



WEPP 모델을 이용한 고랭지밭 경사도별 침사지 적정용량 산정방법

Design of Optimum Volume of Sediment Settling Pond at Highland Agricultural Watershed Using WEPP Model

현근우* · 박성빈* · 박정희** · 전상호** · 최재완*** · 김기성**** · 임경재****,†

Hyun, Geun Woo · Park, Sung Bin · Park, Jeong Hee · Geon, Sang Ho ·

Choi, Jae Wan · Kim, Ki-Sung · Lim, Kyoung Jae

ABSTRACT

The optimum volume of sediment settling pond is determined by the maximum rainfall and surface peak rate runoff from crop field. Based on analysis of measured rainfall and runoff data, it was found that rainfall intensity of 2 mm/min would result in peak rate runoff from the agricultural field of study area. Optimum pond volume under various slope scenarios were determined using the WEPP model calibrated with measured flow and sediment data for the study watershed. For the agricultural field with the slope of 7 % and area of 2,600 m² at the study area, at least 6.4 m³ of sediment settling pond is needed as shown in this study. The results presented in this study could be used as a guide in designing appropriate volume of sediment settling pond at highland agricultural areas because both very detailed field measurement and calibrated WEPP model results are used in the analysis.

Keywords: Muddy water; Optimum volume of sediment settling pond; Steep slope; WEPP

1. 서 론

탁수 발생의 원인은 여러 가지가 있지만 강우시 농경지에서 유출되는 토사가 주요 요인으로 지적되고 있다. 강원도 지역은 고랭지 밭이 집중되어 있고 작물의 품질 향상을 위해서 객토를 주기적으로 시행하고 있어서 하천으로의 토사 유실 가능성이 높은 지역이다. 탁수 저감을 위한 유역대책으로는 산림청의 사방댐, 농림부의 농업용 저수지 및 밭 기반 정비사업, 환경부의 고랭지밭 흙탕물 저감사업, 소방방재청 및 건설교통부의 소하천정비사업 등이 대표적이다 (Lee et al., 2007). 또한 비점오염원 제어를 위한 관리방안-미국 EPA의 농업 분야 관리사례-에서는 탁수 저감을 포함한 다양한 비점오염원 저감 방안을 제안하고 있다 (NIER, 2008). 토사 유출을 직접적으로 저

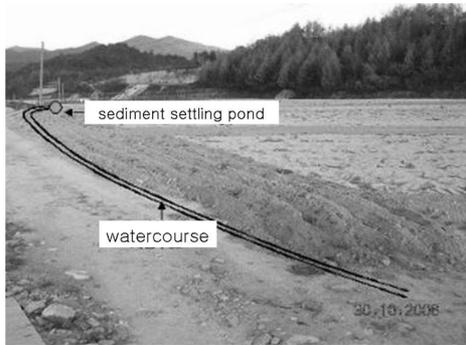
감하기 위한 시설로서 침사지와 다목적 저류지가 있다. 이러한 시설은 탁수가 유발되는 인근 지역에서 효과적으로 작용한다. 그동안 탁수 발생시 홍수조절 저류지의 효율성에 대한 연구 (Curtis et al., 1997)와 비점오염원에서 발생하는 탁수 등의 오염물질을 방지하기 위한 저류지의 연구 (Ferrara, 1982) 등이 수행되어 왔다. 침사지의 경우, 침사지 설계 및 적용에 있어서 고려해야 할 제반 인자에 대한 연구 (Chen, 1975)와, 공사장에서 토사가 발생할 때 침사지에서 제거할 수 있는 효율성에 대한 연구 (Davis et al., 1997) 등에 관한 연구들이 수행되어왔다. 그러나 집중 호우시 침투유량과 토사 유입량을 함께 고려하여 침사지를 설계하지 않는다면, 집중 호우시 유입되는 유출수와 토사를 수용하지 못하게 되어 토사가 유출되어 인근 논밭을 황폐화 시키고 농업용 저수지, 하천, 댐 및 하구를 메워 수리구조물의 수명을 단축시키게 될 것이다 (Shin et al., 2009). 또한 인근 하천으로 퇴적된 토사를 준설하기 위해서는 막대한 예산의 투입이 필요하게 된다 (Lee et al., 2006). 그러므로 침사지를 이용하여 인근 하천으로의 토사유출을 예방하고, 호우시 지표수 유입량과 토사 유입량을 수용할 수 있는 적절한 집수면적 대비 일정 크기 이상의 침사지를 설계 표준에 의해 설계할 필요가 있다 (Woo and Hwang, 1999).

