



GEOWEPP 모형을 이용한 고랭지 경사지밭 소유역의 토양유실 저감방안

Soil Erosion Reduction Plan for Watershed with Sloping Fields of Highland Agriculture by Using GEOWEPP Model

문종필* · 김태철***† · 이성현* · 권진경* · 이수장* · 임경재**

Moon, Jong Pil · Kim, Tai Cheol · Lee, Sung Hyoun · Kwon, Jin Kyung · Lee, Su Jang · Lim, Kyoung Jae

ABSTRACT

This study was performed to suggest a soil loss reduction skill through estimating soil erosion from a small watershed including each type of sloping agriland by using GEOWEPP model. Experimental watershed at Gangwon province was selected for very typical sloping fields of highland agriculture in Alpine area. Runoff discharge and sediment load, hourly rainfall amount occurred during storm event were gauged, and weather data were obtained from Daegwallyeong meteorological station. The results of GEOWEPP model estimation showed that relative error values for total runoff discharge and sediment load were 3 %, -14.5 % respectively. Based on the result, soil erosion and waterway path map for each hillslope were made to select target hillslope. Several hillslopes of severe soil erosion were analyzed and then the optimal vegetative filter strip construction width and waterway path to plant grass were decided by using GEOWEPP Model.

Keywords: Sloping agriland; soil erosion; vegetative filter strip; grassed waterway; GEOWEPP model

I. 서 론

우리나라 밭의 토양유실량은 연간 2,600만톤이며 유실된 토양을 객토로 복원하기 위해 소요되는 비용이 2,100억원 정도로 추정되고 있다. 밭토양의 전체면적은 740천 ha로 경사도 7 % 이상의 경사지 밭은 439천 ha로서 전체면적의 60 %를 차지하며 이에 대한 토양유실대책이 요구되고 있다. 강원도 고랭지 경사지밭에서 유실되는 토사, 유기물, 영양염류는 저수지와 같은 폐쇄성 수역에 주요한 비점오염원으로서 부영양화와 같은 수질 악화 및 수중생태계 파괴 원인이 되고 있으며 이를 저감하기 위한 기술개발이 절실하다. 특히 경사지 밭에서의 토양유실 저감 대책으로 우회수로, 계단전, 초생수로, 초생대, 비닐 및 벚짚피복 등 단일포장에 대한 기술이 많이 적용되고 있으나 실제 경작지에서 발생하는 토양침식과 이를 발생시키는 요인의 정확한 평가방법은 단순하지 않다. 최근에는 지형정보시스템 (GIS)의 도

입으로 토양침식에 영향을 미치는 강우량, 지형, 토양성분, 토지 피복형태 등을 모두 고려한 토양침식모형에 대한 연구 (Jung et al., 2004)가 많이 이루어지고 있으며 SWAT모형과 GEOWEPP 모형이 GIS기반 토양침식모형으로서 사용되고 있다. SWAT모형은 모든 유역에 적용가능하나 주로 규모가 큰 유역을 대상으로 이용되고 있으며 2.6 km² 이내의 소유역과 단일경사지에서 GEOWEPP모형이 강우강도와 토양의 물리적 침식작용을 역학적으로 잘 해석하고 있어 좋은 결과를 보여주고 있다 (Choi et al., 2009).

본 연구에서는 해마다 토양유실이 심각하게 발생되고 있는 고랭지 농업의 경사지 밭을 포함한 소하천유역에서의 토양침식 방지 및 유사량 저감에 대한 방안을 지형정보시스템 (GIS)기반인 GEOWEPP 모형을 적용하여 제시하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. GEOWEPP 모형

분산형 모형인 Geo-Spatial Interface for Water Erosion Prediction Project (GEOWEPP) 모형은 물리적 방법에 기초한 토양 침식모델이다. 주로 토양과 수자원 보전, 환경계획 및 평가에 사용되고 있으며 (RUSEL (Wischmeier et al., 1978; Renard

* 농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부
 ** 강원대학교 농업생명과학대학 지역건설공학과
 *** 충남대학교 농업생명과학대학 지역환경토목학과
 † Corresponding author Tel.: +82-042-821-5797
 Fax: +82-042-825-9889
 E-mail: dawast@cnu.ac.kr

2010년 11월 9일 투고
 2010년 11월 24일 심사완료
 2010년 11월 25일 게재확정

et al., 1997; Jung et al., 1999)를 대체할 목적으로 만들어진 모형이다. 이 모형의 특징은 WEPP 모형의 GIS interface로서 WEPP 모형과 입력자료가 동일하며, 크게 기후, 토양, 식생/관리, 지형, 유역자료 등이 필요하다. 지형자료는 GIS 자료가 구축되면 자동적으로 생성되므로 별도로 입력할 필요가 없어 매우 효율적이라 할 수 있다.

미 농무성에서 개발된 WEPP 모형은 추계학적 기상생성, 침투이론, 수문학, 토양 물리학, 식생학, 수리학 및 침식 메커니즘을 기초로 한 차세대 토양침식 및 토사유출예측 모형이다. WEPP 모형의 가장 주목할 만한 장점은 토양손실의 시간적, 공간적 분포를 추정할 수 있는 기능이 포함되어 있고, 과정지향적 모형이기 때문에 실제적인 현장시험이 이루어지지 않은 광범위한 범위의 조건까지 외삽할 수 있다. WEPP모형은 하나의 경사면뿐만 아니라 전체 유역에 대해서도 적용가능하며, 경사면 모형과 유역모형으로 구분된다. WEPP 모형의 경사면 침식모형은 세류에서 유사의 운동을 표현하기 위하여 정상상태의 유사연속 방정식을 사용하며 그 식은 (1)과 같다.

$$\frac{dG}{dx} = D_f + D_i \quad (1)$$

여기서, x 는 하류방향 경사거리 (m), G 는 유사량 (sediment load, kg/s/m), D_f 는 세류간에서 세류로의 유사 운반율 (kg/s/m²), D_i 는 세류 침식율 (kg/s/m²)이다. 세류간 유사 운반율 (interrill sediment delivery) D_f 는 x 에 독립적인 것으로 간주되며 항상 양의 값이다. 세류침식율 D_i 는 박리 시에는 양의 값, 퇴적 시에는 음의 값이다. 해를 구하는 과정에서 D_f 와 D_i 는 단위 세류면적에 대해 계산되며 따라서 G 역시 단위 세류폭에 대해 계산하게 된다. 계산이 완료된 후 토양 손실은 단위 면적당 토양손실로 표현된다.

