VFSMOD-w 모형과 유전자 알고리즘을 이용한 식생여과대의 최적화

박윤식^{*,†} · 현근우^{**}

^{*}미국 퍼듀대학교 농공학과

^{**}강원도청 보건환경연구원 대기공학과

Optimization of Vegetative Filter Strip using VFSMOD-w model and Genetic-Algorithm

Youn Shik Park^{*,†} · Geunwoo Hyun^{**}

^{*}Department of Agricultural and Biological Engineering, Purdue University

^{**}Gangwon-do Health and Environmental Institute, Chuncheon

(Received 3 February 2014, Revised 19 February 2014, Accepted 21 February 2014)

Abstract

Vegetative Filter Strip (VFS) is one of effective Best Management Practices (BMPs) to prevent sediment-laden water problem, is installed at the edge of source area such agricultural area so that sediment occurred in source area is trapped by VFS before it flow into stream or river. Appropriate scale of it needs to be simulated before it is installed, considering various field conditions. In this study, a model using VFSMOD-w model and Genetic Algorithm to determine effective VFS length was developed, it is available to calibrate input parameter related to source area sediment yield through thousands of VFSMOD-w simulations. Useful DBs, moreover, are stored in the model so that very specific input parameters can be used with reasonable values. Compared simulated values to observed data values for calibration, R2 and Nash-Stucliffe model efficiency coefficient were 0.74 and 0.65 in flow comparison, and 0.89 and 0.79 in sediment comparison. The model determined 1.0 m of Filter Length, 0.18 of Filter Slope, and 0.2 cm of Filter Media Spacing to reduce 80% of sediment by VFS. The model has not only Auto-Calibration module also DBs for specific input parameters, thus, the model is expected to be used for effective VFS scale.

Key words : Best management practices, Genetic algorithm, Sediment reduction, Vegetative filter strip, VFSMOD-w

1. Introduction

농경지에서 유실된 토양이 강이나 하천으로 유입될 시 탁수 문제가 발생할 수 있으며, 탁수는 강이나 하천에서의 수생태계 파괴뿐만 아니라, 댐 기능의 저하나 상수처리 등과 같은 문제를 발생시킨다. 이에 대한 대책으로 다양한 최적관리기법(Best Management Practice; BMP)이 적용되고 있으며, 식생여과대(Vegetative Filter Strip; VFS)는 농경지 등에서 발생한 유사가 하천으로 유입되는 것을 막는 효과적인 최적관리기법 중에 하나다(Park et al., 2008). 식생여과대는 농경지의 주변 경계에 설치되며, 농경지에서 발생한 유사를 식생여과대에 퇴적시킴으로써 하천으로의 유사 유입을 막을 수 있고, 식생에 의한 흡착 및 분해 과정을 통해 비점오염원 저감 효과를 기대할 수 있다(Munoz-Carpena et al., 1999; Parajuli, 2008).

식생여과대는 비점오염원 저감에 효과적이지만, 식생여과대의 폭이나 경사 등과 같은 특성에 따라 그 효과가 달라질 수 있다(Otto et al., 2008). 그러므로 식생여과대에 의한 유사저감효과는 현장에 설치되기 전에 충분히 모의되어야

하며, 이러한 모의를 바탕으로 요구되는 유사량 저감을 위한 식생여과대의 특성이 효율적으로 반영될 수 있다. 식생여과대에 의한 유사와 비점오염원의 거동을 모의할 수 있는 모형인 VFSMOD-w(Munoz-Carpena et al., 1999)는 데스크탑 기반의 모형으로 농경지와 같은 발생원인 식생여과대의 다양한 특성을 고려할 수 있다. VFSMOD-w 모형은 단일 강우에 대한 시험포 단위 모형으로, 발생원에서의 유출량을 Soil Conservation Service Curve Number(SCS-CN; USDA-NRCS, 1986; 식 (1)-(3)) 방법에 의해 모의하며, 이에 의한 유사량 모의를 위해 Modified Universal Soil Loss Equation(MUSLE; 식 (4); Williams, 1975)에 의해 유사량을 모의한다(Munoz-Carpena and Parsons, 2004, 2005). VFSMOD-w 모형은 식생여과대에 의한 비점오염원 거동을 모의하기 위해 여러 연구자에 의해 사용되어 왔다(Fox et al., 2005; Gharabaghi et al., 2001; Lauvernet et al., 2009; Park et al., 2013).

