



우리나라 일반적인 밭경지 특성을 고려한 초생대 유사저감효과 분석

Analysis of Sediment Reductions Effects of VFS Systems for the General Characteristics of Uplands in Korea

서정훈* · 최경숙**†

Seo, Jeong-Hoon · Choi, Kyung-Sook

ABSTRACT

This study focused on the sediment reduction effects of VFS (vegetative filter strip) systems for the general characteristics of uplands in Korea. General conditions of upland fields were investigated through national scales of annual agricultural statistics. 7-15 % of slope with loam soil was the dominant types of uplands, and the hydrologic soil group feature usually belong to Type B. The common sizes of uplands were bigger than 0.1 ha and less than 0.2 ha, and 86.2 % of them account for less than 1.0 ha. With this information, 0.1 ha, 0.5 ha, and 1.0 ha of uplands with various shapes and 7-15 % of slopes were considered for the VFS system simulations. 20 mm, 40 mm, and 100 mm of daily precipitation were applied. As a result, the trapping efficiencies of VFS systems were obtained 37.4~100 % for 7 % slope and 18.1~98.0 % for 15 % slope of the less than 1.0ha of uplands. As rainfall increased, sediment loads also increased with slope and slope length increase. Also as size and slope of uplands and slope length increased with VFS length decrease, the trapping efficiency decreased for the same amount of rainfall. The optimum lengths of VFS systems for the given upland conditions were suggested based on the modelling results with condition of VFS length less than 20 % of upland areas.

Keywords: VFS systems; Sediment reduction; Trapping efficiency; VFSMOD; Uplands

1. 서 론

환경기초시설 확충 등 점오염원 관리로 인한 오염부하는 감소하고 있는 반면 비점오염원 부하는 증가하고 있어 이에 대한 관리방안 및 대책 마련이 필요하다 (Yu et al., 2012). 특히 농촌 지역의 비점오염원은 대부분 유출경로와 그 특성 파악이 매우 어렵고, 강우시 발생하는 토양유실문제는 수질관리에 어려움을 야기하는 인자로 인식되고 있어 관리의 필요성이 증대되고 있다 (Shin et al., 2001; Kim et al., 2008; Jung et al., 2013).

토양유실을 야기하는 농업비점오염원 중 밭은 논보다 경사가 크고, 농약·비료의 사용률이 매우 높으며 강우시 유출량이 많아 토양유실과 함께 비점오염부하가 상대적으로 높다 (Shin et al., 2012). 따라서 밭경지 비점오염저감기법 개발 및 체계적인 제어

대책 수립이 무엇보다도 절실하다. 현재 선진국을 중심으로 비점오염 제어대책들이 다양하게 제시되고 있으며, 이 중 초생대에 대한 연구사례 및 적용사례에 대한 자료가 상당히 많이 제시되고 있다. 초생대는 강우시 토양 유실을 감소시키기 위해 설치되며 유사 저감뿐만 아니라 세류 침식에 의한 토양 유실을 방지하는데 효과가 크고, 강우시 유출수의 수질 개선 등의 기능을 갖는다. 초생대는 주로 농경지 주변 경계에 설치되며 인접하고 있는 농경지로부터 유출수의 유속을 저감시켜 유출수에 포함되어 있는 다량의 비점오염물질을 침전시키거나 여과시켜 수질오염을 줄이는데 상당한 효과가 있는 것으로 조사되고 있다.

국외에서 농업비점오염저감을 위해 초생대를 적용한 사례는 매우 다양하고 많으나 이 중 몇 가지를 살펴보면, Shiono Takahiro (2007)은 초생대 및 메밀재배에 의한 토양유출방지를 연구하고자 하였으며, Robinson et al. (1996)은 길이 18.3 m 휴경지로부터 경사 7 %와 12 %의 초생대에 대한 유사 저감 효과를 연구하였다. 이들 연구에서 0.5 m 초생대의 토양유출저감효과는 69 %였고, 메밀에 의한 저감 효과는 38 %로 나타났다. 또한 초생대의 폭 3 m와 9.1 m에 대해 경사 7 %의 휴경지에서는 70 %와 85 %의 유사저감효과를 각각 나타내었고, 경사 12 %에서는 유출량 증대로 유사저감 효과가 감소하는 경향을 나타냈다. Patzold et

* 경북대학교 농업토목공학과 석사과정

** 경북대학교 농업토목공학과 교수

† Corresponding author Tel.: +82-53-950-5731

Fax: +82-53-950-6752

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

2013년 6월 19일 투고

2013년 7월 15일 심사완료

2013년 7월 16일 게재확정

al. (2007)은 초생대를 통한 제초제의 저감 효과를 분석하였으며, Dilaha et al. (2010)은 초생대를 통해 유사, 총인, 총질소의 저감 효과를 연구하여 각각의 오염인자에 대해 높은 저감효과를 얻었다. 초생대 길이 4.6 m와 9.1 m에 대해 81 %와 91 %의 유사저감 효과를, 58 %와 69 %의 총인 저감효과 및 64 %와 74 %의 총질소 저감효과를 얻었다.

초생대의 유사저감 효과를 모의할 수 있는 VFSMOD (Vegetative Filter Strip MODel)를 적용한 사례 및 민감도 분석 등에 대한 연구도 다양하다. Ahmed et al. (2011)은 AGNPS (Agricultural Non-Point Source)모형의 서브 (AGNPS_VFS)로 내장된 VFSMOD를 이용하여 초생대와 강우와의 관계를 규명하고자 하였다. 실트 (Silt)와 미사질양토 (Silt loam) 유역에 초생대 10 m~30 m를 조성하고 강우의 재현기간과 강우지속기간을 변경하여 유사저감 효율을 분석해 본 결과, 5년 빈도 6시간 지속기간 강우에 대해 가장 높은 초생대 유사저감효율 90~95 %를 얻었고, 25년 빈도 24시간 지속기간 강우에 대해 9~55 %의 가장 낮은 저감효율을 얻은 것으로 조사되었다. Sebti and Rudra (2010)도 AGNPS_VFS 형태로 내장된 VFSMOD를 사용하여 초생대 길이 5m와 10m 적용시의 유사저감 효과를 규명해 보고자 하였으며, 그 결과로 초생대 길이 10 m일 때의 저감효과가 초생대 5 m일 때 보다 1.6배 정도 높게 나타남을 알 수 있었다. Munoz-Carpena and Parsons (2004)은 북부 다코타주의 TMDL (Total Maximum Daily Load)기준을 75 %로 맞추기 위한 초생대 조건을 실험하기 위해 VFSMOD를 이용하였다. 시험포의 크기는 0.5 ha, 토성은 점토 (Clay)와 사질점토 (Sandy clay)이며, Curve number (CN)는 85, 초생대 폭은 50 m와 12.5 m, 초생대 길이는 1~100 m의 범위를 두어 유사 저감 효과를 모의해 보았다. 시험 결과, 다코타주에 설치된 초생대 길이 6.1 m로서는 TMDL 75 % 기준을 만족하기에 부족한 것으로 나타났으며, 초생대 길이 최소 8 m 이상은 되어야 TMDL 기준을 만족할 수 있는 것으로 조사되었다. Majed (2001)은 VFSMOD를 이용하여 초생대 길이 1~15 m, 초생대 경사 2~12 %, 초생대 토성은 사양토 (Sandy loam), 양토 (Loam), 점토 (Clay)를 적용하고, 초생대 조도계수 (Manning roughness of coefficient) 0.04~0.4 범위에서 유입 토사의 종류는 모래, 점토, 실트로 하여 초생대 유사저감효율을 분석해 보았다. 그 결과 초생대의 길이와 유입토사의 종류가 유사저감효과에 가장 영향을 많이 끼치는 인자로 조사되었으며, 그 다음은 조도계수, 초생대의 경사 및 토성 순으로 나타났다.

