J. Soil Groundw. Environ. Vol. 19(6), p. 30~36, 2014
http://dx.doi.org/10.7857/JSGE.2014.19.6.030
ISSN 1598-6438 (Print), ISSN 2287-8831 (Online)

≪ **Research Paper** ≫

미래기후변화를 반영한 금강 수변 구역에서의 표토 유실량 예측

이달희*・정성래
성지엔지니어링(주)

The Estimation of Soil Loss in the Buffer Zone of Guem River using a Simulation of Future Climate Change

Dal-Heui Lee*・Sung-Lae Chung
Sung Ji Engineering Co., Ltd.

ABSTRACT

The objective of this study is to estimate soil loss in the buffer zone of Guem river with future climate change simulation. Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) model was used for the estimation of soil loss at the buffer zone of Guem river. As results of simulations, the area of the maximum soil loss potential was estimated as the Cheongsung-myeon Okchun-gun Chungcheongbuk-do. The soil losses were estimated to be 106.67 and 103.00 ton/ha/yr for the 2020 segi (2015-2025) and 2040 segi (2035-2045) in the Cheongsung-myeon area, respectively. Also, the estimated average values of soil losses in the Cheongsung-myeon with future climate change was 110.78 ton/ha/yr.

Key words : Soil loss, Buffer zone, Guem river, Future climate change, RUSLE

1. 서 론

태풍과 집중호우로 농경지 등에서 토양 유실량이 증가하고 수계로 유입되는 토사가 수리 구조물을 불안정하게 만들고, 탁도를 증가시키며 토사에 흡착되어 있는 영양물질, 중금속, 탄화수소 등이 수생태계를 파괴하고 취수를 악화시키는 등 악영향을 끼쳐 사회적으로나 환경적으로 큰 문제가 발생할 것으로 예상 된다(Jang et al., 2002; Jung et al., 2005; Yoon et al., 2007).

유엔 산하 정부 간 기후변화 패널(IPCC) 4차 평가보고서에 따르면 지구온난화로 인해 홍수, 가뭄, 태풍 빈도가 증가하고 태풍이나 허리케인의 강도가 세지며, 고산 지대의 빙하와 해방 속도는 빨라져 북극해의 해빙은 늦여름에 거의 사라질 가능성이 높으며, 고위도 지방의 강우가 증가하고 아열대 육지에서는 감소할 것으로 예상되었다. 한반도는 열대 기후지역으로 바뀔 것이며 강수량의 경우 2000년 대비 2050년 15%, 2100년 17% 증가하며 8월과 9월 증가폭이 클 것으로 예상되고 있다. 시간당 강수량의 증가로 홍수, 산사태, 도시홍수 등도 증가할 것으로 예상하고 있다(Kim and Oh, 2004; Park and Kim, 2006).

미래기후변화에 대한 시나리오는 국제적으로 IPCC SRES(Special Report on Emissions Scenarios) 시나리오가 가장 많이 이용되고 있다. SRES 시나리오는 사회적, 경제적, 기술적, 환경적 그리고 정책적 측면에서 다양한 개발을 보여주는 스토리라인에 의해 분류된다. 그리고 4개의 스토리라인은 각각에 대한 기본 특성 및 추진력에 따라 모형화 및 정량화되어 40여개의 개별적인 시나리오로 발전되었다. 국내에서는 SRES의 다양한 시나리오 중 A1B 시나리오를 가장 많이 이용하고 있다(Lim et al., 2005). A1B 시나리오는 급속한 경제성장을 기반으로 한 시나리오이다. 인구의 증가율을 낮은 단계로 가정하고 기술 개발이 빠르다고 가정하였다. 또한 국가 간의 경제 및 문화적 차이가 수렴하고 국가 간 일인당 소득의 격차가 상당히 줄어든다는 가정 하에 모의되는 시나리오이다. 그리고 환경적 가치보다는 개개인의 이득을 추구할 것으로 가정한 시나리오이다.

