

## RUSLE 모델을 이용한 금강 유역의 토지 이용별 토사유출량 추정

박지상 · 김건하<sup>\*,†</sup>

한남대학교 산업기술연구소

<sup>\*</sup>한남대학교 공과대학 토목환경공학과

## Estimation of Soil Loss by Land Use in the Geum River Basin using RUSLE Model

Park, Jisang · Kim, Geonha<sup>\*,†</sup>

Research Institute of Industry and Technology, Hannam University

<sup>\*</sup>Department of Civil and Environmental Engineering, Hannam University

(Received 3 February 2006, Accepted 17 April 2006)

### Abstract

Amount of soil loss is important information for the proper water quality management. In this research, annual average soil loss of the Geum River basin was estimated using RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) and GIS (Geographic Information System). Input data were manipulated using ArcGIS ver. 8.3. From crop field which constitute 8.2% of the Geum River Basin, annual average soil loss was estimated as 53.6 ton/ha/year. From the rice paddy field which constitutes 20% of the Geum River Basin, soil loss was estimated as 33.5 ton/ha/year. In comparison, forestry area which constitutes 61.8% of the basin discharged 2.8 ton/ha/year. It could be known from this research that appropriate measures should be implemented to prevent excessive soil loss from the agricultural areas.

**keywords** : Geum River, Geographic Information System (GIS), Land use, Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) model, Soil loss

### 1. 서론

급속한 산업발전과 지속적인 토지개발로 인하여 자연 파괴가 심각한 문제가 되고 있다. 이러한 변화는 인간의 생활을 편하게 하는 반면, 다양한 환경문제를 일으킨다. 특히 토양침식에 따른 토사유출은 하천의 통수단면 감소 및 수질 악화, 토양조절능력의 저하, 그리고 주변 식생의 변화에 따른 작물 생산성 감소 등 심각한 환경문제의 원인이 되고 있다(정 등, 2002).

토양침식으로 인한 토사발생은 많은 지역에서 매우 광범위하게 그리고 다양한 형태로 발생하고 있는데, 주로 대상 지역의 토양조건, 피복조건 및 환경조건 등 복합적 요소의 영향을 받는다. 이러한 토사발생의 조사 및 관리대책의 수립을 위하여 다양한 추정방법과 예측모델이 제안되었는데, 대부분 통계적인 방법을 이용하고 있다. USLE (Universal Soil Loss Equation), TRB (Transportation Research Board), USDA-WEPP (Water Erosion Prediction Project), SLEMA 모델 등이 다양한 예측모델 중 일부분이다(김 등, 2003). 컴퓨팅기술의 발전과 더불어 최근에는 이러한 예측모델기법을 지형정보시스템(GIS: Geographic Information Systems)에 접목하여 토양유실의 발생가능성과 정도 및 규모 등을

사전에 예측하고 분석할 수 있는 기법에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다(Tuan et al., 2003; 오 등, 2005; Lewis et al., 2005; Lim et al., 2005; Fu et al., 2006).

이러한 노력의 결과로 국내, 국외에서 토지이용에 따른 토양침식위험도에 대한 연구들이 많이 수행되었는데, 주로 좁은 범위 내에서 농촌지역(김 등, 2004a, 2005; Fu et al., 2006) 또는 산림지역(이, 1994; 양 등, 2003; Ryan et al., 2003)에 있어서 토사유출량 추정에 대한 연구였다. 또한 체계적인 유역관리를 위하여 토사유출량을 산정하는 연구도 활발하게 이루어졌다(Tuan et al., 2003; Fu et al., 2006). 반면, 새로운 토사유출량 산정을 위한 기법개발에 대한 연구도 많이 이루어졌는데, 새로운 인자계산법(이 등, 2001; Van Remortel et al., 2003; 김 등, 2004; Lewis et al., 2005), Fuzzy-logic을 이용한 RUSLE 모델의 개선(Tran et al., 2002), 토사유출량 산정을 위한 데이터의 적정 해상도(장 등, 2002; 이 등, 2003) 및 새로운 평가기법의 개발(Lim et al., 2005) 등의 연구들이 이루어졌다. 또한 다양한 토사유출량 모델링 기법에 대한 비교 연구를 통해 현존 기법들에 대한 개선방안들도 제시되었다(Stolpe, 2005; Fu et al., 2006). 이러한 연구들을 기초로 하여 최근에는 공간적인 범위가 더욱 넓어져서 광범위한 유역 전반에 걸친 토지자원 관리를 위한 기초연구(박, 2003; 오 등, 2005) 등에서도 토사유출량 산정을 위한 모델링기법들이 사용되고 있다.

