



익산 발경지 특성을 고려한 초생대 유출 및 유사 저감효과 모의

Simulations of Reduction Effects on Runoff and Sediment for VFS Applications by Considering Uplands Characteristics in Iksan

이슬기* · 장정렬** · 최경숙***,†

Lee, Seul Gi · Jang, Jeong Ryeol · Choi, Kyung Sook

Abstract

The goal of this study was to evaluate sediment reduction effects of VFS (vegetative filter strip) applied for Iksan area in Saemangeum watershed. This study simulated runoff and sediment load from different types of uplands using VFSMOD-W. The general upland characteristics of the study area was investigated to build reasonable scenarios of the simulation. The simulation scenarios were designed by various areas, shapes, and slopes of uplands. Grass mixture was selected as VFS vegetation and the size of VFS was fixed as 10 % of uplands area. Additionally 50mm, 100mm, 150mm of daily rainfall were applied for the runoff and sediment simulation. As results, the calculated runoff and sediment loads were obtained 20.7~1,030.6 m³ and 568.4~675,731.4 kg for the range of 0.1~1.0 ha of uplands with 7% and 15% slopes. The reduction effects on runoff and sediment were obtained 5~10% and 21.0~47.7% respectively from VFS applications. The VFSMOD-W simulations showed that runoff tended to increase as upland area and amount of rainfall increased while sediment increased when slope, length and area of uplands and amount of rainfall increased. These results indicated that rainfall amount and upland size are the critical factors for the generation of runoff and sediment load. In order to support this conclusion, further studies such as, long term monitoring, field experiments, and to calibrate and evaluate the model are necessary.

Keywords: VFS, Runoff and sediment, Reduction effect, VFSMOD-W, Uplands

1. 서론

농촌지역의 비점오염원은 대부분 유출경로와 그 특성 파악이 매우 어렵고, 강우시 토양유실을 발생시켜 수질관리의 어려움을 야기하는 인자로 인식되고 있다 (Shin et al., 2001; Kim et al., 2008; Jung et al., 2013). 특히 발경지는 강우시 유출되는 오염물질의 농도가 불규칙하고, 강우량과 지속시간에 영향을 받으며, 특히 유량에 크게 의존하여 발생하는 특징을 가지고 있다 (Won et al., 2011). 논보다 경사가 크고, 비료 및 농약의 사용률이 높은 밭의 특성상 강우시 유출량이 많아 토양유실을 통한 비점오염부하가 상대적으로 높아 이에 대한 관리의 중요성과 필요성이 증대되고 있다 (Shin et al., 2012). 근본적인 수질관리를 위해 농업비점오염관리의 중요성이 대두되면서 발경지로부터의 비점오염관리를 위해 저감기법 개

발 및 체계적인 제어대책 수립을 위한 많은 노력들이 행해지고 있다. 현재 선진국을 중심으로 발경지 비점오염을 저감하기 위해 다양한 기법들이 소개되고 있으며, 국내외적으로 이러한 기법들에 대한 많은 연구들이 수행되고 있다. 선진국을 중심으로 개발된 비점오염 대책들을 우리나라 현장여건에 맞게 적용하기 위해서는 상당한 현장실험을 통해 면밀히 검토할 필요가 있으나 대부분의 국내 연구들은 실험실 규모 혹은 단기실험에 의존하고 있어 보다 체계적이고 심도 깊은 연구가 필요한 실정이다.

이에 부응하여 2010년부터 추진되고 있는 ‘새만금유역 농업비점오염 저감기법 개발’ 과제는 통합관리기술개발 및 제도개선과 논 및 밭 비점오염저감기법 개발, 영농방법 개선 및 주민역량강화와 간척농지 비점오염 저감 등으로 구분하여 각 분야별로 현장규모의 실험을 통한 체계적인 연구를 진행하고 있어, 결과에 대한 실효성이 매우 클 것으로 기대된다. 이 중 밭 비점오염 저감기법 개발과제에서는 지표피복, 초생대, 실트웬스, 식생밭두렁, 침사구기법을 대상으로 연구하고 있으며, 새만금 유역을 중심으로 현장실험을 진행하여 궁극적으로 우리나라 농업비점오염원관리와 저감을 목표로 하는 정책 개발 및 제도개선을 마련하는데 그 목표를 두고 있다. 특히 밭 비점오염저감기법 중 초생대는 수질의 탁수 문제를 해결하고 농경지에서 발생하는 유사를 저감시키는 최적관리기법으로

* Dept. of Agricultural Civil Eng. Kyungpook National University

** Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation

*** Dept. of Agricultural Civil Eng. Kyungpook National University

† Corresponding author

Tel.: +82-53-950-5731 FAX: +82-53-950-6752

E-mail: ks.choi@knu.ac.kr

Received: September 11, 2014

Revised: September 22, 2014

Accepted: September 24, 2014

소개되고 있어 (Park et al., 2008; Park et al., 2014) 초생대 국내 적용을 위한 보다 많은 연구가 진행될 필요가 있다. 초생대의 국외 연구사례 및 적용사례에 대한 자료는 상당히 많으나 국외에서 개발된 설계기법을 우리나라 발경지에 그대로 적용하기에는 부적합하기 때문에 현장적용을 위해서는 우리 실정에 맞는 설계기법 개발이 반드시 필요하다.

국외의 대표적인 초생대 연구사례는 경사 7%와 12%, 길이 18.3 m 휴경지에 초생대를 적용하여 유사저감 효과를 연구한 Robinson et al. (1996)과 초지와 관목을 이용한 초생대 농업비점오염 저감 효과를 연구한 Marc et al. (2009)의 연구가 있다. 또한, Mersie et al. (2003)은 VFS의 농업비점오염 저감 효과에 대한 연구를 하면서, 초생대에 사용되는 초생대 초종별 저감효과 차이를 제시하였으며, Patzold et al. (2007)은 초생대를 통한 제초제의 저감 효과를 분석하였다. Dillaha et al. (2010)의 경우에도 초생대를 통해 유사, 총인, 총질소의 저감 효과를 연구하여 각각의 오염인자에 대해 높은 저감 효과를 얻은 바 있다. 국내의 사례로는, Chung and Chung (2002)이 초생대 식생의 종류에 의한 저감 효과에 대해 연구하여 목초, 관목, 나무 중 목초가 가장 높은 저감 효과를 나타내는 것으로 제시한 바 있으며, Lee et al. (2005)는 경사 17%, 토성이 양토인 고랭지 무재배지에서 등고선 방향으로 하단부에 폭 1.0 m의 호밀·옥수수 초생대 설치구와 사경 마구리에 호밀초생대를 설치하여 각각의 경우에 대한 토양유실 저감 효과를 실험한 바 있다. 또한 Choi and Jang (2012)은 다양한 다년생 및 일년생 초생대 초종을 적용하여 우리나라 발경지에 적합한 초종을 파악하고자 하였으며, 잔디를 비점오염저감효과와 유지관리 측면에서 가장 유리한 초종으로 제시하였다. 또한 Choi et al. (2013)은 앞선 연구에서 유리한 초생대 초종으로 선정된 잔디와 켄터키블루그라스를 이용하여 유출 및 비점오염저감 효과에 대해 연구하여 매우 긍정적인 결과를 획득하였다.

