

WEPP 모형을 이용한 밭포장과 밭유역의 토양 유실량 추정

Applications of WEPP Model to a Plot and a Small Upland Watershed

강민구* · 박승우** · 손정호*** · 강문성****

Kang, Min Goo · Park, Seung Woo · Son, Jung Ho · Kang, Moon Seong

Abstract

The paper presents the results from the applications of the Water Erosion Prediction Project (WEPP) model to a single plot, and also a small watershed in the Mid Korean Peninsula which is comprised of hillslopes and channels along the water courses. Field monitoring was carried out to obtain total runoff, peak runoff and sediment yield data from research sites. For the plot of 0.63 ha in size, cultivated with corn, the relative error of the simulated total runoff, peak runoff rates, and sediment yields using WEPP ranged from -16.6 to 22%, from -15.6 to 6.0%, and from 23.9 to 356.4% compared to the observed data, respectively. The relative errors for the upland watershed of 5.14 ha ranged from -0.7 to 11.1 % for the total runoff, from -6.6 to 35.0 % for the sediment yields. The simulation results seem to justify that WEPP is applicable to the Korean dry croplands if the parameters are correctly defined. The results from WEPP applications showed that the major source areas contributing sediment yield most are downstream parts of the watershed where runoff concentrated. It was suggested that cultural practice be managed in such a way that the soil surface could be fully covered by crop during rainy season to minimize sediment yield. And also, best management practices were recommended based on WEPP simulations.

Keywords : WEPP, Sediment yield, Upland watershed, Vegetated waterway

I. 서론

경사지로부터 유실된 토사는 하류의 댐, 저수지, 수로 등의 수리구조물에 퇴적되어 내용적을 감소시키거나 통수능력을 감소시키며, 이를 준설하기 위하여 별도의 예산 투입이 필요하다. 또한, 유실되는 토사는 하천의 유사농도를 높이며 토립자와 함께 비료나 농약성분이 유실되어 호수의 부영양화를 초

* 한국수자원공사 수자원연구원
** 서울대학교 농업생명과학대학
생물자원공학부 교수
*** 삼안건설기술공사
**** 서울대학교 농업생명과학연구원
* Corresponding author. Tel.: +82-42-860-0347
Fax: +82-42-860-0349
E-mail address: kmg901@hanmail.net

래하거나 하류구간의 수질 문제를 일으키기도 한다 (김과 박, 1994).

침식과 퇴적 등에 의한 경사지의 토양유실 문제를 해결하는 최선의 방법은 토양침식이 발생하는 곳이나 인접한 지점에서 침식량을 억제하거나 조절하는 것이다. 이를 위해서는 침식원을 분명히 하고, 이로 인한 하류구간의 영향을 규명해야 하나, 경사지의 토양유실량을 실측하고 분석하는데는 많은 경비와 시간이 소요되고, 결과도 특정한 지역에 국한된다는 단점을 갖고 있다. 따라서, 대상유역의 토양 침식을 모의할 수 있는 모형을 적용하게 되며, 적절한 모형은 토지이용 등에 따른 유역의 침식 및 퇴적량의 변화를 분석할 수 있으며 저감대책을 강구할 수 있다 (김, 1989).

강우에 의한 토양유실량 추정 모형에는 경험적인 모형, 통계학적인 모형, 물리적 기반 모형 등이 있다. 경험적인 모형으로는 유량-유사량 관계식을 이용하는 것이 있고, 통계학적인 모형으로는 토양 유실에 관련된 인자들을 이용하는 USLE, RUSLE 식 등이 있다. 물리적 기반 모형으로는 수문모형과 결합하여 토양유실량을 예측하는 ANSWERS, CREAMS, EPIC, WEPP 등이 있다. USLE 식은 통계학적 기반의 모형이기 때문에 통계자료가 수집되지 않은 지역에 적용하기 어렵고, 퇴적, 침전, 수로침식 등을 고려할 수 없는 한계를 가지고 있어 유역 말단에서 배출되는 토양 유실량을 계산할 수 없으며, 토양유실 방지대책을 위한 수리구조물의 외삽 등이 구조적으로 불가능하다. WEPP 모형은 물리적 기반 모형으로서 미국내 토양유실 관련기관들이 USLE 식 및 RUSLE 식을 대체할 토양유실량 추정 모형개발을 목표로 만든 모형으로서 단일 경사지나 유역의 말단에서 배출되는 토양유실량을 계산할 수 있으며, 토양유실량 억제를 위한 경사지 관리 및 수리구조물의 영향을 고려할 수 있다 (Ascough II 등, 1997; Baffaut 등 1997; 이와 김, 1999). 국내의 물리적 기반모형의 적용사례로는 김(1989)이 ANSWERS 모형을 사용하여 단일