국내의 경우에는 농촌진흥청 고령지농업연구소에서 수행된 연구 (Lee et al., 2005)와 Choi and Jang (2012)와 Choi et al. (2013)에 의한 초생대 현장적용 연구가 유일하다. Lee et al. (2005)는 경사 17 %, 토성이 양토인 고령지 무재배지에서 등고선 방향으로 하단부에 폭 1.0 m의 호밀·옥수수 초생대 설치구

와 사경 마구리에 호밀초생대를 설치하여 토양유실 경감 효과를 실험하였다. 대조구인 나지구의 토양 유실량은 111.2 MT/ha에 비해, 등고선 재배구는 22.5 MT/ha, 등고선 및 호밀 초생대를 설치한 경우 7.9 MT/ha, 등고선 및 옥수수 초생대를 설치한 경우 12.1 MT/ha, 사경 및 마구리 호밀 초생대의 경우 17.9 MT/ha로 나타나, 초생대를 설치하였을 때 토양 유실을 효과적으로 경감시킬 수 있는 것으로 평가하였다. Choi and Jang (2012)은 다양한 초생대 초종을 적용하여 우리나라 발경지에 적합한 초종을 파악하고자 하였다. 그 결과 잔디가 비점오염저감효과와 유지관리 측면에서 가장 유리한 초종인 것으로 조사되었다. 또한 Choi et al. (2013)은 잔디와 켄터키블루그라스를 이용하여 초생대를 조성하고 TS, T-P, T-N에 대한 오염저감효과를 실험하였다. 강우특성과 초생대 초종, 밀도, 피복율에 따라 유출저감효과는 7~46 %, 비점오염저감효과는 잔디의 경우 TS가 83.2~91.3 %, T-P는 75.7~87.8 %, T-N은 71.4~91.1로 나타났으며, 켄터키블루그라스의 경우에는 TS가 62.0~89.0 %, T-P는 79.1~84.5 %, T-N은 61.9~87.9 %로 나타나, 초생대의 저감효과가 대체적으로 높게 나타난 것으로 조사되었다. Park et al. (2008)은 초생대의 폭만을 고려하여 유사저감효율을 산정하는 SWAT 모형을 개선하기 위해 VFSMOD 모형을 이용하여 초생대 폭, 강우에 따른 유출, 식생인자가 초생대 설치에 미치는 관계를 파악하여 SWAT 모형의 초생대 유사저감 효과 모듈을 보정한 바 있다.

그러나 몇몇의 초생대 관련 선행연구가 국내에서 수행되었음에도 불구하고 이러한 결과를 토대로 우리나라 밭 비점오염관리를 위한 초생대 기법의 적용시 필요한 설계기법을 개발하기에는 연구자료가 아직 턱없이 부족한 실정이다. 초생대 기법의 현장적용 및 실용화를 위해서는 앞으로 보다 많은 초생대 관련 연구가 다각적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다. 따라서 본 연구는 우리나라 발경지 특성에 적합한 초생대 기법의 현장적용을 위해 초생대 설계에 필요한 기초자료를 제공하고 VFSMOD 모형을 이용하여 우리나라의 일반적인 발경지 특성을 고려한 초생대 유사저감효과를 규명해 보고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. VFSMOD 모형의 개요

VFSMOD (Vegetative Filter Strip MODel) 모형은 초생대에 의한 토사 유출 저감을 모의하기 위해 개발된 모형이며, UH 모듈과 VFSMOD 모듈로 구성되어 있다. UH 모듈에서 시험포 (밭)의 유출 특성과 유사 특성을 모의한 후, 이것을 바탕으로 VFSMOD 모듈에서 시험포에서 들어오는 유입량 및 초생대의 유출량, 침투량 등 시험포에서 들어오는 유입 유사 및 초생대의 유출 유사를

모의하게 된다.

VFSMOD모형의 분석 알고리즘은 Green-Ampt 침투 모델을 이용하여 침투량과 초과우량 (rainfall excess)을 구하게 되며, NRCS (National Resources Conservation Service) CN 방법에 의해서 시험포의 유출량을 계산한다. 토양침식량은 범용토양 유실공식 (Universal Soil 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

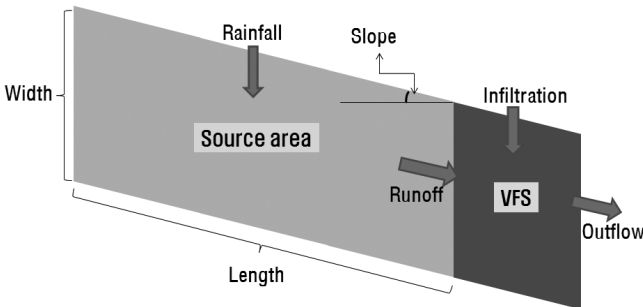


Fig. 1 Schematic diagram of Source area and VFS System in VFSMOD

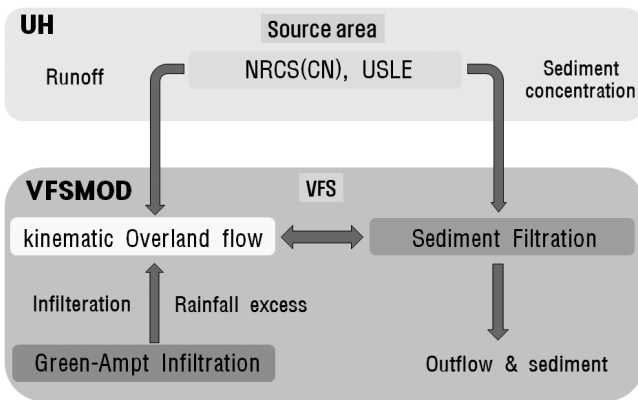


Fig. 2 VFSMOD Algorithms

을 구하게 된다. VFSMOD 모형의 토사유출을 야기하는 시험포와 초생대를 나타내는 개략도는 Fig. 2와 같으며, VFSMOD의 유출 유사 모의과정은 Fig. 2와 같다.

VFSMOD를 이용한 초생대 모의를 위해 필요로 하는 입력자료는 UH 모듈의 경우 1) 유출관련 자료 (강우량, Curve Number, 강우기간 등), 2) 시험포의 지형인자 (길이, 면적, 경사도), 3) 시험포 토양자료 (시험포의 토양침식인자, 토양종류, 유기물함량, 입자크기, 토양포복인자, 토양보전대책인자) 등이 포함된다. 또한 VFSMOD 모듈에서는 1) 토양침투자료 (포화 수리 전도도, 포화 함수량, 초기 함수량, 평균 모세관 흡입력), 2) 초생대 속성자료 (초생대 초종, 초장, 초생대 폭, 길이, 초생대 조도계수, 초생대 설치 전 나지의 조도계수) 등을 요구한다. 이들 입력자료의 민감 정도를 알아보기 위해 선행연구로 진행한 민감도 분석에서 초생대 폭과 길이, 밭 경사 및 경사장은 저감효과에 민감하게 반응하는 반면, 밭의 토양함수율, 초생대 초장에 대해서는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 파악되었다.

