

# VFSMOD를 이용한 경작지의 고형물질 유출 저감효과 Analysis of Suspended Solids Reduction by Vegetative Filter Strip for Cultivated Area Using Web GIS-Based VFSMOD

안재환 · 윤상린<sup>†</sup> · 김석구 · 박윤식\* · 임경재\*

Jae Hwan Ahn · Sang Leen Yun<sup>†</sup> · Seog Ku Kim · Youn Shik Park\* · Kyoung Jae Lim\*

한국건설기술연구원 환경연구실 · \*강원대학교 지역건설공학과

Environmental Eng. Research Division, Korea Institute of Construction Technology

\*Department of Agricultural Engineering, Kangwon National University

(2012년 11월 8일 접수, 2012년 12월 7일 채택)

**Abstract :** The study was performed to simulate the reduction efficiency of suspended solids (SS) for cultivated land located at riverine area at the Namhan River and the Bukhan River watershed sites (site A, B, C) under the rainfall conditions using HUFF & SCS UH-based VFS Design module of Web GIS-based VFSMOD System. The study indicates that the field 5% sloped, located at Bukhan River watershed (site A), requires at least 0.5 m width of Vegetative Filter Strip (VFS) to reduce 70% of SS while the field 10% sloped requires the at least 1.0~1.5 m width of VFS to reduce 70% SS, under the condition 106.2 mm of rainfall event and bell pepper or corn of crops. Against the conditions 95.1 mm of rainfall event and sweet potato or soy bean of crops, the field 5% sloped, located at Namhan River watershed (site B) requires at least 0.5 m width of VFS to reduce 70% of SS while the field 10% sloped requires at least 1.0 m width of VFS to reduce 50% SS. The crops sweet potato and soy bean are cultivated in the site C, located at Namhan River watershed, 1 m of VFS is capable of 64.0% and 62.0% of SS reduction against 102.6 mm and 151.2 mm rainfall conditions respectively, for the 5% sloped field. The result supports that VFS is one of most potential methods to reduce SS from cultivated area, which is environment-friendly hydrologic structure. The VFS design, however, needs to be simulated before its installation in the field, the simulation needs to consider not only various characteristics of the field but also different conditions affecting the VFS, using a model capable to consider a lot of factors.

**Key Words :** Vegetable Filter Strip (VFS), SS Reduction, Cultivate Land, Non-Point Source

**요약 :** 본 연구는 남한강과 북한강 유역 내 경작지 각 3개소(site A, B, C)를 대상으로 Web GIS-based VFSMOD System의 HUFF & SCS UH-based VFS Design Module을 적용하여 강우 시 경작지에서 유출되는 고형물질 유출저감을 모의하였다. 북한강 유역 내에 위치한 site A의 노지 밭의 토지경사도 5%, 강우 106.2 mm 조건에서 고추 및 옥수수를 재배할 경우, 70% 이상의 고형물질 유출저감 효율을 얻기 위해서는 초생대 폭이 최소 0.5 m 이상, 토지경사도 10%인 경우 70% 이상의 고형물질 유출저감 효율을 얻기 위해서는 초생대 폭이 최소 1.0~1.5 m 이상 유지해야 한다. 남한강 유역 내에 site B의 노지 밭의 토지경사도 5%, 강우량 95.1 mm 조건에서 토마토 및 땅콩을 재배할 경우, 70% 이상의 고형물질 유출저감을 위해서는 초생대의 폭이 최소 0.5 m, 토지경사도 10%인 경우 50% 이상의 고형물질 유출저감을 위해서는 최소 1.0 m 이상의 폭을 갖는 초생대를 설치해야 하는 것으로 나타났다. 남한강 유역 내에 site C의 노지 밭의 토지경사도 5%, 강우량 102.6 mm 조건에서 고구마 및 콩을 재배할 경우, 64.0% 이상의 고형물질 유출저감을 위해서는 초생대의 폭이 최소 1.0 m, 초생대를 설치해야 하는 것을 분석되었다. 또한, 동일한 조건에서 강우지속시간 2시간의 강우량을 151.2 mm로 증가시킬 경우, 62.0% 이상의 고형물질 유출저감을 위한 초생대의 최소 폭은 1.0 m 이상 설치해야 하는 것으로 분석되었다. 초생대 시설은 경작지와 같은 토지이용 시 친환경적인 고형물질 유출저감 방안으로 검토될 수 있으며, Web GIS-based VFSMOD System을 이용하여 다양한 토지특성과 강우사상을 반영하여 적절한 규모의 초생대 설계가 가능할 것으로 분석되었다.

**주제어 :** 초생대, 고형물질 유출, 경작지, 비점오염원

## 1. 서론

건기 동안 토지에 퇴적된 각종 물질들이 강우 유출수에 포함되어 인근의 수계에 직접 유입되거나 하수관거에 유입된다. 강우와 함께 유출된 고형물질(Suspended Solids, SS)은 고농도의 유기물질과 질소(N), 인(P) 성분들을 포함하고 있는데, 호소나 댐에 유입될 경우 장기간 동안 침전이 어려운 상태로 탁수현상을 유발하거나, 하수도에 유입·침전되어 하수도의 기능을 저하시키게 된다. 따라서 강우 시 경작지에서

발생할 수 있는 탁수 문제를 해결하기 위하여 여러 최적관리기법(Best Management Practices, BMPs)들이 제안되어 왔으며, 또한 침사지, 저류지, 사방댐 등과 같은 수리 구조물이 하천에서의 탁수저감 대책으로 활용되고 있다.<sup>1-3)</sup> 탁수저감을 위한 수리 구조물과 함께 최근에는 환경적인 측면에서 보다 효율적인 방법으로 여겨지는 초생대(Vegetative Filter Strip, VFS, 혹은 Buffer Strip)에 대한 연구들이 진행되고 있다.<sup>4-6)</sup> 초생대는 보통 농경지의 하부에 인접하여 설치되며 특정 식물을 이용하여 농경지와 같은 발생원에서 발생한 유출수

<sup>†</sup> Corresponding author E-mail: leen70@kict.re.kr Tel: 031-910-0316 Fax: 031-910-0291

와 고형물질(SS)을 여과, 침투, 침전, 퇴적, 식물 섭취 등의 작용을 통해 SS와 오염물질 등을 저감시킬 뿐만 아니라 지표수의 수질을 정화시키는 역할을 한다.<sup>4,7)</sup> 이러한 초생대에 의한 탁수 저감모의를 위하여 개발된 데스크탑 기반의 VFSSMOD-W 모형은 field-scale 모형으로서 인접하고 있는 시험포(Source Area)에서 초생대(VFS)로의 유출과 침투 및 SS 저감 효율을 모의한다. 또한 설계 강우에 의한 단위도를 이용하며, 식생의 조도 계수나 밀도, 초생대의 경사, 침투 특성 등의 초생대의 인자뿐만 아니라, 각기 다른 입자 크기를 갖는 유사(流砂)에 대한 분석이 가능하다. VFSSMOD-W 모형은 Source Area의 유출-침투 특성을 Green-Ampt 침투 방정식을 이용하여 유출량 및 침투량을 모의하며, Kinematic Overland Flow를 이용하여 침투층에서의 유출심과 유출량 모의를 한다. 그리고 초생대로 유입되는 SS의 운반과 퇴적을 모의하기 위해 Sediment Filtrations 모듈을 이용한다.<sup>8,9)</sup>