*Corresponding author : dalheui@yonsei.ac.kr
Received : 2014. 7. 16 Reviewed : 2014. 9. 19 Accepted : 2014. 9. 21
Discussion until : 2015. 2. 28

본 연구의 목적은 미래기후변화를 반영한 금강 수계 수변구역에서의 표토 유실량을 예측하는데 있다. 미래기후변화를 반영한 금강 수계 수변구역에서의 표토 유실량을 예측하기 위하여, 미래기후변화에 따른 금강 수계 수변구역의 강수자료 구축 및 편이보정과, 2011년 12월 환경부에서 제시한 표토 유실량 산정 방법에 따라 RUSLE 모형을 이용 하였다.

2. 연구 방법

2.1. 미래기후변화에 따른 금강 수계 수변구역의 강수자료 구축 및 편이보정

기상청에서 제공하는 SRES 한반도 시나리오는 한반도를 2~4개의 격자로 표현하는 GCM과 달리 한반도를 27 km * 27 km 격자로 표현된 RCM(경위도 좌표)을 제공한다. 특히 GCM은 강우를 제공하지 않고 Convective Precipitation의 형태로 강수량을 간접적으로 제공하고 있는 반면에 RCM의 경우, 일 단위로 강수량을 제공하고 있다. 하지만 RCM은 GCM의 자료를 경계조건으로 사용함으로써 GCM의 오차가 RCM으로 전파되며, 이와 더불어 RCM의 지역 기후 모의에서도 한계가 있다. 따라서 RCM 자료를 활용하기 위해서는 RCM 자료의 편차를 보정하는 과정이 필요하다. 이에 편이보정(Bias-Correction) 법을 이용한 강우에 대한 보정이 필수적이다(Renard et al., 1997; Turnage et al., 1997).

본 연구에서는 금강유역 수변구역에 관한 미래기후변화에 따른 강수 자료를 구축하였다. 기후변화 시나리오는 기상청에서 제공하는 SRES A1B 시나리오를 이용하였으며, 편이보정을 위한 과거 실측 강수자료는 기상청에서 제공하는 1982년 ~2011년 실측 강수량을 활용하였다. A1B 한반도 시나리오에 금강유역 수변구역은 23개의 격자에 포함되며, 격자별 편이보정에 이용된 기상관측지점은 모두 12개이다. 특히 본 연구에서는 정밀한 편이보정을 위하여 격자별 가장 인접한 기상청의 실측 일강우량을 구축하여 편이보정을 하였기 때문에, 이렇게 편이 보정된 결과는 기후변화에 따른 표토 유실량 포텐셜 산정에 정확도를 향상 시킬 수 있다(Renard et al., 1997; Turnage et al., 1997).

2.2. USLE 모형 적용

본 연구에서는 기후변화에 따른 금강 수계 수변구역의 표토 유실량을 평가하기 위하여 2011년 12월 환경부에서 제시한 표토 유실량 산정 방법에 따라 USLE 모형을 이용하여 표토 유실량을 예측하였다. USLE 모형에서는 다음 식 (1)이 기본적인 공식이다.

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

식 (1)에서 A는 연간 토양유실량(ton/ha/year), R은 강우인자(Rainfall Energy Factor), K는 토양침식성인자(Soil Erodibility Factor), LS는 경사인자(Slope Length and Steepness Factor), C는 작물피복인자(Cover and Management Factor), P는 보전관리인자(Supporting Conservation Practice Factor)를 나타낸다. 강우인자의 단위는 MJ·mm / ha·yr·hr, 토양침식성인자의 단위는 Mg·hr / MJ·mm이며, 이외의 경사인자, 작물피복인자, 보전관리인자는 무차원이다.

본 연구에서는 USLE 입력 인자 DB를 구축하기 위하여 2009년 환경부 토지피복도, 국립농업과학원의 1 : 25,000 정밀토양도, 전국 수치지도 Digital Elevation Model (DEM) 10 m × 10 m 격자형 그리드를 사용하였다. 그리고 기후변화에 따른 표토 유실량 산정을 위하여 기상청에서 제공하는 SRES A1B 시나리오 미래기후 자료를 편이보정후 격자 그리드를 사용하여 R factor를 산정하였다. 이외 인자값은 환경부에서 제시한 예비조사지침에 따라 산정하였다. USLE 입력 인자 DB를 구축하는 방법은 다음과 같다.