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}, P \geq 0.2S \quad (1)$$

$$Q = 0, P < 0.2S \quad (2)$$

[†] To whom correspondence should be addressed.
park397@purdue.edu

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$$

$$A = R_m \times K \times LS \times C \times P \quad (4)$$

Q = direct runoff depth, mm

P = precipitation, mm

S = potential maximum retention after direct runoff begins

A = computes soil loss per unit area

R_m = storm-modified rainfall factor

K = soil erodibility index

LS = slope length and degree factor

C = cover and management factor

P = conservation practice factor

일반적으로 수문 모형은 여러 매개변수를 가지고 있으며, 이러한 모형의 매개변수는 실측자료와의 비교를 통해 보정 및 검정과정을 거쳐야 한다(Park et al., 2007). VFSSMOD-w 모형 역시 발생원에서의 유출량 및 유사량에 관련된 여러 매개변수를 가지며 보정 및 검정 과정을 거쳐야 한다. VFSSMOD-w 모형은 단일 강우 사상에 의한 유출량과 유사량을 모의하기 위한 모형이기 때문에, 하나의 강우 사상을 모의한 결과와 실측 자료와의 비교를 통하여 모형의 보정이 이루어진다. 하지만 유역에서는 다양한 강우 사상이 발생할 수 있기 때문에, 하나의 강우 사상에 의한 유출량과 유사저감효과만을 모의할 경우, 사용된 하나의 강우 사상이 대상 지점에 대해 대표성을 보이기 힘들 수 있으며 따라서 다른 강우 사상에 대하여 유사한 유사저감효과를 기대하기 어렵다. 따라서, 다양한 강우 사상의 적용을 통한 모형의 매개변수 보정 및 검정 과정을 거쳐야 하는데, VFSSMOD-w 모형은 단일 강우사상에 대한 식생여과대의 유사저감효과만을 모의할 수 있는 모형이기 때문에, 다양한 강우 사상을 고려한 유사저감효과 분석을 위해서는 매개변수 보정

및 검정에 많은 시간과 노력이 필요하다. 또한 식생여과대의 효과는 식생여과대의 특성에 따라 매우 상이하기 때문에 조금 더 효율적인 식생여과대 설계를 위해서는 보정 및 검정 과정 후 식생여과대의 특성에 대한 분석이 이루어져야 한다. 이러한 모형의 보정 과정은 많은 시간과 노력을 필요로 하기 때문에, 복잡한 문제를 해결하기 위해 다양한 분야에서 사용되고 있는(Togan and Daloglu, 2008) 유전자 알고리즘(Holland, 1975)을 사용하여 모형을 보정할 필요가 있는 것으로 생각된다.

이에 본 연구의 목적은, 다양한 강우 사상을 고려하여 발생원에서의 유출량 및 유사량에 관한 모형의 매개변수를 보정할 수 있는 툴을 개발하고, 개발된 툴을 이용하여 식생여과대에 의한 유사량 저감효과에 영향을 주는 인자의 변화에 따른 효과를 분석하는 것이다.