포장의 토양유실량을 추정한 바가 있으며, 김 (1997)이 간단한 수문개념을 적용하여 토립자의 침전속도를 고려하고 토사의 운송과 재운송을 고려한 물리적 기반모형을 개발하여 단일포장에 적용한 바가 있으나, 여러 개의 포장으로 구성된 밭유역에 물리적 기반 모형을 적용한 사례는 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는 여러 개의 경사지로 구성된 밭유역에서 폭우시 발생하는 유출량과 토양유실량 예측에 대한 WEPP 모형의 적용성을 평가하여 토양유실량을 저감시킬 수 있는 방안을 제안하고자 한다. 이를 위해 목장초지로 사용되는 단일포장과 여러 개의 포장으로 구성된 밭유역 등 2개의 시험지구를 선정하였다. 선정된 시험지구에 대하여 유출량 및 토양유실량을 측정하고, 시험지구의 지형, 토양, 재배작물 등에 관련된 자료를 수집하여 밭유역 토양유실량 예측에 대한 WEPP 모형의 적용성을 평가하였다. 또한, 모의결과를 이용하여 밭유역의 침식원을 밭포장과 배수로로 구분하여 침식원별 토양유실량을 분석하였으며, 토양유실량을 저감시키기 위하여 경사지를 경작상태와 부분적인 경작상태로 구분하고 배수로에 초생수로를 설치할 경우 토양유실량을 모의하여 저감정도를 평가하였다.

II. WEPP 모형의 개요

WEPP(Water Erosion Prediction Project) 모형은 물리적 기반의 process-based 침식 모형으로 토양 및 물의 보존과 환경적 계획 및 평가에 적용하기 위해 토양유실량 산정에서 USLE(Universal Soil Loss Equation)를 대체하기 위해 현대 수문학, 침식 과학 등을 기반으로 개발되었다. 전체 패키지는 단일포장 버전(profile version)과 유역 버전(watershed version)으로 나누어진다. 단일포장 버전은 포장에서 토립자의 분리와 퇴적을 모의하여 포장 말단에서 토양유실량을 계산하고, 유역버전은 여러 개의 포장과 수로에서 발생하는 토양유실량,

수리구조물에 의한 퇴적 등을 고려하여 소유역에서 토양유실량과 퇴적량을 계산한다.

WEPP 모형은 포장에서 지표유출에 따라 발생하는 토양유실 및 퇴적, 유역의 수로에서 집중류에 의해 발생하는 토양유실 및 퇴적, 수리구조물에서 유사퇴적 등을 예측하기 위한 모형이다. WEPP 모형은 포장에서 토양유실량을 모의하는 침식 부모형(erosion component), 지표유출량을 계산하는 수문 부모형(hydrologic component), 근근역의 토양수분과 증발산량을 계산하는 물수지 부모형(water balance component), 추계학적 방법으로 기상자료를 생성하는 기상 부모형(climate component), 작물성장과 그에 따른 수문 및 토양유실 과정에 대한 영향을 고려하기 위한 작물성장 부모형(plant growth component), 작물잔류물질의 분해 및 처리효과를 고려하는 잔류물질 분해 부모형(residue decomposition component), 정지 스프링클러나 고랑관개 시스템에 의한 토양유실량 추정을 위한 관개 부모형(irrigation component) 등의 부모형으로 구성되어 있으며, 이들 부모형간의 적절한 연결을 통하여 사용자가 원하는 환경에 대한 토양유실량을 예측한다(이와 김, 1999; Liu 등 1997; Tiscareno-Lopez 등, 1994; Tiscareno-Lopez 등, 1993; Risse 등 1995, Risse 등 1994, ARS, 1995).

III. 시험지구의 토양유실량 모니터링

밭에서 발생하는 토양 유실량을 추정하고 저감대책을 제안하기 위하여 한 개의 포장으로 구성된 목장의 경작초지와 6개의 포장으로 구성된 밭유역을 시험지구로 선정하였다.

1. 시험지구

가. 단일포장

강우에 따른 단일포장의 유출 및 토양유실량 추

정에 대한 WEPP 모형의 적용성을 평가하기 위하여 김(1989)이 ANSWERS 모형의 적용성을 평가하기 위하여 강우에 의한 유출량과 토양유실량을 측정된 서울대학교 농업생명과학대학 부속 목장의 경작초지를 선정하였다. 선정된 시험포장의 면적은 약 0.63 ha이며, 재배작물은 옥수수이다.

Fig. 1은 시험포장의 토양분포와 표고를 나타낸 것이다. 시험포장의 평균경사는 약 3.3 %이며, 토양은 Fig. 1과 같이 두 개의 토양으로 구성되어 있으며, 토양 종류는 원곡토(Soil I)과 고평토(Soil II)이다.

Table 1은 시험포장 토양의 물리적 특성을 나타낸 것이다. Table 1과 같이 시험포장의 상류부에 위치한 지역의 토성은 원곡토로 하류부지역의 토성인 고평토보다 모래(sand) 함량이 많고 점토(clay) 함량이 작아 배수성이 더 크며, USDA 삼각분류법을 적용하면 Soil I은 Loam, Soil II는 Silty Clay로 분류된다.