본 논문에서는 초생대에 의한 고형물질(SS) 저감효과를 모의할 수 있는 여러 모형 중에서 desktop 기반 VFSSMOD를 기반으로 유역에서의 연중 초생대에 의한 고형물질 저감효과를 모의하기 위하여 개발된 Web GIS-based VFSSMOD System을 적용하였다.<sup>10)</sup> 농경지와 같은 발생원에서의 강우 시 유출된 고형물질이 하천으로 이동되기 전에 저감시킬 수 있는 초생대의 영향을 모의하기 위해서 연중 지역적 강우 특성, 농경지에서의 작물, 토성, 경사도와 같은 다양한 조건을 고려한 적정 초생대 규모를 산정하고자 한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1. Web GIS 기반 VFSSMOD 개요

연중 초생대에 의한 고형물질(SS) 저감효과를 모의할 수 있게 개발된 Web GIS-based VFSSMOD System (<http://www.envsvs.co.kr/~vssmod>)은 Web을 기반으로 하여 운영할 수 있어서 인터넷을 통해 보다 쉽게 이용이 가능하며 서버에서 모든 연산을 처리한다. 또한 Web GIS-based VFSSMOD System은 초생대에 의한 SS저감효과 분석결과를 이해하기 쉽게 표와 그래프 형태로 제공한다.<sup>10,11)</sup> 데스크탑 기반 VFSSMOD-W 모형의 입력 자료 중 사용자가 정확한 정보를 찾기 어려운 것 중의 하나가 토양 속성 정보이다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 Web GIS-based VFSSMOD System에서는 Google map을 이용한 토양속성 정보를 제공하는 Web GIS 모듈을 개발하여 모의에 바로 이용할 수 있도록 제공하고 있다.

초생대의 인자(식생의 조도 계수나 밀도, 초생대의 경사,

침투 특성 등) 뿐만 아니라, 각기 다른 입자 크기를 갖는 SS에 대한 분석이 가능하다. Web GIS-based VFSSMOD System은 초생대에 의한 SS 저감 효과를 모의하기 위하여 많은 발생원에서의 강우량 값, 강우지속시간 등과 같은 강우 특성과 폭, 경사도 등과 같은 물리적 특성, 유기물 함량, 입자 크기와 같은 토양 속성을 비롯하여, 초생대 폭과 경사도와 같은 물리적 특성, 토양의 투수계수 및 함수량등과 같은 토양 속성 그리고 식생의 특성 등과 같은 많은 양의 입력변수를 필요로 하고 있고, HTML 표와 Google map 등을 이용하여 자연 상태의 조건을 가능한 반영할 수 있도록 하였다. 또한 강우 지속시간 내에 강우 분포에 의한 수리 구조물의 영향을 고려하기 위해 가장 많이 사용되는 Huff에 의한 분위법을 적용하였다.

### 2.2. 모의 대상지역 선정 및 분석

본 연구는 하천구역 내 경작지에서 발생하는 비점오염물질을 줄이기 위한 최적관리 기법중 하나로 초생대를 선정하여 경작지에서 발생하는 SS의 저감효과에 대해 분석하였다. HUFF에 의한 강우 분포와 SCS의 삼각 단위도에 의한 강우-유출, 그리고 Source area에서의 작물의 종류 및 작물 생장을 고려할 수 있는 Web GIS-based VFSSMOD의 HUFF & SCS UH-based VFS Design Module을 3개(site A, B, C)의 경작지에 적용하였다. 경작지 선정은 북한강 유역인 경기도 가평군(site A)에 위치한 밭 1개 지역, 남한강 유역의 경기도 여주군과 양평군에 위치한 밭 2개(site B, site C)를 연구대상지역으로 적용하였으며, 재현빈도 강우량, 강우지속시간, Source area(밭), 재배작물종류 등 다양한 변수를 적용하여 초생대 설치 규모에 따른 고형물질 유출저감 효율을 모의하였다. Table 1은 모의지역에 대한 Source area 규모와 강우량, 초생대 폭 및 재배작물 등을 정리한 것이다.

Fig. 1은 연구대상지역인 Site A, B, C의 밭 경작지 위치를 나타내었다. 연구대상지점은 각각 경작지의 위치가 인근 수계에 10~20 m 정도로 인접되어 있어 강우 시 경작지로부터 유출되는 고형물질을 포함한 비점오염물질이 하천으로 직접 유입될 가능성이 매우 높은 특성을 가지고 있다.

Site A의 Source area(노지 밭)는 길이 50 m, 면적 0.45 ha에 고추와 옥수수를 재배하고 있으며, Site B는 길이는 45 m, 면적은 0.45 ha로 토마토와 땅콩을 재배하고 있다. 또한 Site C의 Source area(노지 밭)는 길이 120 m, 면적 1.32 ha로 고구마와 콩을 재배하고 있는 경작지 특성이 조사되었다.

본 연구에는 강우지속시간 1시간의 강우량에 대해 Site A와 Site B의 토지 경사도(5%, 10%)의 변화와 SS 저감효과를

Table 1. Simulated conditions of VFSSMOD according to cultivated lands

	Source area			Rainfall (mm)	Wide of VFS (m)	Crops
	Length (m)	Area (ha)	Slope (%)			
Site A	50	0.45	5, 10	106.2	0.5, 1.0, 1.5	Bell pepper, Corn
Site B	45	0.45	5, 10	95.1	0.5, 1.0, 1.5	Tomato, Peanut
Site C	120	1.32	5	102.6, 151.2	1.0, 1.5, 2.0	Sweet potato, Soy bean

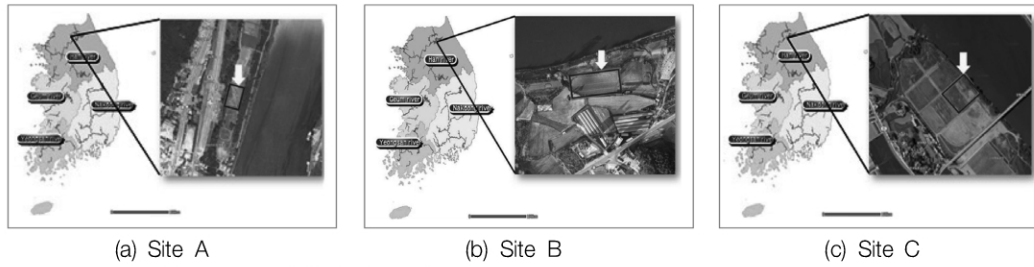


Fig. 1. Areal view of the study area for VFSMOD simulation at ordinary field.

초생대의 폭을 0.5, 1.0, 1.5 m로 모의하여 비교 평가하였다. 2시간)의 변화에 의한 재배작물별 SS 저감효과를 모의하여 또한 Site C에서는 토지 경사도 5%에서 강우 지속시간(1, 비교 평가하였다.