한편 초생대에 의한 유사저감효과를 위해 개발된 VFSMOD-W 모형을 이용한 초생대 효과를 모의한 사례도 다양하다. Majed (2001)은 VFSMOD를 이용하여 초생대 길이 1~15 m, 초생대 경사 2~12%, 초생대 토성은 사양토 (Sandy loam), 양토 (Loam), 점토 (Clay)로 다양하게 적용하는 한편 초생대 조도계수 (Manning roughness of coefficient)는 0.04~0.4범위에서 유입토사를 모래, 점토, 실트로 설정하여 초생대 유사저감 효과를 다양하게 모의한 바 있다. Munoz-Carpena and Parsons (2004)은 VFSMOD-W를 이용하여 북부 다코타주의 TMDL (Total Maximum Daily Load) 기준을 75%로 맞추기 위한 초생대 설계에 필요한 기초자료를 얻고자 하였으며, Ahmed et al. (2011)은 AGNPS (Agricultural Non-Point

Source) 모형에 서브모듈로 내장된 VFSMOD-W를 이용하여 초생대와 강우와의 관계를 규명해 보고자 하였다. Thomas et al. (2014)은 Flume 실험을 통해 VFSMOD-W 모의를 실시하여, 초생대 초종의 매개변수 선택과 초종 성장단계에 따라 결과에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 국내에서는 Park et al. (2008)에 의해 최초로 VFSMOD-W 모형이 적용된 바 있으며, SWAT 모형 내에 내장된 초생대 모듈의 모의 한계를 개선하고자 초생대 폭, 강우에 따른 유출, 식생인자가 초생대 설치에 미치는 관계를 VFSMOD-W를 통해 정립한 후 그 결과를 SWAT에 적용한 사례이다. 또한 Jae et al. (2012)는 웹기반 VFSMOD를 개발하여 초생대의 경작지의 고형물질 유출저감 효과를 모의분석한 바 있으며, Seo et al. (2013)의 경우에는 VFSMOD-W를 이용하여 우리나라 발경지 특성을 고려한 초생대 유사저감효과를 모의 분석한 바가 있다.

그러나 현재까지 국내에 수행된 초생대 연구로서는 우리나라 발 비점오염관리를 위한 초생대 기법 적용시 필요한 설계기법 개발을 위한 정보도출에는 한계가 있으며, 아직도 장기간의 현장실험과 더불어 이를 바탕으로 다양한 현장여건을 반영할 수 있는 모의 분석이 필요한 실정이다. 따라서 본 연구는 VFSMOD-W 모형을 이용하여 초생대 현장실험이 진행되고 있는 익산시의 발경지를 대상으로 현장여건을 최대한 반영한 입력자료를 구축하여 다양한 조건하에서의 초생대의 유출 및 유사저감 효과에 대한 모의 분석을 실시함으로써 향후 우리나라 발경지 여건에 적합한 초생대 기법 개발에 기초자료를 제공하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. VFSMOD-W 모형의 개요

초생대 효과를 모의 분석하기 위해 선정된 VFSMOD-W (Vegetative Filter Strip MODel -W) 모형은 초생대에 의한 토사유출 저감 효과를 모의하기 위해 개발된 모형이다. 시험포인 Source Area에서 발생한 유출 및 유사가 초생대 (VFS)를 지날 때 발생하는 저감 효과를 모의하며, 모형내에는 UH 모듈과 VFSMOD 모듈로 구성되어 있다. UH 모듈은 NRCS와 USLE를 바탕으로 시험구의 유출과 유사 특성을 모의하며, VFSMOD 모듈에서 초생대를 통과한 후의 유출량과 침투량, 유사량을 모의하게 된다. VFSMOD-W 모형의 분석 알고리즘은 Green-Ampt 침투모형을 이용하여 침투량과 초과우량 (rainfall excess)을 산정하게 되며, NRCS (National Resources Conservation Service) CN 방법에 의해서 시험포의 유출량을 계산한다. 토양침식량은 범용토양유실공식 (Universal Soil

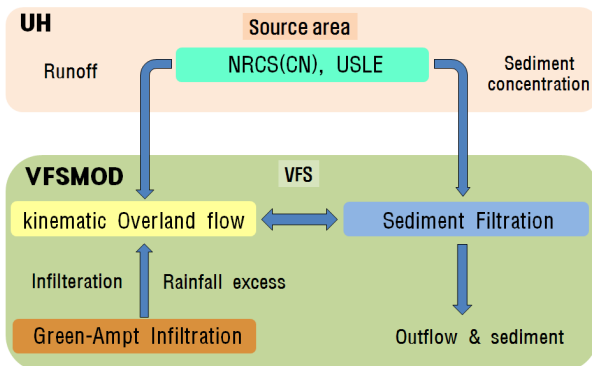
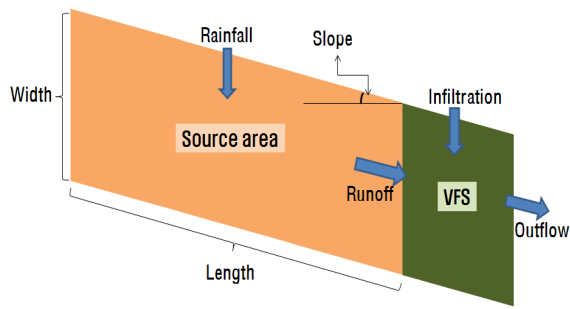


Fig. 1 Schematic diagram and algorithm of VFSMOD-W(Seo and Choi 2013)

