

한국토양유실량 및 토양유실위험 지역 분석

김 주 훈* · 김 경 탁** · 이 효 정***

Analysis of Korea Soil Loss and Hazard Zone

Joo-Hun Kim* · Kyung-Tak Kim** · Hyo-Jeong Lee***

요 약

본 연구는 전국 토양유실분포도와 토양유실위험 등급도를 작성하는 것을 목적으로 하였다. 토양유실분포도는 RUSLE를 이용하였고, 강우-유출 침식성인자(R)는 기상청의 59개 기상관측소의 1977년부터 2006년까지(30년간)의 강우량 자료를 이용하여 산정하였다. 빈도분석은 FARD를 이용하였고, 전국 R인자를 빈도별로 산정하였다. 전국 R인자 분석에서 낙동강 유역이 가장 작은 값을 한강유역이 큰 값을 갖는 것으로 분석되었다. 토양유실량 분석결과 토지피복별로 초지, 나지 밭의 크기 순서로 토양유실이 발생하고, 전체적으로 약 17.2ton/ha 정도의 토양유실이 발생하는 것으로 분석되었다. 단위면적당 평균토양유실량은 나지와 초지에서 많은 토양유실이 발생하고 있다. 5년빈도 강우특성에서 전체 토양유실량은 15,000여 톤의 토양유실이 발생하는 것으로 나타났다. 토지피복별 면적비를 고려하면 논, 산림, 밭작물 재배지역에서 많은 토양유실이 발생하는 것으로 분석되었다. 토양유실 위험 등급도 작성은 토양유실위험 등급을 5개 등급으로 구분하여 수행하였다. 분석결과 토양유실위험 2등급인 보통지역이 전체 토양유실량 위험지역의 78.2%로 가장 많은 부분을 차지하고 있으며, 심각한 토양유실 위험지역은 분석지역 전체 중에서 약 1.1%인 1,038km²정도인 것으로 분석되었다. 토지피복별로 심각한 토양유실 위험지역은 나지, 초지, 밭작물 재배지역의 순으로 각각 93.5km², 168.1km², 327.4km² 정도가 심각한 등급의 토양유실 위험지역으로 분석되었다.

주요어 : 수정토양손실공식, 강우에너지인자, 토양유실량, 토양유실 위험지역

ABSTRACT : This study accomplished to draw a soil erosion map and a grade map of soil loss hazard in Korea. RUSLE and Rainfall-runoff (R) factor, which was estimated by using the rainfall data observed in 59 meteorological stations from 1977 to 2006 (for 30 years). FARD was used to analyze the frequency, and the whole country R factor was estimated according to the frequency. In the analysis of estimating the whole country R factor, Nakdong river has the smallest value, but Han river has the biggest value. According to the result of analyzing soil loss, soil loss occurred in a grass land, a bare land and a field in size order, and also approximately 17.2 ton/ha soil loss happened on the whole area. The average soil loss amount by the unit area takes place in a bare land and a grass land a lot. The total amount of soil loss in 5-year-frequency rainfall yields 15,000 ton and, what is more, a lot of soil loss happens in a paddy field, a forest and a crop field. The grade map of soil loss hazard is drawn up by classifying soil loss hazard grade by 5. As a result of analyzing soil loss, the moderate area which is the soil loss hazard grade 2 takes up the largest part, 72.8% of the total soil loss hazard area, on the contrary, the severe soil loss hazard area takes up only 1,038km² (1.1%) of the whole area. The severe soil loss hazard area by land cover shows 93.5km² in a bare land, 168.1km² in a grass land and 327.4km² in a crop field respectively.

Keywords : RUSLE, Rainfall erosivity factor, Soil Loss, Soil Loss hazard zone

*한국건설기술연구원 수자원·환경연구본부 수자원연구실 선임연구원(jh-kim@kict.re.kr)

**한국건설기술연구원 수자원·환경연구본부 수자원연구실 책임연구원(ktkim1@kict.re.kr)

***한국건설기술연구원 수자원·환경연구본부 수자원연구실 연구원(Lhj@kict.re.kr)

1. 서 론

자연적인 침식현상과 달리, 농경지나 도시, 도로개발 등 인간의 활동은 자연적인 침식보다 훨씬 큰 침식을 유발하며, 이를 가속화된 침식현상이라 한다. 개발사업은 자연상태가 아니라도 논이나 밭 등 오랫동안 경작하여 안정된 지표면의 토양 및 식생상태를 급속히 변화시킨다. 이러한 경우 같은 조건의 비가 오더라도 토양손실은 그 전보다 적게는 몇 배 많게는 몇 만배 이상 급속히 증가한다(Goldman 등, 1986).

