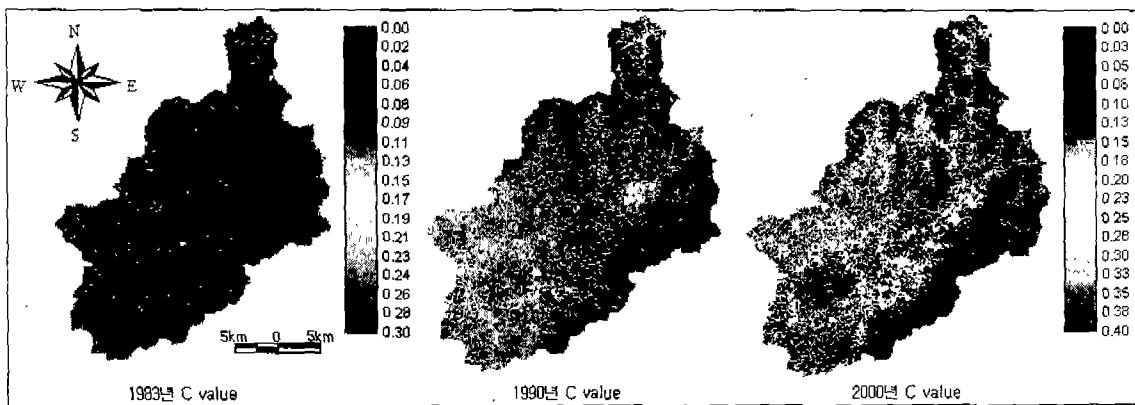
대상유역의 DEM에서 경사도와 방향도를 추출한 다음 reclass하여 X, S, m에 대한 그리드를 생성한 후, 각 레이어를 연산하여 LS 값을 추출하였다 <그림 5>.



<그림 5> LS value

④ 피복인자(C)

토지피복별로 피복인자를 추출하기 위한 여러 연구 결과 중 신(1999)등이 제시한 값을 사용하여 <그림 7>과 같은 피복인자(C)값을 추출하였다.

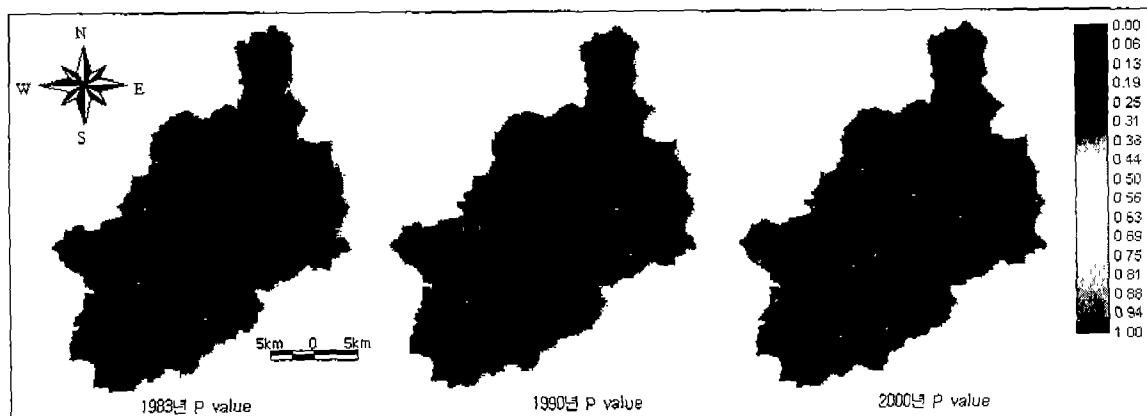


<그림 6> 연도별 C value

⑤ 토양보존대책인자(P)

P 인자의 추출을 위해서 우선 경작 방식을 결정해야 한다. 국내의 경우 밭과 과수원은 주로 등고선을 따라 경작하므로 등고선 경작, 논은 대부분 계단식의 형태로 경작하므로 테라스공법에 속한다고 보고 각 패셀의 경사도에 따라 <표 3>과 같이 P 값을 부여하였다.