Table 2. Removal efficiency of SS by VFS simulation (slop 5%) (units : %)

Corps	Bell pepper			Corn			Tomato			Peanut			
	Width (m)	0.5 m	1.0 m	1.5 m	0.5 m	1.0 m	1.5 m	0.5 m	1.0 m	1.5 m	0.5 m	1.0 m	1.5 m
JAN, I		56,6	79,3	89,2	75,9	92,0	96,3	67,5	87,7	94,2	71,1	89,8	95,2
JAN, II		56,6	79,3	89,2	75,9	92,0	96,3	67,5	87,7	94,2	71,1	89,8	95,2
JAN, III		56,6	79,3	89,2	75,9	92,0	96,3	67,5	87,7	94,2	71,1	89,8	95,2
FEB, I		56,6	79,3	89,2	75,9	92,0	96,3	67,5	87,7	94,2	71,1	89,8	95,2
FEB, II		56,6	79,3	89,2	75,9	92,0	96,3	67,5	87,7	94,2	71,1	89,8	95,2
FEB, III		56,6	79,3	89,2	75,9	92,0	96,3	67,5	87,7	94,2	71,1	89,8	95,2
MAR, I		56,6	79,3	89,2	75,9	92,0	96,3	67,5	87,7	94,2	71,1	89,8	95,2
MAR, II		56,7	79,5	89,3	75,9	92,0	96,3	67,9	87,9	94,3	71,1	89,8	95,2
MAR, III		56,9	79,6	89,4	75,9	92,0	96,3	68,6	88,4	94,5	71,1	89,8	95,2
APR, I		57,1	79,8	89,5	75,9	92,0	96,3	69,6	88,9	94,8	71,1	89,8	95,2
APR, II		57,7	80,3	89,9	75,9	92,0	96,3	70,7	89,5	95,1	71,1	89,8	95,2
APR, III		58,7	81,2	90,4	76,0	92,1	96,3	72,2	90,3	95,5	71,1	89,8	95,2
MAY I		59,8	82,1	91,0	76,2	92,2	96,3	74,9	91,7	96,1	71,1	89,8	95,2
MAY II		60,9	82,9	91,5	76,7	92,4	96,4	79,2	93,5	97,0	71,2	89,8	95,2
MAY III		61,9	83,7	91,9	77,2	92,6	96,5	83,5	95,2	97,7	71,3	89,9	95,3
JUN, I		62,9	84,4	92,4	78,3	93,0	96,7	86,8	96,2	98,1	71,5	90,0	95,3
JUN, II		63,3	84,8	92,6	80,2	93,7	97,0	88,4	96,7	98,3	71,9	90,2	95,4
JUN, III		63,5	84,9	92,6	82,2	94,5	97,3	89,3	97,0	98,4	72,9	90,7	95,7
JUL, I		62,0	83,8	92,0	83,5	94,9	97,5	89,6	97,0	98,5	74,4	91,5	96,0
JUL, II		60,3	82,4	91,2	84,3	95,2	97,7	86,9	96,3	98,1	75,9	92,1	96,3
JUL, III		59,3	81,7	90,7	84,5	95,3	97,7	82,4	94,8	97,5	77,9	93,0	96,7
AUG, I		58,7	81,2	90,4	84,5	95,3	97,7	79,2	93,5	97,0	79,2	93,5	97,0
AUG, II		58,2	80,7	90,1	84,3	95,2	97,7	76,4	92,3	96,4	79,7	93,7	97,1
AUG, III		57,8	80,5	90,0	84,3	95,2	97,7	74,7	91,6	96,1	80,0	93,9	97,1
SEP, I		57,7	80,3	89,9	84,3	95,2	97,7	73,6	91,0	95,8	80,1	93,9	97,1
SEP, II		57,7	80,3	89,9	84,3	95,2	97,7	72,7	90,6	95,6	78,6	93,3	96,9
SEP, III		57,7	80,3	89,9	81,9	94,3	97,3	71,8	90,1	95,4	76,7	92,5	96,5
OCT, I		57,7	80,3	89,9	80,4	93,8	97,0	71,8	90,1	95,4	75,9	92,1	96,3
OCT, II		57,7	80,3	89,9	80,0	93,7	97,0	71,8	90,1	95,4	75,2	91,8	96,2
OCT, III		57,7	80,3	89,9	79,8	93,6	97,0	71,8	90,1	95,4	74,4	91,5	96,0
NOV, I		57,7	80,3	89,9	79,2	93,4	96,9	71,8	90,1	95,4	73,7	91,1	95,9
NOV, II		57,7	80,3	89,9	79,2	93,4	96,9	71,8	90,1	95,4	73,4	91,0	95,8
NOV, III		57,7	80,3	89,9	79,2	93,4	96,9	71,8	90,1	95,4	73,4	91,0	95,8
DEC, I		57,7	80,3	89,9	79,2	93,4	96,9	71,8	90,1	95,4	73,4	91,0	95,8
DEC, II		57,7	80,3	89,9	79,2	93,4	96,9	71,8	90,1	95,4	73,4	91,0	95,8
DEC, III		57,7	80,3	89,9	79,2	93,4	96,9	71,8	90,1	95,4	73,4	91,0	95,8

I: 1~10 day, II: 11~20 day, III: 21~30 day

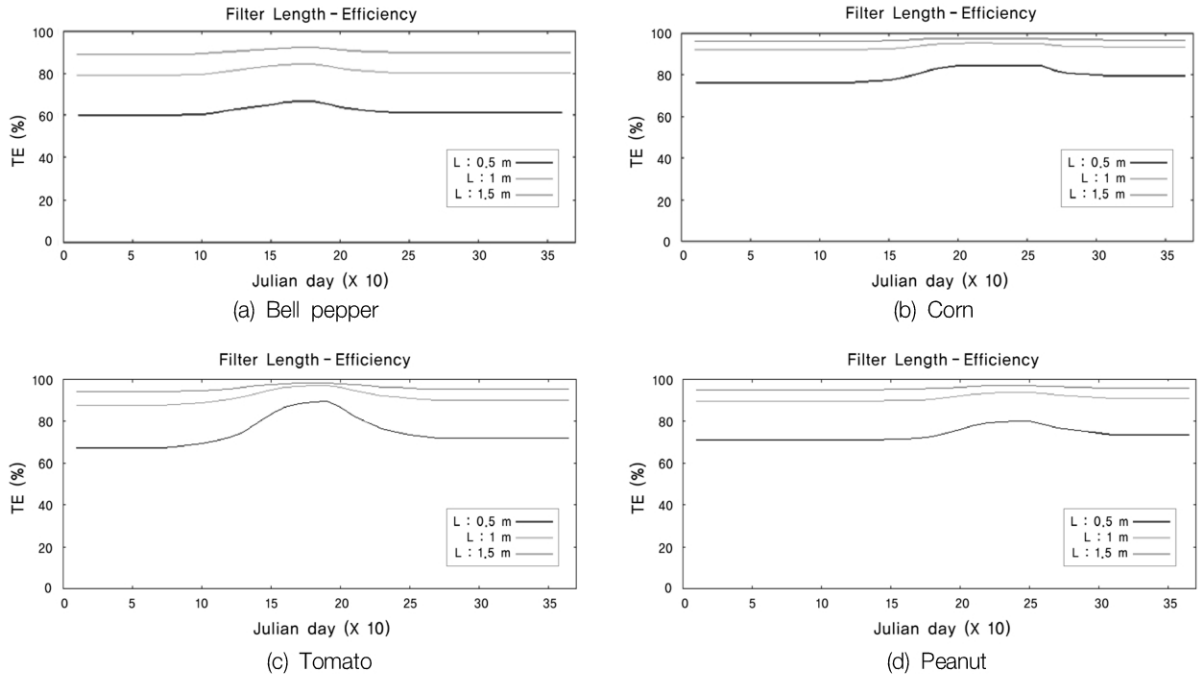


Fig. 2. Removal efficiency of SS by VFS simulation at bell pepper, corn, tomato and peanut in site A, B (slop 5%).