시험포장으로부터의 유출량은 유출구의 말단에 H 플룸(flume)을 제작하여 수위-유량 관계를 구

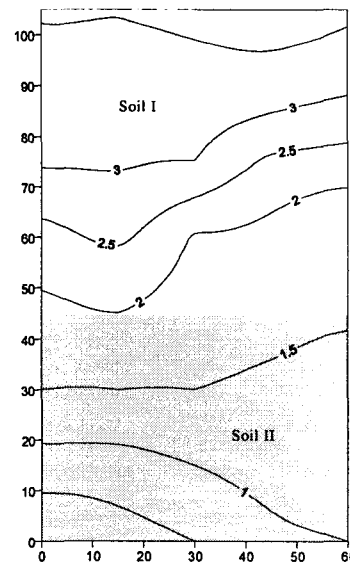


Fig. 1 Topographic map of corn plot (Unit: m)

Table 1 Physical soil properties of the corn plot

Type	Soil series	Particle Composition (%)			OMC ²⁾ (%)	Textural class
		Silt+VFS ¹⁾	Sand	Clay		
Soil I	Wongok	52.7	29.8	13.9	1.4	Loam
Soil II	Gopyeong	59.3	5.9	34.8	1.0	Silty clay

¹⁾ Very fine sand

²⁾ Organic matter content

한 후 수위로부터 유량으로 환산한 결과를 이용하였다. 시험포장의 유출에 따른 토양 유실량은 시험포장의 유출수를 채수하여 유량과 유사농도의 관계를 구명한 유출량-유사농도 관계식을 이용하여 계산하였다(김, 1989).

나. 밭유역

여러 개의 포장으로 구성된 밭유역의 유출량과 토양유실량을 측정하기 위하여 경기도 화성군 향남면 하길리 소재의 실제 경작중인 밭지역을 선정하였다. 선정된 하길리 밭유역은 위도 37°05' 24" N, 경도 126°55' 03" E에 위치하고 있으며, Fig. 2는 GPS와 Total Station을 사용하여 지형측량을 실시한 결과를 나타낸 것이다. 선정된 유역은 중앙에 위치한 자연형 배수로를 중심으로 양분되어 있으며, 표고도 중앙의 배수로를 향하여 감소하는 양상을 나타내고 있으며, 강우시 밭지역의 유출수는 중앙배수로를 따라 유출된다.

시험지구의 토성을 파악하기 위하여 Fig. 2에 나타낸 A1, A2, B1, B2 등과 같이 배수로 근처에서 토성이 육안으로 판단할 때 차이가 있는 지점을 선정하여 깊이별로 토양시료를 채취한 후 체분석시험을 하였다. Table 2는 시험지구 토양의 평균 조성을 나타낸 것이다. 시험지구의 토성을 분석한 결과, 모래 함량은 평균 50.0~61.1 %, 실트 함량은 평균 17.2 ~21.5 %, 점토 함량은 평균 17.5~30.2 %이며, USDA의 삼각분류법에 따라 분류하면 Sandy clay loam에 해당된다.

Table 2 Physical soil properties of the research upland watershed

Position	VFS (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	OMC (%)	Textural class
A1	10.80	50.0	19.8	30.2	8.3	Sandy clay loam
A2	11.50	59.6	17.2	23.3	6.9	Sandy clay loam
B1	12.50	61.1	21.4	17.5	5.0	Sandy clay loam
B2	12.50	54.5	21.5	24.0	7.6	Sandy clay loam

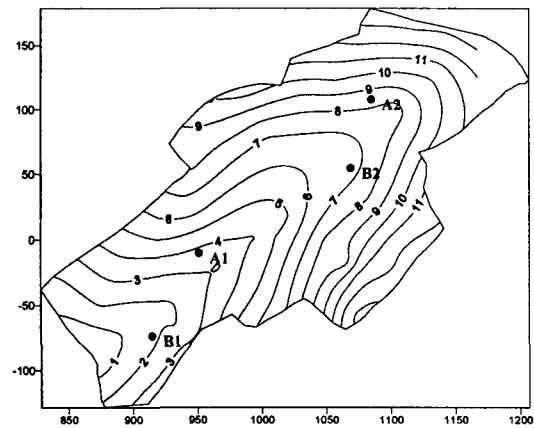


Fig. 2 Topographic map of the research upland watershed (Unit : m)

밭유역에서의 유출량은 유역 중앙에 위치한 배수로의 말단에 자기수위계를 설치하여 강우시 수위를 측정하고, 현장측정을 통해 유도된 수위-유량 관계식을 이용하여 유출량을 계산하였다. Fig. 3은 측정된 수위를 유량으로 환산하기 위해 현장 측정자료를 사용하여 유도된 수위-유량 곡선을 나타낸 것이다. Fig. 4는 폭우시 측정된 수위로부터 환산된 유량을 사용하여 유역의 토양유실량을 계산하기 위하여 실측자료를 사용하여 유도된 유량-유사농도 곡선을 나타낸 것이다.