2. Materials and Methods

VFSSMOD-w 모형은 식생여과대뿐만 아니라 농경지와 같은 발생원에 관련된 인자를 고려하여 식생여과대 효과를 모의하기 위한 시험포 단위 모형이다. 발생원과 식생여과대에 관련된 많은 인자를 고려할 수 있다는 것은, 식생여과대 모의에 있어 보다 정확할 수 있다는 장점이 되기도 하지만, 동시에 여러 인자에 관련된 입력 자료를 준비해야 하며 또 그 인자에 관련된 매개변수를 보정함에 있어 많은 시간과 노력이 필요하다는 단점이 될 수도 있다. 따라서 본 연구에서 개발된 식생여과대 설계 툴(Filter Strip Designing Tool; FDT)에서는 발생원에서의 유출량과 유사량을 보정하기 위해서 이와 관련된 모형의 매개변수를 유전자 알고리즘(Holland, 1995)에 의해 실측된 유출량과 유사량에 의해 보정하도록 하였다. 그리고 식생여과대 관련하여 필요한 입력자료를 위해 데이터베이스를 구축하였으며, 사용자의 해 곧바로 사용되거나 혹은 사용자의 해 값 역시 사용 가능하도록 하였다.

Fig. 1. Overview of FDT using Genetic Algorithm and VFSSMOD-w model.

2.2. 발생원 관련 매개변수 보정 모듈 개발

발생원 모의 모듈(Source Area Module, Fig. 2)은 FDT에서 발생원에서의 유출량과 유사량 모의를 하며, 유출량과 유사량에 관련된 VFSMOD-w 모형의 매개변수를 다수의 강우사상에 대한 실측 유출량과 유사량을 이용하여 유전자 알고리즘이 보정할 수 있도록 하였다. FDT의 발생원 모의 모듈은 VFSMOD-w 모형의 인터페이스를 최대한 유지하여, 현 VFSMOD-w 모형의 사용자가 쉽게 사용할 수 있도록 하였다. 발생원에서의 유출량을 모의하기 위해서 VFSMOD-w와 마찬가지로 강우와 유출량에 관련된 인자, 발생원의 규모, 발생원의 토양 특성을 필요로 한다. 유출량(mm)은 Curve Number와 강우량(mm)에 의해 계산되며, 유출량은 다시 강우 지속시간(Storm Duration, 시간)과 강우형태(Storm Type)에 의해 10분 단위의 유출수문곡선을 재현한다. FDT는 CN을 이용하여 유출량을, 유사량에 관련된 매개변수인 식생피복인자(USLE C Factor)와 작물경작인자(USLE P Factor)를 유전자 알고리즘을 통해 보정할 수 있도록 하였다.

FDT는 VFSMOD-w 모형과 마찬가지로, 발생원에서의 유사량이 모의가 되면, 식생여과대에 의한 유사 저감 효과를 모의한다. 식생여과대와 관련 입력자료는 Green-Ampt 관련 입력자료(Table 1), 식생여과대 식생에 관련된 입력자료(Table 2), Manning's n에 관련된 입력자료(Table 3)이며, 이를 데이터베이스로 구축하여 바로 식생여과대에 의한 유

Table 1. Soil data (Green-Ampt parameter; Rawls et al., 1983)

Soil texture	K_s ($m/s \times 10^{-6}$)	S_{av} (m)	θ_s (m^3/m^3)
Clay	0.167	0.3163	0.475
Sandy Clay	0.333	0.2390	0.430
Clay Loam	0.556	0.2088	0.464
Silty Clay	0.278	0.2922	0.479
Silty Clay Loam	0.556	0.2730	0.471
Sandy Clay Loam	0.833	0.2185	0.398
Loam	3.670	0.0889	0.463
Silt Loam	1.890	0.1668	0.501
Sandy Loam	6.060	0.1101	0.453
Loamy Sand	16.600	0.0613	0.437
Sand	65.400	0.0495	0.437

Where, K_s saturated hydraulic conductivity ($m/s \times 10^{-6}$), S_{av} Green-Ampt's average suction at wet front (m), and θ_s is saturated soil water content (m^3/m^3).

사량 저감 효과를 모의할 수 있도록 하였다. FDT의 식생여과대 모의 모듈(VFS Module, Fig. 3)은 식생여과대와 관련하여 현장에 식생여과대 설계시 고려할 수 있는 인자인 식생여과대의 폭, 식생여과대의 경사, 식생여과대의 식생 간격에 따른 식생여과대에 의한 유사 저감 효과를 분석할 수 있도록 하였다. 이를 위해 식생여과대 모의 모듈은 위의 세 가지 인자의 범위를 사용자에게 입력 받아, 각 인자에 대해 주어진 범위 안에서 각 인자의 값을 변화시키면서, 식생여과대에 의한 유사 저감 효과를 모의한다. 이를 위해

Fig. 2. Source Area Module Interface.