2.3. R factor(강우인자)

본 연구에서는 환경부에서 제시한 예비조사지침에 따라 표토 유실량을 평가하고 기후변화에 따른 강우인자를 산정하기 위하여 기상청에서 제공하는 미래기후 격자 그리드를 사용하였다. 강우인자를 산정하기 위해서는 다음 식 (2)를 사용하였다.

$$R = 0.115 Y^{1.4947} \quad (2)$$

식 (2)에서 R은 강우인자를 나타내며, Y는 연 강수량 (mm)을 나타낸다. 본 연구에서는 위의 식을 사용하여 2015년 ~2025년 까지를 2020세기, 2035년 ~2045년 까지를 2040세기라 칭하고 각 세기에 해당하는 강우인자를 산정하였다. 그리고 공간보간법을 사용하여 금강수계의 강우인자(*R*) 값을 구하고 DB를 구축하였다(Wischmeier and Smith, 1978).

2.4. K factor(토양 침식성 인자)

토양 침식성 인자는 환경부의 표토 유실량 예비조사지침에 따라 금강수계의 토양통을 고려하였으며, 지침에 제시 되어있지 않은 토양통의 경우 국립농업과학원에서 제공하는 흙토람의 자료를 사용하였다. 본 과업에서 사용한 토양 침식성 인자 산정식은 다음과 같다.

$$K = 1.32\left[\frac{2.1\times10^{-4}\cdot(12-OM)\cdot M^{1.14}+3.25(S_1-2)+2.5(P_1-3)}{100}\right]/9.8$$

$$M = (MS + VFS)\cdot(100 - CL) \quad (3)$$

식 (3)에서, K는 토양 침식성 인자, OM은 유기물 백분율(%), M은 토양 유실에 대한 입경 특성 함수를 뜻하며, S_1은 토양 구조 지수(1~4), P_1은 토양 투수 등급(1~6), MS는 미사 백분율(%), VFS는 극세사 백분율(%), CL은 점토 백분율(%)을 뜻한다.

2.5. LS factor(경사인자)

본 과업에서 금강 수계 내 수변구역의 경사인자를 구축하기 위해서 환경부의 표토 유실량 예비조사지침에 제시되어 있는 다음 식을 사용하였다(Moore and Burch, 1986; Walsh et al., 1995).

Table 1. The weather observation station of the buffer zone of Guem river

Station No.	Station ID	Lat. (N)	Long
127	Chungju (CJ)	36.97	127.88
131	Cheongju (CHOJ)	36.63	127.45
133	Daejeon (DJ)	36.37	127.37
135	Chupungryong (CPR)	36.22	128.00
146	Jeonju (JJ)	35.82	127.15
226	Boeun (BE)	36.48	127.73
232	Cheonan (CA)	36.78	127.12
238	Geumsan (GS)	36.10	127.48
244	Imsil (IS)	35.62	127.28
247	Namwon (NW)	35.40	127.33
284	Geochang (GC)	35.67	127.92
289	Sancheong (SC)	35.42	127.88

Table 2. The annual precipitation of each weather observation center from 1982 to 2011 (unit : mm)