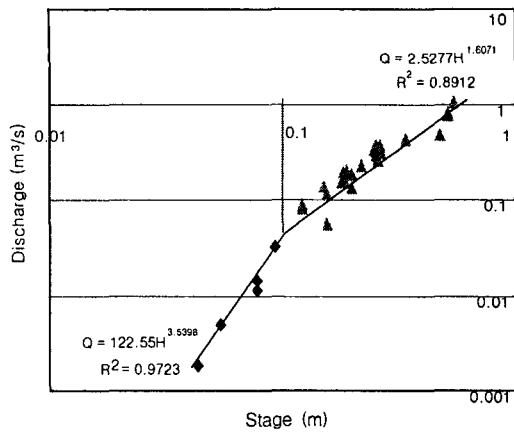


Fig. 3 Stage-discharge relationships of the research upland watershed

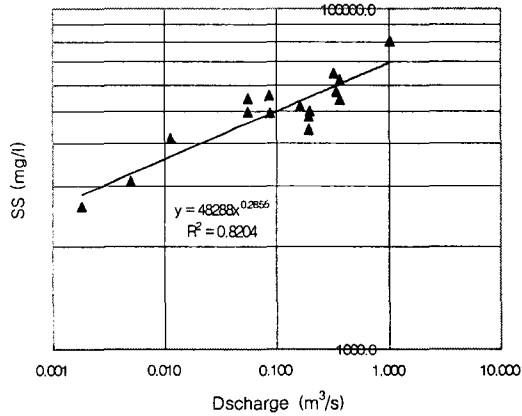


Fig. 4 Discharge-sediment concentration relationships of the research upland watershed

IV. 모형의 적용

1. 단일 포장

가. 입력자료 구성

(1) 지표유출요소(Overland Flow Element, OFE)

WEPP 모형에서는 동일 유역에서 유역의 작부체계나, 토양 특성이 다른 경우 여러 개의 지표유출요소로 나눠서 유출을 계산한 다음 합성하여 유역

의 유출 및 토양유실량을 계산한다. 본 연구에서 단일포장의 유출 및 유사량 모의에 대한 WEPP 모형의 적용성을 평가하기 위하여 선정한 목장경작초지는 토양의 물리적 특성이 두가지로 구분되므로 시험포장을 두 개의 지표유출요소(OFE)로 구분하였다.

(2) 토양자료

각 지표유출요소(OFE)에 대한 토양조성 중 모래, 점토, 유기물 함량은 Table 1 자료를 사용하였으며, 양이온치환용량(CEC)은 WEPP 모형에서 토성에 따라 분류하는 방법을 따라 13.0 meq/100g을 적용하였다.

토양유실량에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 토양침식능에 관련된 매개변수로 세류간침식능 (K_i), 세류침식능 (K_r), 한계전단응력(τ_c)이다. WEPP 모형에서는 대상지구의 토양침식능에 관련된 매개변수를 토양성분의 함유율을 사용하여 추정하며, 경작토양의 모래함양 30%를 기준으로 구분된다. 목장경작 초지의 경우, 두 개 토양의 모래함양이 30% 이하이므로 Table 3과 같이 적용하였다(ARS, 1995).

Table 3 Soil Erodibility Parameters of the corn plot

OFE*	K_i ($\text{kg} \cdot \text{s}/\text{m}^4$)	K_r (s/m)	τ_c (Pa)
I	5,287,693.0	0.0152	3.50
II	4,135,476.0	0.0070	3.50

* : Overland Flow Element

(3) 지형자료

지형자료는 경사지의 길이, 폭, 경사도에 관련된 자료이며, 실제 측량 성과나 지형도를 이용하여 입력한다. 목장경작초지의 지형자료는 과거 측량성과를 이용하여 작성된 지형도(김, 1988)에서 길이별 표고를 추출하여 경사도를 계산하였다. 포장의 면적은 0.63 ha이며, 폭은 60 m, 길이는 105 m이

며, 지표유출요소는 길이가 45 m, 60 m인 2개의 지표유출요소로 나뉘서 입력자료를 구성하였다.

(4) 기상자료

WEPP 모형은 연속적인 일별 유출 및 토양유실량 뿐만 아니라 단일 강우사상에 의한 대한 유출 및 토양유실량의 모의가 가능하다. 따라서, 본 연구에서는 일별 유출 및 토양유실량 측정자료가 없는 관계로 단일 강우사상에 의한 유출 및 토양유실량을 모의하였다. 모의기간 중의 강우자료의 경우 김 (1988)이 적용한 자료를 시간별 누가강우량으로 환산하여 사용하였고, 일별 최대, 최저기온, 태양 복사량, 풍향, 풍속, 이슬점 온도 등의 기상자료는 수원기상대의 자료를 사용하였다.

(5) 작물 및 재배관리자료

대상 포장의 경작 작물은 옥수수로서 재배작물에 관련된 주요 매개변수는 WEPP 모형에서 제공하는 옥수수에 관련된 매개변수 값을 사용하였다.

나. 적용결과

단일 포장의 유출 및 토양유실량 모의에 대한 WEPP 모형의 적용성 평가는 1988년 7월 12일~7월 15일에 발생한 4개의 강우사상에 대한 실측 유출량, 토양유실량과 모의결과의 비교를 통하여 실시하였다.

