

밭 비점오염저감을 위한 초생대 적정 초종 선정

Selection of Appropriate Plant Species of VFS (Vegetative Filter Strip) for Reducing NPS Pollution of Uplands

최 경 숙* / 장 정 렬**

Choi, Kyung-Sook / Jang, Jeong-Ryeol

Abstract

This study focused on the selection of appropriate plant species of VFS (vegetative filter strips) and the assessment of VFS effects for reducing NPS (non-point source) pollution from uplands. The experimental field was constructed with 1 control and 6 treated plots in the upland area of 1,500m² with 5% slope which is located in Gunwi-gun, Gyeongbuk province. Six vegetation including Chufa, Common crabgrass, Barnyard grass, Turf grass, Tall fescue, Kentucky bluegrass, were applied to install VFS systems during the study period from June 2011 to Dec. 2012. The results of this study showed that 6.1~77.8% in runoff and 15.6~90.3% in TS, 49.9~96.6% in T-P, and 6.7~91.1% in T-N were reduced from the VFS treated plots. Generally high reduction effects were observed from TS, T-P, T-N, and SS, while BOD, TOC, and NO₃⁻ showed low reductions. The best vegetation type was Turf grass showing higher reduction effects of NPS pollutions and having relatively easier maintenance efforts compared to other vegetations selected in this study. Based on these results, VFS technique found to be an effective management practice for reducing agricultural NPS pollutions in Korean upland conditions. Further study needs to be performed through various field experiments with long term monitoring in order to develop a design manual of VFS system for practical applications.

keywords : VFS vegetation, NPS pollution, uplands, field experiment, water quality

요 지

본 연구는 밭경지 현장실험을 통해 다양한 초생대 초종을 적용하여 밭의 비점오염저감효과 분석 및 초생대에 적용 가능한 적합한 초종을 선정하고자 하였다. 경북 군위군에 위치한 면적 1,500m², 경사 5%의 밭경지를 선정하여 시험포를 조성하였으며, 시험포내에는 대조구 1개와 초생대 처리구 6개로 구성된 총 7개의 시험구를 조성하였다. 휴파, 피, 바랭이, 잔디, 톨페스큐, 켄터키블루그라스를 포함하는 6개의 초종을 선정하여 초생대 실험을 수행하였다. 현장실험 결과 대조구 대비 초생대의 유출저감효과는 6.1~77.8%였으며, 비점오염저감효과는 TS의 경우 15.6~90.3%, T-P의 경우 49.9~96.6%, T-N의 경우 6.7~91.1%를 나타내었다. 전체 오염인자 중에 초생대로 인해 전반적으로 높은 비점오염저감 효과를 나타낸 것은 TS, T-P, T-N, SS인 반면, BOD, TOC와 NO₃⁻는 낮은 저감효과를 보였다. 비점오염저감 및 유지관리측면에서 가장 유리한 초생대 초종은 잔디로 평가되었다. 본 연구결과를 통해 우리나라 농촌지역 밭 비점오염저감을 위한 관리기법으로 초생대가 효과적으로 활용가능하리라 사료되며, 보다 장기적이고 다각적인 현장실험을 통해 초생대 현장적용을 위한 설계 지침서 개발이 요구된다.

핵심용어 : 초생대 초종, 비점오염, 밭경지, 현장실험, 수질

* 교신저자, 경북대학교 농업토목공학과 교수 (e-mail: ks.choi@knu.ac.kr, Tel: 82-53-950-5731)

Corresponding Author, professor, Dept. of Agricultural Civil Engineering, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

** 농어촌연구원, 한국농어촌공사, 책임연구원 (e-mail: stoplotus@ekr.or.kr)

Senior Researcher, Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation, Ansan 426-908, Korea