Year	CJ	CHOJ	DJ	CPR	JJ	BE	CA	GS	IS	NW	GC	SC
1982	844	850	1008	762	934	962	889	866	1082	952	950	1303
1983	906	1238	1228	1190	1194	1203	1022	1194	1119	1021	1182	1399
1984	1088	1104	1319	1282	1497	1097	1191	1359	1504	1586	1236	1523
1985	1357	1372	1693	1606	1732	1610	1292	1827	1912	1904	1958	2493
1986	983	1158	1245	1164	1306	1249	1353	1322	1352	1348	1169	1266
1987	1471	1656	1881	1395	1682	1882	1786	1542	1807	1397	1392	1720
1988	868	879	921	801	707	972	712	750	766	800	688	757
1989	1424	1280	1538	1164	1473	1344	1224	1491	1608	1856	1760	2073
1990	1887	1474	1496	1296	1354	1501	1513	1291	1677	1402	1670	1951
1991	1420	1144	1182	1170	1317	1007	1104	1284	1448	1496	1379	1808
1992	919	990	1037	1071	1109	943	934	1034	1056	860	851	1083
1993	1164	1302	1533	1461	1551	1349	1081	1360	1358	1263	1395	1442
1994	1118	1012	858	785	821	765	1170	769	684	565	812	1155
1995	1319	1340	1136	954	891	984	1586	1012	850	905	824	954
1996	939	929	1279	1072	1217	1164	968	1302	1172	1125	944	961
1997	1220	1457	1766	1103	1551	1664	1269	1569	1476	1679	1364	1498
1998	1653	1640	2070	1591	1573	2085	1584	1716	1772	1829	1802	2154
1999	1315	1327	1455	1270	1366	1379	1365	1231	1330	1450	1552	1914
2000	1270	1358	1708	1295	1637	1449	1408	1433	1353	1476	1595	1726
2001	798	784	829	822	1019	834	838	879	1298	1468	1125	1323
2002	1470	1282	1379	1460	1130	1285	1313	1391	1580	1624	1769	2007
2003	1640	1582	1749	1835	1860	2079	1628	1767	1975	2041	1951	1935
2004	1423	1506	1497	1444	1458	1365	1363	1504	1274	1539	1547	1886
2005	1381	1426	1656	1009	1390	1536	1309	1375	1418	1126	1245	1313
2006	1234	1082	1195	1273	1188	1196	1043	1350	1261	1382	1411	1685
2007	1439	1535	1751	1311	1472	1532	1562	1586	1438	1815	1729	1776
2008	883	892	1038	819	1000	962	870	902	915	816	616	786
2009	937	1020	1090	1011	1164	1112	1000	1129	1134	1314	975	1169
2010	1212	1422	1420	1260	1462	1263	1378	1404	1795	1423	1549	2190
2011	2073	1806	1943	1402	1622	1811	1846	1799	1700	1343	1321	2013

$$LS = \left(\frac{A}{22.13}\right)^{0.6}\left(\frac{\sin\theta}{0.0896}\right)^{1.3} \quad (4)$$

식 (4)에서 A는 면적(m^2), θ는 경사각(°)으로 $\theta = \arctan\left(\frac{고저차}{평면거리}\right)$으로 산정되며, 평면거리는 항공사진 또는 토지이용상 측정된 평면거리를 뜻한다. 본 과업에서 경사(경사각, 경사도)는 국립지리원에서 제공하는 1 : 25,000 수치지도의 등고선 자료를 사용하였다. 그리고 경사인자는 물흐름의 연속성을 고려하기 위하여 유역경계 및 하천흐름을 고려하여 산정하였다. 이를 위하여 금강 수계에 위치한 하천들의 흐름에 따라 DEM을 나누어 금강 수계 내 경사인자를 산정하고 수변구역에 대한 경사인자 값을 산정하였다.

2.6. C factor(작물피복인자)

본 연구에서는 환경부의 표토 유실량 예비조사지침에 따라 작물피복인자를 산정하였으며, 지침에 제시되어 있지 않은 토지이용인 도시지역, 습지, 수역 등에 해당하는 작물 피복 인자 값은 문헌조사를 통하여 작물피복인자 DB를 구축하였다(Lim et al., 2005). 도시 및 개발 지역은 0.1, 습지는 0.05, 수역은 0.01 의 값을 사용하였다.

2.7. P factor(보전관리인자)

본 연구에서는 환경부의 표토 유실량 예비조사지침에 따라 금강 수계 내 수변구역 보전 관리 인자를 산정하였다. 예비조사지침에 제시되어있는 보전관리인자 값의 경우 경사도와 토지이용에 따라 보전 관리 인자를 산정하도록 되어 있다. 예비조사지침에 제시되어 있는 보전 관리 인자 값 중 도시지역, 습지, 수역에 대한 기준은 없었으므로 이 토지이용도에 해당하는 보전 관리 인자 값은 1.0 값을 사용하였다(Lim et al., 2005; Oh and Jung, 2005).

3. 결과 및 고찰

3.1. 금강 유역 수변구역 과거 강수자료 구축 및 A1B 시나리오 편이보정

금강유역의 수변관리지역에는 12개의 기상청 기상관측소가 인접해 있다(Table 1). A1B 시나리오의 편이보정을 위하여 12개 기상관측소의 1982~2011년까지의 과거 일강우 관측 자료를 구축하였다. 연 평균 강수량은 12개의 기상관측소 중 산청 관측소가 가장 높고, 추풍령 관측소의 연 평균 강수량이 가장 작았으며, 산청관측소와 추풍령관측소의 연평균 강수량 차이는 약 372 mm 정도로 나타났다. 또한 금강유역 수변구역에서 태풍이 자주 발생했던 2003년 가장 높은 2079 mm의 연 강수량을 보은 기상대에서 기록하였다(Table 2).

