

# WEPP 모형을 이용한 발유역의 토양 유실량 추정 및 분석

Estimating and Analysis of Soil Loss from Upland Watershed Using WEPP Model

\*강민구(서울대) · 박승우(서울대) · 손정호(삼안) · 강문성(서울대)  
Kang, Min Goo · Park, Seung Woo · Son, Jung Ho · Kang, Moon Sung

## Abstract

This paper presents the result of the Water Erosion Prediction Project(WEPP) watershed scale model's application for prediction of sediment yield from a watershed which is comprised of hillslopes and channels and analyses of the soil loss from hillslopes and channels with crop practice and shape. To evaluate the model's application, the model is applied to a watershed that comprised of six hillslope and one channel, and the result was a good agreement with the observed values. The soil loss from hillslope was increased as the hillslope was under fallow conditions and slope length was longer. The soil loss from the channel was increased at the downstream for the concentration of flow.

## I. 서론

경사지로부터 유실된 토사는 하류의 댐, 저수지, 수로 등의 수리구조물에 퇴적되어 내용적을 감소시키거나 통수능력을 감소시켜 기능을 저하시키며, 이를 준설하기 위하여 막대한 예산의 투입이 필요하다. 또한, 유실되는 토사는 하천의 유사농도를 높이며 토립자와 함께 비료나 농약성분이 유실되어 호수의 부영양화를 초래하거나 하류구간의 심각한 수질 문제를 일으키기도 한다.

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 토양침식을 모의할 수 있는 모형을 적용하게 되며, 적절한 모형은 토지이용 등에 따른 유역의 침식 및 퇴적량의 변화를 분석할 수 있으며 저감대책을 강구할 수 있다.

본 연구에서는 여러 개의 경사지로 구성된 발유역에서 폭우시 발생하는 유출량과 토양 유실량 예측에 대한 WEPP 모형의 적용성을 평가하여 토양유실량을 저감시킬 수 있는 방안을 개발하고자 한다. 이를 위한 기초연구로서 시험지구를 선정하여 유출량 및 토양유실량 측정하고, 시험지구의 지형, 토양, 재배작물 등에 관련된 자료를 수집하여 발유역 토양유실량 예측에 대한 WEPP모형의 적용성을 평가하고 침식원별 토양유실량을 분석하였다.

## II. WEPP 모형

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 경사지 버전(profile version)과 유역 버전(watershed version)으로 나누어진다. 경사지 버전은 경사지에서 토립자의 분리와 퇴적, 경사지 말단에서 순토양유실량을 계산하며, 유역버전은 여러 개의 경사지와 수로에서 발생하는 토양 유실량, 수리구조물에 의한 퇴적 등을 고려하여 유역에서 토양유실량과 퇴적량을 계산한

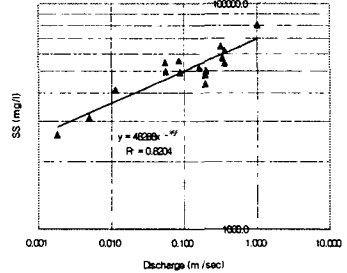
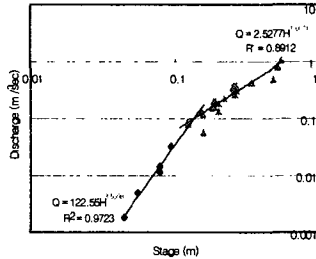
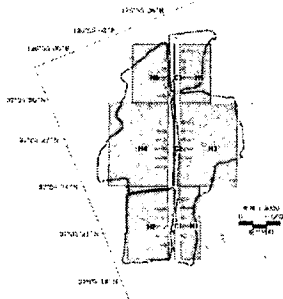
다.

### III. 시험지구 모니터링

#### 3.1 시험지구

여러 개의 포장으로 구성된 발유역의 유출량과 토양유실량을 측정하기 위하여 경기도 화성군 향남면 하길리 소재의 실제 경작중인 발지역을 선정하였다. 선정된 하길리 발유역은 위도 37° 05' 24" N, 경도 126° 55' 03" E에 위치하고 있으며, <그림1>은 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 발지역의 유출수는 중앙배수로를 따라 유출된다.

시험지구의 토성은 분석한 결과, 모래(sand) 함량은 평균 50.0~61.10 %, 실트(silt) 함량은 평균 17. ~21.5 %, 점토(clay) 함량은 평균 17.5~30.2 %이며, USDA의 삼각분류법에 따라 분류하면 Sandy Clay Loam에 해당된다.