따라서 본 연구의 목표는 흥천군 자운리 농경지에서 다양한

* Gangwon-do Health and Environmental Institute
 ** Department of Environmental Science, Kangwon National University
 *** Division of Water and Environment, Korea Environment Institute
 **** Department of Regional Infrastructures Engineering, Kangwon National University
 † Corresponding author Tel.: +81-33-250-6468
 Fax: +81-33-251-1518
 E-mail: kjlim@kangwon.ac.kr

2010년 3월 19일 투고
 2010년 8월 31일 심사완료
 2010년 9월 14일 게재확정

강우강도를 고려하여 보정된 WEPP 모형 (Flanagan and Livingston, 1995)을 이용하여 산정된 경사도별 토양유실량 산정결과를 바탕으로 적정 침사지 용량을 산정하는 것이다. 본 연구의 결과는 다양한 경사지 밭에서의 흙탕물 저감에 유용한 적정 침사지 용량 설계의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.



(a) Study area



(b) Drainage Ditch

Fig. 1 Study area and sediment settling pond (Hyun et al., 2008)

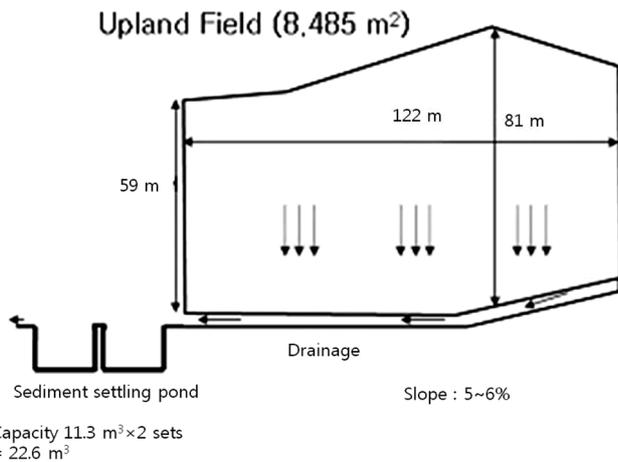


Fig. 2 Sediment settling pond (Hyun et al., 2008)

II. 연구방법

1. 연구 대상 지역

침사지 적정 용량을 산정하기 위한 현장 실험은 홍천군 내면 자운4리, 8,485 m²의 고랭지 밭을 대상으로 수행되었다. 시범 사업 대상지에 콘크리트 배수로를 설치하였고, 11.3 m³ 용량의 침사지 2기 설치하였다 (Fig. 1~2). 밭의 경사도는 5%~6%로서 자운 4리 일대 농경지의 평균 경사도라 할 수 있다 (Hyun et al., 2008).

2. 실험방법

침사지 유입부에서 유입 유량과 강우량을 실시간으로 분석하고 원격으로 전송하는 모니터링 시스템으로 자료를 수집하였다. 모니터링 측정 장비로서 Ultrasonic Open Channel Flow Meter (IS Technologies사의 SONDAR 5000) 파살프롬 유량계를, Rain Gauge (WDR-205) 강우량계를 사용하여 유량과 강우량을 측정하였다. 유량은 실시간으로 분석되었으며, 매 분마다 측정되는 강우량을 모니터링 시스템을 통해 서버로 전송하여 WEPP 모형의 입력자료로 구축하였다 (Hyun et al., 2008).

3. 적정 침사지 용량 산정

고랭지밭 침사지 설계에 필요한 적정 침사지 용량을 산정하기 위해서는 먼저, 대상 경작지에서 강우에 의한 최대 침투유량을 산정한 후, 필요한 침사지 용량을 산정해야 한다. 이 자료를 바탕으로 침사지의 적정 표면적과, 침사지의 적정 깊이를 구해야 한다.

가. 최대 침투유량 산정

연구기간동안의 분당 최대 강우량은 2.5 mm이었는데 (2007년 8월 8일~10일 집중강우 시 2회 관찰), 강우시 밭 토양에 의한 초기저류 효과가 있기 때문에, 최대 강우량 2 mm/min (8월 8일~10일 집중강우 시 4회 관찰)을 기준으로 최대 침투유출량 (Q)을 산정하였다 (GIHE, 2009). 또한 실험기간 중 흙탕물의 최대표면유출 비율이 49.6 %였으므로, 여유 용량을 고려하여 밭에 내리는 강우 총량 중 최대 60%의 흙탕물이 표면에서 유실되는 것으로 계산하였다. 그러한 인자를 고려할 때 최대표면유출량 Q는 식 (1)과 같이 계산된다.

$$Q = R_H \times A \times F \quad (1)$$

여기서,

Q = 침투유량 (m³/hr)
 R_H = 분당 최대강우량 (2 mm/min)
 A = 밭 면적 (m²)
 F = 강우 유출계수 (0.6)

나. 침사지 필요 용량 산정

침사지의 적정 체류시간 (T)을 1분 (60초)으로 하면 침사지의 용량 (Q_R)은 식 (2)와 같이 계산된다.

$$Q_R = Q \times T \quad (2)$$

여기서,

Q_R = 침사지 용량 (m³)
 Q = 최대 표면유출량=최대 침투유량 (m³/min) or m³/hr
 T = 체류시간 (1 min)

다. 침사지 적정 표면적 산정

침전지 내 토사 침전을 위한 입자의 크기와 표면적은 Pemberton의 계산 도표 (Table 1)에 의해서 구했다 (Hyun et al., 2008). 이 때 침사지에서 0.2 mm 이상의 입자를 제거하는 것으로 설계 기준을 삼았다.