<sup>\*</sup> To whom correspondence should be addressed.

kimgh@hannam.ac.kr

이에 본 연구에서는 금강유역 전체를 대상으로 토사유실 방지 및 표토보전을 위한 체계적인 정책수립을 위한 기초 자료로서 유역내 잠재적 토사유출량을 산정하고자 하였다. 토사유출량 산정 모델로서는 RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)을 사용하였고, 상용 GIS소프트웨어인 ArcGIS 8.3을 사용하여 데이터를 처리하였다. 금강유역의 지형정보를 이용하여 분석에 필요한 주제도를 구축한 후, 토양유실량 예측모형을 이용한 잠재적인 토양유실량을 예측하였다.

## 2. 연구과정 및 방법

금강은 전북 장수군 서사면(소백산맥)에서 발원하여 충북과 충남을 거쳐 강경에서부터 충남, 전북의 도계를 이루면서 군산만으로 흘러드는 강이다. 유역의 개략적인 경위도는 동경 12,641'~12,825', 북위 3,535'~3,705'로서, 1개 광역시, 5개 도, 7개 시, 17개 군에 걸쳐 있다. 전체유역면적은 9914.4 km<sup>2</sup>로서, 한강, 낙동강에 이어 남한에서 3번째로 큰 유역에 해당하고, 본류의 총 길이는 401 km에 달한다. 기후는 한반도 중앙에 위치하여 온대북한계에 가까워 유역의 평균기온은 11.0~12.5°C이고, 연강수량은 1,100~1,300 mm이다(금강유역환경청, 2005). Fig. 1은 금강유역내 22개 소구역 분할을 보여준다.

토양유실은 대상지역의 토양조건, 피복조건 및 환경조건 등과 같은 복합적 요소에 의해 많은 영향을 받기 때문에 토양유실량을 예측하기 위한 모델은 대부분 실측자료를 이용한 경험식이다. 본 연구에서는 과거 농업지역에서 강우에 따른 토양침식량 분석에 많이 사용했던 USLE (Universal Soil Loss Equation)모형을 유역에 적용할 수 있도록 개선한 RUSLE (Revised-USLE)모형을 활용하였다. RUSLE모형은 다음과 같다.

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

A = 단위면적당 토양침식량(ton/ha/yr); R = 강우침식인자(10<sup>7</sup> J/ha-mm/hr); K = 토양침식인자(tones/ha/R); LS = 지형인자(무차원); C = 토양피복인자(무차원); P = 토양보전대책인자(무차원)이다. RUSLE기법은 중, 장기간에 걸친 유역의 토사유출량을 산정하는데 유리한데, 유역특성이 불균형적인 경우에도 적용이 가능하며 연평균토사유출량의 산정시 결과의 신뢰성이 상당히 높은 것으로 알려져 있다. 참고적으로 최근 개발된 MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation)는 소규모의 유역에 대해 단일호우에 의한 유출량

산정에 유리한 기법인데, 유출지점에 따른 유사전달율의 개념이 도입이 필요하다. 이 기법은 미국 서부의 건조, 반건조지역에 대해서는 적용이 불가능한데, 이는 이 기법이 토지피복, 기후, 토양 등의 유역특성에 따른 영향을 많이 받는 기법인데 강우뿐만 아니라 강우에 따른 지체시간, 흐름의 양, 흐름의 방향 등을 포괄적으로 고려해야만 정확한 결과를 유출해 낼 수 있다. 이러한 점들을 고려할 때, 금강유역 전체의 연평균 토사유출량을 산정하는데 있어서는 RUSLE기법을 활용하는 것이 훨씬 더 간편하고 나름대로 신뢰성이 있는 분석결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

Fig. 2는 잠재적 토사유출량을 산정하기 위해서 수행했던 전반적인 연구 과정을 보이고 있다. 수집한 데이터를 이용하여 토사유출량 산정을 위한 기본 래스터 주제도를 작성하고 레이어 중첩기능을 이용하여 유역내 잠재적 토사유실량을 산정하였다. 또한 토지이용에 따른 금강유역내 토사유실량을 산정하였다. 주제도의 생성 및 공간분석에는 ArcGIS 8.3을 이용하였고, RUSLE인자에 대한 주제도는 동일한 해상도(30 m×30 m resolution)를 가지는 래스터 자료를 이용하여 구축하였다. Table 1은 본 연구에 사용된 데이터에 대한 요약을 보이고 있다.