Fig. 3. VFS Module Interface.

Table 2. Vegetation types for VFS (Haan et al., 1994)

Vegetation	Filter media spacing (cm)	Maximum height (cm)	Modified n
Yellow bluestem	1.9		
Tall fescue	1.63	38	0.012
Blue gramma	1.65	25	0.012
Ryegrass (perennial)	1.63	18	0.012
Weeping lovegrass	1.65	30	
Bermudagrass	1.35	25	0.016
Bahiagrass			20
Centipedegrass	1.35	15	0.016
Kentucky bluegrass	1.65	20	0.012
Grass mixture	2.15	18	0.012
Buffalograss	1.5	13	0.012

Table 3. Manning's roughness coefficient, n (Engman, 1986)

Cover	Manning's n
Bare Sand	0.011
Bare Clay Loam	0.020
Fallow (no residue)	0.050
Range (natural)	0.013
Range (clipped)	0.010
Grass (bluegrass sod)	0.450
Short grass prairie	0.150
Dense grass	0.240
Bermuda grass	0.410

세 개의 인자에 대해 각각 등간격으로 10개의 범위를 두어 식생여과대 모의를 하게 되며, 따라서 총 1,000의 식생여과대 모의를 한다. 그리고 이 1,000번의 식생여과대 모의를 바탕으로, 각 인자에 따른 가장 효율적인 식생여과대에 대한 결과를 출력하도록 하였다.

2.3. Filter Strip Designing Tool의 적용

본 연구에서 개발된 FDT의 식생여과대 설계를 평가하기 위해서 강원도 홍천군에 위치한 8,488 m²의 농경지(Fig. 4)를 대상으로, 2007년부터 2008년 6월-9월의 기간 동안 측정된 28번의 강우사상에 대한 강우량 및 유출량과 농경지에서의 유사량 자료(Table 4)를 사용하였다. Hyun et al. (2010)에 의하면, 측정된 유출량과 유사량 자료 중 2008년 7월 24일의 강우사상에 대해 과도한 양의 유사가 침사지에 유입되는 것을 막기 위해 농경지의 끝단에 모래팩을 설치하였다. 모래팩 설치로 인해 농경지에서의 과도한 토양 유실은 막을 수 있었으나, VFSMOD-w 모형 및 FDT에서는 이를 고려할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 2008년 7월 24일에 대한 유출량 및 유사량 자료는 보정 및 검정과정에서 제외하였다.

3. Results and Discussion

3.1. 모형의 보정 및 검정 결과

모형의 보정과 검정 과정은 실측치를 두 개의 구간으로

Table 4. Observed Data (Precipitation, Flow, and Sediment; Hyun et al., 2010) and Estimated Outputs (Flow and Sediment)