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 재배작물별 SS 유출저감 효과에 대한 VFSMOD 모의

##### 3.1.1. 토지 경사도에 변화에 의한 초생대의 SS 유출 저감 효과

Table 2와 Fig. 2는 강우지속시간 1시간의 강우사상(Site A; 106.5 mm, Site B; 95.1 mm)에서 밭 경사도가 5%일 때의 각 재배작물의 시기별 SS 저감효율을 나타낸 것이다. 초생대의 폭은 0.5 m, 1.0 m, 1.5 m로 변화를 주어 모의 비교·평가하였다.

밭 경사도가 5%에서 모의한 결과, 초생대 폭이 0.5 m일 경우 고추는 6월 하순에 63.5% SS 저감 효율이 나타났으며, 옥수수의 경우 7월 하순부터 8월 초순에 84.5%, 토마토의 경우 7월 초순에 89.6%, 땅콩의 경우 9월 초순에 80.1%의 최대 SS 저감효과가 나타났다. 1.0 m 초생대 폭에 대해 대상 지점에서 작물별 최대 SS 저감 효과 결과, 고추의 경우 6월 하순에 84.9%, 옥수수는 7월 하순부터 8월 초순에 95.3%의 SS 저감 효율을 기대할 수 있을 것으로 분석되었다. 또한 토마토의 경우는 6월 하순부터 7월 초순에 97.0%, 땅콩의 경우 8월 하순부터 9월 초순에 93.9%의 최대 SS 저감 효율을 기대할 수 있을 것으로 분석되었다. 초생대 폭을 1.5 m로 모의한 경우 고추는 6월 중·하순에 92.6%, 옥수수의 경우는 7월 중순부터 9월 중순에 97.7%, 토마토의 경우 7월 초순에 98.5%, 땅콩은 8월 중순부터 9월 초순에 97.1% 최대 SS 저감 효율을 기대할 수 있을 것으로 분석되었다.

각 작물별 재배시기를 보면 고추는 봄부터 가을, 옥수수는 4월 중순부터 가을, 토마토는 여름철인 5월에서 9월, 땅콩은 5월 중순에서 9월에 재배되는 것이 일반적으로 보고되

고 있다. 초생대 적용 시 작물별 SS의 저감효과를 볼 때 각 작물이 재배되는 기간에 최대 저감효과가 있는 것으로 나타났으며, 상대적으로 작물의 재배시기가 아닌 봄철이나 겨울철의 경우 초생대에 의한 SS 저감효과가 낮은 것으로 나타났다.

강우지속시간 1시간의 강우사상(Site A; 106.5 mm, Site B; 95.1 mm)에서 밭 경사도가 5%에 대해 모의한 결과, 초생대 폭이 최소 0.5 m 이상 확보되어야 80% 이상의 SS 저감 효율로 인한 하천 수계로부터의 안전성을 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

Table 3과 Fig. 3은 강우지속시간 1시간의 강우사상(Site A; 106.5 mm, Site B; 95.1 mm)에서 밭 경사도가 10%일 때의 각 재배작물의 시기별 SS 저감효율을 나타낸 것이다. 초생대의 폭은 경사도가 5%일 때와 동일하게 0.5 m, 1.0 m, 1.5 m로 변화를 주어 모의하였다.

토지 경사도 10%일 때 모의한 결과, 0.5 m 초생대 폭에 대해 대상 지점에서 고추를 재배할 경우 6월 하순에 최대 34.3%, 옥수수를 재배할 경우 7월 하순부터 8월 초순에 최대 56.4%, 토마토를 재배할 경우 7월 초순에 최대 63.6% 땅콩의 경우 9월 초순에 최대 48.6%의 SS 저감 효율을 기대할 수 있을 것으로 분석되었다. 1.0 m 초생대 폭에 대해 대상 지점에서 고추를 재배할 경우는 6월 하순에 최대 52.7%, 옥수수를 재배할 경우 7월 하순부터 8월 초순 최대 79.4%, 토마토를 재배할 경우 7월 초순에 최대 84.7%, 땅콩을 재배할 경우 9월 초순 최대 71.3%의 SS 저감 효율이 나타났다. 1.5 m 초생대 적용시 고추는 6월 하순에 최대 66.0%, 옥수수의 경우 7월 하순부터 8월 초순 최대 89.1%, 토마토는 7월 초순에 최대 92.4%, 땅콩은 9월 초순에 최대 83.3%의 SS 저감 효율을 기대할 수 있을 것으로 나타났다.