침식된 토사는 결국 개발지역 하류로 이송되어 하류 하천이나 저수지, 호수를 탁하게 만들고, 바닥에 퇴적된다. 특히 부유사의 형태로 이송된 점토나 실트 등 미립 토사는 장시간에 걸쳐 하류 수역의 탁도를 증가시켜 음용수 취수 수질문제는 물론 수환경을 악화시켜 생태 서식처에 직접적인 피해를 준다.

외국의 연구자들은 우리나라의 토양유실량을 Walling과 Webb(1983)은 500-750t/km²/yr로, Lvovich(1991)은 1000-5000t/km²/yr 추정하고 있으나 정확하게 얼마정도 발생하느냐에 대한 구체적인 실측자료는 없는 상황이다.

국내의 토양침식 위험도 평가에 관한 연구에서 김주훈 등(2003)은 RUSLE 모형을 이용하여 지면경사 20도 이상이고 토사발생량이 300ton/ha·yr 이상인 지역을 침식위험지역으로 평가한 바 있으며, 박경훈(2003)은 토양침식의 위험도에 따른 분류등급을 4등급으로 분류하여 토양침식의 분류등급별 분포특성을 분석한 바 있고, 박인환 등(2006)은 토양 및 지형조건에 따른 토양침식 잠재성 분석을 실시한 바 있다.

본 연구에서는 현재 가용한 공간자료를 이용하여 한국 토양유실도를 작성하고, 이를 바탕으로 Gupta(2001)가 제시한 토양유실 등급도를 작성하여 토지피복별에 따른 토양유실 위험지역을 분석하는 것을 목적으로 하고 있다.

2. 토양유실량 분석

USLE 모형은 농업지역의 토양유실량을 산정하기 위하여 Wischmeier와 Smith(1965)에 의해 강우에 의한 토립자의 이탈 및 운송에 의한 개념을 기초로 하여 처음 제안하였다. USDA(1996)는 개발목장이나 삼림과 같은 실험 지점 이외의 토양조건에 대한 토양유실량 산정을 위해 기후인자의 수정, 계절적 변화에 대한 토양의 침식성 인자의 개발, 사면의 길이 및 경사에 대한 수정과 피복식생인자를 산정하는 새로운 계산과정의 개발 등을 추가한 개정범용토양손실공식(RUSLE ; Revised

Universal Soil Loss Equation)을 발표하였다.

RUSLE는 모의 강우와 실제 유출 자료 및 침식이론으로부터 파생된 경험식이며, 광범위한 지역까지 적용할 수 있는 모형으로 다음식과 같다.

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

여기서 A는 강우-유출 침식성 인자(R)의 해당기간 중 단위면적에서 침식되는 토양유실량(ton/ha/yr), R은 강우-유출 침식성 인자(rainfall-runoff erosivity factor), K는 토양침식성 인자(soil erodibility factor), LS는 지면특성 인자(slope-length and steepness factor, L은 침식 경사면의 길이, S는 침식 경사면의 경사), C는 식생피복 인자(cover management factor)이며, P는 토양보존 인자(support practice factor)이다.

2.1 강우유출 침식성 인자(R:Rainfall-runoff erosivity factor)

빈도별에 따른 R인자를 산정하기 위한 강우량 자료는 기상청의 58개 관측소를 대상으로 1977년부터 2006년의 30년간의 강우량 자료를 수집하여 1시간 최대에서 24시간 최대강우량 자료를 추출하고 30분 강우강도는 지역적설계강우의 시간적 분포(건설교통부, 2000)의 계수를 이용하여 국립방재연구소에서 개발한 FARD(Frequency Analysis of Rainfall Data)를 사용하였다.

빈도분석에 이용한 분포형은 Normal, Gamma2, Log-Normal 등 12개의 방법을 적용하였고, K-S, χ^2 검정, 그리고 CVM검정을 통해 적합도 분석을 수행하여 2변수 대수정규 분포에 의해 모든 기상관측소의 자료를 빈도분석하였고, 이 자료를 바탕으로 5년빈도의 R인자를 <표 1>과 같이 산정하였다.