Cal./Val.	Date	Pcp. (mm)	Flow (tons)		Sediment (ton)	
			Obs.	Est.	Obs.	Est.
Val.	2007. 7. 19.	40.5	13.0	28.9	0.10	0.23
Val.	2007. 8. 1. ~ 8. 2.	65.0	164.0	117.7	1.95	1.50
Val.	2007. 8. 4. ~ 8. 5.	93.0	168.0	261.2	2.45	3.87
Val.	2007. 8. 8.	67.0	141.1	126.5	2.05	1.63
Val.	2007. 8. 9.	137.0	596.0	532.4	11.68	8.78
Val.	2007. 8. 1.	38.0	80.1	22.7	1.21	0.17
Val.	2007. 8. 19.	34.5	52.0	15.0	0.48	0.11
Val.	2007. 8. 27.	52.0	153.0	65.0	1.16	0.73
Val.	2007. 9. 6.	27.0	37.3	3.6	0.17	0.02
Cal.	2007. 9. 14. ~ 9. 15.	92.0	265.0	255.3	4.00	3.78
Cal.	2007. 9. 18.	52.0	175.0	65.0	1.71	0.73
Cal.	2008. 6. 5.	17.0	2.0	0.0	0.10	0.00
Cal.	2008. 6. 18.	41.5	21.0	31.5	0.49	0.26
Cal.	2008. 7. 3.	16.0	27.0	0.0	0.42	0.00
Cal.	2008. 7. 13.	23.0	14.0	0.6	0.44	0.00
Cal.	2008. 7. 15. ~ 7. 16.	29.0	30.0	6.0	0.73	0.04
Cal.	2008. 7. 19. ~ 7. 20.	75.0	88.0	163.5	2.00	2.22
-	2008. 7. 24.	215.0	649.0	-	11.08	-
Cal.	2008. 7. 25.	21.0	13.0	0.1	0.21	0.00
Cal.	2008. 8. 2.	24.0	16.0	1.2	0.24	0.01
Cal.	2008. 8. 3.	27.0	58.0	3.6	0.91	0.02
Cal.	2008. 8. 12.	31.0	32.0	8.8	0.34	0.06
Cal.	2008. 8. 16.	16.5	2.0	0.0	0.08	0.00
Cal.	2008. 8. 18.	39.5	67.0	26.3	0.91	0.20
Cal.	2008. 8. 22.	77.0	119.0	173.8	1.95	2.40
Cal.	2008. 8. 23.	16.5	25.0	0.0	0.23	0.00
Cal.	2008. 9. 1.	26.0	2.0	2.6	0.05	0.02
Cal.	2008. 9. 2.	16.0	11.0	0.0	0.08	0.00

Fig. 4. Sediment settling pond (Hyun et al., 2010).

나누어 진행되었으며, 일반적으로 이 과정은 실측치의 측정 시간에 의해 나누어 앞선 시간의 실측치를 이용하여 모형을 보정하고 나머지 실측치를 이용하여 검정 과정을 한다. FDT의 발생원에서의 유출량 및 유사량을 보정하기 위해 2007년의 자료를 사용하였으나, 2007년 8월 9일의 강우량은 다른 27개의 강우사상에 비해 비교적 큰 값을 보였으며, FDT의 보정 과정에서 Nash-Stucliff Efficiency(NSE; 식 (4))와 결정계수(Coefficient of Determination; R^2 , 식 (5))가

모두 0.3 미만으로 제대로 이루어지지 않았다. VFSMOD-w와 마찬가지로 FDT는 시험포 단위의 단일강우사상에 대한 유출량 및 유사량을 모의하는 모형으로, 현장에서의 연속적인 기후자료나 수문 거동을 고려할 수 있는 연속적인 모형이 아니다. 따라서 FDT의 보정 과정에서 2007년 9월 14일부터 2008년 9월 2일의 자료를 사용하였으며, 검정 과정에서 2007년 7월 19일부터 2007년 9월 6일의 자료를 사용하였다.

유전자 알고리즘에 의한 FDT의 보정 과정에서 유출량에 관련된 매개변수인 CN은 71.5, 유사량에 관련된 매개변수인 식생피복인자와 작물경작인자는 각각 0.76과 0.25로 보정되었다. 보정을 통해 실측된 유출량과 예측된 유출량의 NSE와 R^2 는 각각 0.65와 0.74였으며, 유사량에 대한 NSE와 R^2 는 0.79와 0.89로 실측치와 예측치가 높은 상관관계를 보였다. 유전자 알고리즘에 의해 보정된 CN은 71.5였기 때문에, FDT에서는 SCS-CN 방법에 의해 강우량(P)이 0.2S보다 큰 20.2 mm 보다 클 경우에 대해서만 유출량이 발생하도록 모의하였기 때문에, 2008년 6월 5일, 2008년 7월 3일, 2008년 8월 16일, 2008년 8월 23일, 2008년 9월 2일의 5개 강우사상에 대해서는 유출이 발생하지 않는 것으로 모의하였으며, 유사량 또한 발생하지 않는 것으로 모의하였