## 3. 결과 및 토론

### 3.1. 연평균 강우침식인자(R)

연평균 강우침식인자는 연평균 강우량에 의한 토양침식량의 정도를 나타내는 인자로서, 주로 강우의 시간적인 분포와 특성으로부터 결정된다. 본 연구에서는 연속적인 강우 분포 특성을 효과적으로 표현하기 위하여 대상유역내 강우 관측소에서 측정한 강우자료를 토대로 공간내삽기법(Surface Interpolation)을 활용하여 강우분포자료를 구축하였다. 먼저, 본 연구의 대상유역내에 있는 53개의 강우관측소에 대해 1993년부터 2001년까지의 강우자료(Table 2 참조)로부터 연평균 강우량을 구한 뒤, Toxopeus (1996)가 개발한  $R = 3.85 + 0.35 \times P$  (연평균강우량, mm/yr)를 이용하여 각각의 관측소에 대한 R인자를 계산하였다. 그 후 53개 관측소의 위치정보를 이용하여 피집망(Thiessen Polygon)을 구축하였고, 관측소간 거리 가중치를 이용한 공간내삽기법을 활용하여 피집망 데이터로부터 GRID형태의 연평균 강우침식인자를 구하였다. Fig. 3은 금강유역내 강우침식인자의 추정치를 래스터형태로 나타낸 것이다.

### 3.2. 토양침식인자(K)

토양침식인자(K)는 침식성에 따른 토양침식량의 변화를

**Table 1.** Description of research data used in this research

Data	Institution	Resolution	Type	Others
Annual precipitation depth	Korea meteorological administration		Point	
Soil map	National institute of agricultural science and technology	1:25,000	Polygon	Soil erosivity factors were acquired from the national institute for disaster prevention
Digital elevation map	Korea water company	30 m	GRID	
Land use map	Ministry of environment	1:25,000	Polygon	

**Table 2.** Annual average precipitation depth for each monitoring stations

Monitoring station	Annual average precipitation depth	Monitoring station	Annual average precipitation depth	Monitoring station	Annual average precipitation depth
Instream dam1	1239.9	Jeanan	1239.489	Yugu	1333.0
Instream dam2	1239.9	Anseongjang	1058.722	Jeongsan	1305.8
Seowoon	1226.2	Bukang	1177.8	Gongju	1312.5
Wontongsa	1306.1	Hoedeok	1231.089	Jeongan	1364.6
Samsanjangsu	1458.9	Sindae	1330.511	Banpo	1486.7
Neungwol	1167.4	Hyundo	1270.367	Jochiwon	1336.4
Songjuk	1349.0	Okcheon	1219.311	Hansan	1239.9
Samsan	1218.3	Annae	1285.144	Mireuksan	1128.2
Dongjeong	1243.2	Myogeum	1129.333	Kangkyong	1194.1
Eawon	1196.6	Cheongsan	1118.522	Yeonsan	1333.2
Moseo	1230.3	Joongneul	1182.522	Yangchon	1214.2
Wonghook	1250.7	Kwanri	1098.522	Jangsun	1367.4
Gungchon	1008.5	Pyongwon	1098.844	Bokryong	1315.4
Muju	1154.6	Byungchon	1226.144	Hongsan	1356.5
Jeoksang	1035.3	Chungju	1222.244	Gyuam	1276.8
Yongdam	1223.2	Gadeok	1218.6	Chungyang	1289.5
Daebul	1400.3	Jeongpyong	1174.3	Tapjeong	1333.2
Samga	1461.5	Jincheon	1223.244		

**Table 3.** Area distribution for each soil erosivity factor (K) class in the Geum River Basin

K-Value	Area (Km <sup>2</sup> )	%
0.0~0.13	774.9	7.8
0.14~0.27	5222.9	52.8
0.28~0.40	2952.3	29.8
0.41~0.54	756.0	7.6
0.55~0.67	208.4	2.1
Sum	9914.4	100.0

나타내는 인자로서, 주로 입도분포, 토양의 구조 및 유기물 함량 등과 관련이 있다. 토양내에 극세사와 미사의 함량이 높아지면 토양내 투수성이 높아지게 되고 따라서 K값이 높게 나타난다. 반대로 극세사와 미사의 함량이 낮아지면 점토(clay)의 함량이 높아지기 때문에 토양유실이 적게 일어나면서 낮은 K값을 얻게 된다(장, 2004).

본 연구에서는 국립방재연구소(1998)에서 제시한 토양통별 K값을 농업과학기술원에서 제작한 수치정밀토양도(1:25,000)의 속성값으로 입력하여 토양침식인자를 산정하였다(Fig. 4 참조). 토양침식인자에 대한 주제도에 나타나 있듯이 토양침식인자가 높은 지역은 전반적으로 수계망을 따라서 분포하고 있는 것으로 조사되었다. Table 3은 금강유역내의 K값에 따른 추정 점유면적과 비율이다.

**3.3. 경사인자(LS)**

경사인자(LS)는 지형의 형태가 토양침식에 미치는 영향을 길이인자(L)와 경사인자(S)의 곱으로 산정되는 인자이다. 길이인자는 한정된 구역내에서 흐름이 시작되는 한 지점으로부터 완만한 경사변화로 인해 흐름이 집중되는 지점까지의 거리로 정의되고(Wischmeier et al., 1978), 경사인자는 주로 %경사도로 표현된다(Van Remortel et al., 2003).