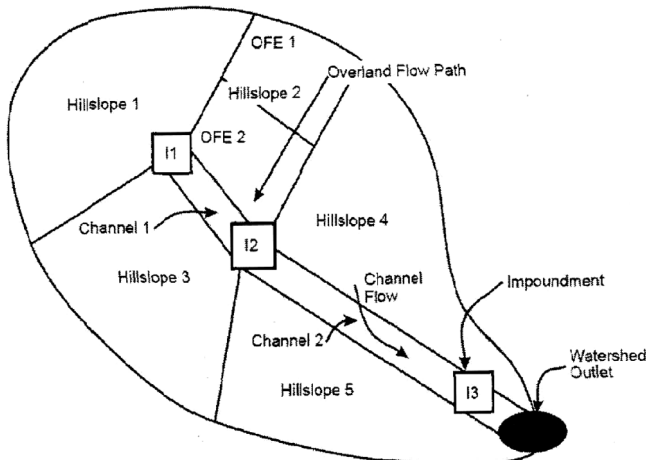


Fig. 1 Watershed analysis of GEOWEPP model

또한, 유역모형 (watershed model)은 경사면과 유로, 저류시설을 연계할 수 있으며, 하나 또는 그 이상의 경사면으로부터의 강우유출과 토사유출을 소유역을 통해 추적할 수 있다. 경사면에 대해 업데이트된 거의 모든 매개변수는 유로에 대해서도 중복적으로 적용된다. 모형은 유로 박리, 유사 이송 및 퇴적을 모의하며, 흐름으로부터 유사를 차단하는 농업용 저수지, 계단식 지형, 암거, 필터 펜스, 체크 댐과 같은 저류의 영향도 모의할 수 있다 (ARS, 2004).

2. 시험유역

시험유역은 강원도 평창군 도암면 용산 2리에 있는 산지형

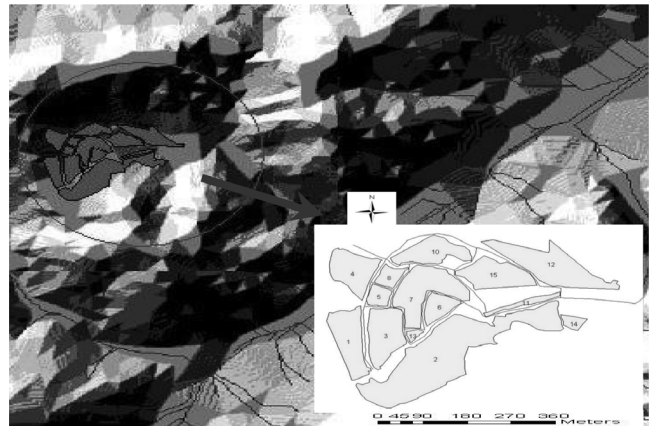


Fig. 2 Experimental watershed and Cabbage fields map

Table 1 Areas and slopes for each plot of sloping land in experimental watershed.

No.	Area (m ²)	Slope (%)		
		Min.	Max.	Avg.
1	6,000	2.0	27.0	14.9
2	23,199	0.0	40.5	19.4
3	5,898	9.0	24.7	14.1
4	5,211	5.7	14.0	9.4
5	1,369	5.7	12.6	9.4
6	2,315	0.0	13.9	0.4
7	7,873	0.0	15.9	3.2
8	1,452	5.7	14.0	9.4
10	4,597	4.5	20.9	14.0
11	1,178	0.0	28.8	13.7
12	9,372	0.0	34.5	19.0
13	395	12.6	16.8	16.0
14	847	0.0	15.9	0.9
15	5,542	0.0	25.7	10.1

밭 (위도: N 37° 38' 9.19", 경도: E 128° 39' 35.40")을 포함한 유역으로서 Fig. 2와 같으며 전체 유역면적은 37.5 ha이고 유역경사가 18.1 %이다. 주요 토지이용현황은 임야가 30 ha (80 %), 밭이 7.5 ha (20 %)을 차지하고 있다. 이 지역의 대표적인 토양통의 특성은 월정토 (WjF)가 59.4 %, 청심토 (CsF)이 23.8 %, 신불토 (SID)이 16.8 %로 구성되어 있다. 또한 시험지구의 보다 세밀한 토성을 파악하기 위하여 시험유역 경사지 밭의 깊이별 토양시료를 채취하여 체분석시험을 하였다. 시험지역의 토성을 분석한 결과 모래함량은 평균 55 %, 실트함량 28 %, 점토함량 17 %로 국제토양학회법에 의하여 분류한 결과 대부분 식양토 (CL)에 해당되었다. 시험유역내 시험포장에 대한 GPS측량을 실시한 결과 Fig. 2 하단부와 같은 토지이용도를 구축하였으며 시험포장의 필지별 특성은 Table 1과 같다.

3. 유출량 및 유사량 조사

가. 유출량 및 부유사량 측정

시험 대상지역인 경사지 밭 유역에서의 유거수의 발생을 확인하기 위하여 Fig. 3과 같이 Flow check point를 배수로 5 지점에 압력식 수위계를 설치하였다. 또한 유역의 최종 출구점 (Final outlet)에서 총유출량 및 부유사량 측정을 위하여 자기 수위계와 수질 시료 자동채취기를 설치하여 수위별 유량 및 부유사량을 측정하였다.

갈수기 및 호우사상발생시 수위에 따른 유량 및 부유사량을 측정한 결과 유역 최종출구지점에서의 수위-유량 곡선도는 Fig. 4와 같으며, 유량-부유사량 상관관계도는 Fig. 5와 같다.