Table 1과 같이 토사의 입자 크기가 감소함에 따라 요구되

Table 1 Surface area requirement of sediment settling pond (Pemberton et al., 1971)

Particle size (mm)	Settling velocity (m/sec)	Required surface area (m ²)
0.5 (coarse sand)	0.058	20.7
0.2 (medium sand)	0.020	58.7
0.1 (fine sand)	0.0070	171.0
0.05 (coarse silt)	0.0019	635.0
0.02 (medium silt)	0.00029	4,101.0
0.01 (fine silt)	0.000078	16,404.0
0.005 (clay)	0.000018	65,617.0

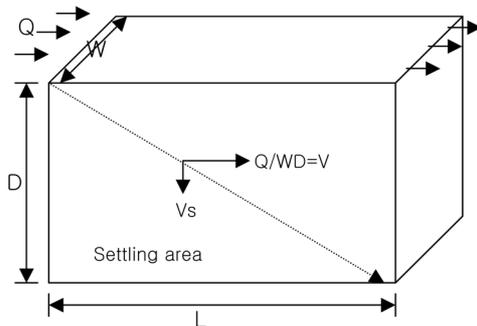


Fig. 3 Idealized sediment settling pond (Goldman et al., 1986)

는 표면적이 급격히 증가한다. 0.05 mm의 입자를 제거하기 위해서 요구되는 침사지의 면적은 0.2 mm를 제거하기 위해서 요구되는 표면적보다 10배 이상 큰 것을 알 수 있다. 토사 입자의 밀도가 균일하다고 가정할 때 침사지의 이상적인 모형 (Goldman et al., 1986)은 Fig. 3과 같다.

Fig. 3에서 침사지 내에서 유입수의 흐름이 일정한 방향으로 흐른다고 가정할 때 깊이 D, 폭 W, 길이 L의 침사지에 유량 Q가 유입되면, 토사입자는 Q/WD의 속도로 수평적으로 흐른다. 이때 토사 입자는 V_s의 속도로 침전한다. 침사지 내에서 토사 입자가 길이 방향으로 흐르는 시간 (T_Q)과 토사입자의 침전시간 (T_v)은 식 (3), (4)와 같다.

$$T_Q = \frac{L}{Q/WD} \quad (3)$$

$$T_v = \frac{D}{V_s} \quad (4)$$

적절하게 잘 설계된 침사지에서 미세한 토사 입자는 침사지 출구 인접 바닥에 침전한다. 그러므로 T_Q = T_v가 된다. 따라서 침사지 내에서 토사 입자의 흐름과 낙하시간은 식 (5)와 같이 생각할 수 있다. 식 (5)를 적정 침사지 표면적 산정을 위한 식으로 정리하면 식 (6)과 같다.

$$T_Q = T_v = \frac{D}{V_s} = \frac{L}{Q/WD} \quad (5)$$

$$WL = A_s = \frac{Q}{V_s} \quad (6)$$

여기서,

WL = 적정한 침사지의 표면적 (m²)

Q = 최대 표면유출량 (m³/hr)

V_s = 침전속도 (m/sec)

4. 침사지 용량의 적정성 검증

본 연구에서는 설계한 침사지 용량의 적정성 검증을 위하여 2007년 강우시 연구지역 내에서 유실된 토사량을 이용하였다. Table 2는 측정된 강우량, 침사지 내에 퇴적된 토사량, 유출된 토사량, 총 발생된 토사량이다. 2007년 연구기간 중 침사지 내에는 약 22.1톤 (8.5 m³)의 토사가 침전된 것으로 측정되어 침사지의 효과를 확인할 수 있었다. Table 3는 침사지의 처리효율을 나타낸다. 유입수의 SS농도는 1,193~5,262 mg/L의 범위였고 유출수의 SS농도는 401~2,488 mg/L의 범위로서 전

Table 2 Daily soil loss by rainfall event (Hyun et al., 2008)

Date	Rainfall (mm)	Settled Sediment (ton)	Suspended Sediment (ton)	Total Sediment (ton)
2007.7.19	40.5	0.078	0.020	0.098
2007.8.1-8.2	65	1.430	0.519	1.949
2007.8.4-8.5	93	1.820	0.625	2.445
2007.8.8	67	1.456	0.592	2.048
2007.8.9	137	7.956	3.726	11.682
2007.8.10	38	0.962	0.251	1.213
2007.8.19	34.5	0.364	0.117	0.481
2007.8.27	52	0.832	0.333	1.165
2007.9.6	27	0.130	0.039	0.169
2007.9.14-9.15	92	3.198	0.803	4.001
2007.9.18	52	1.274	0.435	1.709
etc.	512.5	2.574	1.560	4.134
total	1220	22.074	9.019	31.093