유역별 R값을 분석 결과 한강유역의 평균 R값이 377.3로 가장 크고 섬진강, 영산강, 금강 및 낙동강 유역의 평균 R값은 각각 332.2, 324.7, 322.3 및 254.1 (J/ha·mm/hr)로 분석되었다.

2.2 공간특성인자

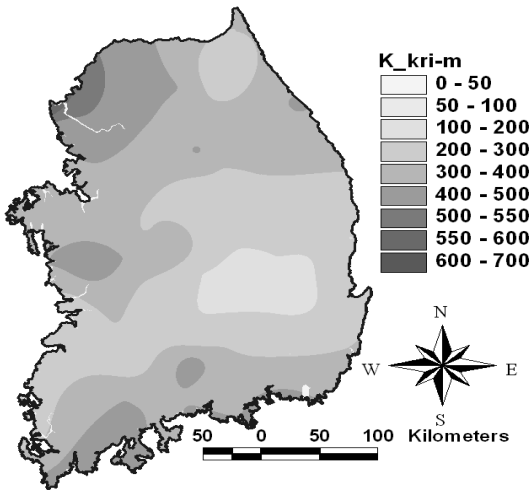
토양유실도 작성을 위한 기본공간자료는 지형분석을 위한 DEM, 토양이 강우에 의한 침식에 저항하는 능력을 나타내는 K 값을 산정하기 위한 토양도, 그리고 지표면의 피복상태를 나타내는 토지피복도자료가 필요하다. 이들 기본공간자료 중 지형특성을 분석하기 위한 DEM 자료는 USGS의 Level-2 자료를 이용하였다. 토양의 구성성분, 유기물함량, 토양의 구조, 및 투수성 등

한국토양유실량 및 토양유실위험 지역 분석

<표 1> 빈도별 강우에너지 인자R(J/ha·mm/hr)

관측소 번호	관측소명	2년	3년	5년	10년	20년	30년	50년	70년	80년	100년	150년	200년
090	속초	144	212	305	450	621	734	892	1,005	1,053	1,135	1,295	1,416
100	대관령	170	255	374	565	795	947	1,163	1,322	1,387	1,501	1,724	1,893
101	춘천	158	217	293	405	528	607	714	787	819	870	971	1,044
105	강릉	148	253	421	727	1,140	1,442	1,892	2,236	2,385	2,648	3,178	3,598
108	서울	243	343	476	676	906	1,054	1,257	1,402	1,461	1,564	1,761	1,912
112	인천	194	281	400	584	797	936	1,131	1,269	1,328	1,427	1,620	1,766
114	원주	202	291	412	597	811	951	1,144	1,282	1,339	1,438	1,630	1,775
115	울릉도	96	136	189	268	358	415	494	551	574	614	691	748
119	수원	200	290	413	603	823	967	1,167	1,310	1,371	1,473	1,673	1,825
127	충주	126	179	251	361	485	568	680	760	792	850	960	1,044
129	서산	163	235	332	482	654	768	925	1,040	1,086	1,167	1,324	1,443
130	울진	163	235	332	482	654	768	925	1,040	1,086	1,167	1,324	1,443
131	청주	158	216	292	403	525	602	708	780	811	861	961	1,034
133	대전	219	297	395	538	693	791	922	1,014	1,050	1,114	1,237	1,327
135	추풍령	111	149	196	265	338	385	445	488	506	535	593	634
138	포항	103	175	289	495	771	970	1,268	1,494	1,591	1,765	2,112	2,388
140	군산	135	188	259	364	481	557	659	732	763	815	912	986
143	대구	106	146	198	275	360	415	488	540	561	597	666	718
146	전주	158	223	310	439	586	682	810	904	940	1,006	1,132	1,227
152	울산	136	203	296	445	621	740	905	1,026	1,075	1,162	1,333	1,462
156	광주	179	250	345	486	645	747	887	986	1,027	1,097	1,231	1,332
159	부산	193	279	398	581	794	933	1,126	1,266	1,324	1,423	1,615	1,762
162	통영	181	272	400	606	852	1,018	1,251	1,420	1,491	1,615	1,857	2,041
165	목포	135	188	258	362	480	556	659	732	762	813	913	986
168	여수	176	232	303	405	513	581	670	733	758	801	883	943
170	완도	221	331	487	737	1,036	1,238	1,520	1,728	1,814	1,963	2,257	2,480
184	제주	182	266	383	566	779	920	1,116	1,258	1,317	1,420	1,615	1,766
189	제주고	238	324	436	599	779	892	1,046	1,153	1,197	1,273	1,415	1,523
192	진주	177	236	309	414	527	598	692	756	783	828	913	976
201	강화	269	411	617	950	1,356	1,632	2,023	2,312	2,432	2,642	3,053	3,372
202	양평	197	276	383	545	728	846	1,008	1,124	1,170	1,254	1,411	1,531
203	이천	177	251	352	503	676	790	944	1,053	1,100	1,177	1,328	1,442
211	인제	111	159	226	326	443	520	625	700	731	785	890	969
212	홍천	164	229	317	446	595	690	819	911	950	1,016	1,141	1,236
221	제천	164	222	295	401	517	590	689	757	786	834	925	993
226	보은	164	252	380	592	850	1,029	1,281	1,468	1,546	1,684	1,953	2,161
232	천안	182	248	334	457	594	681	797	879	913	969	1,079	1,160
235	보령	206	292	407	583	783	912	1,090	1,218	1,271	1,362	1,536	1,667
236	부여	208	312	459	694	975	1,166	1,433	1,627	1,709	1,850	2,125	2,336