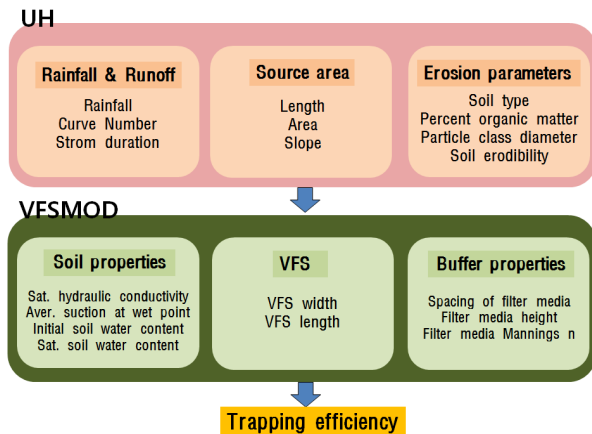


Fig. 2 Types of input data of VFSMOD-W

Loss Equation, USLE)을 이용하며, Kinematic Overland Flow 모형을 이용하여 침투층의 유출심과 유출량을 모의한다. 그리고 Sediment Filtrations Model (GRASSF and SEDIMOT II)을 이용하여 초생대 내의 유사 이동과 퇴적량을 구하게 된다 (Seo and Choi, 2013). Fig. 1은 VFSMOD-W모형에서의 시험구 및 초생대의 모식도와 모형의 유출 유사 모의과정을 보여주는 개략도를 나타낸다. UH모듈의 입력자료는 강우와 유출 인자, 발경지의 특성, 토양침식인자로 구성되어 있으며,

VFSMOD모듈에서는 토양특성, 초생대 규모 및 식생인자로 구성되어 있다. Fig. 2는 VFSMOD-W모형의 주요 입력 자료를 나타내고 있다.

2. 대상지 선정 및 입력자료 구축

본 연구를 위한 대상지는 '새만금유역 농업비점오염 저감 기법 개발'과제의 대상유역에 포함되며, 농경지의 비율이 높고, 토지계와 축산계에서 발생하는 농업비점오염이 새만금유역 전체의 오염배출량에 큰 비중을 차지하고 있는 (Jang et al., 2012) 익산지역으로 선정하였다. 익산의 면적은 506.61 km²이며, 토지 이용은 논 40.59 %, 임야 22.74 %, 밭 11.05 %, 도로 28.66 %, 대지 5.13 %, 공장용지 1.43 %, 기타 13.56 %로 구성되어 있다. Fig. 3은 새만금유역 내 익산의 위치를 나타낸다.

VFSMOD-W모형의 입력자료를 구축하기 위해 먼저 익산 지역의 일반적인 발경지 특성을 조사하였다. 발경지 규모, 밭의 경사 및 토성, 배수등급 등에 대한 조사를 실시하였으며, 전북지역의 통계청 자료와 농촌진흥청의 농업토양정보시스템에서 제공하는 자료를 토대로 조사를 실시하였다. 그 결과 발경지 규모는 1 ha 이하인 농가가 92.58 %로 대부분을 차지하였으며, 이 중 0.1~0.2 ha 규모의 발경지가 대상지 전체 경작지의 29.82 %로 가장 많았다. 또한 0.1 ha 미만의 경작지는 28.69 %, 0.3~0.5 ha 범위 내에 속하는 경작지는 14.37 %를 차지하여 익산지역의 발경지 대부분이 소규모 경작지 형태를 나타내었다. 밭의 경사는 7~15 % 범위가 가장 높은 87 %의 비율을 차지하였으며, 2~7 % 범위가 12.9 %를 차지하였다. 또한 밭의 토성은 양토 (loam)가 84 %이었으며, 그 뒤로 식양토 (clay loam), 사양토 (sand loam) 순으로 많은 비율을 차지하고 있었다. 농업토양정보시스템에서 나타난 익산지역 밭

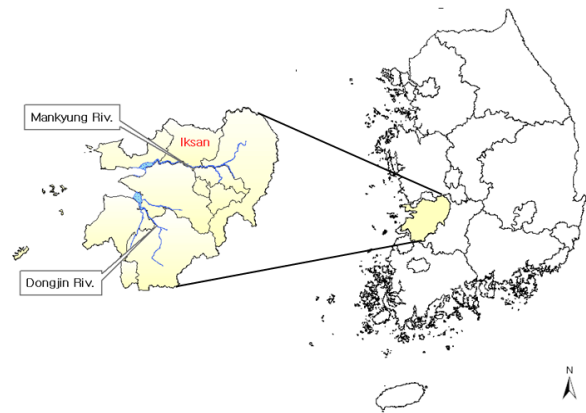


Fig. 3 Location of study area

Table 1. Characteristics of Iksan upland fields

Size	ha	<0.1	0.1~0.2	0.2~0.5	0.5~1.0	1.0~5.0	5.0~10.0	>10		
	%	28.69	29.82	23.44	10.63	6.5	0.5	0.42		
Slope	%	0~2	2~7	7~15	15~30	30~60	60~100			
	ha	48	1,999	13,434	0	0	0			
Soil texture	type	Loamy coarse sand	Loamy fine sand	Loamy sand	Fine sandy loam	Sandy loam	Loam	Silt loam	Silt clay loam	clay loam
	ha	0	0	21	16	839	12,949	172	431	1,052
Drainage	type	High well	Well	Little well	Little poor	Poor	High Poor			
	ha	106	15,178	197	0	0	0			

Table 2. Rainfall characteristics of Iksan (2000~2013)

Rainfall (mm)	Frequency	Ratio (%)	Accumulated ratio (%)
below 10	493	54.4	54.4
10~20	176	19.4	73.8
20~30	93	10.3	84.1
30~40	39	4.3	88.4
40~50	29	3.2	91.6
50~60	22	2.4	94.0
60~70	21	2.3	96.4
70~80	7	0.8	97.1
80~90	5	0.6	97.7
90~100	7	0.8	98.5
100~110	5	0.6	99.0
110~120	3	0.3	99.3
120~130	1	0.1	99.4
130~140	0	0.0	99.4
140~150	0	0.0	99.4
Above 150	5	0.6	100.0
Total	906	100.0	

경지의 배수등급은 대부분이 양호한 것으로 조사되었다. Table 1은 통계자료를 토대로 조사한 익산지역의 일반적인 발경지 특성을 상세히 나타낸다. 익산지역의 강우특성을 파악하기 위해 강우등급별 강우빈도도 파악해 보았다. WAMIS에서 제공하는 2000년~2013년 기간의 강우자료를 추출하여 분석한 결과는 Table 2와 같다. 익산은 10 mm이하의 강우량이 54.4 %로 높은 비율을 차지하고 있었으며, 50 mm이하의 강우량이 91.6 %로 대부분의 강우가 이 범위에 속하였다.