**Table 3.** Removal efficiency of SS by VFS simulation (slop 10%) (units : %)

Corps	Bell pepper			Corn			Tomato			Peanut			
	Width (m)	0.5 m	1.0 m	1.5 m	0.5 m	1.0 m	1.5 m	0.5 m	1.0 m	1.5 m	0.5 m	1.0 m	1.5 m
JAN, I		29.6	46.4	59.0	46.9	69.6	81.9	36.8	57.0	70.5	39.8	60.9	74.3
JAN, II		29.6	46.4	59.0	46.9	69.6	81.9	36.8	57.0	70.5	39.8	60.9	74.3
JAN, III		29.6	46.4	59.0	46.9	69.6	81.9	36.8	57.0	70.5	39.8	60.9	74.3
FEB, I		29.6	46.4	59.0	46.9	69.6	81.9	36.8	57.0	70.5	39.8	60.9	74.3
FEB, II		29.6	46.4	59.0	46.9	69.6	81.9	36.8	57.0	70.5	39.8	60.9	74.3
FEB, III		29.6	46.4	59.0	46.9	69.6	81.9	36.8	57.0	70.5	39.8	60.9	74.3
MAR, I		29.6	46.4	59.0	46.9	69.6	81.9	36.8	57.0	70.5	39.8	60.9	74.3
MAR, II		29.7	46.5	59.1	46.9	69.6	81.9	37.1	57.4	70.9	39.8	60.9	74.3
MAR, III		29.8	46.6	59.3	46.9	69.6	81.9	37.7	58.2	71.7	39.8	60.9	74.3
APR, I		30.0	46.9	59.6	46.9	69.6	81.9	38.5	59.3	72.8	39.8	60.9	74.3
APR, II		30.4	47.5	60.3	46.9	69.6	81.9	39.4	60.4	73.9	39.8	60.9	74.3
APR, III		31.1	48.7	61.6	47.1	69.8	82.1	40.8	62.1	75.5	39.8	60.9	74.3
MAY, I		31.8	49.7	62.8	47.4	70.1	82.4	43.2	65.2	78.2	39.8	60.9	74.3
MAY, II		32.5	50.7	63.8	47.8	70.5	82.7	47.6	70.2	82.5	39.9	61.0	74.4
MAY, III		33.2	51.7	64.9	48.3	71.1	83.2	52.8	75.6	86.6	40.0	61.2	74.6
JUN, I		33.9	52.7	66.0	49.4	72.3	84.1	57.9	80.2	89.7	40.1	61.3	74.7
JUN, II		34.2	53.2	66.5	51.3	74.3	85.6	61.1	82.8	91.3	40.5	61.8	75.1
JUN, III		34.3	53.3	66.6	53.7	76.7	87.3	63.0	84.3	92.2	41.4	62.9	76.2
JUL, I		33.2	51.8	65.0	55.2	78.1	88.3	63.6	84.7	92.4	42.7	64.6	77.7
JUL, II		32.1	50.1	63.2	56.3	79.1	89	58.2	80.5	89.9	44.2	66.4	79.3
JUL, III		31.5	49.3	62.2	56.5	79.4	89.1	51.4	74.2	85.6	46.2	68.6	81.1
AUG, I		31.1	48.6	61.5	56.5	79.4	89.1	47.6	70.2	82.5	47.5	70.1	82.4
AUG, II		30.8	48.1	60.9	56.4	79.3	89.1	44.7	66.9	79.7	48.1	70.8	82.9
AUG, III		30.5	47.7	60.5	56.4	79.3	89.1	43.1	65.0	78.1	48.5	71.1	83.2
SEP, I		30.4	47.5	60.3	56.4	79.2	89.0	42.0	63.6	76.9	48.6	71.3	83.3
SEP, II		30.4	47.5	60.3	56.4	79.2	89.0	41.2	62.7	76.0	46.9	69.5	81.9
SEP, III		30.4	47.5	60.3	53.2	76.2	87.0	40.3	61.6	75.0	44.9	67.1	79.9
OCT, I		30.4	47.5	60.3	51.6	74.6	85.9	40.3	61.6	75.0	44.1	66.2	79.2
OCT, II		30.4	47.5	60.3	51.2	74.2	85.6	40.3	61.6	75.0	43.4	65.4	78.5
OCT, III		30.4	47.5	60.3	50.8	73.8	85.3	40.3	61.6	75.0	42.7	64.6	77.7
NOV, I		30.4	47.5	60.3	50.4	73.4	84.9	40.3	61.6	75.0	42.2	63.9	77.1
NOV, II		30.4	47.5	60.3	50.4	73.4	84.9	40.3	61.6	75.0	41.8	63.5	76.7
NOV, III		30.4	47.5	60.3	50.4	73.4	84.9	40.3	61.6	75.0	41.8	63.5	76.7
DEC, I		30.4	47.5	60.3	50.4	73.4	84.9	40.3	61.6	75.0	41.8	63.5	76.7
DEC, II		30.4	47.5	60.3	50.4	73.4	84.9	40.3	61.6	75.0	41.8	63.5	76.7
DEC, III		30.4	47.5	60.3	50.4	73.4	84.9	40.3	61.6	75.0	41.8	63.5	76.7

I: 1~10 day, II: 11~20 day, III: 21~30 day

각 작물과 5%의 밭경사, 1시간 지속시간 100년 재현빈도 강우에 대해 초생대의 폭이 0.5 m의 경우 71.5%, 1.0 m의 경우 89.1%, 1.5 m의 경우 94.7%의 평균 SS 저감 효율이 나타났다. 또한 밭 경사도가 10%일 경우 최소 1.5 m 이상의 폭을 갖는 초생대를 설치하여야 최소 60% 이상의 SS 저감 효율을 기대할 수 있는 것으로 나타났다(Table 4).

토지 경사도에 따른 재배 작물별 SS 저감효과를 분석한 결과, 재배 작물 별 재배시기에 초생대에 의한 SS 저감 효과가 높은 것으로 나타났으며 비 경작(휴경) 시기인 겨울철에는 SS 저감 효과가 낮게 나타나 휴경시기의 적극적인 관

리가 요구되는 것으로 판단된다. 또한 경사도의 변화에 의해 SS 저감효과는 초생대의 폭을 1.5 m로 설치할 경우 밭경사가 5%인 경우 89.1%로 나타났으나 밭경사가 10%인 경우 62.6%로 약 26.5%의 저감효과가 낮아지는 결과가 나타나 하천구역내의 경작 활동시 경사도를 고려한 경작 활동이 요구되는 것으로 사료된다.

### 3.1.2. 강우지속시간에 변화에 따른 SS 유출 저감효과 비교

Site C의 Source Area의 길이는 120 m, 면적은 1.32 ha, 경사는 5%로 강우량은 경기도 양평군 지역의 1시간 지속시

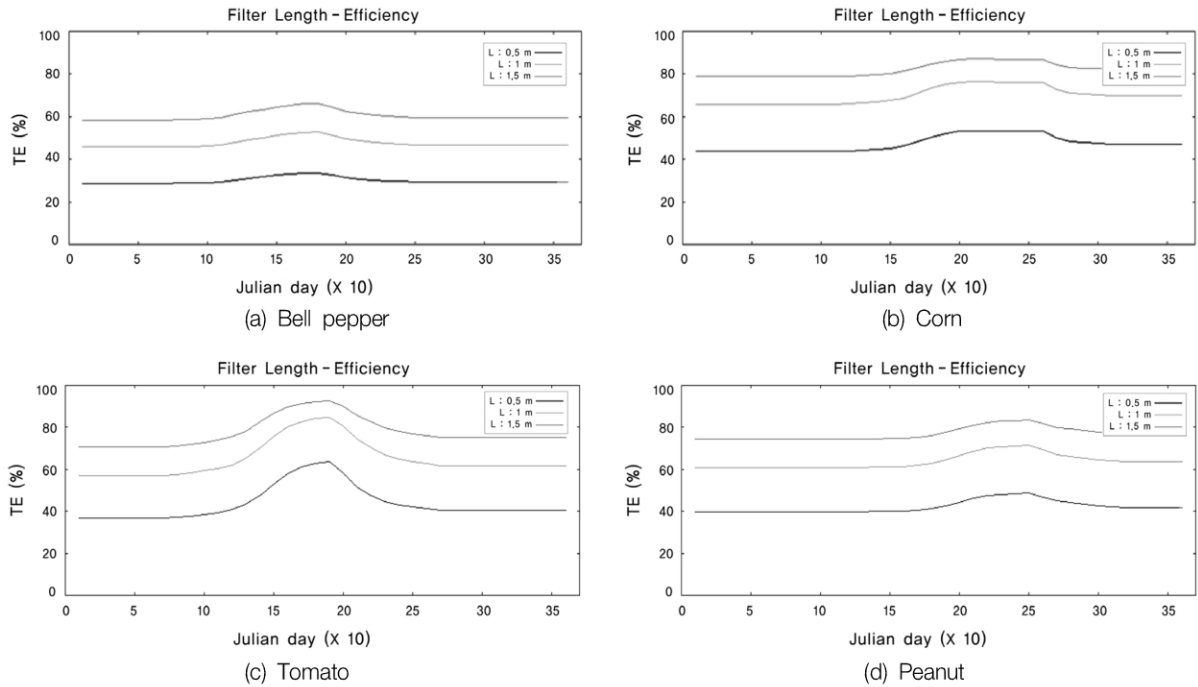


Fig. 3. Removal efficiency of SS by VFS simulation at bell pepper, corn, tomato and peanut in site A, B (slop 10%).