**Table 4.** Area distribution for each hill slope length and steepness (LS) class in the Geum River Basin

LS-Value	Area (Km <sup>2</sup> )	%
0.0~10.0	7864.8	79.4
10.1~20.0	1728.4	17.4
20.1~30.0	287.2	0.3
30.1~40.0	26.7	0.0
40.1 <	2.8	0.0
Sum	9914.4	100.0

그리드의 각 셀마다 계산된 경사인자값은 길이인자와 경사인자의 상호작용 뿐만 아니라 경사의 형태(예, 완만한 경사, 오목경사, 볼록경사)가 토양유실에 얼마만큼의 영향을 미치는가도 포함되어 있다(Lewis et al., 2005).

본 연구에서는 경사길이를 자동적으로 계산하기 위하여, Van Remortel 등(2003)이 개발한 프로그램을 사용하였다. 이 프로그램은 ArcInfo에서의 스크립트언어인 AML (Arc Macro Language)로 작성되어 있는데 30미터 해상도 지형고도모델(DEM: Digital Elevation Model)을 입력데이터로 사용하여 분석하였다. Table 4에 보인 분석결과를 살펴보면, LS값이 10.0이하인 경우가 전체면적의 79.4%에 해당하는 7864.8 km<sup>2</sup>로서 대부분을 차지하고 있었으며, 그 다음으로 1728.4 km<sup>2</sup> (17.4%)의 지역이 10.1~20.0의 LS값을 가지고 있는 것으로 나타나, 금강유역은 대체적으로 완만한 지형조건을 가진 것으로 나타났다. 다시 말해서, 경사인자만을 고려할 경우, 지형적 특성에 따라 토양유실의 위험성이 대체적으로 낮다고 할 수 있다. 금강유역내 잠재적 LS값 분포는 Fig. 5와 같다.

**3.4. 토양피복인자(C)**

토양피복인자(C)는 토지 피복에 따른 토양유실량의 비율

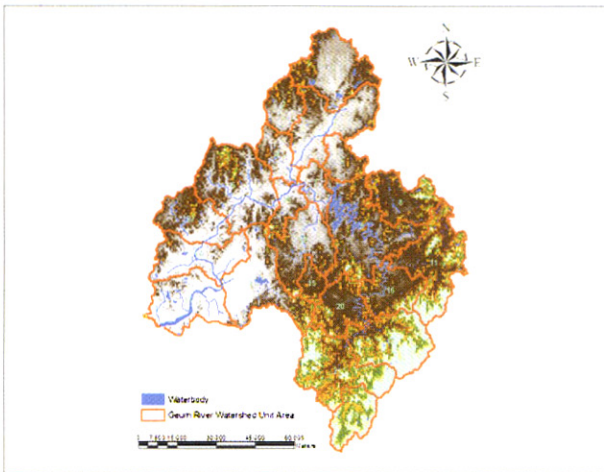


Fig. 1. The Geum River Basin and its watershed division.

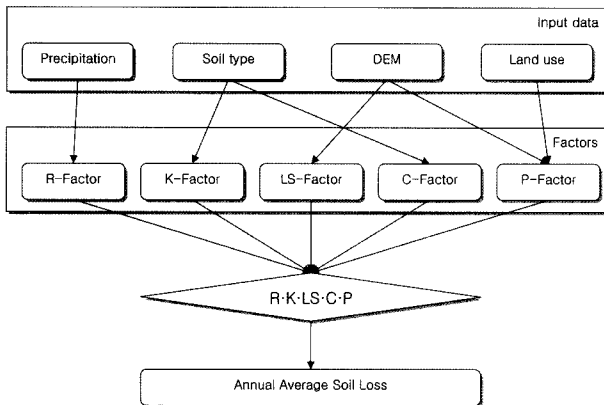


Fig. 2. Methodology for calculating annual average soil loss and related factors.

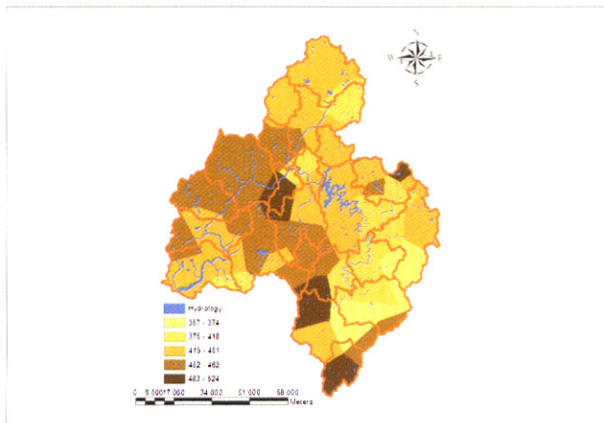


Fig. 3. Rainfall/runoff erosivity factor (R) estimation distribution in the Geum River Basin.