2. 우리나라 발경지 특성 조사

우리나라의 일반적인 발경지 특성을 고려한 초생대 기법의 유사저감 효과를 규명하기 위해 농촌진흥청의 농업토양정보시스템에서 제공하는 통계자료를 토대로 우리나라의 일반적인 발경지 규모, 경사, 토양, 배수등급에 대한 조사를 실시하였다. 그 결과는 Table 1에 나타난 바와 같다. 우리나라 발경지는 1.0 ha 이하의 규모가 전체 발경지의 86.16 %를 차지할 정도로 대부분 소규모 영농으로 구성되어 있음을 알 수 있었으며, 경사는 7~15 % 정도의 비탈진 밭에 배치되어 있는 경우가 많았다. 또한 토양의 특성은 양토, 사양토, 미사질 양토 순으로 차지하고 있었으며, 대부분은 양호한 배수 특성을 나타내었다.

3. VFSMOD 입력자료 구축

앞 절에서 조사된 우리나라 일반적인 발경지 특성을 토대로

Table 1 Characteristics of upland fields in Korea based on annual agricultural statistics

Size	ha	<0.1	0.1<A<0.2	0.2<A<0.3	0.3<A<0.5	0.5<A<0.7	0.7<A<1.0	1.0<A<1.5	>1.5	
	%	13.81	24.11	11.48	19.09	9.41	8.28	5.40	8.43	
Slope	%	0~2		2~7	7~15	15~30	30~60	60~100		
	ha	124,246		435,378	918,656	5,155	0	0		
Soil type	class	Loamy coarse sand	Loamy fine sand	Loamy sand	Fine sandy loam	Sandy loam	Loam	Silt loam	Silt clay loam	clay loam
	ha	3,132	17,720	9,628	59,192	392,126	661,354	238,662	58,701	40,089
Drainage	class	High well		Well	Little well	Little poor	Poor	High poor		
	ha	77,086		1,279,440	126,909	0	0	0		

VFSMOD 모형의 입력자료를 구축해 보았다. 먼저 밭의 규모는 국내 밭경지 규모를 고려하여 0.1 ha, 0.5 ha, 1.0 ha로 선정하

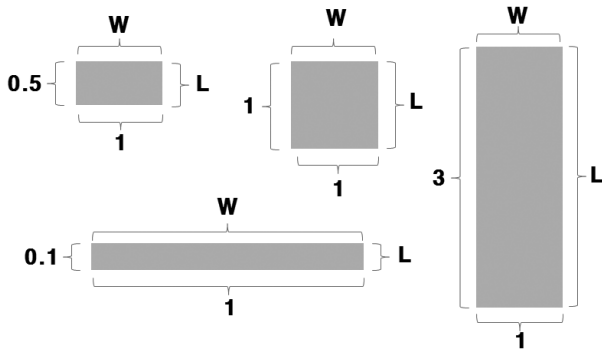


Fig. 3 Design of various shape of upland fields

였으며, 여기에 다양한 밭의 형상을 고려하기 위해 밭 면적의 폭과 길이의 비율을 Fig. 3과 같이 1 : 0.1, 1 : 0.5, 1 : 1, 1 : 3으로 세분화하여 모의 해 보았다. 밭의 경사는 가장 많은 분포를 나타낸 7%~15% 경사 범위를 고려하여 7%와 15%를 선정하였고, 수문학적 토양그룹은 밭 토양 특성으로 비율이 가장 높았던 양토와 대부분 양호한 배수등급 상태를 고려하여 Type B를 선정하였다.

일반적인 밭경지 조건에 대한 모의를 위해 CN은 농촌지역 소규모 밭경지에서 여러 가지 밭작물을 재배하고 있는 특성을 고려하여, NRCS에서 제공하는 CN값 중 출작물, 곡물류, 콩과식물 등을 재배하는 수직경작지에서 배수등급이 양호하고 수문학적 토양그룹이 B인 경우의 CN 범위를 전체적으로 파악하여 대표값으로 75를 선정하였다. 초생대 초종은 Choi and Jang (2012) 결과를 반영하여 잔디를 선정하였고, 선행강우정도는 AMC-II 조

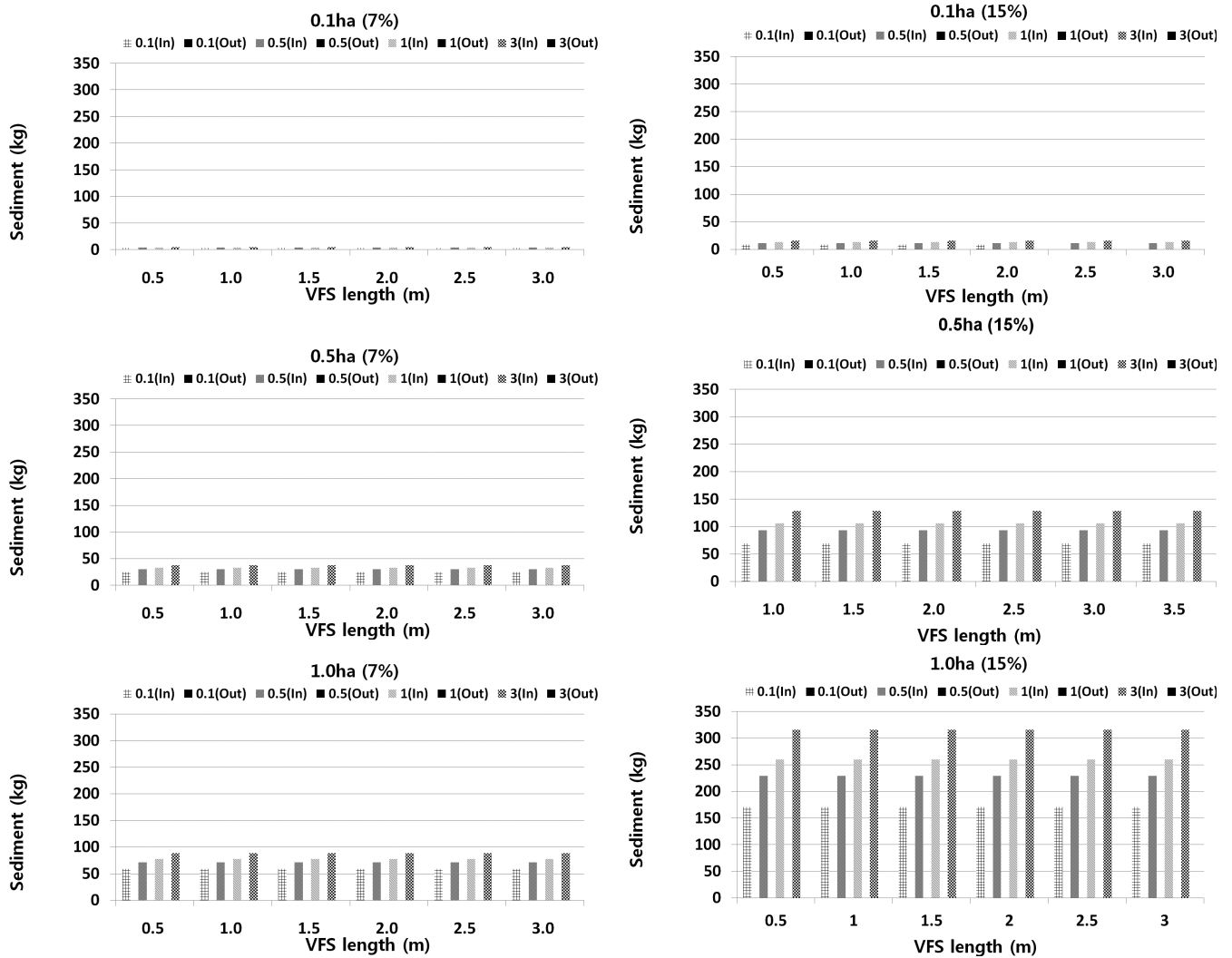


Fig. 4 Calculated sediment loads for 20 mm rainfall

건에서 모의하였다. 여기서 초생대 길이는 일강우량에 따른 유사 유출에 대해 초생대 효과가 나타나는 구간부터 시작하여 발경지 면적의 최대 20 % 정도 범위 내에서 다양하게 적용해 보았다. 강우조건은 20 mm~100 mm의 일강우량을 적용하였으며, 강우타입은 NRCS의 대표적 강우분포인 storm type II를 적용하여 모의하였다.