다. 하지만 2008년 8월 16일과 2008년 8월 23일의 경우와 같이, 같거나 비슷한 강우량에 의해 다른 유출량을 보였다. 더욱이 위의 5개의 강우사상에서는 강우량이 20.2 mm 보다 작음에도 서로 다른 유출량이 발생한 것으로 미루어 볼 때, 모형에서 고려할 수 없는 영향이 있었던 것으로 판단된다. FDT의 검증과정에서는 유량에 대해 NSE와 R^2 가 각각 0.88과 0.91이었으며, 유사량에 대해서는 NSE와 R^2 가 각각 0.88과 0.93으로 보정 과정에서와 같이 실측치와 예측치가 높은 상관관계를 보였다.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (4)$$

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right)^2 \quad (5)$$

O = observed value

P = predicted value

$\bar{O}$ = mean of observed values

$\bar{P}$ = mean of predicted values

3.2. FDT에 의한 식생여과대 최적화

본 연구에서는 식생여과대에 대한 입력 자료 모두 FDT의 데이터베이스를 이용하였다. 식생여과대의 토양에 관련하여 포화투수계수(Saturated hydraulic conductivity), 흡윤면 평균 모세흡인수두(Average suction at wet front), 포화함수량(Saturated soil water content)는 본 연구의 대상지역의 토양과 같은 모래질 토양에 해당하는 값이 FDT의 데이터베이스로부터 입력되었다. 식생여과대의 식생에 대해서는 'Grass mixture'를 선택하였고, 이 식생에 대한 입력 자료 역시 FDT의 데이터베이스를 이용하였다.

FDT의 식생여과대 모의 모듈 식생여과대의 폭, 식생여과대의 경사, 식생여과대의 식생 간격에 대해 사용자에게 각 인자의 적용 가능한 범위를 필요로 한다. 식생여과대의 폭에 대해서는 1m부터 5m의 범위를 갖도록 하였다. 식생여과대의 폭은 연속된 강우에 대해서 변화할 가능성이 적지만, 경사도의 경우 농경지에서 발생된 유사가 퇴적되고 식생이 다시 자라나 경사가 변화할 수 있다. 이에 본 연구에서는 연구대상지역의 경사보다 다소 가파른 경사까지 고려할 수 있도록 식생여과대의 경사 범위를 8~20%까지 설정하고 분석하였다. 8%는 연구대상지역의 경사도이며, 20%는 임의로 설정한 값이다. 식생의 경우 역시, 농경지에서 강우 시 발생된 유사가 반복적으로 퇴적될 경우 식생의 폭이 설계 시와는 다르게 변화할 수 있으며, 기대만큼 유사가 저감되지 않을 수 있다. 따라서 식생의 폭은 2cm부터 10cm의 범위를 가지도록 하였다. 그리고 농경지(발생원)으

Fig. 5. Interface of VFS Module in FDT.

로부터의 유사량 모의를 위해서, 연구대상지역에서 실측된 가장 큰 강우량인 137mm를 사용하여 극심한 환경에서의 식생여과대에 의한 유사저감효과를 분석하였다.

FDT에 의해 1,000 번의 식생여과대 모의 결과를 바탕으로 식생여과대의 폭, 식생여과대의 경사, 식생의 간격에 따른 유사저감효과가 이루어졌으며, 50%의 유사저감효과를 위한 식생여과대의 특성에 대해 분석하였다(Fig. 5). 식생여과대의 폭이 주어진 범위에서 식생여과대의 폭이 약 2.8m일 경우, 식생의 폭이 약 2.9cm이하가 되고 식생여과대의 경사가 9%이하가 되어야 50%의 유사저감 효과가 기대될 수 있는 것으로 분석되었다. 만약, 식생의 폭이 10cm일 경우에는 식생여과대의 폭이 약 5.0m가 되고 경사가 8%가 유지가 되어야 50% 이상의 유사저감 효과(61.05%)를 기대할 수 있는 것으로 나타났다. 또한, 식생의 폭이 2cm가 유지가 되고 식생여과대의 폭이 약 5.0m로 설치가 된다면, 경사는 발생원보다 가파른 20.0%가 되더라도 50% 이상의 유사저감효과(55.68%)를 기대할 수 있는 것으로 나타났다.