로서 정의되는데, 식생의 종류, 식생의 성장 상태, 경작 형태와 관리요소들에 의하여 좌우되는 인자이다. 토양피복인자값의 비율은 식생이 존재하지 않는 나대지일수록 1.0으로 높은 값을 가지게 되고, 산림지역이나 경작지일수록 0.1 이하로 낮은 값을 가지게 된다(장 등, 2002; 김 등, 2003). 본 연구에서는 경작지 및 식생유형에 따른 영향을 반영하기 위해 환경부에서 제작한 중분류 토지피복지도(1:25,000)

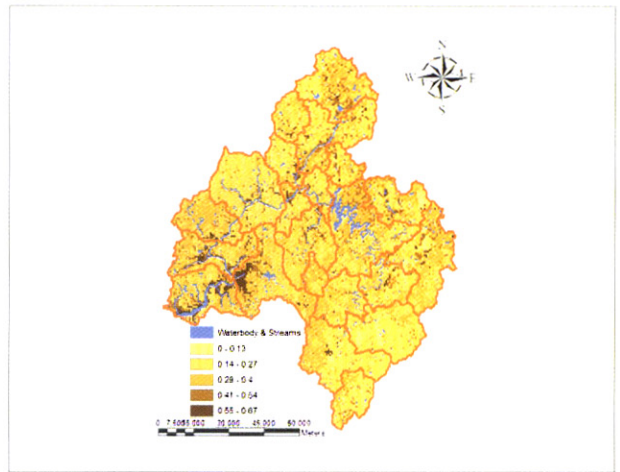


Fig. 4. Soil erosivity factor (K) estimation distribution in the Geum River Basin.

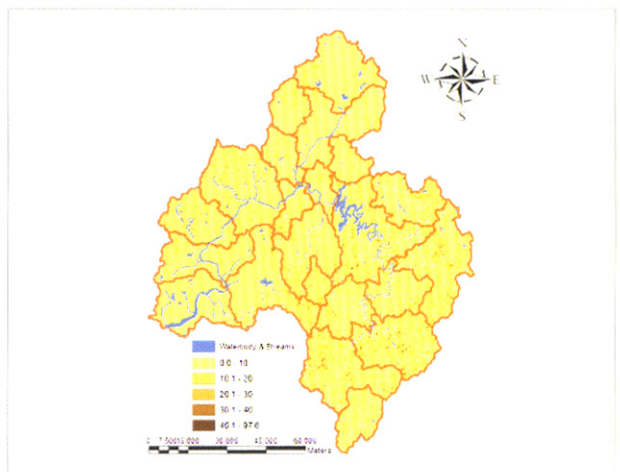


Fig. 5. Hillside slope factor (L) estimation distribution in the Geum River Basin.

를 사용하였으며, 관련문헌(박, 2003; 김 등, 2004b)을 토대로 수역은 0.0, 시가화지역은 0.02, 나지는 1.0, 습지는 0.0, 초지는 0.05, 산림은 0.07, 논은 0.3, 그리고 밭은 0.23으로 각각 토지피복별 C값을 부여하여 분석에 필요한 주제도를 생성하였다.

분석결과(Table 5 참조)를 살펴보면, 유역내 전체면적의 70.6%인 6991.7 km<sup>2</sup>가 가장 낮은 C값인 0.0~0.2의 범위를 가진 것으로 나타났고, 그 다음 28.2%(2793.0 km<sup>2</sup>)가 0.2~0.4의 C값을 가진 것으로 분석되었다. Fig. 5는 금강유역내 잠재적 C값의 분포도를 보이고 있다.

### 3.5. 토양보전대책인자(P)

토양보전대책인자(P)는 경사별 농경지에서의 토양침식의 영향을 평가하기 위한 인자이다. 농경지는 경작의 형태에 따라 등고선 경작, 등고선대상 경작, 테라스 경작으로 구분할 수 있는데, 우리나라의 경우 밭과 과수원은 주로 등고선 경작, 경지정리 답은 계단식의 테라스경작, 그리고 미경지정리 답은 등도선 대상경작으로 구분할 수 있다(박, 2003).