Table 4는 실측치와 모의치의 총유출량, 침투유출량, 토양유실량을 비교한 것이다. 선정된 강우사상의 강우량은 29.2~71.2 mm이었으며, 실측치와

모의치간의 상대오차는 총유출량의 경우 -16.6~2.2 %, 침투유출량의 경우 -15.6~6.0 %, 토양유실량의 경우 -23.9~356.4 %를 나타냈다.

2. 밭유역

가. 입력자료 구성

(1) 유역구조자료

밭유역의 강우시 유출 및 토양유실량 예측에 대한 WEPP 모형의 적용성을 평가하기 위하여 선정된 하길리 밭유역의 모의를 위하여 Fig. 5와 같이 중앙에 위치한 배수로를 중심으로 좌우 각각 3개씩 6개의 단일포장으로 구분하였으며, 각각의 단일포장은 동일한 토성과 작부체계를 갖도록 하였다. Table 5는 각 경사지의 제원을 나타낸 것으로, 각 경사지의 면적은 0.42~1.40 ha으로 총 5.14 ha이다. 폭과 길이는 WEPP 모형의 구동을 위하여 동일한 면적을 갖는 사각형 요소로 대체할 경우의 값을 나타내는 것으로서 단일포장의 길이는 34~100 m, 폭은 100~140 m로 구성하였다.

(2) 토양자료

각 단일포장에 대한 토양조성 중 모래, 점토, 유기물 함량은 Table 2에 나타난 토양샘플링 지점의 토양성분자료를 이용하였다. 토양침식능에 관련된 매개변수인 세류간침식능 (K_i), 세류침식능 (K_r), 한계전단응력 (τ_c)은 Table 5에 나타난 값을 사용하였다 (ARS, 1995).

Table 4 Comparison between the observed data and the simulated results for the corn plot

Storm event	Rainfall (mm)	Total runoff (mm)			Peak runoff rate (mm/h)			Sediment yield (kg)		
		Obs.	Sim.	RE* (%)	Obs.	Sim.	RE (%)	Obs.	Sim.	RE (%)
7/12	71.2	9.34	8.22	-12.0	7.52	6.73	-10.5	2.8	12.78	356.4
7/13	39.8	29.47	24.58	-16.6	24.88	21.00	-15.6	37.9	36.9	-2.6
7/14	29.2	18.51	18.91	2.2	5.82	6.17	6.0	18.3	13.92	-23.9
7/15	51.5	33.29	32.56	-2.2	20.06	20.87	4.0	52.5	51.42	-2.1

* : Relative error

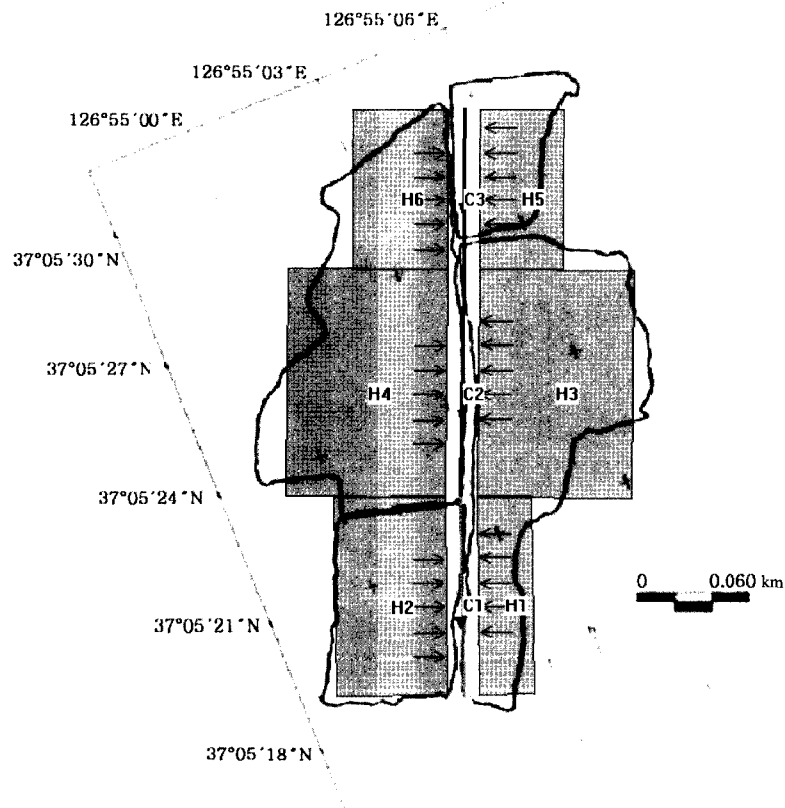


Fig. 5 Flow routing map of the research upland watershed for WEPP applications

Table 5 Soil and sediment transport parameters of each plot of the research upland watershed

Plot	Area (ha)	Width (m)	Length (m)	Management	K_i ($\text{kg} \cdot \text{s}/\text{m}^4$)	K_r (s/m)	τ_c (Pa)
H1	0.42	123.3	34	fallow	4695104.0	0.00505	3.118
H2	0.86	123.3	70	pepper	4739287.0	0.00511	3.090
H3	1.34	140.0	96	fallow	5038963.0	0.00505	3.237
H4	1.40	140.0	100	fallow	5136934.0	0.00573	3.082
H5	0.52	100.0	52	fallow	5038963.0	0.00505	3.237
H6	0.60	100.0	60	fallow	5136934.0	0.00573	3.082

(3) 지형자료
 대상유역의 지형자료는 지형측량 성과를 사용하여 각 단일포장별 경사도를 계산하여 작성하였다.