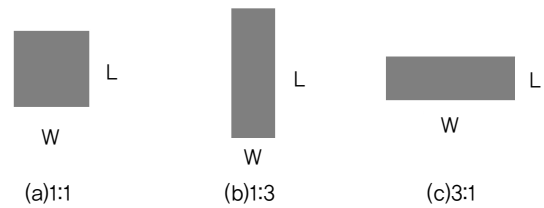


Fig. 4 Design of upland shapes

본 연구는 위의 결과들을 토대로 VFSSMOD-W모형에 필요한 입력자료와 매개변수값을 선정하기 위한 모의 시나리오를 구성하였다. 먼저 모의대상 발경지 규모는 익산지역 발경지 특성을 고려하여 0.1 ha, 0.5 ha, 1.0 ha의 3가지 발경지 규모를 고려하였으며, 다양한 발경지 형상을 고려하기 위해 Fig. 4에 나타난 바와 같이 발의 폭(W)과 길이(L)의 비율을 1:1(a), 1:3(b), 3:1(c)으로 적용하였다. 또한 발의 경사와 토성은 가장 높은 비율을 나타낸 7%와 15%의 경사 및 양토로 각각 선정하였으며, NRCS 수문학적 토양그룹은 익산의 토성과 배수등급을 고려하여 Type B로 선정하였다. 모의 강우량은 익산지역 발경지 특성상 원활한 유출발생이 가능한 강우량을 고려하여 50 mm, 100 mm, 150 mm의 일강우량을 대상으로 하였다.

익산의 발 경지 특성을 고려하여 VFSSMOD-W모형의 주요 변수도 선정하였다. 유출곡선지수 CN은 농촌지역 소규모 발경지에서 여러 가지 발작물을 재배하고 있는 특성을 고려하여, NRCS에서 제공하는 CN값 중 출작물, 곡물류, 콩과식물 등을 재배하는 수직경작지에서 배수등급이 양호하고 수문학적 토양그룹이 B인 경우의 CN 범위를 전체적으로 파악하여 최대습윤조건인 AMC-III 상태로 환산한 87.3을 대푯값으로 선정하였다. 초생대 초종은 Choi and Jang (2012)결과를

반영하여 잔디를 선정하고자 하였으나 VFSMOD-W 모형에서 제공하고 있지 않은 초종이어서 이와 가장 가까운 특성을 나타낸 Grass mixture를 선정하였다. 또한 초생대 규모는 밭경지 면적의 10 %로 고정하여 폭과 길이를 결정하였으며, 강우타입은 NRCS 대표 강우분포인 Storm type II를 적용하여 모의하였다.

UH모듈에서 토양의 침식성을 나타내는 인자인 토양침식인자(K) 값은 Wischmeier et al. (1971)에서 제시한 식 (1)을 사용하였다.

$$K = 0.1317 [TF(12.0 - OM) + SF + PF] \quad (1)$$

여기서, K는 토양침식인자(kg·h/N·m²), TF (Texture factor)는 토성지수, OM (Organic matter, %)은 유기물 백분율, SF (Structure factor)은 토양구조지수, PF (Permeability factor)는 투수지수를 뜻한다. 익산시의 OM은 농업토양정보시스템에서 조사한 결과를 바탕으로 2 %를 고려하였고, 그 외 입력

값은 토성이 양토인 특성을 반영하여 모형의 매뉴얼에서 제시한 값으로 선정하여 계산하였다. C factor는 Lee et al. (2010)의 연구를 참고하여 Farmland-Field를 적용하여 1.0으로 선택하였으며, P factor의 경우에는 Park (1999)이 제시한 토지이용별 P factor를 고려하여 경사 7 %에서는 0.6, 15 %에서 0.8로 적용하였다. 토양 침투 입력자료의 경우에는 Rawls et al. (1983)이 제시한 Green-Ampt 침투모델에 필요한 변수 값인 Ks, Sav, OS, OI를 토성인 양토일 때의 값을 선택하였다. 초생대 입력자료는 Haan et al. (1994)이 제시한 값 중 Grass mixture에 해당하는 값을 선정하였다. Table 3은 본 연구에서 선정한 주요 입력변수를 나타내며, Table 4는 토양침식인자, 토양특성 및 식생인자에 대한 입력값을 각각 나타낸다. Table 5는 본 연구에서 고려된 다양한 규모별, 형상별 밭경지에 대한 정보와 이에 대한 초생대 규모를 각각 나타낸다.

III. 결과 및 고찰

1. 초생대 유출 저감효과 모의 분석

VFSMOD-W를 이용하여 밭 경사 7 %와 15 %에 밭경지 폭과 길이 비율이 1:1, 1:3, 3:1인 0.1 ha, 0.5 ha, 1.0 ha 밭규모를 대상으로 일강우량 50 mm, 100 mm, 150 mm를 적용하여 유출모의를 실시한 결과는 Table 6과 Table 7에 나타난 바와 같다. 일강우량 50 mm와 100 mm, 150 mm 일 때 20.7~207.5 m³와 60.0~600.4 m³ 및 102.8~1,030.6 m³의 유출량을 각각 나타내었으며, 밭경사 7 %와 15 %의 결과값에 차이가 없이 두 경사 모두 Source area에서 동일한 범위의 유출량이 발생하였다. 강우량에 따른 유출량의 차이는 발형상 및 경사보

Table 3. VFSMOD-W Parameters

Parameter	Value
Curve number	87.3
Slope	7 %, 15 %
Soil type	Loam
Area	0.1 ha, 0.5 ha, 1 ha
Shape ratio(width:length)	1:1, 1:3, 3:1
Vegetative filter type	Grass mixture
Rainfall	50 mm, 100 mm, 150 mm

Table 4. Input data for VFSMOD-W

	Symbol	Description	Values	Units
Erosion parameters	CFACT	C factor	1.0	-
	PFACT	P factor	0.6 (slope 7 %)	-
			0.8 (slope 15 %)	-
K	Soil Erodibility	0.06	kg·h/N·m ²	
Soil properties	VKS (Ks)	Saturated hydraulic conductivity	0.00000367	m/s
	Sav	Suction at the wetting front	0.0889	m
	OS	Saturated soil water content	0.463	m/m
	OI	Initial soil water content	0.19	m/m
Vegetative properties	SS	Grass spacing	2.15	cm
	H	Maximum Media height	18	cm
	VN	Filter media Manning's n	0.012	s/cm
	VN2	Manning's n for bare surface	0.011	s/cm