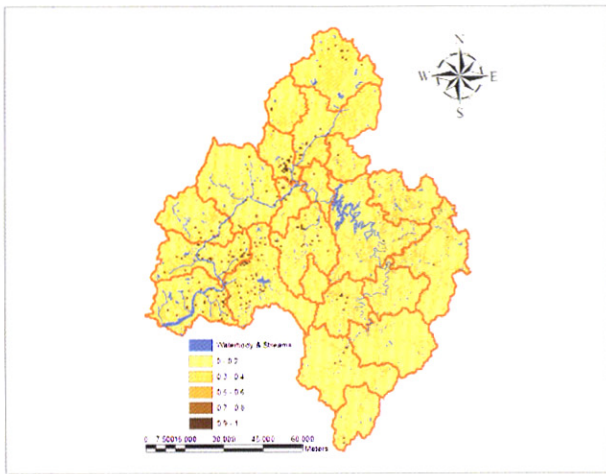


Fig. 6. Cover-management factor (C) estimation distribution in the Geum River Basin.

Table 5. Area distribution for each cover-management factor (C) class in the Geum River Basin

C-Value	Area (Km <sup>2</sup> )	%
0.0~0.2	6991.7	70.6
0.2~0.4	2793.0	28.2
0.4~0.6	0.0	0.0
0.6~0.8	0.0	0.0
0.8~1.0	123.8	0.1
Sum	9908.4	100.0

Table 6. Support practice factor (P) values assigned for slope classes

Slope (% slope)	P	Slope (% slope)	P
1~2	0.6	13~17	0.7
3~5	0.5	18~20	0.8
6~8	0.5	21~25	0.9
9~12	0.6	> 25	1

Table 7. Area distribution for each support practice (P) class in the Geum River Basin

P-Value	Area (Km <sup>2</sup> )	%
0.0~0.2	7115.5	71.8
0.2~0.4	0.0	0.0
0.4~0.6	530.1	5.3
0.6~0.8	1742.1	17.6
0.8~1.0	520.7	5.3
Sum	9908.4	100.0

본 연구에서는 환경부에서 인공위성영상을 이용하여 작성한 정밀 토지이용도(1:25,000)에서 농경지로 구분한 지역을 추출한 후, 정 등(2002)의 연구에서 제시된 경사도별 P값을 기준으로 분석하였다(Table 6 참조).

침식조절인자의 분석결과(Table 7 참조)를 살펴보면, 유역내 71.8%인 7115.5 km<sup>2</sup>의 지역이 0.0~0.2의 P값의 범위를 가진 것으로 나타났고, 그 다음으로 1742.1 km<sup>2</sup> (17.6%)의

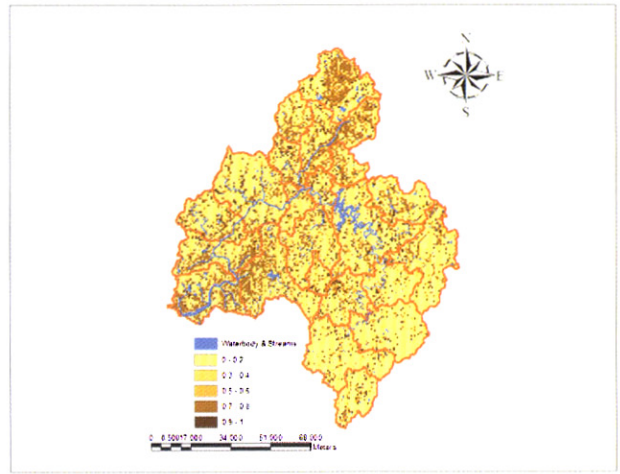


Fig. 7. Support practice factor (P) estimation distribution in the Geum River Basin.

지역이 0.6~0.8의 P값의 범위를 가진 것으로 나타났다. Fig. 7은 금강유역내 P값의 분포현황을 보여준다.

### 3.6. 토지이용별 연평균 토사유출량 예측

각 인자의 주제도를 곱하여 금강유역 연평균 토사유출량을 추정하였다. Fig. 8에서 보면, 금강유역은 대체적으로 적은 연평균 토사유출량을 가진 것으로 분석되었다. 이와 같은 결과는 상대적으로 낮은 지형변화에 크게 기인하는 것으로 사료된다. 토지이용별 연평균 예측 토사유출량(Table 8 참조)을 살펴보면, 전체 토지이용면적의 8.2% (816.6 km<sup>2</sup>)에 해당하는 밭이 가장 많은 53.6 ton/ha/year의 연평균 예측 토사유출량을 가지고 있는 것으로 나타났다. 다음으로 전체 토지이용의 20% (1886.6 km<sup>2</sup>)에 해당하는 논이 33.5 ton/ha/year의 연평균 예측 토사유출량을 가지고 있는 것으로 분석되었다. 이에 반해서 전체 유역면적의 61.8% (6126.6 km<sup>2</sup>)를 차지하는 산림은 2.8 ton/ha/year의 예측 토사유출량을 가진 것으로 나타났다. 산림지역의 토양유실량을 국내 타지역에 적용한 RUSLE 추정치와 비교하면 김 등(2003)이 금강 무심천에 유역에 적용하여 산정한 21.7 ton/ha/year보