금강유역 수변구역 미래기후변화 자료 추출은 A1B 시나리오 격자 중 금강유역 수변구역에 속하는 A1B 시나리오의 1351, 1352, 1353, 1354, 1394, 1395, 1396, 1397, 1437, 1438, 1439, 1440, 1480, 1481, 1482, 1483, 1523, 1524, 1525, 1526, 1566, 1567, 1569의 23개 격자 자료를 이용 하였다. 자료 추출은 기상청에서 제공하는 1971~2100년까지 일별로 한반도 전역의 미래 기후 강수 자료를 정리한 47,482개의 파일에서 편이보정을 위한 1982~2011년까지 총 30년의 자료를 추출하였다. 한 파일 당 모두 2,193개의 데이터가 저장되어 있으며, 이는 한반도 전역의 27 km * 27 km 간격의 일별 강우 데이터를 의미한다. 23개 격자에 대한 편이보정에 이용되는 과거 관측 자료는 해당 격자에 가장 인접한 기상관측소의 자료를 이용하였다.

금강유역 수변구역 편이보정 결과, 전체적으로 A1B 시

Table 3. The bias-correction factor of the each grid in the buffer zone of Guem river

Grid # of Guem River	Survey value	RCM value	Bias-Correction factor
1351	1253.31	795.07	1.58
1352	1261.43	757.63	1.66
1353	1261.43	765.37	1.65
1354	1255.18	809.01	1.55
1394	1396.60	809.34	1.73
1395	1396.60	728.47	1.92
1396	1319.50	714.18	1.85
1397	1319.50	743.01	1.78
1437	1396.60	780.38	1.79
1438	1396.60	755.30	1.85
1439	1314.49	789.35	1.67
1440	1202.57	832.56	1.44
1480	1322.46	805.14	1.64
1481	1314.49	850.34	1.55
1482	1314.49	940.60	1.40
1483	1202.57	984.47	1.22
1523	1322.46	866.79	1.53
1524	1370.53	907.34	1.51
1525	1325.35	966.84	1.37
1526	1325.35	1023.26	1.30
1566	1370.53	899.28	1.52
1567	1360.07	934.90	1.45
1569	1575.38	1040.45	1.51

나리오에서 제시한 강수량이 실측 강수량보다 매우 작아 편이보정 결과 금강유역 23개 격자의 편이보정 계수는 1.22~1.92의 범위를 보여주었다(Table 3). 이렇게 산정된 보정계수를 이용하여 A1B 시나리오의 강수량을 높여주었다. 특히 본 연구에서는 정밀한 편이보정을 위하여 격자별 가장 인접한 기상청의 실측 일강우량을 구축하여 편이보정을 하였기 때문에, 이렇게 편이 보정된 결과는 미래 기후변화에 따른 표토 유실량 산정에 활용될 수 있다(Park, 2003; Yoon et al., 2007).

3.2. USLE 모형 적용

본 연구에서는 금강 수계 내 수변구역을 기준으로 표토 유실량을 평가하였으며, 각 인자 DB는 환경부에서 2011년 12월 제시한 예비조사지침에 따라 구축하였다. 그리고 기후변화에 따른 표토 유실량을 산정하기 위하여 기상청이 제공하는 미래기후 변화 격자 그리드를 사용하여 강우인자 R factor를 산정한 후 기후변화에 따른 금강 수계 내 수변구역의 표토 유실량 변화를 평가하였다.