Table 3 Daily SS variation and SS removal efficiency (Hyun et al., 2008)

Date	Rainfall (mm)	Inflow SS (mg/L)	Outflow SS (mg/L)	SS Removal Rates (%)
2007.7.19	40.5	1973	579	70.7 %
2007.8.1-8.2	65.0	2585	1216	53.0 %
2007.8.4-8.5	93.0	3536	1432	59.5 %
2007.8.8	67.0	4081	1637	59.9 %
2007.8.9	137.0	5262	2488	52.7 %
2007.8.10	38.0	4010	2058	48.7 %
2007.8.19	34.5	2606	865	66.8 %
2007.8.27	52.0	2406	836	65.2 %
2007.9.6	27.0	1193	401	66.4 %
2007.9.14-9.15	92.0	2680	1165	56.5 %
2007.9.18	52.0	2839	1060	62.7 %
Average		3016	1249	60.2 %

체적으로 SS의 처리효율은 약 49~71 %의 범위였다 (Table 3). 2007년도 1년 평균으로는 약 60 %의 SS의 처리효율을 보였다 (Hyun et al., 2008).

5. WEPP 모델 토사량 예측 정확성 평가

Choi 등 (2009)은 연구지역을 대상으로 2007년 7월 19일부터 2008년 8월 22일까지 WEPP 모델의 토사량 예측 정확성 평가를 수행하였다. 본 연구에서는 Choi 등 (2009)의 연구내용을 토대로 경사도별 토사량 산정과 이에 따른 적정 침사지 용량을 산정하였다. 예측 정확성 평가시 토사량은 침사지에 퇴적

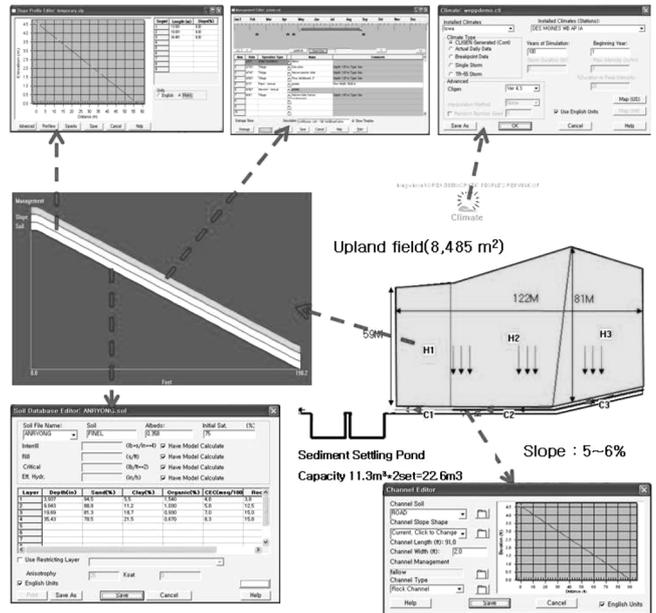


Fig. 4 WEPP Input Interface

된 양과 부유되어 유실된 양을 합산하여 WEPP 모형에 의한 예측치와 비교 평가하였다. WEPP 모형은 사면에서 강우에 의한 토립자의 크기, 중량 등에 따라 분리 및 이송을 계산하여 토양 유실량을 산정하므로 유역출구로 유출되는 토사량을 산정한다.

6. WEPP 모델을 이용한 경사도별 토사량 산정

WEPP 모델은 물리적 방법에 기초한 토양 침식모델로 토양구조, 기후, 토지이용, 지표 상태에 따른 토양침식과 퇴적량의 추정이 가능하다. WEPP 모델은 프로그램 내에 Hillslope version과 Watershed version으로 나누어져 있다. Fig. 4는 WEPP 모델의 Watershed version interface이다. 구축된 WEPP 모델은 3개의 Hillslope와 3개의 Channel로 구성되어있다. Hillslope와 Channel은 각각 경사 및 지형, 토양, 식생 관리를 위한 데이터베이스 구축 모듈이 포함되어있다. Choi 등 (2009)은 2007년 실측한 자료를 이용하여 WEPP 모델의 데이터베이스를 구축하였고, 경사 및 지형 데이터베이스 구축 모듈을 이용하여 경사도 (2 %, 3 %, 5.5 %, 8 %, 10 %, 13 %, 15 %, 18 %, 20 %, 23 %, 25 %, 28 %, 30 %)별 토사량을 산정하였다.

7. 경사도별 침사지 적정용량 산정

고랭지밭 침사지 설계에 필요한 적정 침사지 용량을 산정하기 위해서 실험지구 경사도 5.5 %의 고랭지밭에 필요한 침사지 적정용량을 계산하였다. 그 과정은 1 단계: 밭 면적에 따른 강우의 최대 표면유출량을 구한다. 2 단계: 요구되는 침사지의

필요 용량을 구한다. 3 단계: 요구되는 침사지의 적정 표면적을 구한다. 4 단계: 요구되는 침사지의 적정 깊이를 구한다. 이렇게 구한 값을 기준으로 하여 WEPP 모형에서 구한 경사도별 + % - % 값을 적용하여 각각의 경사도별 침사지 용량을 산정하였다 (Hyun et al., 2008).