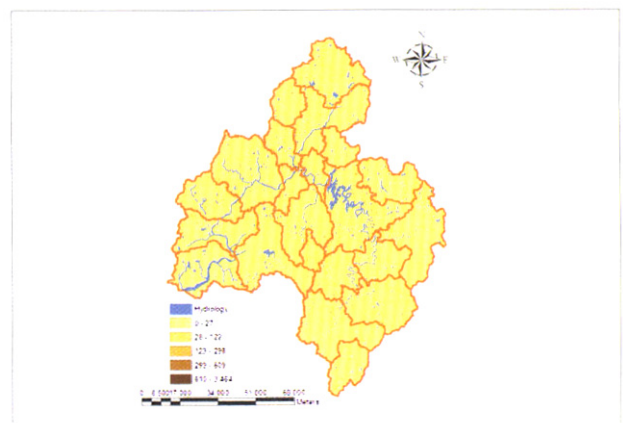


Fig. 8. Annual average soil loss estimation distribution in the Geum River Basin.

**Table 8.** Estimation of annual average soil loss for each land uses in the Geum River Basin

Land use	Area (km <sup>2</sup> )	%	Predicted Soil Loss (ton/ha/year)
Water plain	135.1	1.4	0.2
Urban area	419.3	4.2	2.3
Bare field	126.1	1.3	2.4
Wet land	3.2	0.0	2.1
Grass field	301.1	3.0	4.7
Forestry	6126.6	61.8	2.8
Rice paddy field	1986.6	20.0	33.5
Crop field	816.6	8.2	53.6
Sum	9914.4	100.0	

다 낮은 값을 나타내었고, 연(1999)이 강원시 사천천 유역에 적용하여 산정한 0.1 ton/ha/year보다 높은 값을 보였다. 이러한 추정값의 차이는 유역의 지형적인 특성에 크게 기인하고, 아울러 대상 유역에 농경지가 포함되는 정도에 따라 토양보전인자(P)값 산정시 많은 차이가 발생하기 때문으로 생각된다. 본 연구에 의하면 논, 밭의 토양유실 추정량이 상당히 높으므로 수질보호를 위하여 농경지의 토양유실 방지를 위한 노력이 필요하다. 또한 토사 유출량의 추정치를 이용하여 부유물질과 결합한 오염물질 배출량을 추정하거나, 퇴적물의 발생량 추정에 응용할 수 있는 등 유역 수질관리에 활용할 수 있다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 금강유역 전체를 대상으로 토사유실방지 및 표토보전을 위한 체계적인 정책수립을 위한 기초자료로서 유역내 잠재적 토사유출량을 산정하였다. 토사유출량 산정 모델로 RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)을 사용하였고, 상용 GIS소프트웨어인 ArcGIS 8.3을 사용하여 데이터를 처리하였다. 연구를 위해 수집한 데이터를 사용하여 분석에 필요한 주제도를 구축한 후, 토양유실량 예측모형을 이용한 잠재적인 토양유실량을 예측하였다.

토지이용별 연평균 예측 토사유출량을 살펴보면, 전체 토지이용면적의 8.2% (816.6 km<sup>2</sup>)에 해당하는 밭이 가장 많은 53.6 ton/ha/year의 연평균 예측 토사유출량을 가지고 있는 것으로 나타났다. 다음으로 전체 토지이용의 20% (1886.6 km<sup>2</sup>)에 해당하는 논이 33.5 ton/ha/year의 연평균 예측 토사유출량을 가지고 있는 것으로 분석되었다. 이에 반해서 전체 유역면적의 61.8% (6126.6 km<sup>2</sup>)를 차지하는 산림은 2.8 ton/ha/year의 토사를 유출하는 것으로 예측되었는데, 이는 전반적으로 평탄한 지형을 가진 유역의 지형적인 특성에 크게 기인하고, 아울러 P값 산정시 농경지위주의 계산법으로 인해 상대적으로 낮은 연평균 예측 토사유출량이 산정된 것이라고 사료된다.