Table 5. Detail information of Source area and VFS

Field shape (width: length)		0.1 ha	0.5 ha	1 ha
1:1	Total W (m)	31.62	70.71	100
	Total L (m)	31.62	70.71	100
	Source area W (m)	31.62	70.71	100
	Source area L (m)	28.46	63.64	90
	VFS W (m)	31.62	70.71	100
	VFS L (m)	3.16	7.07	10
1:3	Total W	18.26	40.82	57.74
	Total L	54.77	122.47	173.21
	Source area W	18.26	40.82	57.74
	Source area L	49.29	110.22	155.89
	VFS W	18.26	40.82	57.74
	VFS L	5.48	12.25	17.32
3:1	Total W	54.77	122.47	173.21
	Total L	18.26	40.82	57.74
	Source area W	54.77	122.47	173.21
	Source area L	16.43	36.74	51.97
	VFS W	54.77	122.47	173.21
	VFS L	1.83	4.08	5.77

Table 6. Calculated runoff for 7 % slope (Unit: m³)

Rainfall (mm)	Field Shape (width: length)	Source area					
		0.1 ha		0.5 ha		1 ha	
		input	output	input	output	input	output
50	1:1	20.7	18.8	103.7	94.3	207.5	188.7
	1:3	20.7	18.8	103.7	94.4	207.4	189.2
	3:1	20.7	18.7	103.7	94.0	207.4	188.3
100	1:1	60.0	57.0	300.3	285.0	600.4	569.3
	1:3	60.0	57.0	300.1	284.3	600.3	567.4
	3:1	60.0	56.9	300.0	285.0	600.2	570.2
150	1:1	102.9	99.5	514.6	497.5	1,029.5	994.7
	1:3	102.9	99.5	514.3	496.8	1,030.6	993.2
	3:1	103.0	99.5	514.7	497.6	1,029.6	995.8

Table 7. Calculated runoff for 15 % slope (Unit: m³)

Rainfall (mm)	Field Shape (width: length)	Source area					
		0.1 ha		0.5 ha		1 ha	
		input	output	input	output	input	output
50	1:1	20.7	18.7	103.7	94.1	207.5	188.6
	1:3	20.7	18.8	103.7	94.3	207.4	188.8
	3:1	20.7	18.5	103.7	93.7	207.3	188.0
100	1:1	60.0	56.9	300.3	284.8	600.2	569.3
	1:3	60.1	57.0	300.3	284.9	600.3	569.2
	3:1	60.1	56.7	300.2	284.7	600.1	569.5
150	1:1	102.9	99.5	514.7	497.9	1,029.6	995.4
	1:3	102.8	99.4	514.7	497.7	1,028.9	994.2
	3:1	103.0	99.3	514.4	497.4	1,029.4	995.3

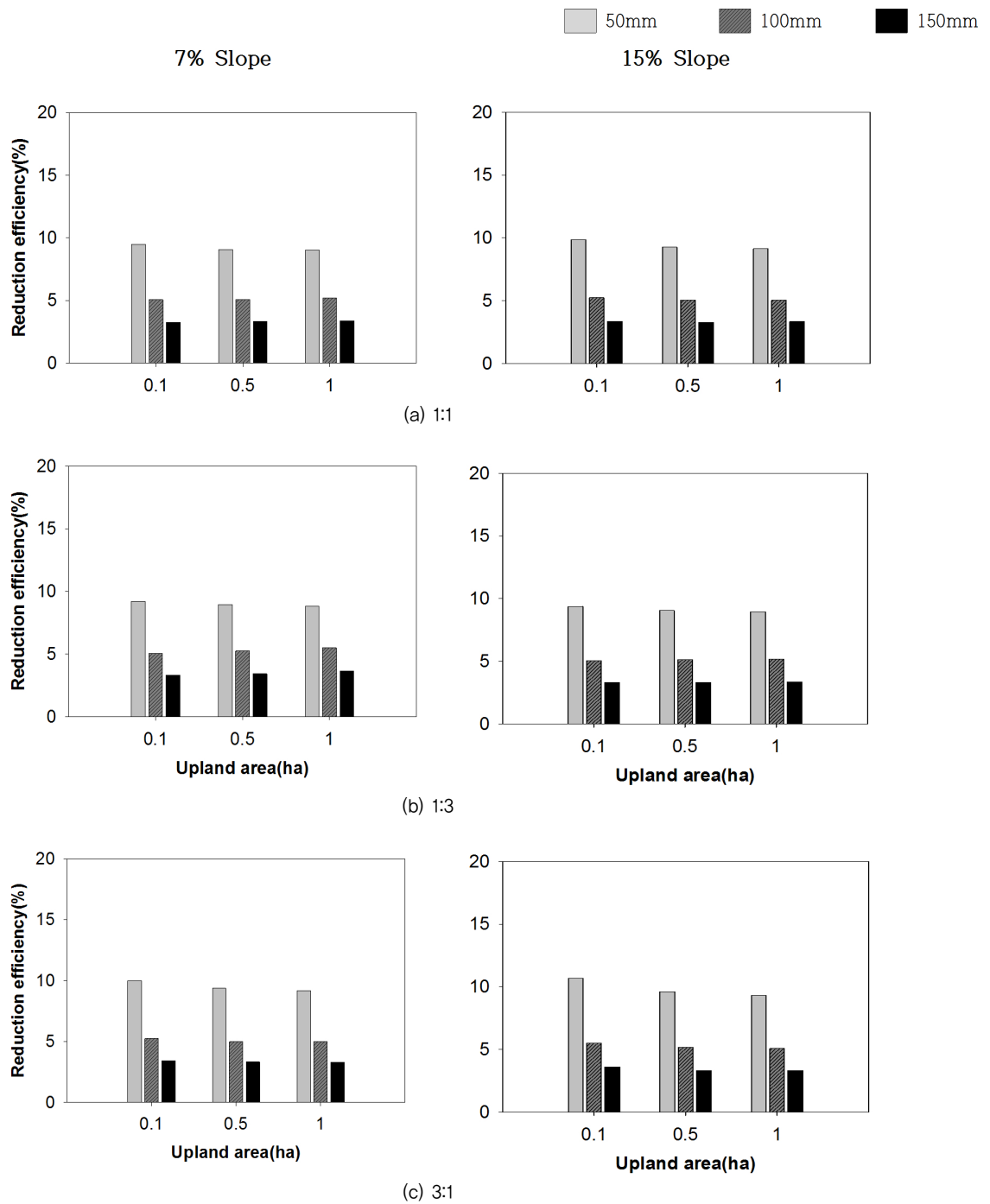


Fig. 5 Runoff reduction efficiency

다는 발면적 규모에 가장 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. Fig. 5에 나타난 초생대 적용에 따른 유출저감효과는 일강우량이 50 mm일 때 저감효율이 10 %로 가장 높게 나타났으며, 100 mm와 150 mm 경우에는 5 % 이하로 저감되는 것으로 나타나 강우량이 많을수록 유출저감효과가 낮아지는 것을 확인

할 수 있었다. 또한 유출저감효과는 강우량과 발면적에 크게 영향을 받았으나 발 형상과 경사에는 크게 영향을 받지 않는 것으로 조사되었다. 이는 발경지 규모가 1.0 ha 미만의 소규모 경작지인 경우 초생대에 의해 저감되는 유출량이 발형상과 경사의 변화에는 크게 영향을 받지 않는 것으로 사료된다.