최종출구지점의 수위-유량 곡선식은 다음과 같다.

$$Y=2.96(X+0.033)^{1.91} \quad (2)$$

여기서 Y는 유량 (m³/s), X는 수위 (m)

또한 최종출구지점의 유량-부유사량 관계식은 다음과 같다

$$Y=11461.25 X^{7.82} \quad (3)$$

여기서 Y는 부유사량 (g/s), X는 유량 (m³/s)

나. 부유사량과 총유사량의 상관관계식

Hyun et al. (2008)에 의해 제시된 소류사량, 부유사량, 총유사량은 강원도 홍천군 내면 자운 4리 지역의 8,485 m²의 고랭지 밭을 대상으로 2007년부터 2008년까지 측정하였으며 측정자료는 Table 2와 같다. 측정된 자료를 분석하여 부유사

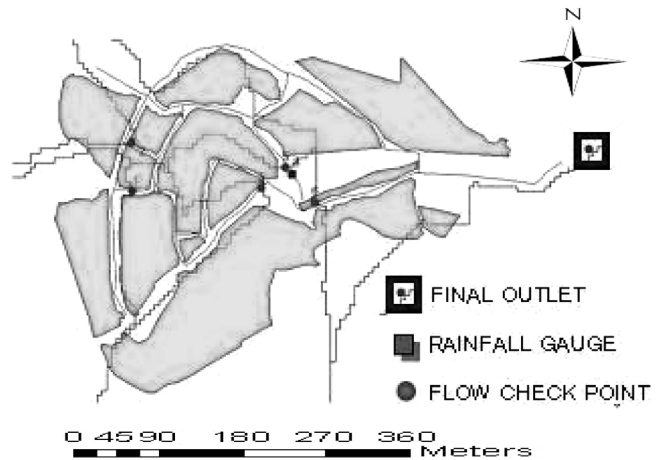


Fig. 3 Final outlet (water level gauge), rain gauge location map

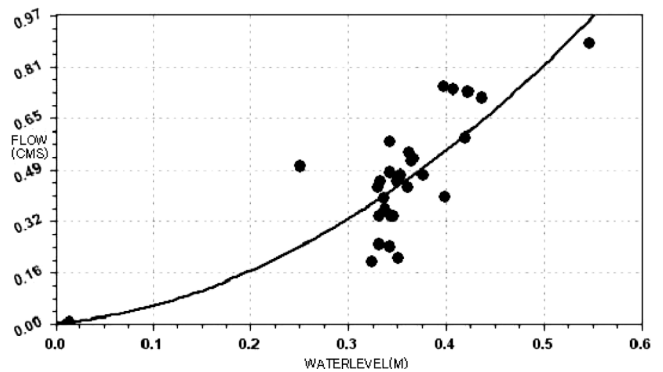


Fig. 4 Water stage-discharge rating curve

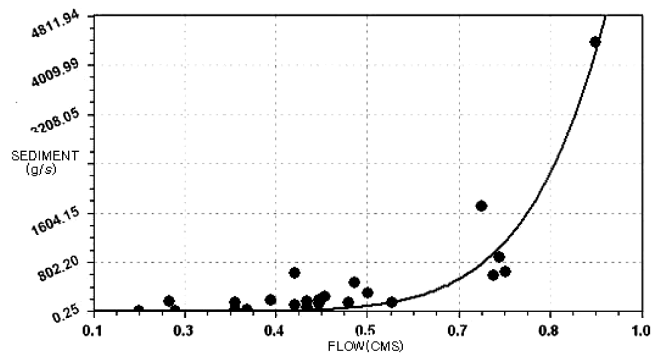


Fig. 5 Discharge-suspended sediment load curve

량과 총유사량의 상관관계식을 식 (4)와 같이 도출하였고 측정된 부유사량은 식 (4)에 의하여 총유사량으로 전환하였다

$$Y=0.22+3.27X \quad (4)$$

여기서 Y는 총유사량 (ton), X는 부유사량 (ton)

Table 2 Observed sediment yield for 2007, 2008 at Jaun-ri, Hongcheon-gun (Hyun et al., 2008)

Year	Date	Rainfall	Coarse sediment outflow (ton)	Suspended sediment (ton)	Total sediment (ton)
2007	7.19	40.5	0.08	0.02	0.10
	8.1~2	65.0	1.43	0.52	1.95
	8.4~5	93.0	1.82	0.63	2.45
	8.8	67.0	1.46	0.59	2.05
	8.9	137.0	7.96	3.73	11.68
	8.10	38.0	0.96	0.25	1.21
	8.19	34.5	0.36	0.12	0.48
	8.27	52.0	0.83	0.33	1.16
	9.6	27.0	0.13	0.04	0.17
	9.14~15	92.0	3.20	0.80	4.00
	9.18	52.0	1.27	0.44	1.71
Sum of rainfall Events from October to December			2.57	1.56	4.13
Total			22.07	9.02	31.09
2008	6.18	41.5	0.47	0.03	0.50
	7.13	23.0	0.42	0.04	0.45
	7.15~16	29.0	0.65	0.09	0.74
	7.19~20	75.0	1.66	0.34	2.01
	7.24	215.0	7.67	3.39	11.06
	8.02	24.0	0.23	0.01	0.24
	8.03	27.0	0.78	0.13	0.91
	8.12	31.0	0.23	0.10	0.33
	8.18	39.5	0.78	0.12	0.90
	8.22	77.0	1.61	0.34	1.96
Sum of rainfall event from September to December			1.30	0.78	2.08
Total			15.81	5.37	21.80