238	금산	152	200	260	345	436	492	567	618	639	675	743	793
243	부안	123	161	210	278	352	396	456	498	514	543	597	636
244	임실	142	187	244	323	409	462	533	582	602	636	700	749
245	정읍	136	186	253	351	460	529	623	691	717	764	854	920
247	남원	142	189	249	334	425	483	560	613	636	672	744	797
256	순천	199	287	408	594	809	949	1,146	1,287	1,344	1,446	1,640	1,786
260	장흥	205	303	439	654	909	1,077	1,315	1,486	1,557	1,683	1,924	2,107
261	해남	179	259	369	541	741	872	1,054	1,186	1,241	1,335	1,518	1,656
262	고흥	219	331	490	746	1,058	1,266	1,564	1,779	1,871	2,028	2,336	2,573
265	성산포	292	407	559	784	1,037	1,199	1,420	1,575	1,638	1,749	1,961	2,118
272	영주	142	200	277	391	522	605	719	801	834	891	1,003	1,085
273	문경	131	168	212	272	334	372	421	456	470	492	537	568
277	영덕	100	142	199	285	384	447	536	598	624	669	754	819
278	의성	103	145	199	281	372	431	512	568	591	633	709	767
279	구미	103	135	175	232	292	329	379	413	426	450	494	526
281	영천	97	129	170	228	289	329	380	416	431	456	503	538
284	거창	125	167	221	298	380	433	503	550	570	605	667	715
285	합천	158	221	303	426	564	653	773	858	894	954	1,069	1,155
288	밀양	148	211	296	424	572	667	798	892	930	997	1,127	1,222
289	산청	234	333	468	673	906	1,058	1,267	1,416	1,477	1,583	1,788	1,942
294	거제	271	393	565	832	1,146	1,354	1,647	1,855	1,943	2,097	2,391	2,614
295	남해	256	354	482	670	879	1,011	1,193	1,320	1,371	1,463	1,632	1,761



[그림 1] R인자(5년 빈도)

토양 특성을 나타내는 토양도는 농업과학기술원의 정밀토양도(1/25,000) 자료를 이용하였고, 지면피복자료는 WAMIS의 2000년 토지피복도 자료를 이용하였다.

<표 2> 입력인자로 사용된 수치공간자료

자료구분	자료원	해상도(축척)
DEM	USGS Level-2	1sec/grid
유역경계도	DEM으로부터 추출	30×30m
토지피복도	국토해양부 토지피복도(2000년)	30×30m
토양도	정밀토양도	1/25,000

이들 자료를 이용하여 RUSLE의 공간특성인자를 산정하였으며, 유역별 강우-유출 침식성인자 및 공간특성인자는 <표 4>와 같다.

1) 토양침식성 인자(K)

K인자는 토양이 강우에 의한 침식에 저항하는 능력을 나타내는 척도로서, 토양입자, 분포, 구조, 공극크기 및 유기물 함량 등에 관계된다. 토양유실에 영향을 미치는 중요한 물리적 특성은 투수능력과 토양입자의 구조적인 안정성이다. 투수능력은 입자의 구조적인 안정성에 의해 가장 크게 영향을 받으며, 유기물 함량, 토양조

직, 점토광물의 함량과 종류, 토양의 깊이, 지표면의 기복 정도 투수 능력에 영향을 미친다.