유출모의 결과를 토대로 익산지역의 대부분 발경지 규모는 1.0 ha 미만으로써 연중 50 mm이하의 강우량이 대부분이므로 초생대 적용시 10 % 정도의 유출저감 효과를 기대할 수 있으며, 이에 따른 농업비점오염저감 효과가 매우 클 것으로 사료된다.

2. 초생대 유사 저감효과 모의 분석

초생대 유출저감효과 모의와 동일한 방법에 의해 수행한 유사저감효과 모의결과는 Table 8과 Table 9에 나타내었다. 일강우량 50 mm, 100 mm, 150 mm 일 때 Source area에서 발생하는 유사량은 밭 경사 7 %인 경우 568.4~23,376.7 kg, 2,353.6~84,638.8 kg, 4,301.6~154,843.9 kg 이었으며, 밭 경사 15 %인 경우 1,732.3~99,658.6 kg, 7,445.8~369,663.4 kg, 13,622.4~675,731.4 kg로 산정되었다. 일강우량 50 mm에 비해 100 mm와 150 mm로 증가한 경우 4~7배 정도의 유

사발생량이 증가하였으며, 경사 7 %에서 경사 15 %로 증가한 경우 약 3.4배 정도의 유사발생량이 증가하였다. 또한 밭 면적이 0.1 ha에서 0.5 ha, 1.0 ha로 증가한 경우에는 10~23배 정도로 증가하여 유사발생량이 밭 면적 규모에 의한 차이가 가장 큰 것으로 나타났다. 초생대 유출모의 결과와 비교해 볼 때 유사발생량의 경우 밭 규모 및 강우량에 의한 차이와 더불어 밭 형상 및 경사에 많은 차이를 나타내어 유출 발생과는 별도로 유사 발생에 미치는 각 인자별 영향이 큰 것으로 나타났다.

Fig. 6에 나타난 초생대 적용에 따른 유사저감효과는 일강우량 50 mm, 100 mm, 150 mm에 대해 밭경사 7 %인 경우 67.3~97.2 %, 31.5~68.3 %, 21.0~47.7 %를 나타내었으며, 밭 경사 15 %인 경우에는 28.0~77.4 %, 16.2~35.0 %, 8.6~23.7 %로 나타나 초생대에 의한 유사저감 효과가 강우량 및 밭규모 증가에 따라 급격히 떨어지는 것으로 나타났다. 밭경지 형상을 비교하였을 때는 폭 (W)과 길이 (L)의 비율이

Table 8 Calculated sediment loads for 7 % slope (Unit: kg)

Rainfall (mm)	Field Shape (width:length)	Source area					
		0.1 ha		0.5 ha		1 ha	
		input	output	input	output	input	output
50	1:1	771.2	45.1	7,104.3	1,230.6	18,235.8	4,471.2
	1:3	1,030.8	104.5	9,206.9	2,286.7	23,376.7	7,634.0
	3:1	568.4	16.1	5,370.5	572.5	13,957.9	2,345.0
100	1:1	3,078.8	1,250.5	26,962.5	15,461.3	67,921.9	42,917.5
	1:3	3,972.5	1,929.9	33,956.4	21,491.3	84,638.8	57,972.9
	3:1	2,353.6	746.9	21,061.7	10,563.8	53,600.9	30,447.2
150	1:1	5,629.5	3,365.7	49,297.0	35,147.7	124,116.7	93,530.4
	1:3	7,266.4	4,755.2	62,055.4	46,790.4	154,843.9	122,338.5
	3:1	4,301.6	2,249.7	38,547.9	25,600.3	97,973.3	69,445.8

Table 9 Calculated sediment loads for 15 % slope (Unit: kg)

Rainfall (mm)	Field Shape (width:length)	Source area					
		0.1 ha		0.5 ha		1 ha	
		input	output	input	output	input	output
50	1:1	2,559.2	921.1	26,509.2	15,446.5	71,672.1	47,094.7
	1:3	3,702.0	1,772.0	37,314.9	24,781.1	99,658.6	71,803.4
	3:1	1,732.3	391.5	18,469.9	8,825.2	50,531.6	28,811.7
100	1:1	10,549.7	7,651.0	103,546.7	82,984.5	274,012.0	224,275.6
	1:3	14,704.0	11,369.1	141,175.3	116,497.6	369,663.4	309,775.3
	3:1	7,445.8	4,838.1	74,852.0	58,234.9	200,032.6	159,947.9
150	1:1	19,287.5	15,904.7	189,434.7	167,949.2	501,194.9	451,171.1
	1:3	26,902.1	23,261.7	257,972.5	233,045.7	675,731.4	617,378.4
	3:1	13,622.4	10,396.8	136,827.9	118,473.1	365,902.8	323,531.6