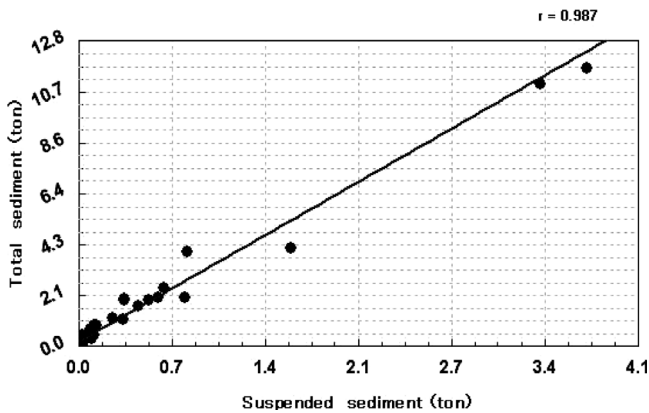


Fig. 6 Correlation analysis of suspended and total sediment

4. GEOWEPP 모형의 적용

기상자료는 호우사상별 모의 (Park et al., 2000)를 위해서 시험포장내 설치된 강우계와 대관령 관측소의 시간별 자료를 참

고하여 입력하였으며 일별 최대, 최저기온, 태양 복사량, 풍향, 풍속, 이슬점 온도는 대관령 기상대의 관측자료를 사용하였다. 지형자료는 1:5000의 수치지형도로 작성된 DEM 자료 (Fig. 7) 를 토지피복자료 (Fig. 8)는 GPS로 새로 구축한 자료를 적용하였으며 국립농업과학원에서 제공한 정밀토양도 (Fig. 9)를 사용하였다. 토양 분석은 모래, 점토, 유기물, 암석파편 함유율, 양이온 치환능 (CEC)등의 국립농업과학원에서 제시하고 있는 토양통의 토양조성인자를 이용하였다. 이들 토양에 대한 토양인자들을 입력하고 토양침식능과 유효수리전도도 등의 매개변수는 모형자체에서 제공하는 추정절차 및 보정에 의하여 결정하였다 (Kim et al., 2007). 기상 자료로서 대관령관측소의 강수, 풍향, 풍속, 기온, 이슬점온도 등 (2008년)에 대한 기상관측자료를 구축하였으며 모형의 검정을 위하여 2008년 7월 24일~25일에 발생했던 단일호우사상의 시간별 강우량을 입력하였고 최근 40년간의 대관령 관측소의 10년빈도 월별 최대강우량만을 이용한 최대로 가능한 토양침식량에 대한 분석을 실시하였다.

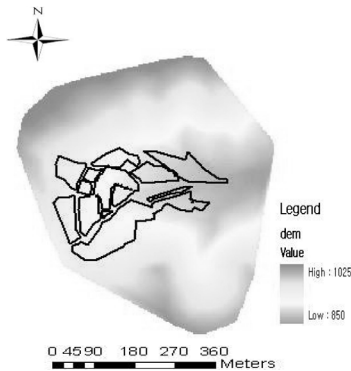


Fig. 7 DEM

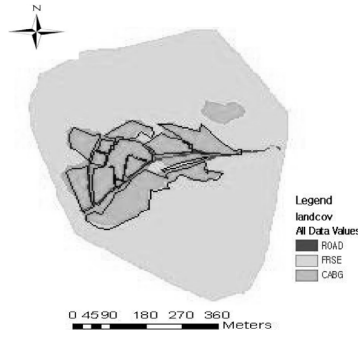


Fig. 8 Landcover map

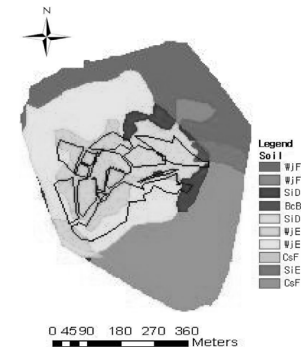
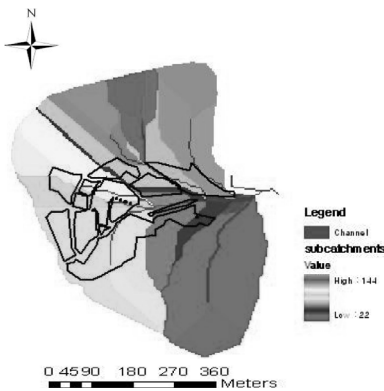
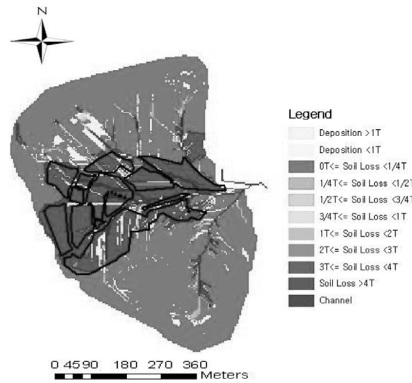


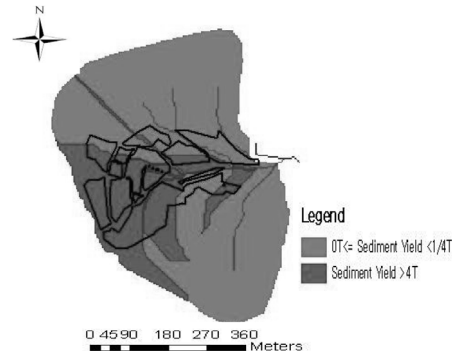
Fig. 9 Precision soil map



(a)



(b)



(c)

Fig. 10 Hillslope division (a), soil erosion on-site (b) and soil erosion off-site map (c)

Table 3 Soil erosion parameters for GEOWEPP model

Parameters	Value
Interill erodibility ($\text{kg} \cdot \text{s}/\text{m}^4$)	Model calculation
Rill erodibility (s/m)	0.0001
Effective hydraulic conductivity (mm/h)	6
Critical hydraulic shear stress (Pa)	4

경사도 분할 및 토양침식도 작성을 위해 GEOWEPP모형에 의하여 Fig. 10 (a)와 같이 다수의 경사지와 하도를 생성하여 각각의 경사면에 대한 토양침식량을 분석하고 이를 바탕으로 실제 토양침식 및 퇴적이 일어나는 지점으로 표현되는 on-site map 과 경사면의 평균적인 토양침식량으로 나타나는 off-site map 으로 분류하여 분석하였고 그 일례는 Fig. 10 (b), (c)와 같다.