각 경사지의 면적, 폭, 길이에 대한 재원은 Table 5와 같으며, 각 단일포장은 토성과 작부체계가 동일한 것으로 하여 OFE는 1개로 하였다.

(4) 기상자료

유역의 기상자료중 시간별 강우자료는 시험지구에서 0.4 km 떨어진 지점에 강우계를 설치하여 수집한 시간별 강우자료를 누가강우량으로 환산하여 사용하였고, 일별 최대, 최저기온, 태양 복사량, 풍향, 풍속, 이슬점 온도는 수원기상대의 기상자료를 이용하였다.

(5) 작물 및 재배관리자료

대상유역의 작부체계는 H2 포장은 고추였으며 그 외 포장은 울무였으나, H2 포장 이외의 포장에서는 파종이후 계속된 가뭄으로 인하여 작물이 성장하지 못하여 휴경지화 되었다. 따라서, H2 포장의 작물에 관련된 자료는 WEPP 모형에서 제공하는 고추에 관련된 매개변수 값을 사용하였으며, 그 이외의 포장은 휴경상태로 처리하였다.

(6) 수로자료

대상유역의 수로자료는 경사도, 토성, 관리상태, 기상, 수리특성 등에 관련된 자료를 유역의 유출특성에 따라 3개로 구분한 수로에 대해서 작성했다.

나. 적용결과

밭유역의 유출 및 토양유실량 모의에 대한 WEPP 모형의 적용성 평가는 2001년 7월 14일~8월 15일에 발생한 4개의 강우사상에 대한 실측 유출량, 토양유실량과 모의결과의 비교를 통하여 실시하였다. Table 6은 실측치와 모의치의 총유출량, 토양유실량을 비교한 것이다. 모의사상의 강우량은 12.4~40.4 mm이었으며, 실측치와 모의치간

의 상대오차는 총유출량의 경우 -0.7~11.1 %, 토양유실량의 경우 -6.6~35.0 %를 나타냈다. 유출량이 작은 7/14 사상의 경우 토양유실량의 실측치와 모의치의 상대오차가 35.0 %으로 가장 크고, 나머지 강우사상은 실측치와 모의치가 비슷한 값을 나타냈다.

V. 모형의 응용

1. 침식원별 토양유실량 비교

밭유역의 토양유실량을 저감시키기 위해서는 포장의 토양유실량을 감소시키면서 영농활동을 하는 토양보전적 영농법, 포장의 형상을 변경하거나 토목구조물을 배치하는 토목공학적인 보전법이 필요하다. 이를 위해서 모형의 모의결과를 사용하여 경사지별 토양유실량과 배수로의 토양유실량을 분석하였다. Fig. 6은 WEPP모형을 적용하여 8/07의 모의결과를 각 포장별 단위면적당 토양유실량을 비교한 것이다. 모형을 적용했을 때 H2 포장만 고추를 재배하고 있었으며, 다른 포장은 나지 상태였다. 따라서, H2 포장의 토양유실량이 가장 작게 나타나고 있다. 동일한 나지상태의 포장을 비교해보면 H1 포장이 다른 포장 보다 작은 단위면적당 토양유실량을 나타내고 있는데 이는 H1 포장의 경사장이 다른 경사지의 경사장 보다 짧기 때문이다. Fig. 7은 각 포장과 배수로의 토양유실량을 나타낸 것이다. 배수로를 상류에서 하류방향으로 C1, C2, C3

Table 6 Comparison between the observed and simulated values for the research upland watershed

Storm event	Rainfall (mm)	Total runoff			Sediment yield		
		Obs. (m ³)	sim. (m ³)	RE (%)	Obs. (ton)	Sim. (ton)	RE (%)
7/14	12.4	30.0	30.3	0.9	0.6	0.8	35.0
8/07	36.2	1342.6	1491.0	11.1	54.1	51.5	-4.8
8/13	26.8	978.2	1010.0	3.3	35.9	34.2	-4.9
8/14	40.4	1528.0	1517.2	-0.7	53.8	50.2	-6.6

로 구분할 경우, 하류 방향으로 갈수록 유량이 집중되기 때문에 토양유실량이 크게 나타나고 있다. 경사지와 배수로의 토양유실량을 비교해 보면 배수로로부터 발생하는 토양유실량이 전체의 41%를 차지하고 있다. 따라서, 발유역의 토양유실량을 저감시키기 위해서는 경작지의 토양유실량을 저감시

키는 방안을 강구할 뿐만 아니라 배수로의 토양유실량을 저감시키는 방안도 병행해야 할 필요가 있다.