#### 참고문헌

- 국립방재연구소, *개발에 따른 토사유출량 산정에 관한 연구 (1)* (1998).
- 금강유역환경청, *금강이야기* <http://gg.me.go.kr/river/story.html> (accessed Dec 2005).
- 김기성, 허성구, 정영상, 김지만, 임경재, 홍천군 산지농업지대의 토양침식취약성 분석, *농촌계획*, **11**(2), pp. 51-57 (2005).
- 김상민, 임상준, 박승우, 농촌유역의 산림지 면적 감소에 따른 유역 토양유실량 변화 추정, *농촌계획*, **10**(1), pp. 19-26 (2004a).
- 김주훈, 김경탁, 연규방, GIS를 이용한 토양침식 위험지역 분석, *한국지리정보학회지*, **6**(2), pp. 22-32 (2003).
- 김주훈, 오덕근, 빈도별 R인자에 의한 토양침식 위험지역 분석, *한국지리정보학회지*, **7**(2), pp. 47-56 (2004b).
- 박경훈, GIS 및 RUSLE 기법을 활용한 금호강 유역의 토양침식 위험도 평가, *한국지리정보학회지*, **6**(4), pp. 24-36 (2003).
- 양인태, 박재훈, 천기선, 산불발생지역에서의 토양유실량에 관한 연구, *한국지형공간정보학회지*, **11**(2), pp. 11-16 (2003).
- 연제철, *GIS를 이용한 농경유역의 토양유실량 평가*, 관동대학교 대학원 환경공학과 석사학위 논문, p. 59 (1999).
- 오정학, 정성관, 토지자원관리를 위한 낙동강 유역의 잠재적 토양유실량 산정, *농촌계획*, **11**(2), pp. 9-19 (2005).
- 이규성, 산림유역의 토양유실량 예측을 위한 지리정보시스템의 범용토양유실(USLE)에의 적용, *한국임학회지*, **83**(3), pp. 322-330 (1994).
- 이근상, 이환주, 임승현, 조기성, GIS를 활용한 토양침식모형에서의 지형인자의 영향분석, *대한토목학회지*, **21**(4-D), pp. 545-554 (2001).
- 이근상, 장영률, 조기성, 토양침식량 산정에서 토양도축적에 따른 적정 해상도 분석에 관한 연구, *한국지리정보학회지*, **6**(3), pp. 1-10 (2003).
- 장갑수, *지속가능한 농촌경관자원 관리를 위한 토지평가*, 경북대학교 박사학위논문 (2004).
- 장영률, 이근상, 조기성, GIS기반에서 토양침식의 정량화를 위한 해상도 결정에 관한 연구, *한국GIS학회지*, **10**(2), pp. 301-316 (2002).
- 정승권, 김만식, 김주훈, GIS를 이용한 담수로 유입 토사 유출량 산정, *한국수자원학회 학술발표회 논문집* (2002).
- Erskine, W. D., Mahmoudzadeh, A. and Myers, C., Land Use Effects on Sediment Yields and Soil Loss Rates in Small Basins of Triassic Sandstone Near Sydney, NSW, Australia, *Catena*, **49**, pp. 271-287 (2002).
- Fu, G., Chen, S. and McCool, D. K., Modeling the Impacts of No-Till Practice on Soil Erosion and Sediment Yield with RUSLE, and SEDD, and ArcView GIS, *Soil and Tillage Research*, **85**, pp. 38-49 (2006).
- Lewis, L. A., Verstraeten, G. and Zhu, H., RUSLE Applied in a GIS Framework: Calculating the LS Factor and Deriving Homogeneous Patches for Estimating Soil Loss, *International Journal of Geographical Information Science*, **19**(7), pp. 809-829 (2005).
- Lim, K. J., Sagong, M., Engel, B. A., Tang, Z., Choi, J. D. and Kim, K. S., GIS-Based Sediment Assessment Tool, *Catena*, **64**, pp. 61-80 (2005).
- Ryan, P., Murphy, S. and McKenzie, N. J., Assessing Soil

- Erosion Hazard for Australian Forest Management, *Forest and Wood Products Research and Development Corporation*, (2003).
- Stolpe, N. B., A Comparison of the RUSLE, EPIC, and WEPP Erosion Models as Calibrated to Climate and Soil of South-Central Chile, *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant*, **55**, pp. 2-8 (2005).
- Toxopeus, A. G, *ISA: An Interactive Spatial and Temporal Modeling System as a Tool in Ecosystem Management*, Ph.D. Thesis, ITC. (1996).
- Tran, L. T., Ridgley, M. A., Duckstein, L. and Sutherland, R., Application of Fuzzy Logic-Based Modeling to Improve the Performance of the Revised Universal Soil Loss Equation, *Catena*, **47**, pp. 203-226 (2002).
- Tuan, L. T. and Shibayama, T., Application of GIS to Evaluate Long-Term Variation of Sediment Discharge to Coastal Environment, *Coastal Engineering Journal*, **45**(2), pp. 275-293 (2003).
- Van Remortel, R. D., Maich, R. W. and Hickey, R. J., Computing the LS Factor for the Revised Universal Soil Loss Equation through Array-based Slope Processing of Digital Elevation Model data Using C++ Executable, *Computers and Geosciences*, **30**(9-10), pp. 1043-1053 (2003).
- Wischmeier, W. H. and Smith, D. D., *Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning: Agricultural Handbook No. 537*, U.S. Department of Agriculture Science and Education Administration, Washington, D.C., U.S.A., p. 163 (1978).