또한 토양침식모의를 위해 USLE의 토양보존대책인자 (P)와 토양피복인자 (C)은 Lee (2009)가 제안한 P factor값 중 1을, Lee et al. (2010)가 제안한 C factor값 중, 밭의 경우를 고려하여 1을 선정하였다. 또한 Green-Ampt 침투공식에 필요한 변수값은 Rawls and Brakensik (1983)이 제안한 Loam에 해당하는 값을 선정하여 계산하였으며, 초기함수량은 0.185~0.361 범위에서 모의를 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 유사량 모의

VFSMOD를 이용하여 발경지 규모와 면적형상, 경사, 초생대 길이의 변화에 따른 유사량 모의를 실시하였다. Fig. 4에서 Fig. 6은 강우량과 경사에 따른 발경지 규모, 형상비율, 초생대 길이에 대한 유사량 모의 결과를 나타내고 있다. 일강우량 20 mm에 대한 결과는 발경지 규모가 0.1 ha의 경우 경사가 7 %일 때 발경지에서 초생대에 유입되는 유사량은 3.3~5.1 kg, 15 %인 경우 8.4~15.8 kg인 반면, 초생대에서 유출되는 유사량은 전혀 없는 것으로 나타났다. 0.5 ha의 규모일 경우에는 경사 7 %에 대해 초생대에 유입하는 유사량은 24.7~37.4 kg, 15 %인 경우

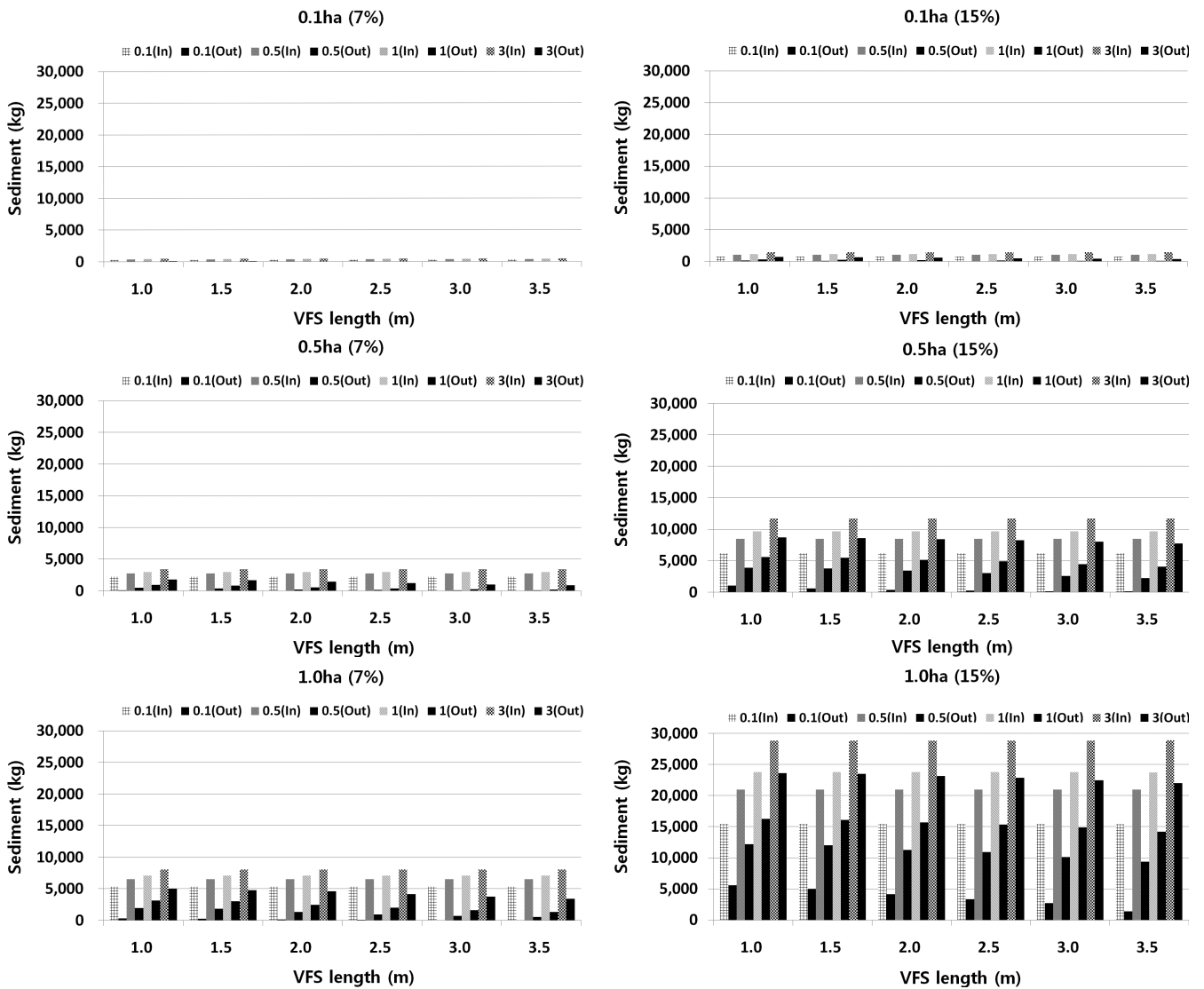


Fig. 5 Calculated sediment loads for 40 mm rainfall

69.2~128.5 kg로, 여기서도 초생대에서 유출되는 유사량은 없는 것으로 나타났다. 1.0 ha의 면적인 경우에는 유입유사량은 7 %의 경우 58.6~88.3 kg, 15 %의 경우 170.7~316.2 kg을 각각 나타내었고, 초생대에서 유출되는 유사량은 없었다.

따라서 일강우량 20 mm의 경우 발경지 규모가 1.0 ha 이하의 경사 15 % 이하 조건에서는 초생대에서 유출되는 유사량은 없는 것으로 나타났으며, 초생대 길이의 변화와는 상관없이 유사량은 거의 일정한 것으로 나타났다. 그러나 발경도에 따른 유사량의 변화는 매우 뚜렷하여 경사 7 %인 경우 0.1 ha에 비해 0.5 ha, 1.0 ha의 유사량은 7배와 17배로 각각 증가하였고, 경사 15 %인 경우에는 8배와 20배 정도로 각각 증가한 것으로 조사되었다. 한편 발경지에서 발생하는 유사량은 발경지 형상과 경사의 변화에 많은 영향을 받는 것으로 나타났으며, 특히 경사가 높을 경우 유사량이 발형상에 영향을 받는 정도가 더 높은 것으로 나타났다. 즉 경사가 높을수록 발사면장의 길이에 영향을 많이 받아 유

사량이 더 증가하는 것으로 나타났다.