1. 서 론

수질을 오염시키는 원인은 크게 점오염과 비점오염으로 구분할 수 있다. 점오염은 생활하수, 산업폐수, 축산폐수 등 오염이 발생하는 근원지가 명확하므로 오염을 처리하거나 관리가 용이하다. 그러나 비점오염은 강우에 의해 농경지, 도로, 대지, 임야 등 넓은 면적으로부터 오염물질이 씻겨 내려가 일시적으로 폭넓게 대량으로 배출되는 특징이 있어 오염물질이 배출되는 위치가 명확하지 않고 배출경로가 분명하지 않아 이에 대한 관리가 매우 어렵다. 비점오염에 의한 수질오염은 우리나라 전체 수질오염의 42~69%를 차지하는 것으로 추정되며, 2015년에는 전체 수질오염의 65~70%로까지 증가할 것으로 예상되고 있어, 비교적 관리가 잘 되고 있는 점오염에 비해 비점오염 관리의 중요성이 상대적으로 증대되고 있다(Yu et al., 2012). 특히 우리나라 국토면적의 25% 정도를 차지하는 농경지로부터 발생하는 비점오염이 총수질오염량의 30% 이상일 것으로 추정되고 있어, 농업비점오염을 저감하지 않으면 근본적인 수질개선은 기대하기 어려울 것으로 보고 있다. 강우시 발생하는 농경지 토양유실과 이로 인한 탁수발생은 하천의 수생태계와 상수원 수질관리에 가장 큰 영향을 미치는 관리인자로 그 중요성이 증대되고 있는 실정이다(Jung et al., 2013; Kim et al., 2008; Shin et al., 2001).

근본적인 수질오염 관리를 위해 농업비점오염관리의 중요성이 대두되면서 발경지로부터의 비점오염 발생을 저감하기 위하여 다양한 저감방법들이 제시되고 있다. 이들 저감기법들은 초생대, 초생수로, 등고선 재배, 지표피복, 식생발두렁, 실트웬스, 피복작물, 우회수로, 승수로, 등을 포함하고 있으며, 이 중 초생대는 농업비점오염저감을 위해 세계적으로 널리 사용되고 있는 기법이다. 또한 초생대는 탁수문제 해결과 농경지에서 발생하는 토사저감을 위한 최적관리기법으로써 효과가 큰 것으로 소개되고 있어 초생대의 국내 발경지에 적용하기 위한 보다 많은 연구가 진행될 필요가 있다(Park et al., 2008; Park et al., 2014).

초생대(vegetative filter strips: VFS)는 경작지 경계를 따라 밀도 있게 조성한 띠 모양의 식생대를 의미하며, 발경지 내 발생하는 흐름의 유속을 감소시켜 유출수에 포함되어 있는 다량의 비점오염물질을 여과, 흡착, 침전작용에 의해 오염을 저감시키는 방법이다. 국내에서는 초생대, 식생여과대, 완충식생대가 같은 의미로써 혼용되어 사용되고 있으며, 국외에서는 vegetative filter strips (VFS), grassed buffer strips, filter strips, grassed filters 등으로

혼용되어 사용되고 있다.

국외에서 농업비점오염저감을 위해 초생대를 적용한 사례는 매우 다양하고 많으며, 이 중 몇 가지를 살펴보면, Robinson et al. (1996)은 다양한 폭의 초생대를 경사 7%와 12% 휴경지에 적용하여 38~85%의 유사저감효과를 얻은 사례가 있다. Patzold et al. (2007)은 초생대를 통한 제조업체의 저감 효과를 분석하였으며, Takahiro (2007)은 초생대 및 메틸재배에 의한 토사유출방지에 대한 연구를 수행하였다. Dilaha et al. (2010)은 길이 4.6 m와 9.1 m의 초생대를 적용하여 유사, 총인, 총질소의 저감효과를 연구하였다. 또한 Mersie et al. (2003)은 초생대의 농업비점오염 저감효과에 대한 연구를 통해 초종별 저감효과의 차이를 제시하였으며, Marc et al. (2009)은 초지와 관목을 이용한 초생대 농업비점오염 저감효과를 연구하여 초지를 이용한 초생대가 더 큰 효과를 나타낸다는 것을 확인하였다.

국내의 경우에는 초생대기법을 발경지에 직접 현장 적용한 사례는 많지 않다. Lee et al. (2005)이 소개한 농촌진흥청 고령지농업연구소에서 국내 최초로 수행한 초생대 발경지 현장적용 사례가 유일하며, 다년간 초생대 실험을 통해 주로 고령지 밭의 토사유실 저감을 도모하고자 한 사례이다. 그 외에는 초생대 모형을 활용한 발경지 유사저감효과를 모의한 것들로서, 주로 초생대 모형인 VFSMOD-W모형을 이용하여 초생대 유사저감효과를 모의한 사례들로, Park et al. (2008), Jae et al. (2012) 그리고 Seo and Choi (2013)가 이에 속한다. Park et al. (2008)은 SWAT 모형의 초생대 모의한계를 개선하고자 VFSMOD모형을 이용하여 초생대 폭, 강우에 따른 유출, 식생인자를 대상으로 초생대 설치에 미치는 영향을 규명하고자 하였다. 또한 Jae et al. (2012)은 초생대의 경작지로부터 유출되는 고형물질의 저감효과를 모의 하였으며, Seo and Choi (2013)는 우리나라 발경지 특성을 고려한 초생대 유사저감효과를 모의분석 하여 현장여건에 적합한 초생대 규모를 제시하고자 하였다.