4. Conclusion

식생여과대는 농경지 등에서 발생하는 유사를 저감하기 위한 최적관리기법 중 하나이다. 식생여과대에 의한 유사저감 효과는 식생여과대의 특성에 따라 다양할 수 있으며, 효과적인 설계를 위해서는 식생여과대의 특성을 고려할 수 있는 모형에 의한 모의가 필요하다. VFSMOD-w 모형은 발생원에서의 유출량과 유사량을 모의하고, 식생여과대에서의 여러 인자를 통해 유사저감 효과를 모의할 수 있는 모형이다. 그러나 VFSMOD-w 모형은 시험포 단위의 단일 강우사상 모형으로, 여러 강우사상에 대한 모형을 보정하고, 다양한 식생여과대의 특성에 따른 유사저감 효과를 모의하는 데에는 많은 시간과 노력이 필요하다. 이에 본 연구에서는 실측치를 통해, VFSMOD-w 모형에서 발생원에서의 유출량과 유사량과 관련된 매개변수를 보정할 수 있고, 다양한 식생여과대의 특성에 따른 유사저감 효과를 모의할 수 있는 툴을 개발하고 이를 적용하였다.

본 연구의 적용 사례와 같이, 특정 유사저감 효과를 만족

시킴을 위해서는 여러 식생여과대의 특성이 요구된다. 식생여과대는 현장에 설치된 후에도 유지관리가 필요하며, 유지관리가 잘 이루어지지 않을 경우 충분한 유사저감 효과를 기대하기는 힘들다. 즉, 반복적으로 발생한 유사가 식생여과대에 퇴적되면, 식생여과대의 경사도는 변할 수 있으며 이에 유사저감효과는 점점 감소할 것으로 판단된다. 그리고 식생여과대의 식생에 대한 관리가 미흡할 경우, 식생의 간격은 설계시보다 넓어질 수 있으며 이 역시 식생여과대에 의한 유사 저감률을 감소시킨다. 본 연구의 적용 사례와 같이, 연구 대상지역에 식생여과대가 설치되고 50%의 유사저감 효과를 기대하기 위해서는, 약 2.8 m 폭의 식생여과대가 설치되고 식생의 폭이 약 2.9 cm 가 유지가 되고 경사가 9%가 유지가 되어야 한다. 만약 식생의 관리가 제대로 이루어지지 않아 식생의 폭이 10 cm로 넓어질 경우, 식생여과대의 폭이 5 m가 되어야 하며 8%의 경사가 유지가 되어야만 50%의 유사저감 효과를 기대할 수 있는 것으로 모의되었다.

본 연구를 통해 개발된 FDT는 VFSSMOD-w 모형을 다수의 강우사상에 의한 유출량 및 유사량을 유전자 알고리즘에 의해 보정할 수 있도록 하였다. 그러므로 현장에 식생여과대를 설치하기 전에 다수의 강우사상을 반영하도록 VFSSMOD-w 모형을 보정하는데 효율적인 것으로 생각된다. 또한, 식생여과대의 특성에 따른 식생여과대에 의한 유사량 저감효과를 분석할 수 있기 때문에, 효율적인 식생여과대 설계에 적용이 될 수 있을 것으로 판단된다.