III. 결과 및 고찰

1. 침사지 적정 용량 산정

실험 초기 침사지를 설계함에 있어서 시간당 최대 50 mm의 강우량을 기초로 용량을 계산하였다. 실험 결과 분당 최대 강수량과 그 강도의 지속 여부가 표면유출량을 결정하는 것으로 나타났다 (Fig. 5). Fig. 5를 살펴보면 2007년 8월 8일 초기 강우 13 mm까지는 흙탕물이 발생하지 않았지만, 시간이 지날수록 분당 강우량이 1 mm 이상인 시점, 그리고 그러한 강우량이 집중되는 시점에서 흙탕물의 표면유출량이 급격하게 증가하는 경향을 보였다. 8월 8일에서 8월 10일 사이 분당 최대강수량은 2.5 mm를 기록했다. 실제 현장에서는 초 단위, 분 단위로 강우량이 변화하고 유출량이 변화한다. 따라서 경작지에서 발생하는 침투 유출량은 침사지의 용량을 결정하는데 중요한 요소로 작용할 수 있다. 본 연구에서는 경사도 5~6 % (평균 5.5 %)인 고랭지 밭에서의 침사지의 적정 용량을 산정하였다 (Hyun et al., 2008).

가. 최대 표면유출량 및 침사지 필요 용량 산정 결과

식 (2)에 의거하여, 최대 유량과 적정 표면적과 유효깊이를 고려하여 침사지의 용량을 계산하면 밭 면적이 3,000 m²일 경우에는 3.6 m³의 침사지 용량이, 2,000 m²일 경우에는 2.4 m³의 침사지 용량이, 1,000 m²일 경우에는 1.2 m³의 침사지 용량

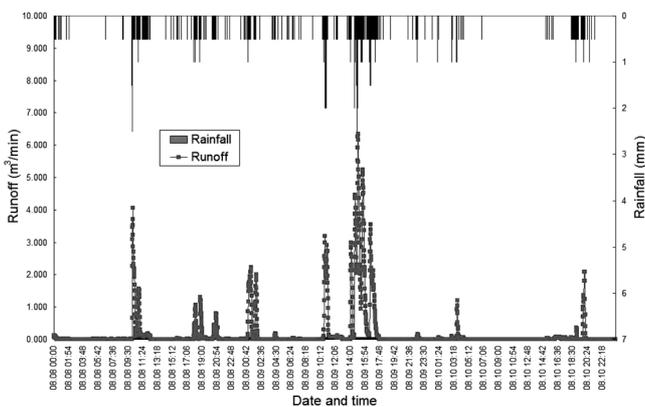


Fig. 5 Measured rainfall and runoff at study area (Hyun et al., 2008)

이 필요한 것으로 계산되었다 (Table 4). 이러한 침사지 필요 용량은 침사지의 적정 표면적과 유효 깊이 등이 추가적으로 고려되어 적정 침사지 용량으로 계산되어야 한다.

나. 침사지 적정 표면적 및 깊이 산정 결과

유입수에 포함된 토사 입자를 침전시키는데 필요한 침사지의 적정 표면적은 최대 표면유출량 Q와 토사입자의 침전속도 V_s로 계산되며, 이에 의거 Table 5와 같이 적정 표면적 (WL)이 계산되었다. 요구되는 침사지의 표면적은 반드시 적정 표면적 이상으로 설계되어야 한다. 침사지의 표면적은 집중호우시 강우 유출에 따른 흙탕물의 제어에 직접적으로 영향을 미치는 인자이기 때문이다. 실제 침사지의 표면적이 적정 표면적보다 적을 경우에는 토사의 포착 효율이 떨어지게 된다. 침사지의 깊이는 토사가 침사될수록 그 깊이가 낮아지므로 바람직하게는 1.5 m 이상의 깊이가 되어야 할 것이다. 여기서 1.5 m는 유효 깊이를 의미하므로 만약 배수로의 깊이가 0.5 m라면 침사지의 깊이는 2 m 이상이 요구된다.