일강우량 40 mm의 경우에는 발경지 규모가 0.1 ha일 때 경사가 7 %인 경우 초생대로 유입되는 유사량은 298.9~465.5 kg, 경사 15 %인 경우 775.2~1,442 kg이며, 초생대에서 유출되는 유사량은 7 %인 경우 1.3~12.1 kg, 15 %인 경우 20.5~350.9 kg로 나타났다. 발경지 규모가 0.5 ha인 경우에는 경사 7 %와 15 %에 대해 유입되는 유사량은 2,241.0~3,412.0 kg와 6,224.0~11,730 kg였으며, 유출되는 유사량은 85.4~859.8 kg와 1,070.0~7,722.0 kg로 나타났다. 또한 발경지 규모가 1.0 ha인 경우에는 경사 7 %와 15 %에 대해 유입되는 유사량은 5,332.0~8,029.0 kg와 15,460.0~28,880.0 kg였으며, 유출되는 유사량은 325.3~3,398.0 kg과 5,615.0~22,000.0 kg로 나타났다. 이러한 결과는 20 mm 일강우량의 결과와 비교해 볼 때 87~100배 정도 증가된 유사량을 나타낸다.

일강우량 40 mm 경우에는 초생대 길이에 따른 유사량의 차이

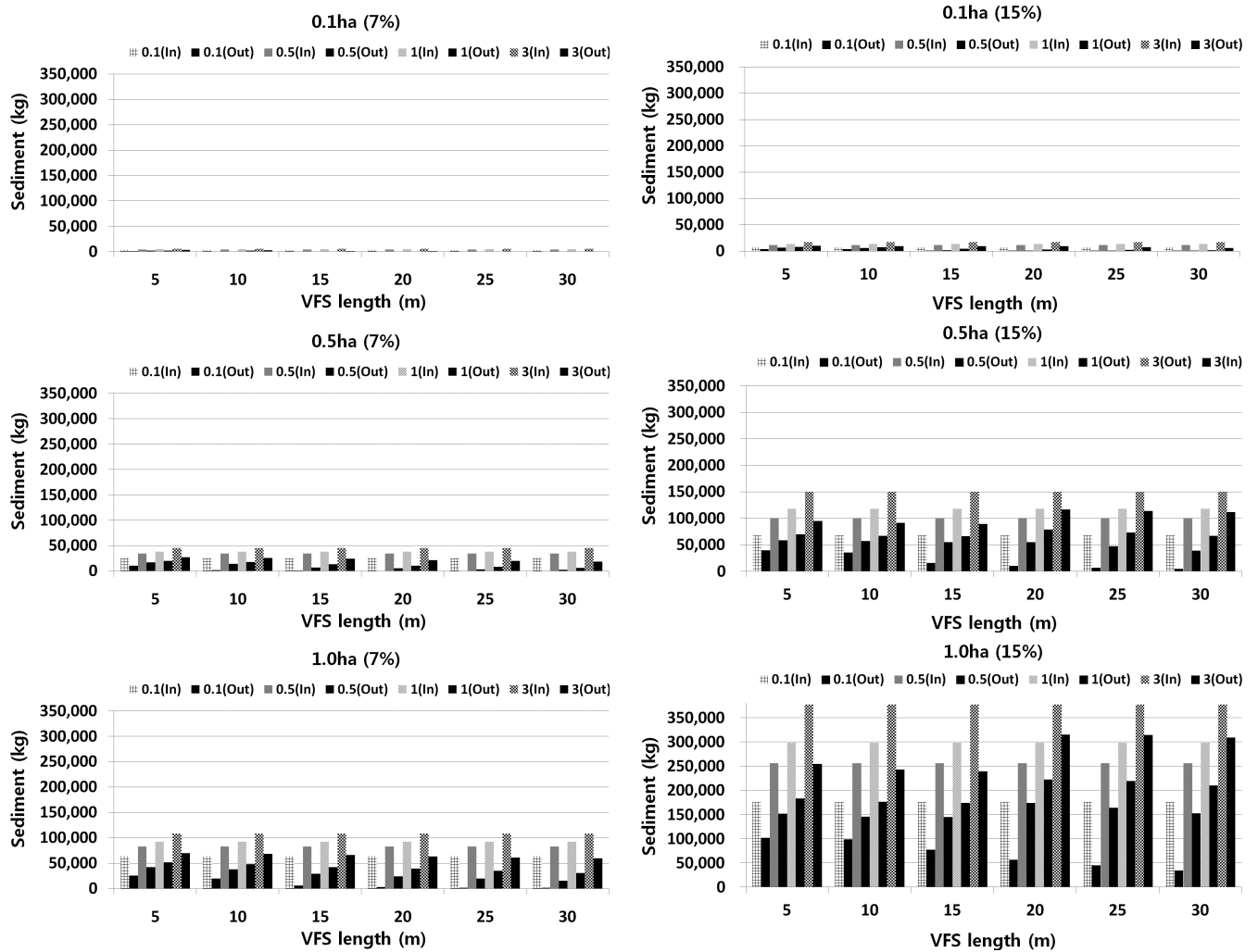


Fig. 6 Calculated sediment loads for 100 mm rainfall

가 조금씩 나타났고, 발면적 규모와 경사에 따라서도 유사량의 차이가 20 mm 강우량에 비해 훨씬 크게 나타났으며, 특히 경사와 사면장이 유사량에 미치는 영향은 20 mm 경우보다 매우 큰 것으로 파악되었다.

일강우량 100 mm의 경우에도 40 mm의 결과와 동일한 경향을 나타내었다. 0.1 ha 규모의 발경지에 대해서 경사 7 %와 15 %인 경우 초생대로 유입되는 유사량은 3,161.0~5,788.0 kg, 7,441~17,350 kg을 나타내었고, 유출되는 유사량은 1,111.0~2,975.0 kg, 3,874~6,191.0 kg을 각각 나타내었다. 0.5 ha 규모에서는 경사 7 %와 15 %에 대해 유입되는 유사량은 25,910.0~44,970.0 kg, 68,570~150,000 kg였으며, 유출되는 유사량은 10,340.0~26,830.0 kg, 39,660~111,900.0 kg을 각각 나타내었다. 그

리고 1.0 ha의 규모에서는 경사 7 %와 15 %에 대해 유입되는 유사량은 63,660~107,800.0 kg, 176,500~377,700 kg였으며, 유출되는 유사량은 25,660.0~69,840.0 kg, 102,000~309,200 kg을 각각 나타내었다. 이러한 결과는 20 mm 강우량의 결과와 비교해 볼 때 1,000배 이상 증가한 값이며, 40 mm 강우량의 결과에 비해서는 12배 정도 증가한 값이다.