GEOWEPP 모형의 적용을 위하여 시험유역 밭토양의 대부분을 차지하고 있는 월정통에 대한 매개변수를 실측치를 잘 재현하도록 보정하였고 Table 3과 같이 결정하였다.

가. 10년빈도 최대가능 토양침식 평가
연구수행기간인 2008년에는 대관령관측소의 연평균 강우량

Table 4 10 Year-return period monthly maximum rainfall for estimating potential maximum soil erosion

Storm event (date)	10 year-return period monthly maximum rainfall (mm)	Storm event (date)	40 year-return period monthly maximum rainfall (mm)
1989. 01. 08	53.8	1992. 01. 31	87.0
2005. 02. 16	48.7	1989. 02. 25	68.3
2005. 03. 04	42.9	1989. 03. 03	80.4
2003. 04. 25	67.5	1977. 04. 15	76.9
2003. 05. 07	91.0	1999. 05. 24	131.5
1985. 06. 13	121.5	2004. 06. 20	172.0
1987. 07. 15	158.0	2008. 07. 24	212.5
1984. 08. 21	242.4	2002. 08. 31	712.5
2003. 09. 12	216.0	1990. 09. 11	330.8
1994. 10. 12	139.3	1985. 10. 05	197.0
2006. 11. 27	55.5	1975. 11. 14	131.5
1991. 12. 08	43.6	1972. 12. 23	69.3

보다 588.6 mm나 적게 내렸고 100 mm 이상의 호우사상이 7 월중에 단 한차례로서 정확한 토양침식량 평가가 이루어질 수

가 없었다. 그러므로 대관령관측소의 39년 (1971년~2009년) 동안의 월강우량 자료중 최대치계열을 선택하여 10년빈도 월별 최대 강우량을 Table 4와 같이 작성하였고 이를 이용하여 10년 빈도 최대 토양침식량 및 하천으로 배출되는 유수량을 예측하였다. 좀 더 정확한 평가를 위하여 재배작물인 배추의 파종, 생육, 수확시기를 입력하여 작물재배전의 토양피복상태와 재배시의 토양피복 상태를 구분하였다 (Jung et al., 1976; Jung et al., 1983).

나. 초생수로 및 초생대 설치방안

지금까지 개발된 침식수로 및 경작지에 대한 토양침식 저감 방안으로서 경작지의 영농형태에 지장을 주지 않고 토양유실을 저감하는 방안으로서 초생수로와 초생대가 일반적으로 추천되고 있다. 그러나 강우에 의해 형성된 경작지내 침식수로는 강우사상이 끝나면 흙으로 되메운 채 경작지로 다시 사용되기 때문에 여기에서 발생하는 토양유실이 매우 크다. 이런 현상을 차단하기 위하여 경작지내 형성된 침식수로에 잔디를 식재한 초생수를 조성하고 항상 보존되는 것으로 분석하였다. 또한 경작지내에 설치하는 초생대는 경작면적을 최대한 보존하면서 토양유실을 저감할 수 있도록 경사지의 경사면 최하부에 일정폭

으로 초생대를 설치하고 심토파쇄를 실시하여 토양의 유효수리 전도도가 증가되는 방법을 적용하였다 (Kang et al., 2004).

III. 결과 및 고찰

1. 유출량 및 유수량 검정

2008년 7월 24일부터 7월 25일 동안에 발생한 호우사상에 대하여 적용하였으며 총강우량에 대하여 적용한 결과 Table 5와 같은 결과를 나타냈으며 총유출량에 대한 상대오차는 +3.5%의 값을 보였고 총유수량은 -14.5%의 값을 보였다. 또한 7월 24일부터 25일 동안 발생한 시간별 강우 및 유수량은 Table 6과 같다.

Table 5 Observed Runoff discharge, Sediment load at a final watershed outlet

Storm event period	Rainfall (mm)	Runoff			Sediment load		
		Observed (mm)	Simulation (mm)	R.E (%)	Observed (ton/ha)	Simulation (ton/ha)	R.E (%)
'08 7/24~25	227	145	147	+3.5	117	100	-14.5

Table 6 Hourly rainfall, runoff, sediment load for a single storm event between 7/24 and 7/25

Time (year/mon/day hour: min)	Rainfall (mm)	Runoff discharge (m ³ /h)	Sediment load (ton/h)	Time (year/mon/day hour: min)	Rainfall (mm)	Runoff discharge (m ³ /h)	Sediment load (ton/h)
2008/7/24 04:00	0.5	43.31	0.000	2008/7/25 01:00	0.5	1,687.18	0.580
05:00	3.0	46.32	0.000	02:00	0.0	1,570.75	0.426
06:00	10.5	182.76	0.000	03:00	4.5	1,595.36	0.452
07:00	8.5	337.25	0.000	04:00	8.5	1,661.89	0.540
08:00	11.5	611.74	0.000	05:00	5.0	1,695.65	0.594
09:00	14.0	1,068.80	0.230	06:00	1.0	1,506.00	0.368
10:00	7.5	731.61	0.221	07:00	0.5	1,419.09	0.313
11:00	13	1,372.73	0.292	08:00	3.5	1,434.71	0.321
12:00	9.5	819.18	0.221	09:00	6.5	1,466.19	0.340
13:00	8.0	905.15	0.223	10:00	5.5	1,653.51	0.527
14:00	16.0	2,173.25	2.826	11:00	3.5	1,506.00	0.368
15:00	6.0	1,781.44	0.771	12:00	0.5	1,426.89	0.317
16:00	3.5	1,506.00	0.368	13:00	-	1,372.73	0.292
17:00	1.0	1,522.06	0.381	14:00	-	1,334.65	0.224
18:00	4.5	1,474.11	0.345	15:00	-	1,282.20	0.224
19:00	12.0	1,426.89	0.317	16:00	-	1,267.40	0.224
20:00	16.5	2,308.79	4.403	17:00	-	1,245.35	0.224
21:00	21.0	3,437.16	94.165	18:00	-	1,216.24	0.224
22:00	6.0	2,041.61	1.819	2008/7/24	185	2,7922.47	110.786
23:00	5.5	1,959.06	1.378	2008/7/25	39.5	2,6341.79	6.558
24:00	7.0	2,173.25	2.826	Total	224.5	5,5430.32	117.344

허용토양침식량 (T)을 1 t/ha/yr로 하여 토양침식도를 작성한 결과 Fig. 11 (a), (b)와 같이 나타났다. 도출된 토양침식도를 분석한 결과 토양침식량이 유역전체에 평균적으로 2.7 t/ha로 발생된 것으로 나타났으며 특히 밭이 있는 지역은 토양유실이 최소한 3 t/ha 이상으로 나타났다.