Table 4. Removal efficiency of SS by land slop 5, 10% (units : %)

Slop (%)	5									10								
	Max.			Min.			Avg.			Max.			Min.			Avg.		
Width (m)	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5
Bell pepper	63.5	84.9	92.6	56.6	79.3	89.2	58.5	80.9	90.2	34.3	53.3	66.6	29.6	46.4	59.0	30.9	48.3	61.1
Corn	84.5	95.3	97.7	75.9	92.0	96.3	79.3	93.3	96.9	56.5	79.4	89.1	46.9	69.6	81.9	50.6	73.4	84.8
Tomato	89.6	97.0	98.5	36.8	57.0	70.5	74.4	91.0	95.8	63.6	84.7	92.4	36.8	57.0	70.5	43.7	65.0	77.5
Peanut	80.1	93.9	97.1	39.8	60.9	74.3	73.7	91.0	95.8	48.6	71.3	83.3	39.8	60.9	74.3	42.2	63.8	76.9
Total avg.	79.4	92.8	96.5	52.3	72.3	82.6	71.5	89.1	94.7	50.8	72.2	82.9	38.3	58.5	71.4	41.9	62.6	75.1

간 100년 재현빈도 강우량 값인 102.6 mm와 2시간 지속시간 151.2 mm를 적용하였으며 초생대의 폭은 1.0, 1.5, 그리고 2.0 m를 적용하였다. 대상 지역의 밭작물인 고구마, 콩을 모의하였다.

Table 5와 Fig. 4는 밭 경사가 5%일 때 강우량의 변화에 따른 각 초생대 폭에 의한 SS 저감 효율을 나타낸 것이다. Table 5에서 보이는 바와 같이 각 작물에 따라, 시기에 따라, 그리고 초생대 폭에 따라 각각 다른 초생대에 의한 SS 저감 효율이 나타났다.

강우량 102.6 mm로 모의 평가한 결과 1.0 m 초생대 폭에 대해 대상 지점에서 고구마를 재배할 경우 최대 72.3% (9월 초순~10월 초순)부터 최소 47.4% (6월 초순)의 SS 저감 효율을 기대할 수 있으며, 콩을 재배할 경우 최대 74.7% (8월 하순)부터 최소 71.2% (5월 하순)의 SS 저감 효율을 기대할 수 있을 것으로 분석되었다. 1.5 m 초생대 폭에 대해 대상 지점에서 고구마를 재배할 경우 최대 84.0% (9월 초순~10월 초순)부터 최소 60.5% (6월 초순)의 SS 저감 효율을 기대할 수 있으며, 콩을 재배할 경우 최대 85.7% (8월 하순)부터 최소 83.1% (5월 하순)의 SS 저감 효율을 기대할 수 있을 것으

로 분석되었다. 2.0 m 초생대 폭에 대해 대상 지점에서 고구마를 재배할 경우 최대 90.0% (9월 초순~10월 초순)부터 최소 70.2% (6월 중순)의 SS 저감 효율을 기대할 수 있으며, 콩을 재배할 경우 최대 91.2% (8월 하순)부터 최소 89.4% (5월 하순)의 SS 저감 효율을 기대할 수 있을 것으로 분석되었다.

강우량 151.2 mm로 모의 평가한 결과, 1.0 m 초생대 폭에 대해 대상 지점에서 고구마를 재배할 경우 최대 70.3% (9월 중·하순)부터 최소 45.7% (6월 초순)의 SS 저감 효율을 기대할 수 있으며, 콩을 재배할 경우 최대 72.6% (8월 하순)부터 최소 69.0% (5월 하순)의 SS 저감 효율을 기대할 수 있을 것으로 분석되었다. 1.5 m 초생대 폭으로 적용 시 고구마의 경우 최대 82.5% (9월 중·하순)부터 최소 58.6% (6월 초순)의 SS 저감 효율을 기대할 수 있으며, 콩을 재배할 경우 최대 84.2% (8월 하순)부터 최소 81.5% (5월 하순)의 SS 저감 효율을 기대할 수 있을 것으로 분석되었다. 2.0 m 초생대 폭에 대해 대상 지점에서 고구마를 재배할 경우 최대 88.9% (9월 중·하순)부터 최소 68.3% (6월 초순)의 SS 저감 효율을 기대할 수 있으며, 콩을 재배할 경우 최대 90.2% (8월 하순)부터 최소 88.2% (5월 하순)의 SS 저감 효율을