따라서 강우량이 증가할수록 발경지로부터 초생대에 유입되는 유사량은 급격히 증가함을 알 수 있었으며, 특히 강우량의 증가에 따라 발경지에서 배출되는 유사량이 경사와 사면장에 영향을 많이 받는 것으로 나타나, 유사저감을 위해서는 경사가 높아질수록 사면장을 최대한 감소시켜 발경지를 조성하는 것이 발 비점 오염저감의 근본적인 대책이 될 수 있을 것으로 판단된다. 한편

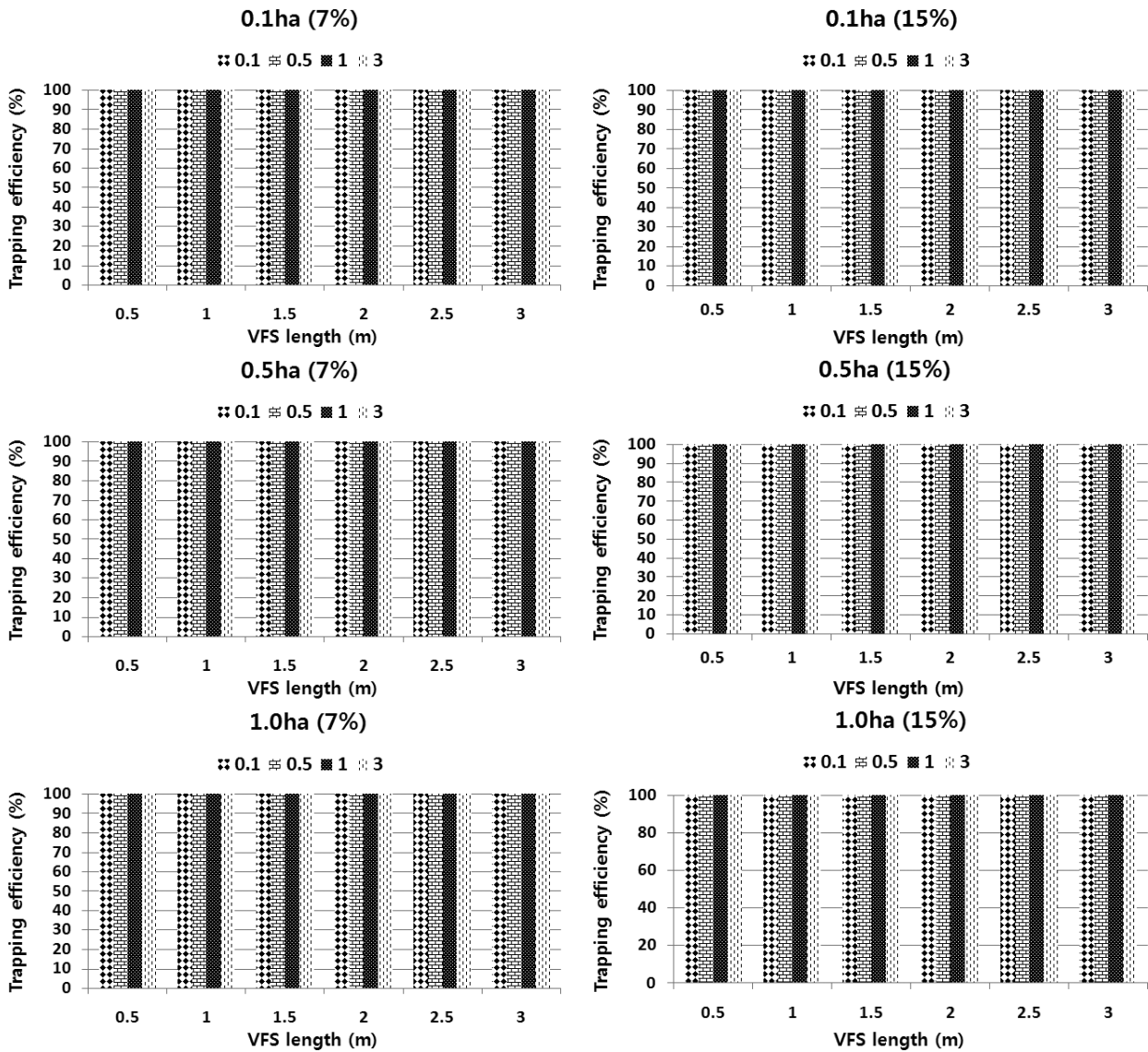


Fig. 7 Calculated sediment trapping efficiency for 20 mm rainfall

VFSMOD에서 계산된 유사량의 값이 대체적으로 강우량과 밭경지 규모의 증가에 따라 과다 산정되는 경향이 있어 향후 장기간의 현장실측치가 축적이 되면 이에 대한 검토가 반드시 이루어져야 할 것으로 사료된다.

2. 유사저감효과 분석 및 초생대 최적안 제시

초생대에 의한 유사저감효과는 밭경지 조건에 따라 상이한 값을 나타내었다. Fig. 7~Fig. 9는 강우량과 경사에 따른 면적, 형상비율, 초생대 길이에 대한 유사저감효과를 각각 나타낸다. 일강우량 20 mm를 적용한 경우, 앞에서 언급한 바와 같이 초생

대에서 유출되는 유사량이 없어 밭경지 규모, 초생대 길이와 경사, 사면장에 관계없이 모두 100 %의 저감효율이 산정되었다.

그러나 40 mm 강우량을 적용한 경우 유사저감효과는 0.1 ha의 규모에서는 초생대 길이와 사면장의 비율에 따라 조금씩 차이를 나타내었고, 밭의 규모와 경사에 따라서는 상당한 차이를 나타내었다. 0.1 ha~1.0 ha에 대한 유사저감효과는 경사 7 %인 경우에 37.4~100 %, 경사 15 %인 경우 18.1~98.0 %로 나타나 면적별, 경사별 유사의 저감효과 범위가 매우 크게 나타남을 알 수 있다. 밭경지 규모가 동일한 경우 밭의 가로 폭이 길고 세로길이가 가장 짧은 1 : 0.1의 형상인 경우 유사저감효율이 가장 높게 나타났으며, 가로 폭이 짧고 세로길이가 가장 긴 1 : 3의