2. 토양유실량 저감대책

발유역의 토양유실량을 저감시키기 위한 방법으로 배수로에 식생을 한 초생수로 설치한 경우, 모든 경지를 경작상태로 한 경우, 모든 경지를 경작상태로 하고 초생수로 설치한 경우 등 3가지 방안에 대하여 모의한 토양유실량을 선정된 발유역이 일부 경지만 경작상태일 경우의 모의결과와 비교하였다. 경사지를 경작상태로 유지하는 것은 고추를 재배한 상태로 하였으며, 배수로에 초생수를 설치하는 것은 수단그라스를 식재하는 것으로 하였으며, 이 경우 Manning 조도계수를 0.20을 사용하였다 (ARS,1995).

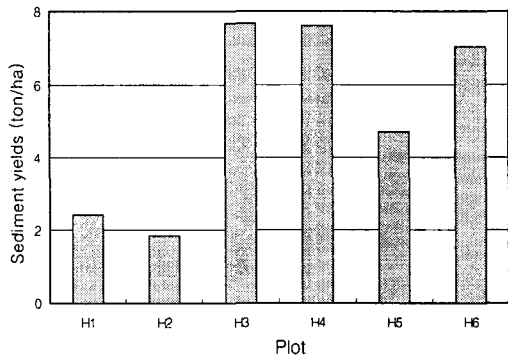


Fig. 6 Comparison of the sediment yield from each plot (8/07)

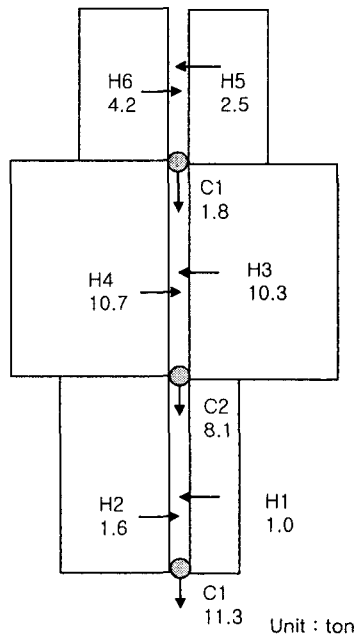


Fig. 7 Comparison of sediment yield as to each eroded position (8/07)

Table 7은 각 방안에 따른 토양유실량을 비교한 것이다. 부분 경작상태이고 초생수를 설치한 경우에 발생하는 강우사상별 토양유실량은 27.5~42.5 ton으로 초생수를 설치하지 않은 경우 보다 17.5~19.5 % 감소된 결과를 나타냈다. 모든 경지에 고추를 재배하고 배수로에 초생수를 설치하지 않는 경우에 발생하는 강우사상별 토양유실량은 25.7~40.2 ton으로 부분적으로 고추를 재배한 경우보다 22.0~24.8 % 감소된 결과를 나타냈다. 모든 경지에 고추를 재배하고 배수로에 초생수를 설치한 경우에 발생하는 강우사상별 토양유실량은 19.6~31.7 ton으로, 부분적으로 고추를 재배하고 초생수를 설치하지 않는 경우 보다 38.5~42.6 % 감소된 결과를 나타냈다. 따라서, 발유역에서 토양유실량을 저감시키기 위해서는 폭우가 집중되는 여름철에 경지를 나지 상태로 방치하지 않고 작물을 재배하여야 하며, 발유역의 토양유실량 중 많은 양을 차지하는 배수로의 토양유실량을 저감시키기 위해서는 초생수로와 같은 저감대책이 필요하다.

Table 7 Comparison of the simulated sediment yields from the research upland watershed with respect to different management practices

Storm event	Partially cultivated condition	Vegetated waterway+Partially cultivated condition		Cultivated condition		Vegetated waterway+Cultivated condition	
	Sediment yield (ton)	Sediment yield (ton)	Reduction ratio (%)	Sediment yield (ton)	Reduction ratio (%)	Sediment yield (ton)	Reduction ratio (%)
8/07	51.5	42.5	17.5	40.2	22.0	31.7	38.5
8/13	34.2	27.5	19.5	25.7	24.8	19.6	42.6
8/14	50.2	41.0	18.3	38.4	23.5	29.8	40.6

VI. 요약 및 결론

본 연구에서는 여러 개의 포장으로 구성된 밭유역에서 폭우시 발생하는 유출량과 토양유실량 예측에 대한 WEPP 모형의 적용성을 평가하고 토양유실량을 저감시킬 수 있는 방안을 검토하였다. 이를 위해 목장초지로 사용되는 단일포장과 여러개의 포장으로 구성된 밭유역 등 2개의 시험지구를 선정하였다. 선정된 시험지구에 대하여 유출량 및 토양유실량 측정하고, 시험지구의 지형, 토양, 재배작물 등에 관련된 자료를 수집하여 단일 포장과 밭유역 토양유실량 예측에 대한 WEPP 모형의 적용성을 평가하였다. 또한, 모의결과를 이용하여 밭유역의 침식원을 밭포장과 배수로로 구분하여 침식원별 토양유실량을 분석하였으며, 토양유실량을 저감시키기 위하여 포장을 경작상태와 부분적인 경작상태로 구분하고 배수로에 초생수로를 설치할 경우 토양유실량을 모의하여 저감정도를 평가하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