2. 토양유실저감대책

2008년에는 토양침식을 일으킬 수 있는 호우사상이 적었고 단일호우사상만으로는 연간 토양침식량에 대한 정확한 평가를 할 수가 없어 보다 정확한 평가를 하기 위해 시험지역에서 가장 가까이에 위치한 대관령 기상 관측소의 관측자료 중 10년빈도 월별 최대 강우량만을 선택하여 10년빈도 월별 최대강우량자료를 작성하였다. 이 자료를 이용하여 10년빈도 연간 최대토양침식량을 평가하였으며 토양침식량 분류단계가 10 t/ha/yr ~ 15 t/ha/yr에서 최고 단계가 되도록 T값을 5 t/ha/yr로 설정하여

토양침식도를 작성한 결과 Fig. 12 (a), (b)와 같이 나타났다.

Fig. 12 (b)에서 알 수 있듯이 토양침식이 심각한 지역은 GEOWEPP모형에서 결정한 31개의 경사면 중 배추밭이 포함된 지역으로 나타났고 유역전체에서 발생된 유사량은 850.9 t/yr으로, 단위면적당 23.2 t/ha/yr으로 나타났다. 이 결과에서 알 수 있듯이 경사지밭에서의 토양침식이 매우 심각한 것으로 나타났으며, 이때 경작지내에 토양침식에 의해 형성된 수로에서 발생하는 토양침식은 경작지내 침식수로에서 유래된 유사량으로서 포장에서 발생된 양이 405.4 t/yr이고 수로에서 발생된 유사량이 445.5 t/yr으로 유역전체의 유사량 중 50 % 이상을 차지하였다. 한편 유기수 침식에 의해 형성된 침식수로는 1차 (class 1), 2차 (class 2) 하천차수를 가진 계류형태의 지류로서 경작지내에 형성되었고 급한 경사도와 나지의 토양피복형태로 존재하면서 집중 호우시 매우 급격한 토양침식에 의해 상당한 양의 유사량을 발생시킨 것으로 나타났다.

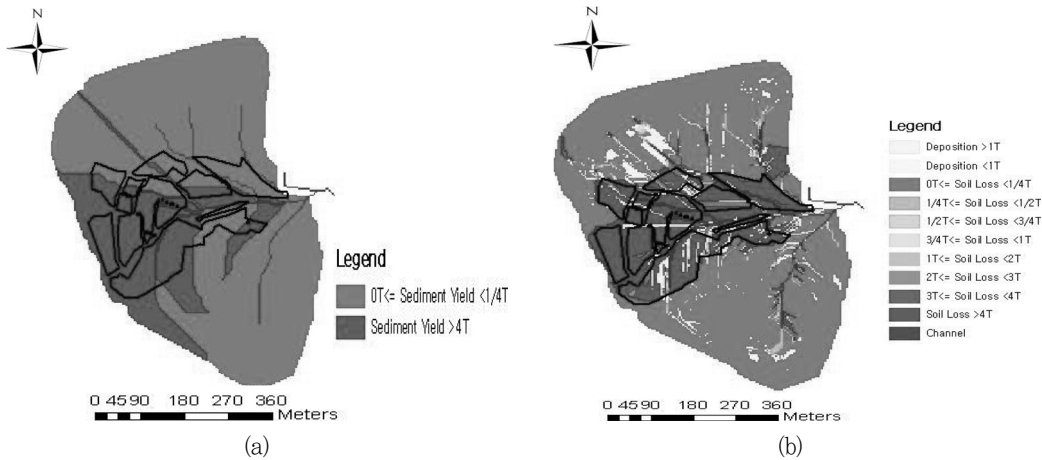


Fig. 11 Tolerable soil erosion off-site map (a) and on-site map (b) for a single storm event between 7/24 and 7/25

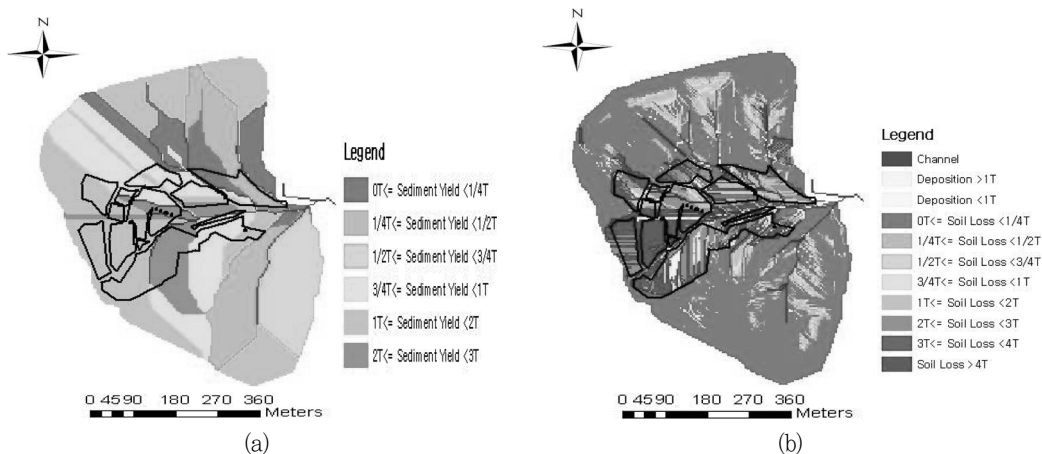


Fig. 12 Tolerable soil erosion off-site (a) and on-site map (b) for 10 year-return period monthly maximum rainfall

3. 초생수로 경로 추적 및 설치

GEOWEPP 모형에서는 DEM 자료를 가지고 수로의 경로를 생성하여 계류 및 산지하천의 경로를 생성할 수 있으며 그 결과는 Fig. 13과 같다.