금강 수계의 2020세기(2015년~2025년) 강우인자는 Fig. 1, 그리고 2040세기(2035년~2045년)의 강우인자는 Fig. 2와 같다. 2020세기의 강우 인자 범위는 4443.02-5084.37이며, 2040세기의 강우 인자 범위는 4504.42-5098.75로 각각 계산 되었다. 금강 수변 구역 최우심지는 충청북도 옥천군 청성면 내에 위치한 수변구역이며, 2020세기 최우심지의 평균 표토 유실량은 106.67 ton/ha/yr 이다(Table 4). 또한, 2040세기의 금강 수변 구역 최우심지도 충청북도 옥천군 청성면 내에 위치한 수변구역이며, 2040세기 최우심지의 평균 표토 유실량은 103.00 ton/ha/yr이다

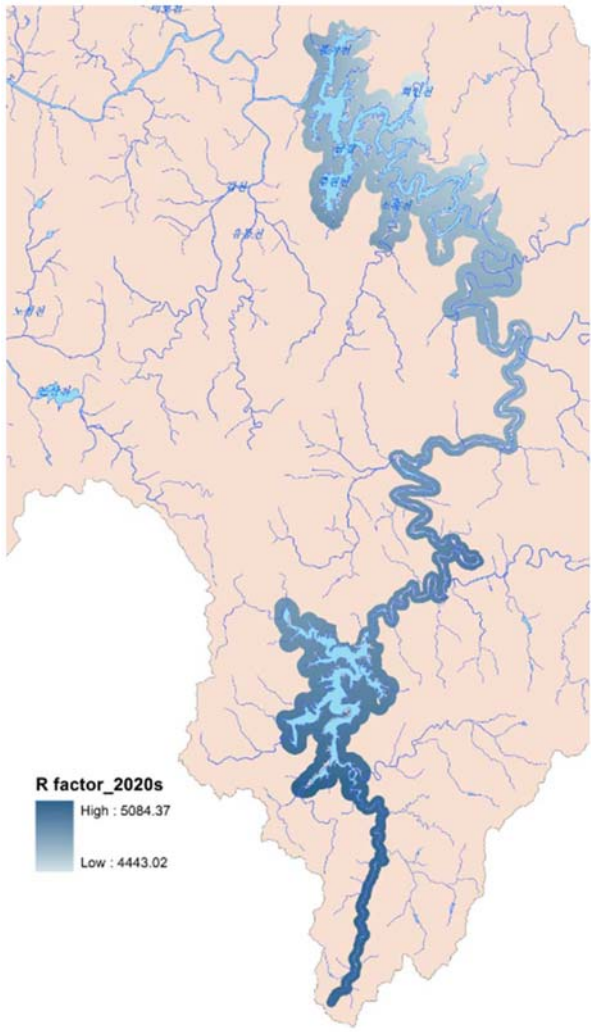

Fig. 1. The estimated R factor (MJ·mm / ha·yr·hr) of 2020 yrs in the buffer zone of Guem river.

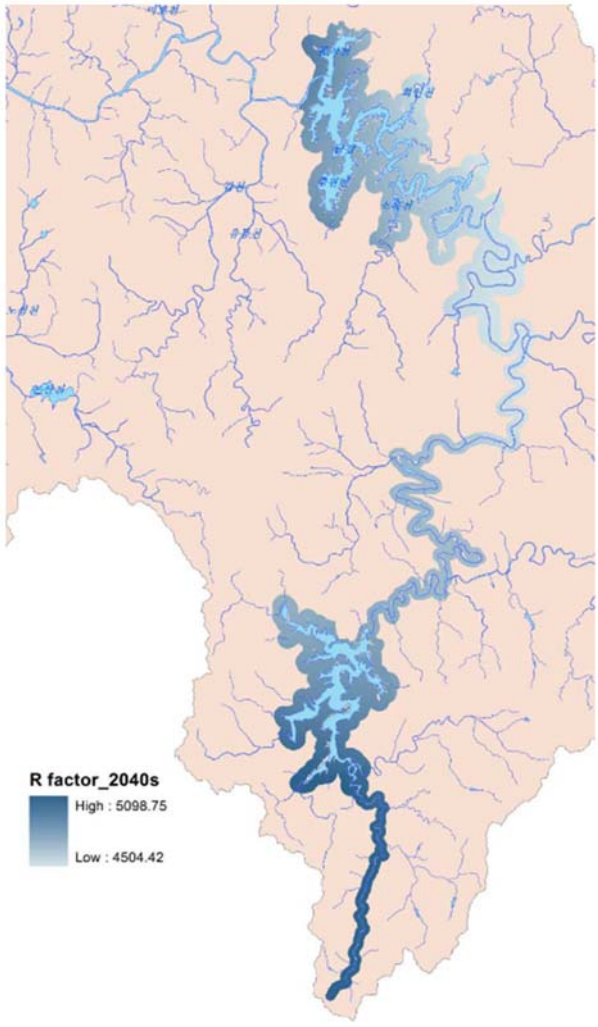

Fig. 2. The estimated R factor (MJ·mm / ha·yr·hr) of 2040 yrs in the buffer zone of Guem river.