2. 침사지 용량의 적정성 검증

Table 5에서 산정한 침사지 용량 산정 결과에 근거하면, 밭 면적 3,000 m²에는 침사지의 적정 표면적 3.0 m²와 침사지 깊

Table 4 Required volume of sediment settling pond for various field sizes (Hyun et al., 2008)

Field area (m ²)	Maximum surface runoff (m ³ /hr)	Required pond volume (m ³)
5,000	360	6.0
4,000	288	4.8
3,000	216	3.6
2,500	180	3.0
2,000	144	2.4
1,500	108	1.8
1,000	72	1.2

Table 5 Required optimum surface area for various field sizes (Hyun et al., 2008)

Field area (m ²)	Settling velocity (m/sec)	Optimum surface area (m ²)
5,000	0.020	5.0
4,000	0.020	4.0
3,000	0.020	3.0
2,500	0.020	2.5
2,000	0.020	2.0
1,500	0.020	1.5
1,000	0.020	1.0

이 1.5m를 고려하여 약 4.5 m³의 침사지 용량이 필요한 것으로 계산되었다. 실제적으로 2007년도에 8,485 m²의 연구 대상 지역에서 약 8.5 m³의 토사가 침적되었고 이를 3,000 m²의 용량으로 환산하면 약 3 m³의 토사가 침전된 것이 되므로, 이러한 침사지의 이론적인 용량 산정은 고랭지밭 흙탕물 저감을 위한 소규모 침사지 연구의 실제적인 실험 결과를 만족시켰다.

3. WEPP 모델 토사량 예측 정확성 평가

Choi 등 (2009)은 본 연구지역을 이용하여 예측 정확성을 평가하였다. WEPP 모델의 예측 토사량과 실측 토사량을 비교한 결과 결정계수와 유효지수는 각각 0.95와 0.91 (Fig. 6)로 상당히 높게 나와 (매우 좋음 (very good), Donigan and Love, 2003) WEPP 모형을 이용하여 농경지 유역에서의 토양유실량을 정확히 평가할 수 있는 것으로 나타났다.

4. 경사도별 침사지 적정용량 산정

가. WEPP모형을 이용한 경사도별 토양유실량 산정

침사지의 적정 용량 산정은 경사도가 심할수록 토사유실량이 많아지기 때문에 경사도별로 차이를 두어야 한다. 본 연구에서는 침사지 적정 용량을 산정을 위해 물리적기반 모형인 WEPP을 이용하여 경사도별 (2 %, 3 %, 5.5 %, 8 %, 10 %, 13 %, 15 %, 18 %, 20 %, 23 %, 25 %, 28 %, 30 %) 토양유실량을 산정하였다. 밭 경사도 평균 5.5 %인 연구대상지역의 침사지 용량에 대한 자료와 일별 토사량 침전 자료 등을 이용해 정

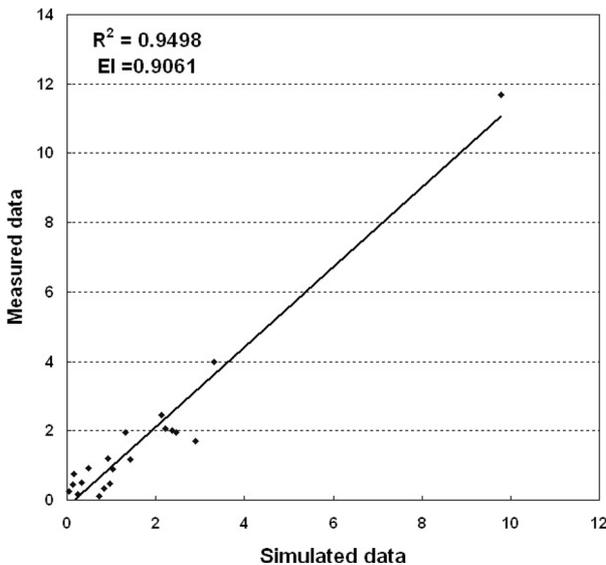


Fig. 6 R² and Nash-Sutcliffe of sediment estimation (Choi et al., 2009).

확성 평가 된 WEPP 모형의 매개변수를 이용하였다 (Choi et al., 2009). 경사도에 따른 홍천군 자운리의 예측 유사량 자료 중 밭 경사도 평균 5.5 %의 자료를 100 %로 한 후 경사도 별 적정 침사지 용량 비율을 ± %로 환산하였다 (Table 6). 밭 경사도가 10 %일 경우에는 160 %의 토사가 발생되고, 경사도가 15 %일 경우에는 227 %의 토사가 발생되고, 경사도가 20 %일 경우에는 287 %의 토사가 발생하는 등 경사도가 심할수록 토사의 예측 발생량이 높았다.

나. 경사도별 적정 침사지 용량 산정

WEPP 모형을 이용하여 산정된 경사도별 토양유실량을 이용하여 적정 침사지 용량 산정 값을 Table 7~12에 제시하였다. 침사지 필요 용량은 밭 규모에 따른 침사지 필요 용량을 계산한 결과 값이고, 침사지 적정 용량은 침사지의 적정 표면적과 깊이 (유효 깊이 1.5 m)를 고려한 결과 값이다. 일반적으로 침사지 1기의 집수 면적은 3,000 m²을 초과하지 않는 것이 바람직하다. 집수 면적이 넓으면 침사지 면적이 커져서 관리상의 문제가 발생하며, 또한 세류 침식 등의 우려가 커지기 때문이다 (Committee of the Han River Management, 2005). 여기서는 5,000 m²의 면적까지 침사지의 용량을 산정하였지만, 3,000 m²이 넘는 면적의 밭에는 침사지를 2기 이상 각각 나눠서 설치하는 것이 바람직하다. 경사도 15 % 이상인 농지를 한계농