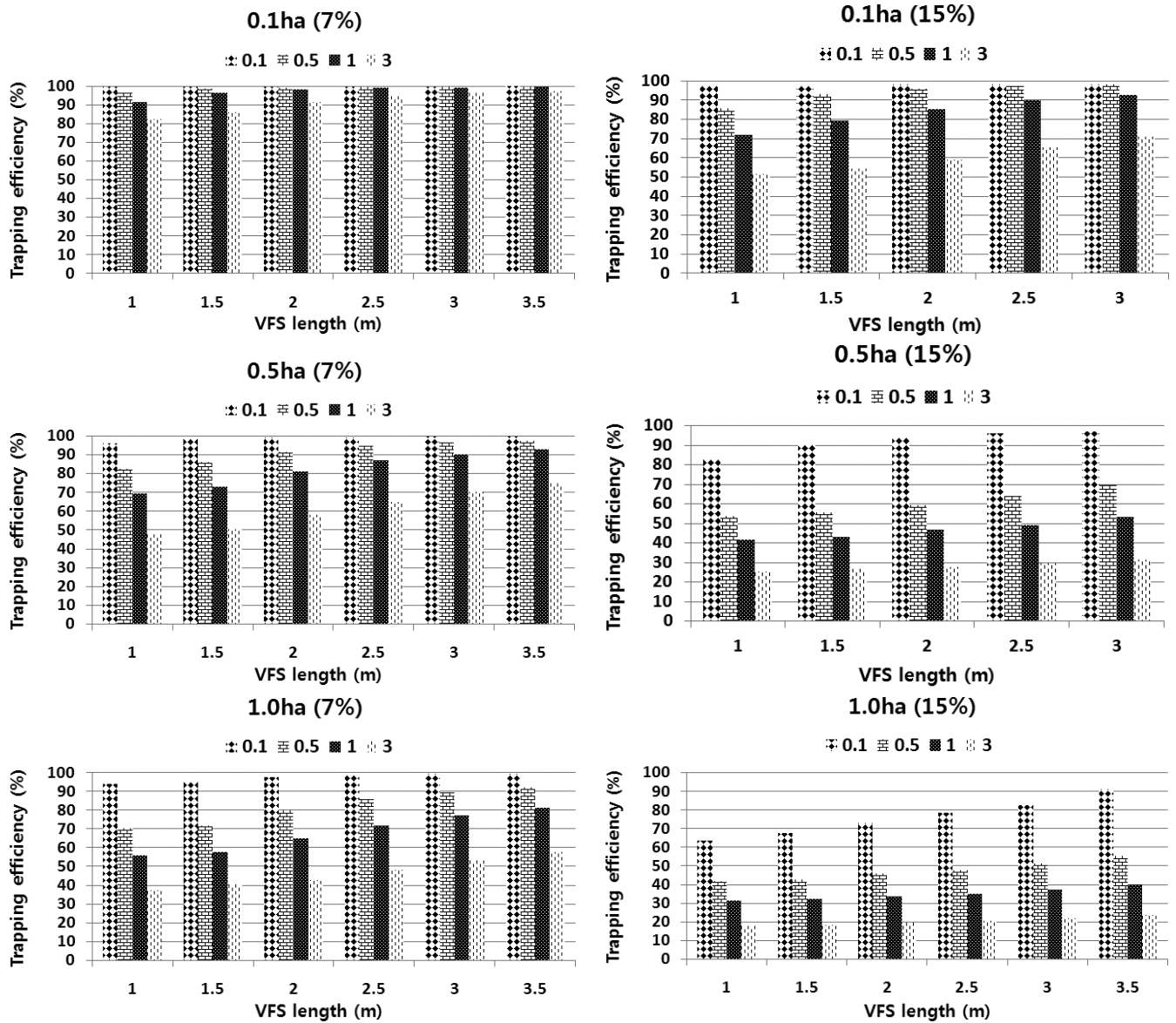


Fig. 8 Calculated sediment trapping efficiency for 40 mm rainfall

비율에서는 저감효율이 가장 낮게 나타나, 동일면적에서도 받 형상이 가로 폭에 비해 세로길이가 길 경우에 유사저감에 매우 불리한 조건임을 알 수 있다.

일강우량 100 mm 경우의 유사저감효과 결과에서도 앞서 언급한 40 mm의 경우와 동일한 패턴을 보였다. 경사 7 %의 유사저감효율은 35.1~100 %를, 경사 15 %에는 16.5~99.8 %를 각각 나타내었다. 동일강우량의 경우 면적과 경사가 커질수록, 동일면적에서는 가로폭에 비해 세로길이가 길어질수록, 또한 초생대 길이가 짧을수록 유사저감효과가 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서 초생대의 유사저감효과는 강우량, 받면적, 경사, 받형상에

따라 매우 큰 차이를 보일 수 있으며, 이러한 다양한 조건을 고려하여 적정 규모의 초생대를 설치하는 것이 유사저감 목표기준을 달성하는데 매우 중요한 관건이 되리라 판단된다.

본 연구 결과들을 토대로 우리나라 일반적인 받형지 조건에서 초생대 기법의 적용시 필요한 초생대 길이와 초생대 배치수에 대한 최적안을 Table 2와 같이 제시하였다. 받형지 경계부로 초생대를 설치함에 있어 유사저감효과의 목적 달성을 위해 초생대 길이를 제한 없이 길게 조성하는 것은 우리나라 현실여건상 어려울 것으로 판단되며, 비점오염관리상 초기강우에 대한 유출저감효과가 중요하기 때문에 본 연구에서는 40 mm 일강우량의 결

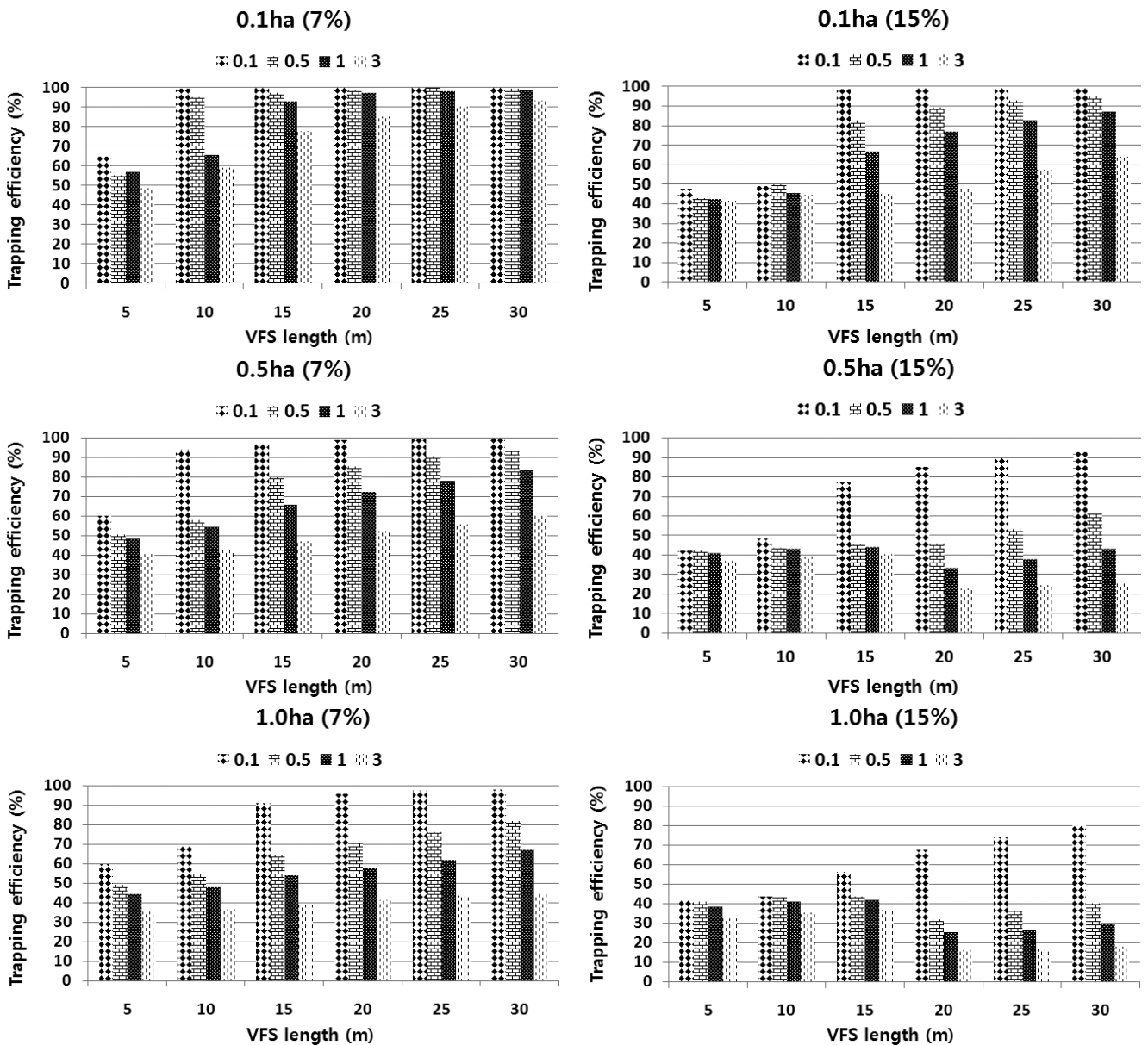


Fig. 9 Calculated sediment trapping efficiency for 100 mm rainfall

Table 2 Suggested lengths and numbers of VFS systems for the given upland conditions