그러나 현재까지 국내에 수행된 초생대 연구로는 우리나라 밭 비점오염관리를 위한 초생대기법의 현장적용에 필요한 설계기법을 개발하기에는 매우 부족한 실정이다. 실질적으로 초생대기법 뿐만 아니라 우리나라 대부분의 발경지 비점오염관리기법들의 기술개발 및 관련연구는 아직 미비한 실정으로 조사되고 있으며, 농경지에서 유출되고 있는 비점오염 모니터링 자료도 미비하여 실제 관리기법들의 현장적용성과 효율성에 대한 검증이 제대로 되어 있지 않은 것으로 보고되고 있다(MOE, 2006; SNU

R&DB Foundation, 2008). 따라서 초생대 기법의 현장적용 및 실용화를 위해서는 앞으로 보다 많은 관련 연구가 다각적으로 이루어져야 할 것으로 사료되며, 체계적이고 지속적인 연구를 통해 초생대의 현장 적용에 필요한 설치 및 관리방법, 효과 분석 등에 관한 설계기법의 개발이 가능할 것으로 사료된다. 이에 본 연구는 초생대기법의 현장적용을 위해 우리나라 발경지 특성에 적합한 초생대 설계에 필요한 기초자료를 제공하고자 현장실험을 통해 다양한 초종의 초생대를 적용하여 적합한 초생대 초종을 선정하고 이와 더불어 초생대 비점오염저감효과를 규명해보고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 시험포 조성

초생대 실험을 위해 경상북도 군위군 효령면 화계리 591번지에 위치한 경북대학교 농업생명과학대학 부속농장 내 발경지 1,500 m²에 시험포를 조성하였다. 시험포 토양의 특성은 양질사토에 속하며, 시험포의 경사는 5%로 측정되었다. 시험포에는 기존 밭 농사 방식의 대조구 1개와 초생대를 설치한 처리구 6개를 포함하여 총 7개의 시험구를 조성하였다. 각 시험구의 규모는 길이 12m×폭 4m로써, 처리구의 경우 하단에 조성된 길이 2m×폭 4m 규모의 초생대를 포함한다. 시험포에 재배할 작물은 콩으로 선정하였으며, 작물재배를 위한 퇴비, 비료, 제초제 살포 등은 농촌진흥청에서 제시한 표준재배법에 준하였다. 각 시험구내 세로로 4개의 이랑을 조성하여 재식거리는 골







과 골 사이 90cm, 콩과 콩 사이 20cm로 하여, 1주 2분씩 콩을 파종하여 재배하였다. 시험에 요구되는 균일한 초관(canopy)을 유지하기 위해서 필요한 입모을 확보를 통한 균일한 성장을 유도하기 위해 조류방지용 보호망을 씌워 조류로부터 싹을 보호하였으며, 인근 야산의 고라니와 멧돼지로부터 농작물 피해를 방지하기 위해 시험포 주변으로 고라니망을 설치하여 시험포를 보호하였다.

2.2 초생대 조성

초생대를 이용한 밭 비점오염 저감효과는 초생대 초종의 종류와 특성에 좌우되므로 초종의 선정이 매우 중요하다. 초생대 조성을 위한 초종 선정은 우리나라 기후와 토양특성에 적합하며 주변에서 손쉽게 구할 수 있고, 조성이 용이하며 관리효율성이 높고, 강우기에 초생대 기능을 수행할 수 있는 것으로 하였다. 다양한 초종을 선정하여 밭 비점오염 저감효과를 평가하기 위해 일년생 초종인 기름골(Chupa), 피(Barnyard grass), 바랭이(Common crabgrass)와 다년생 초종인 잔디(Turf grass), 툴페스큐(Tall fescue), 켄터키블루그라스(Kentucky bluegrass)를 선정하여 초생대를 조성하였다. Table 1은 초생대 조성에 적용한 초종의 종류와 생육모양을 각각 나타낸다.