추정된 수로의 경로는 Fig. 13에서 알 수 있듯이 경작지내에서 발생하는 것으로 나타났고 실제 호우사상이 발생한 이후 경작지내에서 관측된 토양침식에 의해 형성된 흩수로와 매우 유사하게 일치하는 것으로 나타났다.

이런 현상을 막기 위해 호우사상 이전에 GEOWEPP 모형에 의해 추정된 수로경로를 따라 배수로 및 도랑을 설치하고 1차, 2차 수로에 토양침식 방지를 위해 잔디 (톨 웨스큐 등)를 식재

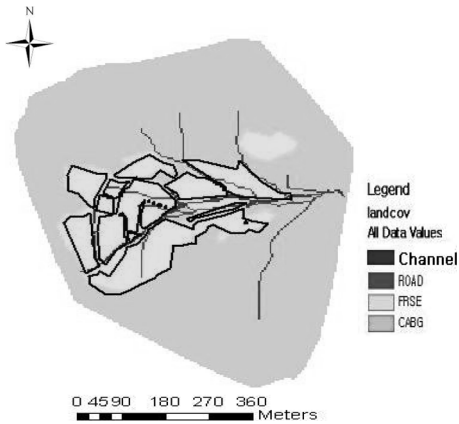


Fig. 13 Routed channel path to construct grassed waterway

Table 7 Reduced sediment load after installing grassed waterway in the sloping agriland

Channel No.	Sediment load (t/yr) Before grassed waterway	Sediment load (t/yr) After grassed waterway
1 (class 1)	101.7	43.7
2 (class 1)	37.7	17.7
3 (class 1)	43.5	20.1
4 (class 1)	170.1	73.7
5 (class 1)	73.1	36.9
6 (class 1)	27.5	20.2
7 (class 1)	116.0	83.5
8 (class 2)	111.7	73.2
9 (class 2)	273.1	148.7
10 (class 2)	525.5	263.0
11 (class 3)	664.6	324.7
12 (class 3)	182.6	79.1
13 (class 3)	850.9	405.4
Watershed Sediment (t/ha/yr)	22.7	10.8

한 초생수로 형태로 하여 10년빈도 월별 최대치 강우량을 이용하여 토양침식을 다시 예측하였다. 그 결과 전체유역에서 발생한 유사량은 10.8 t/ha/yr으로 나타나 유사량 발생량이 매우 감소한 것으로 나타났다. 또한 최종출구에서 추정된 유사량은 850.9 t/yr에서 405.4 t/yr으로 감소된 것으로 나타나 수로에서의 토양침식에 의한 유사발생량이 총 445.5 t 줄어든 것으로 나타났으며 각각의 수로를 따라 유거수가 상류지점에서부터 하류지점까지 유하하면서 예측된 유사량 저감량은 Table 7과 같다. 이 결과로부터 초생수로를 도입함으로써 수로자체에서 발생하는 토양침식은 거의 발생되지 않아 유역의 전체적인 유사량 감소에는 기여를 하였으나 경사지 밭 포장내에의 유사량 발생에는 전혀 변화가 없는 것으로 나타났다. 그러므로 경사지밭을 포함한 유역전체의 토양침식저감을 위해서는 배수로의 토양침식저감시설 도입과 동시에 경작지의 재배면적을 보전하면서 토양침식을 줄일 수 있는 경작지 포장에서의 저감방안을 고려하여야 하는 것으로 나타났다.

4. 초생대 설치

초생수로 설치에 의한 토양침식예측결과 31개의 경사면 중 4개의 경사면이 10 t/yr 이상으로 나타났으며 4개의 경사면에 유거수의 흐름이 배수로로 유입되기 직전 경사면의 하부 즉 경사지 밭의 가장자리 주변에 일정한 폭으로 초생대를 조성하여 경작지내에서 발생한 토사가 배수로로 유입되지 않도록 Fig. 14와 같이 설치하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

초생대 설치에 의한 토양침식저감효과를 GEOWEPP 모형으로 분석한 결과 유역 전체 토양침식량이 34.6 t/yr 감소하는 것으로 나타났으며 단위면적당 연간 토양침식량이 9.8 t/ha/yr로 저감되는 것으로 나타났다. 그 결과는 Table 8과 같으며 대상 유역의 연간 토양침식량이 OECD가 제시하는 허용토양침식량 10 t/ha/yr 이하로서 OECD의 기준을 만족시킬 수 있는 것으로

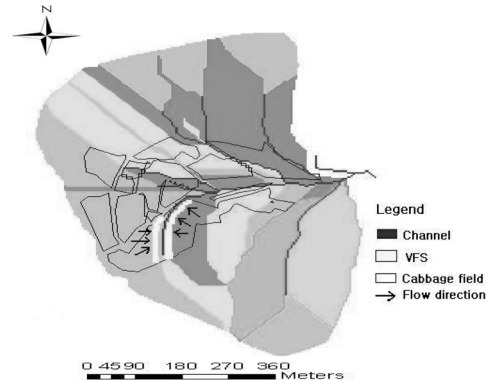


Fig. 14 Example of designed vegetative filter strip construction in hillslope with severe soil erosion

Table 8 Optimal width and Effective hydraulic conductivity of vegetative filter strip

Hillslope No.	Area (ha)	VFS width (m)	Effective hydraulic conductivity (mm/hr)	Sediment load (t/ha/yr) Before VFS	Sediment load (t/ha/yr) After VFS	Reduction load (t/yr)	Reduction rate (R.E. (%))
.e8	1.3	10	50	9.7	5.2	5.9	46.4
12	4.6	10	60	9.6	8.0	7.4	16.7
13	1.8	5	50	10.7	2.3	15.1	78.5
15	1.2	10	50	9.7	4.5	6.2	53.6
Sum						34.6	(48.8 avg.)