<그림 1> 시험지구 지형

<그림 2> 수위-유량 곡선

<그림 3> 유량-유사량 곡선

#### 3.2 유출량 및 유사량 조사

발유역에서의 유출량은 유역중앙에 위치한 배수로의 말단에 자기수위계를 설치하여 강우시 수위를 측정하고, 현장측정을 통해 유도된 수위-유량 관계식을 이용하여 유출량을 계산하였다. <그림 2>는 측정된 수위를 유량으로 확산하기 위해 현장 측정자료를 사용하여 유도된 수위-유량 곡선을 나타낸 것이다. <그림 3>은 폭우시 측정된 수위로부터 환산된 유량을 사용하여 유역의 토양유실량을 계산하기 위하여 실측자료를 사용하여 유도된 유량-유사농도 곡선이다.

### IV. 모형의 적용

#### 4.1 입력자료 구성

##### (1) 유역구조자료

발유역의 강우시 유출 및 토양유실량 예측에 대한 WEPP 모형의 적용성을 평가하기 위하여 선정된 하길리 발유역의 모의를 위하여 <그림 1>과 같이 중앙에 위치한 배수로를 중심으로 좌우 각각 3개씩 6개의 경사지로 구분하였으며, 각 경사지는 동일한 토성과 작부체계를 갖도록 하였다. 각 경사지의 면적은 0.42~1.40 ha으로 총 5.15 ha이며, 폭과 길이는 WEPP 모형의 구동을 위하여 동일한 면적을 갖는 사각형 요소로 대체할 경우의 값을 나타내는 것으로서 경사지의 길이는 34~100 m, 폭은 100~140 m로 구성하였다.

##### (2) 토양자료

각 경사지(hillslope)에 대한 토양조성 중 모래, 점토, 유기물 함량은 토양샘플링 지점의 토양성분자료를 이용하였다.

### (3) 지형자료

대상유역의 지형자료는 지형측량 성과를 사용하여 각 경사지별 경사도를 계산하여 작성하였다.

### (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 수원측후소의 기상자료를 이용하였다.

### (5) 작물 및 재배관리자료

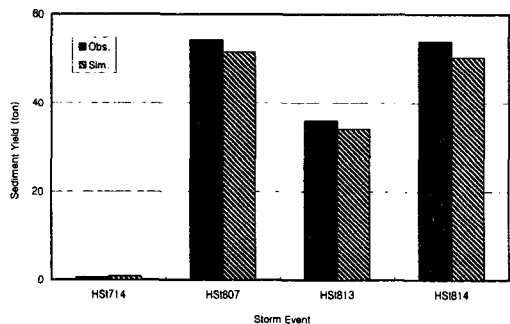
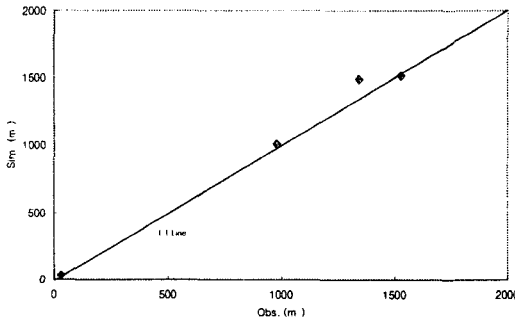
대상유역의 작부체계는 H2 경사지는 고추 그 외 지역은 울무였으나, H2 경사지 이외의 경사지에서는 파종이후 계속된 가뭄으로 인하여 작물이 성장하지 못하여 휴경지화 되었다. 따라서, H2 경사지의 작물에 관련된 자료는 WEPP 모형에서 제공하는 고추에 관련된 매개변수 값을 사용하였으며, 그 이외의 경사지는 휴경상태로 처리하였다.

### (6) 수로자료

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

## (2) 적용결과

발유역의 유출 및 토양유실량 모의에 대한 WEPP 모형의 적용성 평가는 2001년 7월 14일~8월 15일에 발생한 4개의 폭우사상에 대한 실측 유출량, 토양유실량과 모의결과의 비교를 통하여 실시하였다. <그림 4>는 총유출량의 실측치와 모의치를 1:1 그래프로 나타낸 것으로 실측치와 모의치가 1:1 선상에 집중하여 잘 일치하는 결과를 나타내고 있다. <그림 5>는 각 폭우사상별 토양유실량에 대한 실측값과 모의값을 비교한 것으로 유출량이 작은 HSt714 사상의 경우 실측치와 모의치의 상대오차가 35.0 %으로 가장 크고, 나머지 폭우사상은 실측치와 모의치가 비슷한 값을 나타냈다.