기름골은 사초과의 유지(또는 전분) 작물로 초생대 목적에 맞는 밀도조절이 용이하며, 이용 후 기름을 생산하는데에도 이용 가능한 작물이므로 초생대 적용가능성을 검토하기 위해 사용하였다. 바랭이와 피 등은 우리나라 발경지 주위에 흔히 볼 수 있는 잡초로써 비용을 들여 종자를 별도로 구입하지 않아도 되는 장점이 있다. 특히 바랭

Table 1. Selected Vegetations for VFS Constructions

Experiment period	June 2011 ~ Nov. 2012		
Vegetation type	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gramineae: Kenturky bluegrass, Tall fescue, Turf grass (perennial plant) ▪ Cyperaceae: Chupa (annual plant) ▪ Gramineae: Barnyard grass, Common crabgrass (annual plant) 		
Vegetation view	Chupa 	Barnyard grass 	Common crabgrass 
	Turf grass 	Tall fescue 	Kentucky bluegrass 

이와 피는 여름철 강우가 빈번한 시기에 왕성한 생육현상을 나타내는 일년생 초종으로 우리나라 농경지에 우점하는 자연식생을 이용하여 초생대 적용 가능성 여부를 파악해 보고자 본 연구에 포함시켰다. 잔디, 톨페스규, 켄터키 블루그라스는 연중 생육이 가능한 다년생 초종으로서 운동장 및 골프장 잔디 조성에 흔히 사용되고 있는 초종으로, 매트형성에 의한 여과기능이 우수할 것으로 판단되어 선정하였다.

초생대 조성 후 원활한 실험을 수행하기 위해 정기적인 예초를 실시하였으며, 초생대 초종별 유지관리상의 애로사항 및 생육 특이사항들도 함께 관찰 조사하였다. 연구 수행 기간은 2011년에서 2012년 동안이며, 2011년도의 연구결과를 바탕으로 초생대에 적합한 초종을 선정하여 2012년도에

이를 재검증하는 단계를 수행하였다. Fig. 1은 본 연구를 위해 현장에 조성된 시험포의 개략도를 나타낸다.

2.3 강우-유출 및 수질 모니터링

초생대의 유출저감효과 및 비점오염저감효과를 분석하기 위해 강우-유출 관계의 파악 및 수질 모니터링을 실시하였다. 시험구내 강우량을 측정하기 위해 강우량계를 설치하였으며, 각 시험구별로 배출되는 유출수를 모니터링하기 위해 자체 제작한 플륨을 설치한 후 그 위에 부자식 수위계를 장착시켜 플륨에서 흘러나오는 유출수의 수위를 측정하였다. 또한 시험구 유출수의 수위를 유량으로 환산하기 위해 플륨내 수위별 유량에 대한 관계곡선식을 도출하였다. Fig. 2는 자체 제작한 플륨의 도면과 현장실