K 인자는 정밀토양도(1/25,000)를 이용하였고, 우효섭 등(1988)의 토양통별 K값을 적용하였다.

2) 사면경사인자(S) 및 사면 길이인자(L)

지형학적 특성을 나타내는 인자는 세류 및 세류간 침식에 미치는 영향을 반영하고 있는 L과 S를 이용하여 산정한다.

본 연구에서는 유역 지형특성에 관계되는 인자(LS)는 DEM 자료에 대하여 Remortel 등(2001)에 의해서 ArcInfo의 AML(Arc Macro Language)로 개발된 LS 인자 산정 프로그램을 사용하여 계산하였다.

3) 식생피복인자(C)

C인자는 경작의 종류와 식생의 상태 등에 따라서 달라지는 인자로 식생이 성장하기 전의 나대지지역에서는 약 1.0의 높은 값을 가진다. 그러나 산림이 밀집된 지역이나 곡물의 밀도가 높은 지역에서는 0.1이하로 낮은 값을 갖는다.

Dawen 등(2003)은 C인자와 관련하여 <표 3>과 같이

<표 3> 토지피복별 C, P인자

토지피복	C Factor(신계종)	P Factor
도시지역	0.1	1.0
나대지	0.35	1.0
산림	0.001(0-0.1)	1.0
밭	0.5(0.3-0.4)	0.5
논	0.1(0.2-0.3)	0.5
초지	0.2(0.1-0.2)	1.0
습지	0.05	1.0
수역	0.01	1.0

(Dawen 등, 2003; 신계종, 1999)

<표 4> 각 유역별에 따른 인자별 평균값
(단위 : R(J/ha·mm/hr))

인자 유역	R	K	LS	C	P
한 강	377.3	0.249	7.577	0.072	0.922
낙동강	254.1	0.263	7.053	0.098	0.870
금 강	322.3	0.270	5.766	0.115	0.859
영산강	324.7	0.309	4.411	0.145	0.802
섬진강	332.2	0.256	7.474	0.076	0.906
전 체	316.3	0.270	6.439	0.105	0.870

제시하고 있다. 또한 신계종(1999)은 각 토지피복별로 <표 3>과 같이 일정한 범위의 값을 적용하여 토양유실량을 산정하였다. 본 연구에서는 Dawen 등(2003)이 제시한 값을 기본으로 하여 토양유실량을 산정하였으나 산림지역의 경우에는 신계종(1999)이 제시한 값과의 중간값인 0.01을 채택하여 토양유실량 산정에 적용하였다.

4) 토양보존인자(P)

P인자는 어떤 토양보존대책을 세운 경사면의 상하방향 경사지로부터의 토양보존대책에 대한 토양유실의 비로 정의한다.

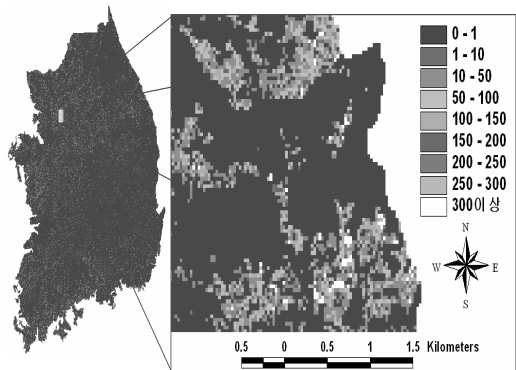
이 인자는 경작지 형태와 더불어 경사에도 영향을 받게 되며, 토지피복형태별에 따른 P값을 Dawen 등(2003)이 제시한 자료를 이용하였다.

2.3 토양유실량 분석

기상청 59개 기상관측소의 1977년부터 2006년까지의 30년간의 자료를 이용하여 우리나라의 전국 R값을 빈도별로 산정하였다. 빈도분석은 2년, 3년 5년,...200년까지 산정하였고 DEM, 정밀토양도, 토지피복도를 이용하여 RUSLE의 각 인자별 주제도를 작성하였다.