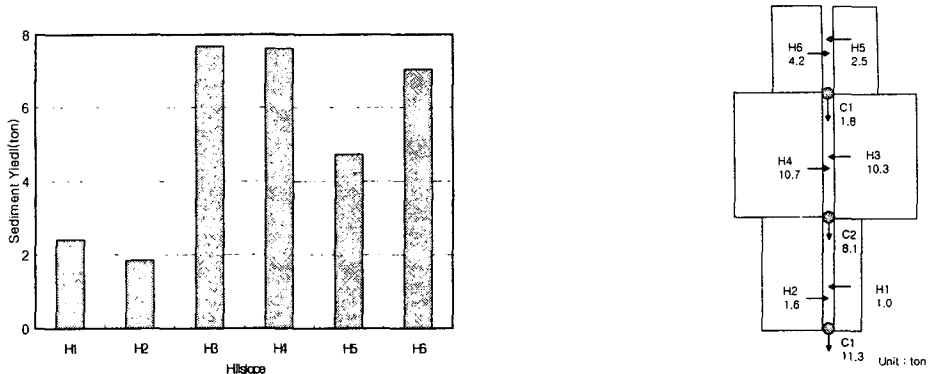


<그림 4> 총유출량 실측치와 모의치 비교 <그림 5> 토양유실량 실측치와 모의치 비교

## V. 침식원별 토양유실량 비교

발유역의 토양유실량을 저감시키기 위해서는 경사지의 토양유실량을 토양유실량을 감소시키면서 영농활동을 하는 토양보전적 영농법, 경사지의 형상을 변경하거나 토목구조물을 배치하는 토목공학적인 보전법이 필요하다. 이를 위해서 모형의 모의결과를 사용하여 경사지별 토양유실량과 배수로의 토양유실량을 분석하였다. <그림 6>은 WEPP모형을 적용하여 HSt807의 모의결과를 각 경사지별 단위면적당 토양유실량을 비교한 것이다. 모형을 적용했을 때 H2 경사지만 고추를 재배하고 있었으며, 다른 경사지는 나지 상태였다. 따라서, H2 경사지의 토양유실량이 가장 작게 나타나고 있다. 동일한 나지상태의 경사지를 비교해보면 H1경사지가 다른 경사지 보다 작은 단위면적당 토양유실량을 나타내고 있는데 이는

H1 경사지의 경사장이 다른 경사지의 경사장 보다 짧기 때문이다. <그림 7>은 각 경사지와 배수로의 토양유실량을 나타낸 것이다. 배수로를 상류에서 하류방향으로 C1, C2, C3로 구분할 경우, 하류 방향으로 갈수록 유량이 집중되기 때문에 토양유실량 크게 나타나고 있다.



<그림 6> 경사지별 토양유실량 비교(HSt807) <그림 7> 경사지와 배수로 비교(HSt807)

## VI. 요약 및 결론

본 연구에서는 여러 개의 경사지로 구성된 발유역에서 폭우시 발생하는 유출량과 토양유실량 예측에 대한 WEPP 모형의 적용성을 평가하여 토양유실량을 저감시킬 수 있는 방안을 개발하고자 한다. 이를 위한 기초연구로서 시험지구를 선정하여 유출량 및 토양유실량 측정하고, 시험지구의 지형, 토양, 재배작물 등에 관련된 자료를 수집하여 발유역 토양유실량 예측에 대한 WEPP모형의 적용성을 평가하고 침식원별 토양유실량을 분석하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

① 발유역의 유출량과 토양유실량을 측정하기 위하여 경기도 화성군 향남면 하길리 소재의 실제 경작중인 밭지역을 선정하였으며, 측량을 통하여 발유역의 지형자료를 구축하고 채분석 시험을 통하여 토성을 분석하였다. 대상지구의 모니터링을 통하여 폭우시 유출량과 토양유실량자료를 수집하였다.

② 수집된 자료를 사용하여 발유역에서 폭우시 유출 및 토양유실량 예측에 대한 WEPP 모형의 적용성을 평가하기 위하여 4개 폭우사상에 대한 실측치와 모의치를 비교한 결과, 실측치와 모의치간의 상대오차는 총유출량이 -0.7~11.1 %, 토양유실량이 -6.6~35.0 %를 나타냈다.

③ 발유역의 토양유실량을 감소시키기 위한 발유역의 토양유실에 대한 정성적인 평가를 하기 위하여 각 경사지별 토양유실량을 분석한 결과 경작시 토양유실량 감소했으며, 경사지의 길이가 감소할수록 토양유실량이 감소 하였다. 배수로의 토양유실량을 분석한 결과 유량이 집중되는 하류부에서 토양유실량 많이 발생하는 결과를 나타냈다.

## 참고문헌

1. 김진택, 박승우, 1994. 경사지의 경중에 따른 유출 및 토양유실에 관한 연구, 한국농공학회, 36(1), pp. 73-82.
2. 농업과학기술원, 1999. 발토양 환경 보전 관리기술 종합보고서, 농촌진흥청, pp. 138-200.