① 단일 포장의 유출량과 토양유실량을 측정하기 위하여 서울대학교 농업생명과학대학 부속 목장의 경작초지와 밭유역의 유출량과 토양유실량을 측정하기 위하여 경기도 화성군 향남면 하길리 소재의 실제 경작중인 밭지역을 시험지구로 선정하였다. 이들 지구에 대하여 지형자료를 구축하기 위하여 지형측량을 실시하였으며, 체분석 시험을 통하여

토성을 분석하였다. 대상지구의 모니터링을 통하여 강우시 유출량과 토양유실량자료를 수집하였다.

② 시험지구에 대한 강우시 유출 및 토양유실량에 대한 WEPP 모형의 적용성을 평가한 결과, 단일포장의 경우에는 실측치와 모의치간의 상대오차는 총유출량이 -16.6~2.2 %, 침투유출량이 -15.6~4.0 %, 토양유실량이 -23.9~356.4 %를 나타냈으며, 밭유역에서는 실측치와 모의치를 비교한 결과, 실측치와 모의치간의 상대오차는 총유출량이 -0.7~11.1 %, 토양유실량이 -6.6~35.0 %를 나타냈다.

③ 밭유역의 토양유실량을 감소시키기 위한 밭유역의 토양유실에 대한 정성적인 평가를 하기 위하여 각 포장별 토양유실량을 분석한 결과 경작시 토양유실량이 감소했으며, 포장의 길이가 짧을수록 토양유실량이 감소하였다. 배수로의 토양유실량을 분석한 결과 유량이 집중되는 하류부에서 토양유실량 많이 발생하는 결과를 나타냈으며, 전체 유역에서 발생하는 토양유실량의 40~50 %를 차지하였다.

④ 밭유역의 토양유실량을 저감시키기 위한 방법을 모의결과를 통하여 비교한 결과, 부분경작을 실시하는 경우보다 모든 경지를 경작할 경우 토양유실량은 폭우사상별로 22.0~24.8 %의 감소된 결과를 나타냈으며, 모든 경지를 경작상태로 하고 배수로에 초생수로를 설치할 경우에는 38.5~42.6 % 감소한 결과를 나타냈다.

References

1. Agricultural Research Service(ARS). 1995. WEPP user summary, U. S. Department of Agriculture.
2. Ascough II, J. C., C. Baffaut, M. A. Nearing, and B. Y. Liu. 1997. The WEPP watershed model: I. Hydrology and erosion. *Transactions of the ASAE* 40(4) : 921-933.
3. Baffaut, C., M. A., Nearing, J. C. Ascough II, and B. Y. Liu. 1997. The WEPP watershed model: II. Sensitivity and discretization on small watersheds. *Transactions of the ASAE* 40(4) : 935-943.
4. Kim, J. T and S. W. Park. 1994. Runoff and Soil Losses from sloping lands with different cropping practices. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 36(1) : 73-82. (in Korean)
5. Kim, J. T. 1989. Application of soil erosion and sedimentation models to a small watershed. MS thesis, Seoul National University. (in Korean)
6. Kim, S. J. 1997. Physically-based soil-water erosion model. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 39(4) : 82-89. (in Korean)
7. Lee, B. L. and C. Y. Kim. 1999. Prototype of JAVA/socket-based web interface for DOS-WEPP. *Agroinformation journal* 1(1): 43-48. (in Korean)
8. Liu B. Y., M. A. Nearing, C. Baffaut, J. C. Ascough II, and B. Y. Liu. 1997. The WEPP watershed model: III. Comparisons to measured data from small watersheds. *Transactions of the ASAE* 40(4) : 945-952.
9. Tiscareno-Lopez, M., V. L. Lopes, J. J. Stone, and L. J. Lane. 1994. Sensitivity analysis of the WEPP watershed model for rangeland applications II: Channel Processes. *Transactions of the ASAE* 37(1) : 151-158.
10. Tiscareno-Lopez, M., V. L. Lopes, J. J. Stone, and L. J. Lane. 1993. Sensitivity analysis of the WEPP watershed model for rangeland applications I: hillslope Processes. *Transactions of the ASAE* 36(6) : 1659-1672.
11. Risse, L. M., M. A. Nearing, and X. C. Zhang. 1995. Variability in Green-Ampt effective hydraulic conductivity under fallow conditions. *Journal of Hydrology* 169 : 1-24.
12. Risse, L. M., M. A. Nearing, and M. R. Savabi. 1994. Determining the Green-Ampt effective hydraulic conductivity from rainfall-runoff data for the WEPP model. *Transactions of the ASAE* 37(2) : 411-418.