작성된 주제도를 바탕으로 [그림 2]와 같이 5년빈도의 한국토양유실량 분포도를 작성하였다. 작성된 한국토양유실량 분포 분석결과 토지피복별로 초지, 나지 밭의 순서로 평균 70.7, 66.7, 49.5ton/ha의 토양유실이 발생하고, 전체적으로 약 17.2ton/ha 정도의 토양유실이 발생하는 것으로 분석되었다.

단위면적당 평균토양유실량 분석에서 나지와 초지에서 많은 토양유실이 발생하고 있으나, 5년빈도 강우 특성에서 전체 토양유실량은 15,000여 톤의 토양유실이 발생하는 것으로 나타났다.



[그림 2] 토양유실량 분포(5년 빈도)

토지피복별 면적을 고려하면 논, 산림, 그리고 밭작물 재배지역에서 5,600톤, 3,867톤 및 2,962톤의 많은 토양유실이 발생하는 것으로 분석되었으며<표 5>, 한편, 토양유실량에 대한 정확도 검증을 위해서는 관측자료에 대한 자료가 절대적으로 필요하나 조홍래 등(2005)의 고랭지 경작지에서의 토양유실 평가와 같이 일부 연구에서 사례 연구 정도로 국한하여 토양유실량에 대한 검증을 수행한 바 있다.

<표 5> 토지피복별 토양유실량(5년빈도)

토지피복	면적 (km ² (%))	평균유실량 (ton/ha)	총유실량 (ton)
수역	1,217 (1.37)	0.0	0.0
도시지역	3,476 (3.90)	17.7	617
나지	999 (1.12)	66.7	666
습지	54 (0.06)	6.0	3
초지	1,991 (2.24)	70.7	1,408
산림	59,007 (66.26)	6.6	3,867
논	16,320 (18.33)	34.3	5,600
밭	5,983 (6.72)	49.5	2,962
전체	89,047 (100.0)	17.2	15,301

3. 토양유실 위험도 평가

토양침식 위험도 평가에 관한 연구에서 Gupta(2001)는 유역의 토양침식에 대하여 200ton/ha·yr인 지역을 심각한 지역(severe), 101~200ton/ha·yr을 위험지역(high), 51~100ton/ha·yr지역을 보통지역(moderate), 그리고 1~50ton/ha·yr을 미소침식지역(slight erosion)으로 토양침식량을 4등급으로 분류하여 토양침식 위험지역을 평가하였다.

Morgan(1995)은 토양침식 추정치 10ton/ha·yr를 농업 전문가가 관심을 가져야 될 적정 수준이라고 주장한 바 있다.본 연구에서는 Gupta(2001)가 제시한 4등급에서 미소침식위험지역의 아래 등급인 1ton/ha·yr이하의 침식지역을 포함하여 5개 등급으로 구분하여 분석을 수행하였다. 분석결과 <표 6>에서 보는바와 같이 토양유실 위험 등급 2등급인 보통지역이 전체 토양유실량 위험지역의 78.2%로 가장 많은 부분을 차지하고 있으며, 심각한 토양유실 위험지역은 분석지역 전체 중에서 약 1.1%인 1,038km²정도인 것으로 분석되었다.

이 1,038km² 중 농경지 지역인 논지역의 면적이 426.7km²(41.1%), 밭작물 재배지역이 327.4km²(31.5%)로 심각한 토양유실위험지역의 면적 중 72.6% 정도를 차지하고 있는 것으로 분석되었다. 이외에도 초지가 16.2% 나대지가 9%, 도시지역이 2.2%의 순으로 심각한 토양유실위험지역으로 분석되었다.

토지피복별 토양침식 위험등급도 구분에서는 보통 등급의 토양유실 위험지역이 모든 토지피복분류에서 가장 많은 것으로 분석되었다. 또한 심각한 토양유실 위험지역은 나지, 초지, 밭작물 재배지역의 순으로 각각 93.5km², 168.1km², 327.4km² 정도가 심각한 등급의 토양

<표 6> 토지피복별 토양유실 위험 등급

(단위 : km²(%))