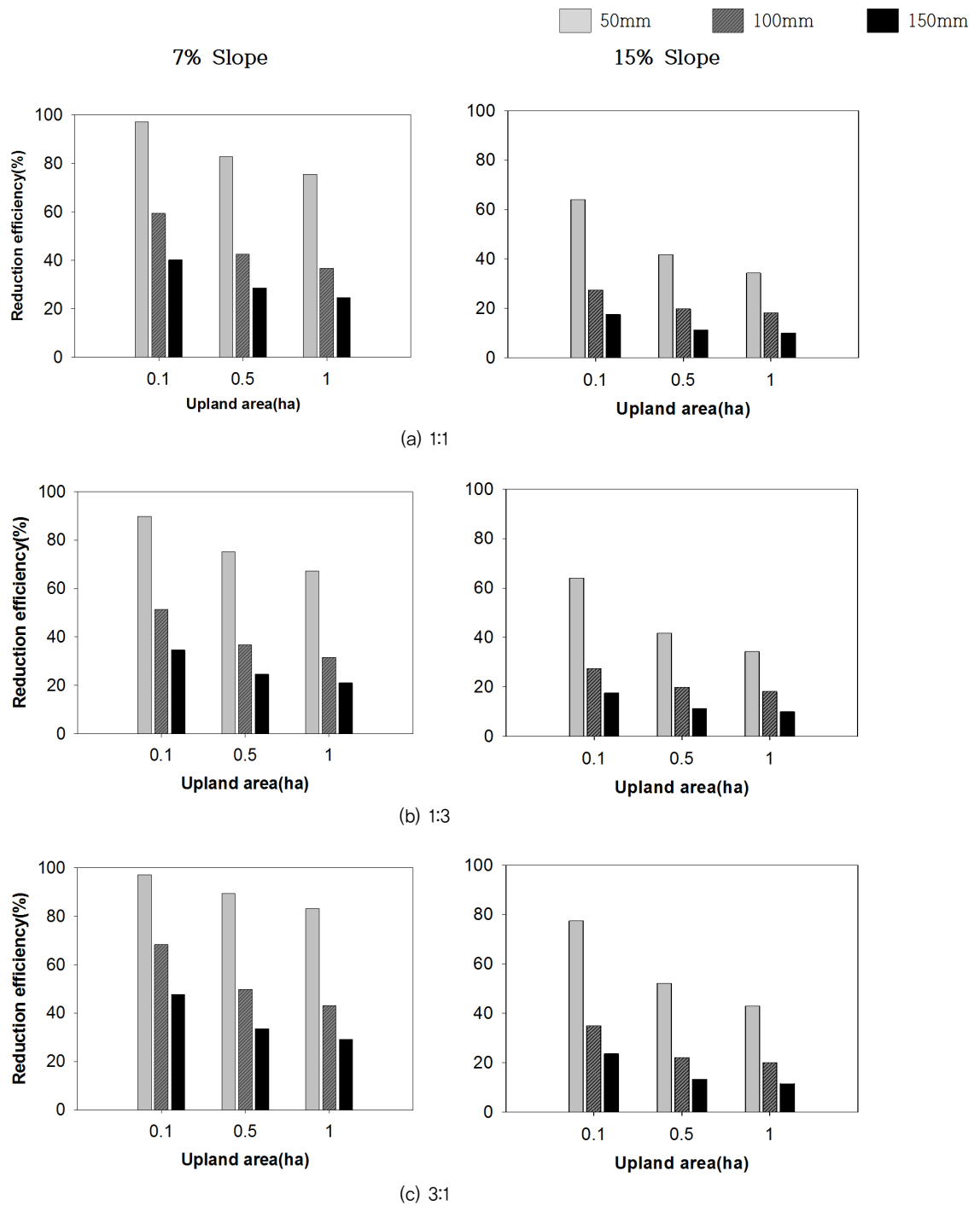


Fig. 6 Sediment trapping efficiency

3:1>1:1>1:3 순으로 유사저감 효과가 좋게 나타나 폭이 길이에 비해 넓을 때 비점오염저감 측면에서 유리한 것으로 나타났다. 초생대의 유출저감 효과와 비교해 볼 때 유사저감 효과가 훨씬 높게 나타났는데 이는 초생대 여과기능에 대해 유사

저감이 유출저감보다 더 유리하기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 유사의 경우에는 초생대에 의한 저감효과가 유출에 비해 상대적으로 크기 때문에 위에서 언급한 각 인자별 유사 발생량 및 저감효과의 차이가 두드러지게 나타난 것으로 사

료된다. 유사량 모의 결과, 일강우량 50 mm에 대해 1.0 ha 이하 규모의 경사 7% 발경지에서 유사저감 효과가 가장 높게 나타났으므로, 익산지역의 발경지 특성을 고려해 볼 때 경사 7% 이하의 발 경지에 초생대 적용시 유사저감에 의한 농업비점오염 저감효과가 매우 높을 것으로 기대된다.

IV. 결 론

본 연구는 우리나라 발 비점오염관리를 위한 초생대 기법의 적용시 필요한 설계기법 개발에 기초자료를 제공하고 다양한 현장여건을 반영할 수 있는 모의분석을 실시하고자 하였다. 새만금 유역 내에 위치한 익산지역 발경지를 대상으로 농업비점오염 저감기법인 초생대를 적용하였을 경우 유출 및 유사 저감효과에 대해 알아보하고자 하였으며, 이를 위해 초생대 필지단위 모의 프로그램인 VFSMOD-W모형을 이용하여 현장조건을 최대한 반영하여 모의하였다. 익산시의 발경지 및 강우특성을 조사하여 이를 토대로 발경지 규모, 형상 및 경사를 다양하게 구성한 모의시나리오를 이용하여 모의한 결과는 매우 긍정적으로 도출되었다.

초생대 적용에 따른 유출 및 유사 저감효과는 발경사 7%와 15%에 대해 5~10%와 21.0~97.2%, 8.6~77.4%를 각각 나타내었다. 발경지 규모가 1.0 ha 미만의 조건하에서는 유출량의 경우 발형상과 경사보다는 강우량과 더불어 발면적 규모에 가장 많은 영향을 받는 것으로 나타났으며, 유사량의 경우에는 발 규모 및 강우량의 차이와 더불어 발의 형상 및 경사에도 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 본 연구에서 수행한 초생대 효과에 대한 모의결과를 토대로 익산의 대부분 발경지 규모는 1.0 ha 미만으로써 연중 일강우량이 50 mm이하가 대부분이므로 초생대기법의 적용 시 발 경사 15% 이내에서는 양호한 유사저감 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료되며, 이에 따른 농업비점오염 저감 효과가 매우 클 것으로 사료된다. 또한 본 연구의 결과가 새만금유역의 다양한 발경지 현장 조건하에서의 초생대 효과를 파악 할 수 있는 모의분석에 기초자료로 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 향후 발경지 조건에 따른 초생대의 적정 규모 선정과, 강우량뿐만 아니라 강우강도 및 강우타입에 따른 다양한 조건에서의 유사저감 효과에 대한 추가적인 연구가 진행될 필요가 있으며, 본 모형의 검보정을 위해서는 보다 체계적이고 지속적인 현장실험이 병행될 필요성이 요구된다.

사 사

이 연구는 농림수산식품부·한국농어촌공사 농어촌연구원에서 지원한 “새만금유역 농업비점오염저감기법 개발 연구”와 2012학년도 경북대학교 학술연구비 지원으로 수행되었음.