**Table 5.** Removal efficiency of SS by VFS simulation (slop 5%, rainfall 102.6, 151.2 mm) (units : %)

Rainfall	102.6 mm						151.2 mm					
	Sweet potato			Soy bean			Sweet potato			Soy bean		
	Width (m)	1.0 m	1.5 m	2.0 m	1.0 m	1.5 m	2.0 m	1.0 m	1.5 m	2.0 m	1.0 m	1.5 m
JAN, I	47.4	60.5	70.2	71.2	83.1	89.4	45.7	58.6	68.3	69.0	81.5	88.2
JAN, II	47.4	60.5	70.2	71.2	83.1	89.4	45.7	58.6	68.3	69.0	81.5	88.2
JAN, III	47.4	60.5	70.2	71.2	83.1	89.4	45.7	58.6	68.3	69.0	81.5	88.2
FEB, I	47.4	60.5	70.2	71.2	83.1	89.4	45.7	58.6	68.3	69.0	81.5	88.2
FEB, II	47.4	60.5	70.2	71.2	83.1	89.4	45.7	58.6	68.3	69.0	81.5	88.2
FEB, III	47.4	60.5	70.2	71.2	83.1	89.4	45.7	58.6	68.3	69.0	81.5	88.2
MAR, I	47.4	60.5	70.2	71.2	83.1	89.4	45.7	58.6	68.3	69.0	81.5	88.2
MAR, II	47.4	60.5	70.2	71.2	83.1	89.4	45.7	58.6	68.3	69.0	81.5	88.2
MAR, III	47.4	60.5	70.2	71.2	83.1	89.4	45.7	58.6	68.3	69.0	81.5	88.2
APR, I	47.4	60.5	70.2	71.2	83.1	89.4	45.7	58.6	68.3	69.0	81.5	88.2
APR, II	47.4	60.5	70.2	71.2	83.1	89.4	45.7	58.6	68.3	69.0	81.5	88.2
APR, III	47.4	60.5	70.2	71.2	83.1	89.4	45.7	58.6	68.3	69.0	81.5	88.2
MAY, I	47.4	60.5	70.2	71.2	83.1	89.4	45.7	58.6	68.3	69.0	81.5	88.2
MAY, II	47.4	60.5	70.2	71.2	83.1	89.4	45.7	58.6	68.3	69.0	81.5	88.2
MAY, III	47.4	60.5	70.2	71.2	83.1	89.4	45.7	58.6	68.3	69.0	81.5	88.2
JUN, I	47.4	60.5	70.2	71.4	83.3	89.5	45.7	58.6	68.3	69.2	81.6	88.3
JUN, II	47.9	61.1	70.7	71.4	83.3	89.5	46.2	59.1	68.8	69.3	81.8	88.4
JUN, III	49.1	62.4	72.0	71.8	83.6	89.7	47.4	60.5	70.2	69.5	81.9	88.5
JUL, I	51.7	65.2	74.7	72.3	84.0	90.0	49.9	63.3	72.9	70.1	82.3	88.8
JUL, II	55.6	69.2	78.3	72.9	84.4	90.3	53.7	67.4	76.7	70.8	82.9	89.2
JUL, III	61.2	74.6	82.9	73.7	85.0	90.7	59.1	72.7	81.4	71.6	83.5	89.7
AUG, I	66.2	79.1	86.4	74.1	85.3	90.9	63.9	77.2	85.0	72.2	83.9	90.0
AUG, II	70.1	82.3	88.8	74.5	85.6	91.1	67.9	80.6	87.6	72.4	84.1	90.1
AUG, III	72.0	83.7	89.8	74.7	85.7	91.2	69.7	82.0	88.6	72.6	84.2	90.2
SEP, I	72.3	84.0	90.0	74.5	85.6	91.1	70.1	82.3	88.8	72.4	84.1	90.1
SEP, II	72.3	84.0	90.0	74.1	85.3	90.9	70.3	82.5	88.9	72.0	83.8	89.9
SEP, III	72.3	84.0	90.0	74.1	85.3	90.9	70.3	82.5	88.9	72.0	83.8	89.9
OCT, I	72.3	84.0	90.0	74.1	85.3	90.9	70.1	82.3	88.8	72.0	83.8	89.9
OCT, II	67.7	80.4	87.4	74.1	85.3	90.9	65.5	78.6	86.1	72.0	83.8	89.9
OCT, III	61.8	75.2	83.3	74.1	85.3	90.9	59.6	73.2	81.8	72.0	83.8	89.9
NOV, I	58.6	72.1	80.8	74.1	85.3	90.9	56.5	70.3	79.3	72.0	83.8	89.9
NOV, II	56.9	70.5	79.4	74.1	85.3	90.9	54.9	68.6	77.8	72.0	83.8	89.9
NOV, III	56.9	70.5	79.4	74.1	85.3	90.9	54.9	68.6	77.8	72.0	83.8	89.9
DEC, I	56.9	70.5	79.4	74.1	85.3	90.9	54.9	68.6	77.8	72.0	83.8	89.9
DEC, II	56.9	70.5	79.4	74.1	85.3	90.9	54.9	68.6	77.8	72.0	83.8	89.9
DEC, III	56.9	70.5	79.4	74.1	85.3	90.9	54.9	68.6	77.8	72.0	83.8	89.9

I: 1~10 day, II: 11~20 day, III: 21~30 day

기대할 수 있을 것으로 분석되었다.

Table 6은 토지 경사도 5%에서 강우량에 변화에 대한 SS 저감 효과를 분석한 결과를 나타낸 것이다. 1시간 지속시간 100년 재현빈도 강우(102.6 mm)에 대해서 최소 1.5 m 이상의 폭을 갖는 초생대를 설치할 경우 60% 이상의 SS 저감 효율이 기대할 수 있으며, 2시간 지속시간 100년 재현빈도 강우(151.2 mm)에 대해 80% 이상의 SS 저감 효율을 갖는

초생대를 설치하기 위해서는 최소 2.0 m 이상의 폭을 갖는 초생대를 설치해야 되는 것으로 나타났다.

강우지속시간에 변화에 따른 SS 저감효과를 보면 적용한 강우사상 비교 시 초생대의 폭이 1.0 m일 경우 약 2%, 1.5 m일 경우 약 1.5%, 2.0 m일 경우 약 0.3%로 미비한 차이가 나타나 강우지속시간(강우량)의 변화에 의한 SS 저감효과는 미비한 것으로 나타났다.

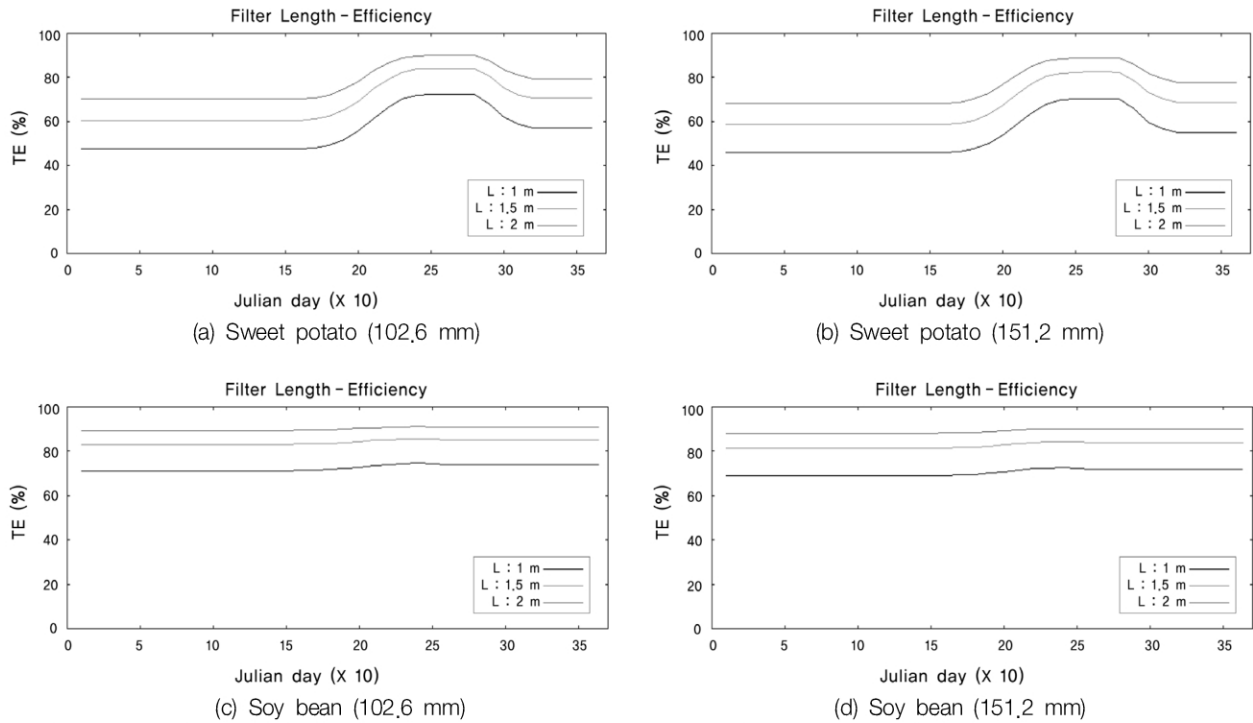


Fig. 4. Removal efficiency of SS by VFS simulation at sweet potato and soy bean in site C (slop 5%, rainfall 102,6, 151,2 mm).