토지피복 \ 등급	class-1	class-2	class-3	class-4	class-5
수역	1,216.9(100.0)	-	-	-	-
도시지역	943.8(25.6)	2,388.3(64.9)	229.5(6.2)	97.5(2.6)	22.6(0.6)
나지	84.7(8.0)	634.6(60.0)	134.8(12.7)	110.7(10.5)	93.5(8.8)
습지	63.6(62.2)	35.8(35.0)	2.3(2.2)	0.5(0.5)	-
초지	159.5(7.9)	1,017.8(50.1)	379.5(18.7)	305.8(15.1)	168.1(8.3)
산림	7,205.0(12.2)	52,035.6(87.8)	44.5(0.1)	0.3(0.0)	-
논	2,628.0(15.5)	10,851.1(64.0)	1,925.2(11.4)	1,123.9(6.6)	426.7(2.5)
밭	671.6(10.9)	3,753.8(61.1)	792.7(12.9)	601.1(9.8)	327.4(5.3)
전체	12,973.0(14.3)	70,717.0(78.2)	3,508.6(3.9)	2,239.7(2.5)	1,038.3(1.1)

유실 위험지역으로 분석되었고, 토양유실위험등급의 공간적 분포는 [그림 3]과 같이 나타났다.

한편, 강상혁(2008)은 2006년 7월 강원도 인제지역의 집중 호우에 따른 부유토사 유출 특징을 분석하고 이에 따른 주민 대응 방법을 모색한 연구를 수행한 바 있어 토양유실위험지역 분석과 더불어 2차로 발생하는 토석류의 유출현상에 대한 연구도 함께 이루어져야 할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 현재 가용한 공간자료를 이용하여 한국토양유실도를 작성하고, 이를 바탕으로 토양유실 등급도를 작성하여 토지피복별에 따른 토양유실 위험지역을 분석하는 것을 목적으로 하고 있다.

토양유실량 분포 분석결과 토지피복별로 초지, 나지밭의 크기 순서로 토양유실이 발생하고, 전체적으로 약

17.2ton/ha 정도의 토양유실이 발생하는 것으로 분석되었다.

단위면적당 평균토양유실량 분석에서 나지와 초지에서 많은 토양유실이 발생하고 있으나, 5년빈도 강우 특성에서 전체 토양유실량은 15,000여 톤의 토양유실이 발생하는 것으로 나타났고, 실제로는 논, 산림, 그리고 밭작물 재배지역에서 많은 토양유실이 발생하는 것으로 분석되었다.

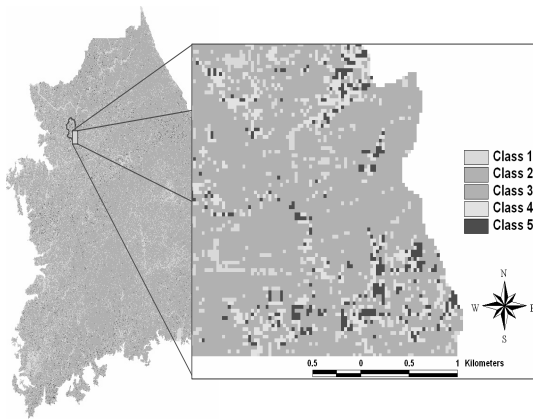
토양유실 위험 등급도 작성은 Gupta가 제시한 분류 등급과 미소침식위험지역의 아래 등급인 1ton/ha·yr이하의 침식지역을 포함하여 5개 등급으로 구분하여 분석을 수행하였다.

분석결과 토양유실위험 등급 2등급인 보통지역이 가장 많은 부분을 차지하고 있으며, 심각한 토양유실 위험지역은 분석지역 전체 중에서 약 1.1%정도인 것으로 분석되었다.

토지피복별 토양침식 위험등급도 구분에서 심각한 토양유실 위험지역은 나지, 초지, 밭작물 재배지역의 순으로 심각한 등급의 토양유실 위험지역으로 분석되었다.

토양유실량 평가에 대한 정확도 검증은 우선 토양유실에 대한 관측자료가 절대적으로 필요한 상황인데 우리나라의 경우 일부 연구에서 사례연구정도로 국한하여 토양유실량 자료를 실측하고 있는 상황이다. 따라서 본 연구의 정확도 검증 및 평가를 위해서는 각 토지피복별, 토양형별, 지형특성을 반영한 지속적인 모니터링이 수행되어야 할 것으로 사료된다.

향후에서는 작성된 한국토양유실도에 대한 정확도 향상을 위해 현재 사용된 USGS DEM자료과 WAMIS의 토지피복도 자료를 대체하여 환경부 DEM 및 중분류토지피복도 자료를 이용하고 농업과학기술원의 정밀토양도와 산림청의 산림입지도 등의 자료를 이용하여 K인자를 재산정할 계획이다. 또한 지면식생피복인자와 토양보존인자가 여러 연구자마다 각기 다른 값을 이용하는데 이에 대한 연구를 추가로 수행하고자 한다.