나타났다. 또한 초생대를 경작지내에 설치하는 경우 경작지내의 작물재배면적을 보존할 수 있도록 가급적 점유면적이 최소가 되도록 설치하는 것이 좋으며 이를 위해 토양의 심토파쇄 등 유효수리전도도를 높이는 방법이 토양유실을 적게 하는 것으로 나타났다.

IV. 결 론

GEOWEPP 모형을 이용하여 강원도 평창군 대관령면 용산리의 고랭지 경사지밭이 포함된 소유역을 시험유역으로 분석하였으며 2008년 단일호우사상에 대해 검정하였다. 또한 유역단위의 10년빈도 최대토양침식량을 평가하여 토양침식도를 작성하였고 전체유역과 단일경사면에 대한 토양유실저감방안을 제시하면 다음과 같다.

1. GIS 기반인 GEOWEPP 모형을 경사지밭이 포함된 산지하천의 소유역에 적용하여 평가한 결과 총강우량에 대한 총유출량의 상대오차는 +3.5 %, 유사량은 -15 %로 나타났으며, 복합적인 경사지밭이 포함된 유역단위의 토양침식평가 및 저감기술개발에 적합한 모형으로 판단되었다.

2. 단일포장에 대한 토양유실에 대한 평가가 매우 중요하지만 침식된 토사가 유거수와 함께 하천으로 유출되는 유사량이 수질 및 수생태계에 영향을 미치므로 배수로가 포함된 토양 침식평가가 동시에 이루어져야 하며 배수로에서 발생하는 토양침식량이 전체 유역에서 발생된 유사량으로서 선행연구결과를 포함한 결과 50 % 이상을 차지하는 것으로 나타났다. 또한 GEOWEPP모형을 이용하여 침식수로의 경로를 추정하고 추정 경로에 따라 초생수를 설치한 결과 유역 전체 유사발생량의 52 %를 저감하는 것으로 분석되었다.

3. GEOWEPP 모형을 이용하여 유역전체의 경사면에 따른 토양침식도를 작성하여 토양침식이 심각한 경사면을 추출해 내고 관리대상이 되는 경사면에 대해 초생대를 설치하여 토양유실을 저감할 수 있으며 가급적 유거수가 배수로로 흘러들어가는 경사면의 가장자리에 5~10 m의 초생대를 설치하고 심토파쇄 등 토양의 유효수리전도도를 50 mm/hr 까지 증가시키면

경사면에서의 토양침식량을 평균적으로 48.8 %를 저감할 수 있는 것으로 나타나 경작지 보존 측면에서 효과적인 것으로 나타났다.

REFERENCES

1. Agriculture Research Service (ARS), 2004. GEOWEPP Tutorial, U.S. Department of Agriculture.
2. Choi, J. W., G. W. Hyun, J. W. Lee, D. S. Shin, K. S. Kim, Y. S. Park, J. G. Kim, and K. J. Lim, 2009. Evaluation of sediment yield prediction and estimation of sediment yield under various slope scenarios at Jawoon-ri using WEPP Watershed model. *Journal of the Korean Society on Water Quality* 25(3): 441-451 (in Korean).
3. Hyun, G. W., B. N. Huh, W. G. Jeong, S. Y. Koh, S. J. Lee, T. U. Lee, S. B. Park, Y. j. Kim, and S. S. Kim, 2008. Effect of dual-cylinder type sedimentation basin to reduce soil loss at the highland agriculture region. Gangwon-do, Health and Environmental Institute Report (in Korean).
4. Jung, K. H., W. T. Kim, S. O. Hur, S. K. Ha, P. K. Jung, and Y. S. Jung, 2004. USLE/RUSLE factors for national scale soil loss estimation based on the digital detailed soil map. *Journal of Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 37: 199-206 (in Korean).
5. Jung, P. K., M. H. Ko, J. N. Im, K. T. Um, and D. U. Choi, 1983. Rainfall erosion factor for estimating soil loss. *Journal of Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 16: 112-118 (in Korean).
6. Jung, Y. S., J. S. Shin, and Y. H. Shin, 1976. Erodibility of soils of Korea. *Journal of Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 9: 109-113 (in Korean).
7. Jung, Y. S., Y. K. Kwon, H. S. Lim, S. K. Ha, and J.

- E Yang, 1999. R and K factors for an application of RUSLE on the slope soil in Kangwon-Do, Korea. *Journal of Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 32: 31-38 (in Korean).
8. Kang, M. G., S. W. Park, J. H. Son, and M. S. Kang, 2004. Applications of Wepp Model to a Plot and a small Upland watershed. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 46(1): 87-97 (in Korean).
9. Kim, M. S., J. K. Kim, and D. Y. Yang, 2007. Application and Comparison of GeoWEPP model and USLE model to Natural Small Catchment -A Case Study in Danwol-dong, Icheon-si. *Journal of korean society of Economic and Environmental Geology* 40(1): 103-113 (in Korean).
10. Park, J. H., H. S. Woo, C. K. Pyun, and K. K. Kim, 2000. A study of distribution of rainfall erosivity in USLE/RUSLE for estimation of soil loss. *Journal of Korea Water Resources Association* 33: 603-610 (in Korean).
11. Renard, K. G., G. R. Foster, G. A. Weesies, D. K. McCool, and D. D. Yoder, 1997. Predicting soil erosion y water. A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Agricultural Handbook No. 703, U.S. Department of Agriculture, Washington DC, USA.
12. Wischmeier, W. H., and D. D. Smith, 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Agricultural Handbook No. 537, U.S. Department of Agriculture, Washington DC, USA.