Table 6 Criteria for evaluating model performance (Donigan and Love, 2003)

	Poor	Fair	Good	Very Good
Daily flows	< 0.60	0.60~0.70	0.70~0.80	> 0.80
Monthly flows	< 0.65	0.65~0.75	0.75~0.85	> 0.85

Table 7 Required pond volume under various scenarios

Slope (%)	Total sediment yield (kg)	Required volume each slope (%)
2	18372.2	68 %
3	19867.1	73 %
5.5	27064.2	100 %
8	36002.3	133 %
10	43412.6	160 %
13	54466.9	201 %
15	61340.2	227 %
18	65564.6	242 %
20	77657.6	287 %
23	86803.8	321 %
25	92664.2	342 %
28	101025.0	373 %
30	106329.5	393 %

Table 8 Optimum and required pond volume (slope 0~3 %)

Area (m ²)	Optimum surface area (m ²)	Required pond volume (m ³)	Optimum pond volume (m ³)
4000~5000	3.6	4.3	5.4
3000~4000	2.9	3.5	4.3
2500~3000	2.2	2.6	3.2
2000~2500	1.8	2.2	2.7
1500~2000	1.4	1.7	2.2
1000~1500	1.1	1.3	1.6
0~1000	0.7	0.9	1.1

Table 9 Optimum and required pond volume (slope 3~5.5 %)

Area (m ²)	Optimum surface area (m ²)	Required pond volume (m ³)	Optimum pond volume (m ³)
4000~5000	5.0	6.0	7.5
3000~4000	4.0	4.8	6.0
2500~3000	3.0	3.6	4.5
2000~2500	2.5	3.0	3.8
1500~2000	2.0	2.4	3.0
1000~1500	1.5	1.8	2.3
0~1000	1.0	1.2	1.5

Table 10 Optimum and required pond volume (slope 5.5~8 %)

Area (m ²)	Optimum surface area (m ²)	Required pond volume (m ³)	Optimum pond volume (m ³)
4000~5000	7.1	8.5	10.7
3000~4000	5.7	6.8	8.5
2500~3000	4.3	5.1	6.4
2000~2500	3.6	4.3	5.3
1500~2000	2.8	3.4	4.3
1000~1500	2.1	2.6	3.2
0~1000	1.4	1.7	2.1

Table 11 Optimum and required pond volume (slope 8~10 %)

Area (m ²)	Optimum surface area (m ²)	Required pond volume (m ³)	Optimum pond volume (m ³)
4000~5000	8.7	10.4	-
3000~4000	7.0	8.4	10.4
2500~3000	5.2	6.3	7.8
2000~2500	4.4	5.2	6.5
1500~2000	3.5	4.2	5.2
1000~1500	2.6	3.1	3.9
0~1000	1.7	2.1	2.6

Table 12 Optimum and required pond volume (slope 10~13 %)

Area (m ²)	Optimum surface area (m ²)	Required pond volume (m ³)	Optimum pond volume (m ³)
4000~5000	11.1	-	-
3000~4000	8.9	10.7	-
2500~3000	6.7	8.0	10.0
2000~2500	5.6	6.7	8.3
1500~2000	4.4	5.3	6.7
1000~1500	3.3	4.0	5.0
0~1000	2.2	2.7	3.3

Table 13 Optimum and required pond volume (slope 13~15 %)

Area (m ²)	Optimum surface area (m ²)	Required pond volume (m ³)	Optimum pond volume (m ³)
4000~5000	-	-	-
3000~4000	10.1	12.1	-
2500~3000	7.6	9.1	11.3
2000~2500	6.3	7.6	9.5
1500~2000	5.0	6.0	7.6
1000v1500	3.8	4.5	5.7
0~1000	2.5	3.0	3.8

지로 분류하기 때문에, 본 연구에서는 경사도 15 %까지의 적정 침사지 용량을 산정하였다. 경사도가 높을 경우 배수로나 침사지를 설치했을 때 그 안전성을 훼손할 염려가 있으므로 침사지는 한계농지 이하의 경사도인 밭에 적용하는 것이 바람직하다.

IV. 결 론

본 연구의 목적은 침사지 용량 산정 및 연구대상지역에 대해 보정 및 검증된 WEPP 모형의 다양한 경사도 (2 %, 3 %, 5.5 %, 8 %, 10 %, 13 %, 15 %, 18 %, 20 %, 23 %, 25 %, 28 %, 30 %)에 따른 토양유실량 모의 결과로부터 침사지 적정 용량을 산정하는데 있다.