REFERENCES

- Ahmed S. I., R. P. Rudra, and M. SHaukat, 2011. Impact of contributing area on the performance of Vegetative Filter Strips. *An ASABE Meeting Presentation Paper No 1111607*.
- Choi, K. S. and J. Y. Jang, 2012. Study of plants for VFS systems applications. *Proceedings of 2012 Annual Conference The Korean Society of Agricultural Engineers* (in korean).
- Choi, K. S., S. G. Lee, and J. Y. Jang, 2013. Study on management of agricultural non-point source pollutions through VFS applications. *Proceedings of 2013 Annual Conference The Korea Water Resources Association* (in korean).
- Chung J. E. and S. O. Chung, 2002. Application of vegetative filter strip to control nonpoint source pollution, *KCID journal* Vol.9 No.1, pp.103-111 (in Korean).
- Dillaha, T. A., J. H. Sherrard, D. Lee, S. Mostaghimi, and V. O. Shanholtz, 2010. Evaluation of vegetative filter strips as a best management practice for feed lots. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 60(7), pp.1231-1238.
- Haan C. T., B. J. Barfield, and J. C. Hayes, 1994. Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments. San Diego : Academic Press
- Jang N. J., B. K. Kim, S. H. Im, T. K. Kim, 2012. A Study on Evaluation of Target Region for the Agricultural Non-point Sources Management. *Korean Society of Environmental Engineers journal* pp. 23-31 (in Korean).
- Jae H. A., S. L. Yun, S. K. Kim, Y. S. Park, K. J. Lim, 2012. Analysis of Suspended Solids Reduction by Vegetative Filter Strip for Cultivated Area Using Web GIS-Based VFSMOD, *J.Kor. Soc. Environ. Eng.*, Vol.34 No.12, pp.792~800 (in Korean).
- Jeon, J. H., 2010. Simulation of Sediment Yield from Imha Watershed Using HSPF *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 52(6): 39-48.
- Jung. C. G., S. R. Ahn, S. J. Kim, H. J. Yang, H. J. Lee, and G. A. Park, 2013. HSPF and SWAT modelling for identifying runoff reduction effect of nonpoint source pollution by rice straw mulching on upland crops. *Journal of the Korean Society of Agrivultural Engineering* 55(2): 47-57 (in Korean).
- Kim J. H., K. H. Han, and J. S. Lee, 2008. Characteristics of

- agricultural non-point source pollutants by rainfall events in rural watersheds. *Journal of Korean Society on Water Quality* 24(1): 69-77 (in Korean).
12. Lee G. J., C. S. Park, J. T. Lee, Y. S. Zhang, Y. I. Jin, and S. W. Hwang, 2005. Reduction of soil loss by rod culture of rye and corn on radish in Daegwallyepng highland. International symposium & conference of the Plant Resources Society of Korea. pp.125 (in Korean).
 13. Lee Y. K., G. J. Yeon, S. W. Jung, S. S. Park, 2010. Computation of Mean Soil Loss in the Catchment of the Mankyung River by USLE. *Proceedings of 2010 Annual conference The Korea Water Resources Association*, pp. 1721-1725 (in Korean).
 14. Majed Abu-Zreig, 2001. Factors affecting sediment trapping in vegetated filter strips. *Hydrol. Process* 15: 1477-1488
 15. Marc D., H. Richard, 2009. Reduction in agricultural non-point source pollution in the first year following establishment of an integrated grass/tree filter strip system in southern Quebec (Canada), *Agriculture, Ecosystems and Environment* 131, pp. 85-97.
 16. Mersie, W., C. A. Seybold,, C. McNamee, M. A. Lawson, 2003, Abating endosulfan from runoff using vegetative filter strips: the importance of plant species and flow rate. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 97, pp. 215-223.
 17. Munoz-Carpena. R., and J. E. Parsons, 2004. A design procedure for vegetative filter strips using VFSMOD-W. *American Society of Agricultural Engineers* 47(6): 1933-1941
 18. Park C. S., 1999. Monitoring of Non-point Pollutants from the Different Land Use in the Yulmunchon Tributary Watershed the So-yang River Basin. The master's thesis, Kangwon National University, pp. 1-47.
 19. Park Y. S., J. G. Kim, N. W. Kim, J. H. Park, W. S. Jang, J. D. Choi, K. J. Lim, 2008. Improvement of Sediment Trapping Efficiency Module in SWAT using VFSMOD-W Model. *Journal of Korean Society on Water Quality*, Vol.24 No.4, pp.473-479 (in Korean)
 20. Park Y. S., G. W. Hyun, 2014. Optimization of Vegetative Filter strip using VFSMOD-W model and Genetic-Algorithm. *Journal of Koreana Society on Water Environment*, Vol. 30 No. 2, pp. 159-165 (in Korean).
 21. Patzold S., C. Klein, and G. W. Brumer, 2007. Run-off transport of herbicides during natural and simulated rainfall and its reduction by vegetated filter strips. *Soil Use and Management*, 23, pp.294-305.
 22. Rawls W. J., D. L. Brakensiek, 1983. A procedure to predict Green-Ampt infiltration parameters. *Adv. in Infiltration, ASAE Pub. no.11-83*, pp.102-112.
 23. Robinson, C. A., , M. Ghaffarzadeh, R. M. Cruse, 1996, Vegetative filter strip effects on sediment concentration in cropland runoff, *Soil and Water Conservation*, vol. 51(3), pp.227-230.
 24. Seo J. H., K. S. Choi, 2013. Analysis of Sediment Reductions Effects of VFS Systems for the General Characteristics of Uplands in Korea. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 55 No. 4, pp.123-131 (in Korean).
 25. Shin E. S., J. Y. Choi., D. H. Lee, 2001. Characteristics of Non-Point Source Pollutants in Surface Runoff from Rural Area, *J.KSWQ* Vol.17, No.3, pp. 299-311 (in Korean).
 26. Shin M. H., K. J. Lim, J. R. Jang, Y. H. Choi, W. J. Park, C. H. Won, J. D. Choi, 2012. Analysis of Reduction of NPS Pollution loads using the small sediment trap at field, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* Vol. 54, No. 2, pp. 27-35 (in Korean).
 27. Thomas L., F. Sebastien, Lutts. Stanley, M. C. Rafael, L. B. Charles, 2014. Impact of plant growth and morphology and of sediment concentration on sediment retention efficiency of vegetative filter strips: Flume experiments and VFSMOD modeling. *Journal of Hydrology* 511, pp.800-810.
 28. Wischmeier W. H., C. B. Johnson, Cross B.V., 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, 26(5), pp.189-193.
 29. Won C. H., Y. H. Choi, M. H. Shin, D. S. Shin, D. G. Kang, J. D. Choi, 2011. Runoff Characteristics of NPS Pollution on Field in Rainy Season. *Journal of Korean Society on Water Quality*, Vol.27 No.5, pp.572-759 (in Korean).