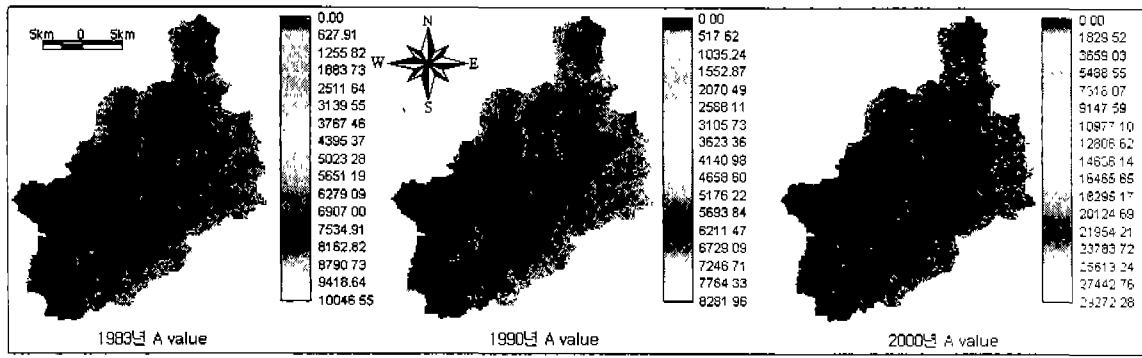
Landsat 영상으로부터 작성된 토지피복도와 DEM으로부터 추출된 경사도를 중첩하여 토지이용과 경사도에 따른 P 값을 reclass 하였다. 산림이나 나지 등 토양 보존을 위한 특별한 대책을 수립하지 않은 곳에는 1을 물 지역은 토양침식이 없는 것으로 가정하고 0을 부여하여 유역에 대한 P 값을 추출하였다 <그림 8>.



<그림 7> 연도별 P value

4.2 토양침식량 분석

연도별 토양침식량의 분석을 위하여 추출된 USLE 각 인자인 R, K, L, S, C, P를 곱하였다. USLE의 인자 중에서 R, K, L, S는 고정된 값을 적용하고 C, P는 각 연도별로 추출한 다른 값을 적용하였다.

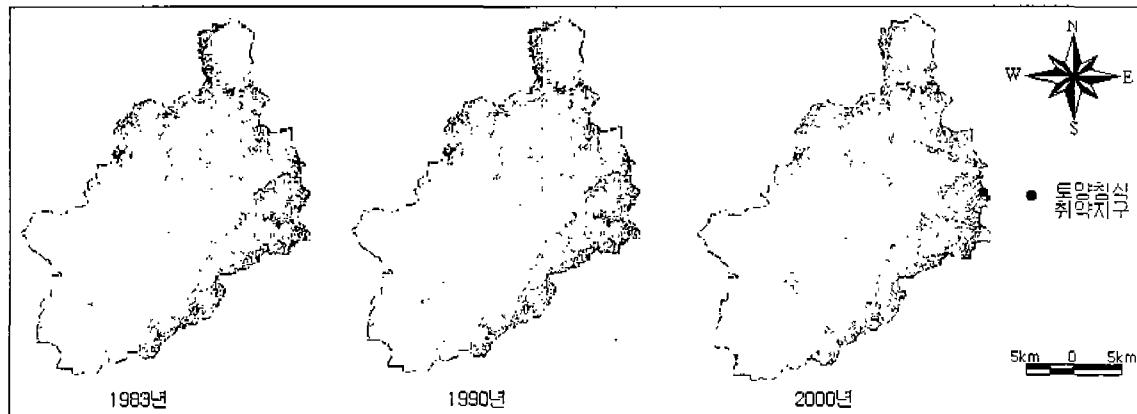


<그림 8> 각 연도별 토양침식량(ton/yr)