Table 4. Soil loss (ton/ha/yr) of the each administrative region in the buffer zone of Guem river

Administrative Region Name	Soil loss of 2020 yrs	Soil loss of 2040 yrs	Soil loss with future climate change
Muju-gun Muju-eup	52.26	49.45	52.42
Muju-gun Bunam-myeon	43.73	41.97	44.33
Jangsu-gun Janggye-myeon	52.05	51.46	51.94
Jangsu-gun Jangsu-eup	27.16	27.35	28.20
Jinan-gun Donghyang-myeon	62.73	61.85	64.17
Jinan-gun Bugyue-myeon	20.54	20.31	20.92
Jinan-gun sangjeon-myeon	47.82	47.13	48.95
Jinan-gun Jungchun-myeon	36.36	35.73	37.25
Guemsan-gun Buri-myeon	37.27	35.54	37.61
Guemsan-gun Jaewon-myeon	37.02	35.75	37.85
Boeun-gun hyenam-myeon	49.25	49.73	53.77
Boeun-gun hyebuk-myeon	51.85	52.65	57.03
Yongdong-gun Simchun-myeon	42.16	40.51	43.34
Yongdong-gun Yangsan-myeon	43.88	42.27	44.79
Okchun-gun Dongyi-myeon	58.28	56.38	60.63
Okchun-gun Annam-myeon	63.57	62.27	66.94
Okchun-gun Annae-myeon	51.12	50.92	54.78
Okchun-gun Cheongsung-myeon	106.67	103.45	110.78
Chungwon-gun Munwi-myeon	44.22	45.02	48.61
Chungwon-gun Hyundo-myeon	28.56	29.21	31.51

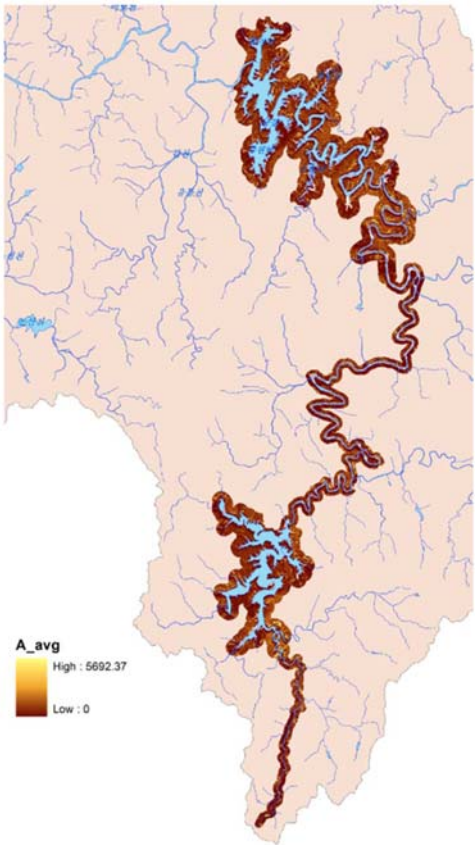

Fig. 3. The average soil loss (ton/ha/yr) in the buffer zone of Guem river with future climate change.