References

- Engman, E. T. (1986). Roughness Coefficients for Routing Surface Runoff, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 112(1), pp. 39-53.
- Fox, L. A., Dean, E. E., and Michael, G. D. (2005). Modeling Water and Sediment Trapping by Vegetated Filter using VFSSMOD: Comparing Methods for Estimating Infiltration Parameters, *Proceeding of the Society for Engineering in Agricultural, Food, and Biological Systems*, Tempa, Florida, USA, 2005/7/17-20, pp. 2-14.
- Gharabaghi, B., Rudra, R. P., Whiteley, H. R., and Dickinson, W. T. (2001). Sediment Removal Efficiency of Vegetative Filter Strips, *Proceeding of the American Society of Agricultural Engineers*, California, USA, 2001/7/28-8/1, pp. 32-40.
- Haan, C. T., Barfield, B. J., and Hayes, J. C. (1994). *Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments*, Academic Press, California, USA, pp. 109.
- Holland, J. H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan, USA, pp. 183.
- Hyun, G. W., Park, H. K., Lee, Y. S., Lee, S. J., Park, J. H., Jun, S. H., Choi, J., and Lim, K. J. (2010). Analysis of Sediment Reduction Efficiency with Net Type Sediment Setting Pond at Highland Agricultural Region, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 26(2), pp. 215-224. [Korean Literature]
- Lauvernet, C., Lefrancq, M., and Carlier, N. (2009). Development of an Operational Tool to Simulate Pesticide Transfer through Vegetated Strips: the 2D Runoff Part, *Proceeding of Pesticide Behaviour in Soils, Water and Air conference*, York, United Kingdom, 2009/9/14-16
- Munoz-Carpena, R., Parsons, J. E., and Gilliam, J. W. (1999). Modeling Hydrology and Sediment Transport in Vegetative Filter Strips and Riparian Areas, *Journal of Hydrology*, 214, pp. 111-129.
- Munoz-Carpena, R. and Parsons, J. E. (2004). A Design Procedures for Vegetative Filter Strips using VFSSMOD-w, *American Society of Agricultural Engineers*, 47(6), pp. 1933-1941.
- Munoz-Carpena, R. and Parsons, J. E. (2005). *Vegetative Filter Strips Hydrology and Sediment Transport Modeling System*, Model Document & User's Manual.
- Otto, S., Vianello, M., Infantino, A., Zanin, G., and Di Guardo, A. (2008). Effect of a Full-grown Vegetative Filter Strip on Herbicide Runoff: Maintaining of Filter Capacity Over Time, *Chemosphere*, 71(1), pp. 71-75.
- Parajuli, P. B., Mankin, K. R., and Barnes, P. L. (2008). Applicability of Targeting Vegetative Filter Strip to Abate Fecal Bacteria and Sediment Yield using SWAT, *Agricultural Water Management*, 95(10), pp. 1189-1200.
- Park, Y. S., Kim, J., Park, J., Jeon, J. H., Choi, D. H., Kim, T., Choi, J., Ahn, J., Kim, K., and Lim, K. J. (2007). Evaluation of SWAT Applicability to Simulation of Sediment Behaviors at the Imha-Dam Watershed, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 23(4), pp. 467-473. [Korean Literature]
- Park, Y. S., Kim, J., Kim, N., Park, J., Jang, W. S., Choi, J., and Lim, K. J. (2008). Improvement of Sediment Trapping Efficiency Module in SWAT using VFSSMOD-w Model, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 24(4), pp. 473-479. [Korean Literature]
- Park, Y. S., Engel, B. A., Shin, Y., Choi, J., Kim, N. W., Kim, S. J., Kong, D. S., and Lim, K. J. (2013). Development of Web GIS-Based VFSSMOD System with three modules for effective vegetative filter strip design, *Water*, 5, pp. 1194-1210.
- Rawls, W. J., Brakensiek, D. L., and Soni, B. (1983). Agricultural Management Effects of Soil Water Processes: Part I - Soil Water Retention and Green Ampt Infiltration Parameters, *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, 26(6), pp. 1752-1753.
- Togan, V. and Daloglu, T. A. (2008). An Improved Genetic Algorithm with Initial Population Strategy and Self-adaptive Member Grouping, *Computers and Structures*, 86, pp. 1204-1218.
- U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service (USDA-NRCS). (1986). *Urban Hydrology for Small Watersheds*, USDA-NRCS, Washington, D. C. USA, pp. 2.
- Williams, J. R. (1975). *Sediment-yield Prediction with the Universal Equation using Runoff Energy Factor*, USDA, Washington, D.C. USA. pp. 244-252.