[그림 3] 토양유실 위험등급도

<표 7> 각 유역별에 토양유실량 위험 등급

(단위 : km²(%))

유역명 \ 등급	평균토양유실량 (ton/ha)	class-1	class-2	class-3	class-4	class-5
한 강	19.4	2,577.1	15,099.5	869.6	636.8	335.1(1.7%)
낙동강	12.3	3,154.9	15,099.5	670.2	334.6	124.1(0.6%)
금 강	14.9	1,288.8	7,783.6	468.9	272.0	101.6(1.0%)
영산강	19.7	837.9	2,300.6	159.8	115.6	55.5(1.6%)
섬진강	19.0	580.4	3,921.3	198.2	144.6	68.6(1.4%)
전 체	17.2	8,439.1	44,204.5	2,366.7	1,503.6	684.9(1.2%)

감사의 글

본 연구는 기초기술연구회의 일반연구사업(사업명: 위성자료 공공활용 연구, 과제명: 위성영상을 이용한 하천정보생산 및 활용에 관한 연구)과 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(과제번호 07국토정보C03)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

강상혁, 2008. 집중호우에 따른 부유토사 유출 특징 및 주민대응. 한국GIS학회지 16(1): 11-17.

김주훈, 김경탁, 연구방, 2003. GIS를 이용한 유역의 침식위험지역 분석. 한국지리정보학회지. 6(2): 22-32.

박경훈, 2003. GIS 및 RUSLE기법을 활용한 금호강 유역의 토양침식위험도 평가. 한국지리정보학회지. 6(4): 24-36.

박인환, 장갑수, 이근상, 서동조, 2006. 토양 및 지형조건에 따른 토양침식 잠재성 분석. 한국환경영향평가학회지 1(1): 1-12.

신계중, 1999. 지형공간정보체계를 이용한 유역의 토양유실 분석. 강원대학교 박사학위 논문.

우효섭, 김창완, 1998. 개발사업으로 인한 토양손실량 예측 및 침사지 설계. 제 6회 수공학워크샵 교재, 한국수자원학회, pp. I-10 ~ I-19.

조홍래, 정종철, 2005. RUSLE와 SEDD를 이용한 고령지 경작지로부터의 토양유실 평가, 한국GIS학회지 13(1): 79-90.

Dawen Yang, Shinjiro Kanae, Taikan Oki, Toshio Koike and Katumi Musiaka. 2006. Global potential soil

erosion with reference to land use and climate changes, Hydrological Processes 17: 2913-2928.

Goldman, S.J., K. Jackson, and T.A. Bursztynsky. 1986. Erosion and Sediment Control Handbook, Mc-Graw Hill, pp.5.1-5.32.

Gupta, H. S. 2001. Terrain Evaluation for Eco-Restoration using Remote Sensing and GIS. <http://agile.lsegi.unl.pt/conference/Brno2001/RemoteSensing.pdf>. pp.424-434.

Lvovich.M. I.,Karasik,G. Ya,Bratseva,N. L.,Medvedeva,G. P.&Meleschko,A. V. 1991. Contemporary intensity of the world and intracontinental erosion. Meshduvedomstv. Geophisich. Comitet pri Prisedeume Akad. Nauk SSSR, Moskva.

Morgan, R. P. C. 1995. Soil erosion and conservation. Longman Group Ltd. ISBN 0-582-24492-7. pp.198.

Remortel, V. R., M. Hamilton and R. Hickey(2001). Estimating the LS factor for RUSLE through iterative slope length processing of DEM elevatin data. Cartography 30(1): 27-35.

USDA. 1996. Predicting soil erosion by water : A Guide to conservation planning with the RUSLE, Agriculture Handbook #703.

Walling, D.E. 1983. The Sediment delivery problem. J.Hydro. 65, pp.209-237.

Wischmeier. W. H. and D.D. Smith. 1965. Predicting rainfall erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains. U.S. Dep. Agric., Agricultural Research Service. Agricultural Handbook. No.537.

접수일	(2009년 3월 11일)
최종수정일	(2009년 10월 5일)
게재확정일	(2009년 10월 7일)