(Table 4). Fig. 3을 보면 금강 수계의 최대 표토 유실량 셀 값은 5692.37 ton/ha/yr인 것을 알 수 있다. 미래기후변화를 고려하여 금강 수계 내 수변구역의 표토 유실량을 산정한 결과, 가장 많은 표토유실이 발생할 것으로 예상되는 지역은 충청북도 옥천군 청성면으로 평균 표토 유실량이 110.78 ton/ha/yr가 발생할 것으로 예측되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 금강 수계 내 수변구역의 표토 유실량을 평가하기 위해 환경부의 예비조사 지침과 USLE 방법을 이용하였으며, 금강 유역에 대한 USLE 입력 DB인 R, K, LS, C, P 인자를 산정하였다. 최우선적으로 예비조사 지침을 사용하였으며, 지침에 명시되어 있지 않는 인자값 기준은 문헌 조사 자료를 사용하여 DB를 구축하였다. 강우인자의 경우 미래기후를 예측을 위하여 기상청에서 제공하는 기후변화 격자 그리드를 사용하였으며, 경사인자의 경우 하천흐름을 반영하기 위하여 전국 하천도를 이용해 금강 수계 내 수변구역에 대한 인자 값을 산정하였다. 기후변화에 따른 표토 유실량을 산정하기 위하여 세기를 2020세기(2015년~2025년), 2040세기(2035년~2045년)로 나누었으며, 2기 동안의 평균 인자값을 사용하여 표토 유실량을 산정하였다. 미래기후변화를 고려하여 금강 수계

내 수변구역의 표토 유실량을 산정한 결과, 가장 많은 표토유실이 발생할 것으로 예상되는 지역은 충청북도 옥천군 청성면이 최우심지로 나타났다. 충청북도 옥천군 청성면에서는 평균 표토 유실량이 110.78 ton/ha/yr가 발생할 것으로 예측되었다.

사 사

본 연구는 환경부 GAIA 과제의 "토양 · 지하수오염방지기술개발사업" 중 "토양침식 모니터링 및 저감 기술 개발(계약번호: 20120005400015)"의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드린다.

References

Jang, Y.R., Lee, G.S., and Cho, G.S., 2002, The Determination of resolution for quantification of soil loss in GIS environment, *J. GIS Assoc. Kor.*, **10**(2), 301-316.

Jung, K.H., Sonn, Y.K., Hong, S.Y., Hur, S.O., and Ha, S.K., 2005, Assessment of national soil loss and potential erosion area using the digital detailed soil maps, *Kor. J. Soil Sci. Fert*., **38**(2), 59-65.

Kim, J.H. and Oh, D.K., 2004, Analysis of soil erosion hazard zone by R factor frequency, *J. GIS Assoc. Kor.*, **7**(2), 47-56.

Lim, K. J., Sagong, M., Engel, B. A., Tang, Z., Choi, J. D., and Kim, K. S., 2005, GIS-based sediment assessment tool, *Catena*, **64**, 61-80.

Moore, I. and Burch, G., 1986, Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation, *Soil Soc. Amer. J.*, **50**, 1294-1298.

Oh, J.H. and Jung, S.G., 2005, Potential soil loss prediction for land resource management in the Nakdong river basin, *J. Kor. Soc. Rural. Plan.*, **11**(2), 9-19.

Park, G.H., 2003, Soil erosion risk assessment of the Geumho river watershed using GIS and RUSLE methods, *J. GIS Assoc. Kor.*, **6**(4), 24-36.

Park, J.S. and Kim, G.H., 2006, Estimation of soil loss by land use in the Geum river basin using RUSLE Model, *J. Kor.. Soc. Water Qual.*, **22**(4), 619-625.

Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCooL, D.K., and Yoder, D.C., 1997, Predicting Soil Loss by Water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE), *Agr. Handbook (Washington),* 703.

Turnage, K.M., Lee, S.Y., Foss, J.E., Kim, K.H., and Larsen, I.L., 1997, Comparison of soil erosion and deposition rates using radio-cesium, RUSLE, and buried soils in dolines in East Tennessee, *Environ. Geol.*, **29**, 1-10.

Walsh, M.E., Jenkins, T.F., and Thorne, P.G., 1995, Laboratory and field analytical methods for explosives residues in soil; Proceedings of the Symposium on *Alternatives to Incineration for Disposal of Chemical Munitions and Energetics*, **2**, 17.

Wischmeier, W.H. and Smith, D.D., 1978, Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning, US DOA, *Agr. Handbook,* 537.

Yoon, S.W., Ye, L., and Chung, S.W., 2007, Application of SWAT model for estimating soil erosion in Daecheong dam watershed, *Korean Society on Water Environment·Korean Society of Water and Wastewater Association Spring Conference Symposium*, 1101-1110.