Table 6. Removal efficiency of SS by rainfall (units : %)

Rainfall (mm)	102,6									151,2								
	Max.			Min.			Avg.			Max.			Min.			Avg.		
Width (m)	1.0	1.5	2.0	1.0	1.5	2.0	1.0	1.5	2.0	1.0	1.5	2.0	1.0	1.5	2.0	1.0	1.5	2.0
Sweet potato	72,3	84,0	90,0	47,4	60,5	70,2	55,4	68,4	77,1	91,1	70,1	82,3	45,7	58,6	68,3	53,5	66,5	75,4
Soy bean	74,7	85,7	91,2	71,2	83,1	89,4	72,6	84,2	90,1	72,6	84,2	90,2	69,0	81,5	88,2	70,5	82,6	89,0
Total Avg.	73,5	84,9	90,6	59,3	71,8	79,8	64,0	76,3	83,6	81,9	77,2	86,3	57,4	70,1	78,3	62,0	74,6	82,2

#### 4. 결론

본 연구는 재배작물 종류와 시기, 강우 재현빈도, 토지경사도 각각의 조건에 대해 남한강과 북한강 내 각 1지점에서 Web GIS-based VFSMOD System의 HUFF & SCS UH-based VFS Design Module를 적용하여 고형물질의 유출저감을 모의하였다. 북한강 유역인 경기도 가평군(site A)과 남한강 유역인 경기도 여주군(site B)내에 위치한 노지 밭의 토지경사도 5%와 10%, 1시간 지속기간 100년 재현빈도 강우조건에서 고추 및 옥수수를 재배할 경우 초생대에 의한 고형물질 유출저감 효율을 모의하였다. 토지경사도 5%에서 80% 이상의 고형물질 유출저감 효율을 얻기 위해서는 초생대 폭이 최소 1.0 m 이상 유지해야 하고, 토지경사도 10%인 경우 60% 이상의 고형물질 유출저감 효율을 얻기 위해서는 초생대 폭이 최소 1.5 m 이상 유지해야 한다.

토지 경사도의 변화에 의해 SS 저감효과는 초생대의 폭을 1.5 m로 설치할 경우 밭경사가 5%인 경우 89.1%로 나타났다. 반면 밭경사가 10%에서 초생대의 폭을 1.5 m로 설치할 경우 62.6%로 밭경사가 5%와 비교시 약 26.5%의 저감효과가 낮아지는 결과가 나타나 토지 경사도에 의한 SS 저감효

율이 영향이 큰 것으로 분석되었다.

남한강 유역의 경기도 양평군(site C) 내에 위치한 노지 밭의 토지경사도 5%와 강우량 102.6 mm와 151.2 mm 조건에서 고구마 및 콩을 재배할 경우 초생대에 의한 고형물질 유출저감 효율을 모의하였다. 토지경사도 5% 강우량 102.6 mm 모의 조건에서 초생대의 폭이 최소 1.0 m로 초생대를 설치할 경우 64.0% 이상의 고형물질 유출저감 효과가 나타났다. 또한, 동일한 조건에서 강우량 151.2 mm 조건에서 고구마 및 콩을 재배하였을 경우에 초생대에 의한 고형물질 유출저감 효율을 모의한 결과, 초생대의 폭이 최소 1.0 m, 초생대를 설치 62.0% 이상의 고형물질 유출저감 효과가 나타났다.

강우지속시간에 변화에 따른 SS 저감효과 모의 결과, 적용한 두 강우사상(102.6, 151.2 mm)의 비교 시 초생대의 폭이 1.0 m일 경우 약 2%, 1.5 m일 경우 약 1.5%, 2.0 m일 경우 약 0.3%의 차이가 나타나 강우지속시간(강우량)의 변화에 의한 SS 저감효과는 미비한 것으로 나타났다. 하천구역내의 경작 활동 시 경사도를 고려한 경작 활동이 요구되는 것으로 판단된다.

이상과 같이 초생대 시설은 경작지와 같은 토지 이용시

친환경적인 고형물질 유출저감 방안으로 검토될 수 있으며, Web GIS-based VFSSMOD System을 이용하여 다양한 토지 이용과 강우시상을 반영하여 적절한 규모의 초생대 설계가 가능할 것으로 분석되었다. 또한 이러한 결과는 향후 호소 및 하천의 수질저감을 위한 대책수립 시 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

## 사사

본 연구는 한강수계관리위원회(국립환경과학원, 한강물환경연구소)와 한국건설기술연구원 자체사업(국제공동연구)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

**KSEE**

## 참고문헌

- Interagency Joint, "Secondary comprehensive countermeasure of nonpoint source pollution ('12~'20)," (2012)
- Korea Institute of Construction Technology, "The Optimum Management Plans and Runoff Characteristics of Nonpoint Source for PalDang Watershed," (2000)
- National Resources Conservation Services (NRCS), <http://www.nrcs.usda.gov/>, (2011)
- T. A. Dillaha, R. B. Reneau, S. Mostaghimi, and D. Lee, "Vegetative filter strips of agricultural nonpoint source pollution control," *Trans. ASAE*, **32**(2), 491~496(1989)
- Chung, J. E., Chung, S. O., "Application of vegetative filter strip to control nonpoint source pollution," *KCID J.*, **9**(1), 103~111(2002)
- The Korea National Institute of Environmental Research, Han River Environment Research Center, "Investigation on the Cultivated Lands in River District and their Contribution of Water Pollution in Han River," (2008)
- Won, C. H., Shin, M. H., Choi, Y. H., Shin, J. Y., Park, W. J. and Choi, J. D., "Applications of Surface Cover Materials for Reduction of Soil Erosion," *Korean Soc. Water Environ.*, **27**(6), 848~854(2011)
- Munoz-Carpena, R., Parsons, J. E. and Gilliam, J. W., "Modeling hydrology and sediment transport in vegetative filter strips," *J. Hydrol.*, **214**, 111~129(1999)
- Munoz-Carpena, R. and J. E. Parsons, "Vegetative Filter Strips Hydrology and Sediment Transport Modeling System," Model Document & User's Manual, (2005)
- Park, Y. S., Kim, J. G., Lim, K. J., Shin, Y. C., Ahn, J. H. and Kim, K. S., "Development of Web GIS VFSSMOD System to Simulate Sediment Reduction Efficiency with Vegetative Filter Strip," The 2007 KSAE Annual Conference., p. 115(2007)
- Park, Y. S., Jang, W. S. and Lim K. J., "Development and application of Web GIS-based vegetative filter strip evaluation system to reduce agricultural nonpoint pollution," *Rural Res.*, **53**(1), 56~67(2011)