본 연구의 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

1. 연구기간 동안 8,485m²의 연구 대상 지역에서 약 22.1톤 (8.5 m³)의 토사가 침전되었다. 연구 대상 지역을 3,000 m²로 하여 토사침전량을 환산하면 약 3 m³로 나타나, 3,000 m²의 밭지역에 적정 침사지 용량인 4.5 m³에 만족하는 것으로 판단되었다. 산정된 적정 침사지 용량은 기상 이변이 발생하지 않

은 경우 1회/1년 주기의 토사 제거만으로도 소규모 침사지 관리에 적절할 것으로 판단된다.

2. WEPP 모형을 이용하여 다양한 경사도 (2 %, 3 %, 5.5 %, 8 %, 10 %, 13 %, 15 %, 18 %, 20 %, 23 %, 25 %, 28 %, 30 %)에 따른 토양유실량 모의 결과 5.5 %의 경사도에서 약 27톤의 토양유실이 발생하는 것으로 나타났다. 5.5 % 경사도에서 발생한 토양유실량 자료를 100 %로 한 후 경사도별 적정 침사지 용량 비율을 환산한 결과 밭 면적이 2,500 m²에서 3,000 m²인 경우 적정 침사지 용량이 최고 253 % 차이가 나는 것으로 산정되었다.

본 연구의 결과에서 보이는 바와 같이 검증된 적정 침사지 용량을 이용하여 소규모 농업지역에서 토양유실 관리를 위한 침사지 설계와 WEPP 모형을 이용하여 다양한 경사도에 따른 적정 침사지 설계가 가능할 것으로 판단된다. 또한, 기상 변화와 작물 종류 및 영농방식 등에 따른 토양유실량 추정에 대한 연구가 추가적으로 이어진다면 침사지 설계 및 적용에 활용도가 클 것으로 기대된다.

REFERENCES

1. Chen, Charng-Ning, 1975. Design of Sediment Retention Basin. *National Symposium on Urban Hydrology and Sediment Control*, 28-31 Univ. of Kentucky.
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 Korean Society on Water Quality* 25(3): 441-451 (in Korean).
3. Committee of the Han River Management, 2005. Measurement of Non-Point Source Pollution Load Discharges 80-94 (in Korean).
4. Curtis, David C. and Richard H. McCuen, 1997, Design Efficiency of Stormwater Detention Basins, *Journal of the Water Resources Planning and Management Division, ASCE*, 103(1): 125 ~ 140.
5. Davis, William J., William E. Bell and Lewis H. Williams, 1997, Trap Efficiency of Sediment Basin below Construction Site, A Practical Case Study. *International Symposium on Urban Hydraulics and Sediment Control*, 241-246 Univ. of Kentucky, Lexington, kentucky.
6. Ferrara, Raymond A., 1982. Stormwater detention and Nonpoint Source Pollution Control. *International Symposium Hydrology, Hydraulics and Sediment Control*, 91-97 Univ. of Kentucky.
7. Flanagan, D. C. and Livingston, S. J., 1995. *WEPP User Summary*. NSERL Report 11, USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, Indiana.
8. Goldman, S. J., Jackson, K. and Bursztynsky, T. A., 1986. *Erosion and Sediment Control Handbook*, McGraw Hill Inc., New York.
9. Gangwon Institute of Health and Environment, 2009. Development of sediment pond to reduce soil loss at the highland agriculture region. Gangwon-do Health and Environmental Institute Report (in Korean).
10. Hyun G. W., B. N. Heo, I. R. Heo, W. G. Jung, S. Y. Go, S. J. Lee, T. W. Lee, S. B. Park, Y. J. Kim, and S. S. Kim, 2008. Efficiency of Dual-Cylinder Type Sediment Settling Pond to Mitigat Muddy Water at Highland Agrcultural Fields. Gangwon-do Health and Environmental Institute Report (in Korean).
11. Lee, E. J., Y. K. Cho, S. W. Park, H. K. Kim, 2006. Estimating Soil Losses from Saemangeum Watershed Based on Cropping Systems. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 48(6): 101-112 (in Korean).
12. Lee, G. S., M. J. Lee, H. J. Hong, and E. H. Hwang, 2007. Efficiency of soil Erosion to a Debris Barrier using GIS. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 10(1): 158-168 (in Korean).
13. National Institue of Environmental Research,. 2008. National Management Measures for the Control of Nonpoint Pollution from Agriculture 175-221 (in Korean).
14. Pemberton, E. L. and Lara, J. M., 1971. A Procedure to Detention Sediment Deposition in a Settling Basin. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation Sedimentation Investigations Technical Guidance Series, Section E. Part 2, Denver. Colorado.
15. Shin, H. S., K. H. Lee, J. H. Park, 2009. Analysis of Spectral Reflectance Characteristics for Sand and Silt Turbid Water. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 51(3): 37-43 (in Korean).

16. Woo C. H., and K. Y. Hwang, 1999. A Study on Establishing Optimum Scale of Sediment Basin for Preventing the Outflow of Sediment - In the case of Buju Mountain in Mokpo city, Korea. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 26(4): 59-69 (in Korean).