위의 결과로서 각 격자 토양침식량의 총 합을 한 격자의 크기인 $900\text{m}^2(30 \times 30\text{m})$ 으로 나누어 유역의 단위면적당 년간 토양침식량을 계산한 결과 1983년에 비해 2000년의 토양침식량은 $248.24\text{ton/m}^2/\text{yr}$ 증가하였다 <표 4>. 단위면적($1 \times 1\text{m}$)당 토양침식량이 1kg/yr 인 지역을 토양침식 취약지구로서 선정하고 도식화하여 토양침식 취약지구의 분포 변화를 나타내었다 <그림 10>.

<표 4> 연도별 토양침식량

| | 1983년 | 1990년 | 2000년 |
|-------------------------------|--------|--------|--------|
| 토양침식량(ton/m ² /yr) | 123.61 | 188.10 | 371.85 |



<그림 9> 토양침식 취약지구의 분포

5. 결론

본 연구는 GIS와 RS를 이용하여 토지피복 변화에 따른 토양침식량 산정에 관한 연구로서 안성천 유역을 연구 대상지로 선정하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 안성천 유역내 2개의 강우관측소의 연평균 강우량 자료에 대해 surface interpolation을 실시

하여 강우침식인자 R을 추출함으로서 기존의 티센망을 활용하여 추출한 강우침식인자에서 발생했던 경계면에서의 과대 오차를 최소화하여 보다 현실성을 고려할 수 있었다.

2) Landsat TM, MSS 영상에서 최대우도법으로 분류한 토지피복도로부터 분류항목별 식생피복인자값을 적용하므로서, 분포형모형의 입력자료 구축에 있어서 RS 기법을 적용하였다.

3) 토양침식량을 산정하는데 있어서 GIS 공간분석기법을 이용하여 분포형 침식모델링을 수행하고, 시간적인 분석을 위해서 RS 분석기법을 이용하고 그 활용성을 제시하였다.

4) 우리 나라와 같이 복잡한 토지이용과 지형에서 GIS 및 RS를 이용하여 RUSLE 토양침식량을 예측하는 연구는 정량적으로 검증되지 못한 상태이다. 실제 토양침식량은 지형인자 즉, L과 S 값에 따라 크게 변화할 수 있으므로 관측자료를 이용한 인자들의 적절한 보정이 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. Engman, E. T. and Gurney R. J., 1991. Remote Sensing in Hydrology, Chapman and Hall.
2. Lillesand, T. M. and Kiefer R. W., 2000. Remote Sensing And Image Interpretation, John Wiley & Sons, Inc..
3. 김동준, 1993. 토지피복분류에 있어서 이미지 채배열의 영향에 관한 연구, 강원대학교 석사학위논문.
4. 김윤종, 김원영, 유일현, 이석민, 민경덕, 1994. 금강유역 토양 유실 분석을 위한 GIS 응용연구, 한국GIS학회지.
5. 농어촌진흥공사, 1999. 자연정화기법에 의한 시화지구 탄도답수호 수질개선 방안.
6. 박무종, 김양수, 2001. 개발지역에서의 토사발생규모와 모형의 적용성 연구, 한국수자원학회논문집.
7. 박희성, 1998. 위성영상을 이용한 토지이용 분류 및 유출곡선번호의 추정, 서울대학교 석사학위논문.
8. 윤용남. 1998. 공업수문학, 청문각.
9. 이근상, 류성곤, 김지은, 장영률, 2001. GIS 공간분석기법을 활용한 토양침식 잠재성 평가, 한국GIS 학회 학술대회 논문집.
10. 이윤아, 2000. GIS와 RS를 이용한 AGNPS 모형의 적용에 관한 연구, 전국대학교 석사학위 논문.
11. 한국수자원공사, 2000. 수자원관련 공간정보 분석 및 적용에 관한 연구.
12. 환경부, 1999. 인공위성영상자료를 이용한 토지피복분류.