Upland shape ratio (Width : Length)	Uplands Size														
	0.1 ha					0.5 ha					1.0 ha				
	Upland length	VFS				Upland length	VFS				Upland length	VFS			
		7 %		15 %			7 %		15 %			7 %		15 %	
m	m	no.	m	no.	m	no.	m	no.	m	no.	m	no.	m	no.	
1 : 0.1	10	1.0	1	2.0	1	22.4	2.0	1	2.0	2	31.6	3.0	1	3.0	2
1 : 0.5	22.4	2.0	1	2.0	2	50.0	2.5	2	3.0	3	70.7	3.5	2	3.5	4
1 : 1.0	31.6	3.0	1	3.0	2	70.7	3.5	2	3.5	4	100.0	3.5	3	3.5	6
1 : 3.0	54.8	2.5	2	3.0	3	122.5	3.0	4	3.5	7	173.2	3.5	5	3.5	10

과를 바탕으로 다양한 발경지 규모와 형상에 대해 초생대 최적안을 제시하였다. 초생대 면적이 발면적에 비해 최대 20 %를 초과하지 않는 범위 내에서 초생대 길이의 증가에 비해 유사저감효과의 차이가 많이 나지 않는 구간을 파악하여 초생대 길이를 선정하였으며, 발경지의 사면장이 길어지면 유사저감효과가 급격히 떨어질 것으로 사료되어, 밭의 사면장이 긴 경우 몇 구간으로 나누어 초생대를 분산 배치함으로써 유사저감효과를 극대화하는 방안을 제안하였다.

예를 들면 발경지 규모가 0.1 ha인 경우 7 %의 경사에 대해 형상비율에 따라 초생대 길이를 최대 1.0~3.0 m으로 하되 사면장이 긴 경우에는 경지를 두 구간으로 나누어 초생대를 배치하여 유사저감에 유리하도록 하며, 15 %의 경사에서는 형상비율에 따라 경지내 최대 세 구간에 걸쳐 초생대를 배치하되, 초생대 길이는 사면장에 맞추어 적정하게 조정해 주는 것이 중요하다. Table 2는 모의결과를 토대로 제안된 초생대 최적안이므로 향후 초생대 현장적용에 반영할 경우 반드시 현장여건을 바탕으로 검증이 필요하리라 사료된다.

IV. 결 론

본 연구는 초생대의 유사저감효과를 모의할 수 있는 VFSMOD 모형을 이용하여 우리나라 일반적인 발경지 조건에서의 초생대 기법 적용시 유사저감효과를 규명하고자 하였다. 이를 위해 먼저 국내 일반적인 밭 환경을 조사한 결과 발경지 규모는 대부분 1.0 ha 이하의 소규모 경작 형태를 띠고 있었으며, 토양은 양토, 사양토의 성질을 가졌고, 주로 경사가 7~15 %인 곳에 배치되어 있었다. 배수조건은 대부분 양호한 것으로 조사되어 수문학적 토양그룹은 밭 토양 특성 등을 고려하여 선정하였고, 농촌지역 소규모 발경지의 일반적인 조건을 토대로 NRCS CN을 선정하였다. 또한 다양한 발경지 면적과 형상에 대해 잔디 초생대를 적용하여 일강우량 20 mm~100 mm 조건에서 모의를 실시하였다.

그 결과 발경지에서 발생하는 유사량은 발경지 규모와 형상, 경사의 변화에 많은 영향을 받는 것으로 나타났으며, 특히 경사

가 높을수록 발사면장의 길이에 영향을 많이 받으며, 초생대 길이에 따라서도 많은 차이를 나타내었다. 또한 강우량이 증가할수록 발경지로부터 유출되는 유사량이 급격히 증가하였고, 강우량의 증가에 따라 경사와 사면장에 따른 유사량에도 많은 차이를 나타내었다. 유사저감효과는 밭의 면적 0.1~1.0 ha에 대해 7 % 경사의 경우 37.4~100 %, 경사 15 %인 경우에는 18.1~98.0 %를 나타내었고, 동일강우량에 대해 면적과 경사가 커질수록, 경지의 길이가 길수록, 초생대 길이가 작을수록 유사저감효과가 감소되었다.

유사저감효과 모의결과를 토대로 발경지 조건에 따른 초생대 최적안도 제시하였다. 일강우량이 증가하면 유사저감을 위해 초생대의 길이도 비례하여 증가시켜 조성하여야 하나 우리나라 현실 여건상 현장적용이 어려운 실정을 감안하여 초생대 면적이 밭 경지 면적의 최대 20 % 이상을 초과하지 않는 범위 내에서 제시하였으며, 발경지의 사면장이 길어지면 유사저감효과가 급격히 떨어질 것으로 사료되어, 밭의 사면장이 긴 경우 적정 구간으로 나누어 초생대를 설치함으로써 유사저감효과를 극대화하는 방안을 제안하였다.

본 연구결과를 토대로 향후 보다 체계적이고 지속적인 초생대 현장실험이 이루어진다면 초생대의 유사저감효과의 정량화 및 농업비점오염저감관리를 위한 초생대 현장적용시 필요한 세부설계 기법의 개발이 가능하리라 사료된다.

이 논문은 2010년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

1. 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 Number: 1111607.*

2. 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).
3. 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).
4. 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): 1231-1238.
5. 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 Agricultural Engineering* 55(2): 47-57 (in Korean).
6. 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).
7. 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: 125p (in Korean).
8. Lee J. T., 2009. *Soil conservation direction of field*, National Institute of Crop Science, Highland Agriculture Research Center.
9. Lee, Y. K., G. J. Yeon, S. W. Jung, and 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*: 1721-1725.
10. Majed Abu-Zreig, 2001. Factors affecting sediment trapping in vegetated filter strips. *Hydrol. Process* 15: 1477-1488.
11. 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.
12. 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: 294-305.
13. Park, Y. S., J. G. Kim, N. W. Kim, J. H. Park, W. S. Jang, and 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* 24(4): 473-479 (in Korean).
14. Robinson, C. A., M. Ghaffarzadeh, and R. M. Cruse, 1996. Vegetative filter strip effects on sediment concentration in cropland runoff. *Soil and Water Conservation* 51(3): 227-230.
15. Sebti, S., and R. P. Rudra, 2010. An approach to evaluate vegetative filter strip in watershed scale. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 26(5): 817-826.
16. Shin, E. S., J. Y. Choi, and D. H. Lee, 2001. Characteristics of non-point source pollutants in surface runoff from rural area. *Journal of Korean Society on Water Quality* 17(3): 299-311 (in Korean).
17. Shin, M. H., K. J. Lim, J. R. Jang, Y. H. Choi, W. J. Park, W. C. Won, and 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 Engineering* 54(2): 27-35 (in Korean).
18. Shiono Takahiro, 2007. Reddish sediment control by grass strip and buckwheat cultivation. *Journal of Japanese Agriculture ad Rural Engineering* 75(9).
19. Yu, Y. S., J. Y. Park, H. J. Kim, S. B. Kim, and S. J. Kim, 2012. Improvement of stream water quality by applying best management practices to Chungjudam watershed using SWAT model. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineering* 54(1): 55-62 (in Korean).