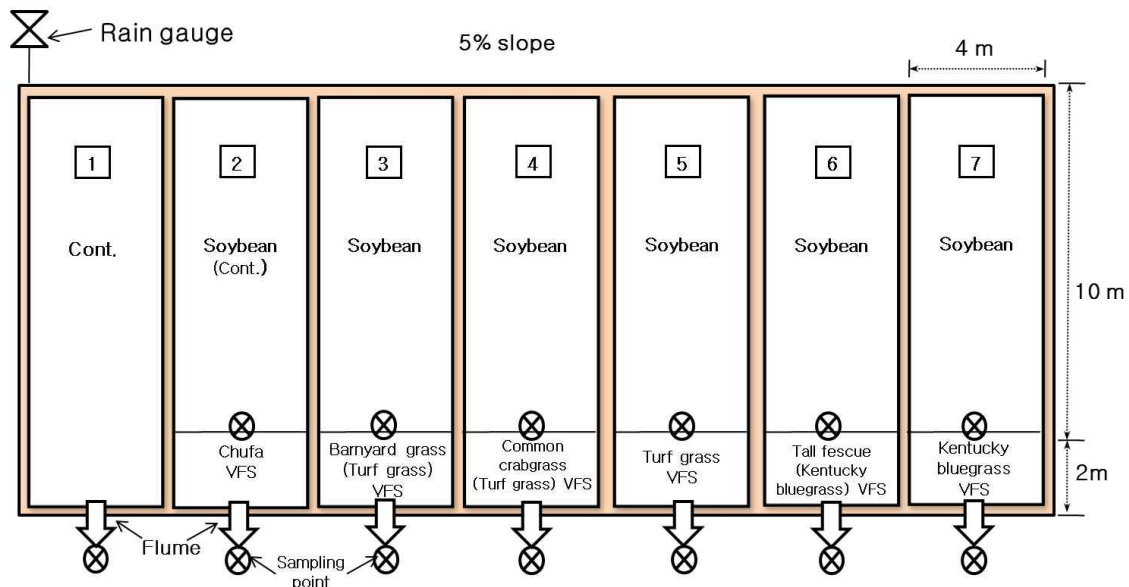
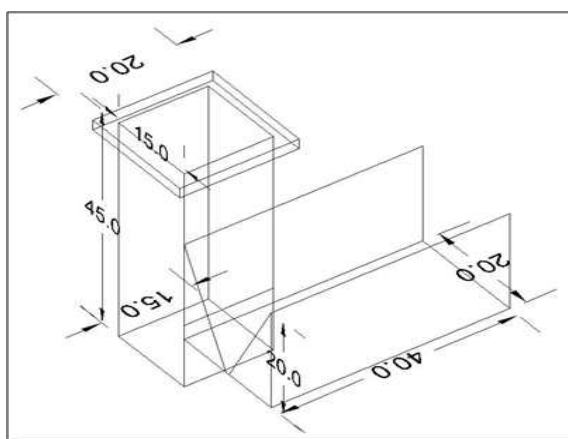
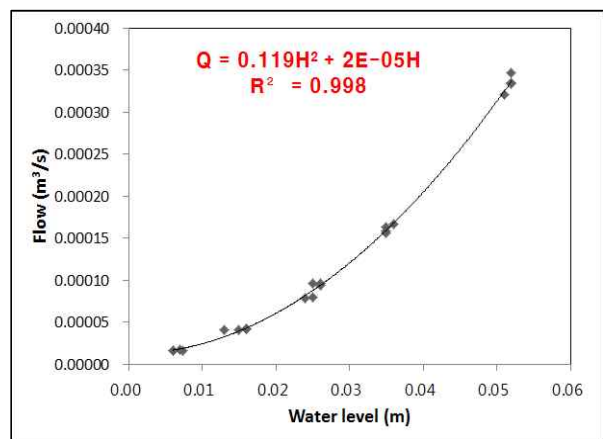


Fig. 1. The Experimental Plots of VFS Systems



(a)



(b)

Fig. 2. Flume Design (a) and Rating Curve (b)

험으로 도출한 수위-유량관계식을 나타낸다. 관계식에서 H는 수위(m), Q는 유량(m³/sec)을 의미하며, 두 변수간의 R²값은 0.998로 수위-유량 관계식의 높은 신뢰도를 나타낸다.

초생대의 비점오염저감 효과를 분석하기 위해 수질 모니터링을 실시하였으며, 강우사상이 발생하여 시험구내 지표 유출이 발생하면, 각 시험구별로 1회당 2L 용량씩 시료를 채취하였다. 시료분석은 서울대학교 NICEM(농생명과학공동기기원)에 의뢰하였으며, 분석항목은 TS, SS, BOD₅, COD, T-N, T-P, NH₄, PO₄, TOC, NO₃로 수질환경공정시험 및 Standard Method에 의해 분석되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 초생대 초종별 생육특징 조사

초생대 초종으로서의 적합성 여부를 판단하기 위해 초종의 생육특이성 등을 현장 모니터링을 통해 파악해 보았다. 봄부터 겨울까지 초종의 생육현상은 초기에는 느린 성장을 보이나 어느 시점부터 급속한 성장을 보이는 S자 곡선의 생육과정을 나타내었다. 봄에 서서히 생육을 시작하여 6월부터 9월까지 왕성한 생육현상을 유지하다가 가을인 10월부터는 생육이 서서히 감소하면서 겨울이 되면 저온현상에 의한 생육정지 현상을 보였다. Table 2는 2011년 여름시기에 각 초생대 초종별 초장, 경경, 분얼수를 조사한 결과를 나타낸다.

각 초종별로 초생대 적합성을 조사한 결과, 일년생 초종인 기름골, 피, 바랭이 보다는 다년생 초종인 잔디류가 초생대 적용에 여러모로 유리한 것으로 나타났다. 일년생 초종인 기름골의 경우에는 출아가 균일하지 않아 초기밀도 확보가 늦고 초생대 기능을 하기에는 너무 연약하였다. 또한 예초를 통한 초장관리에 어려움이 있어 초생대 초종으로 이용하기에는 다소 무리가 있는 것으로 조사되었다. 기름골과는 달리 피, 바랭이의 경우에는 초생대 기능은 비교적 양호한 것으로 나타났으나 너무 왕성한 생육으로 주작물의 생육을 저해할 우려가 있어 초생대로 적용하기에는 부적합한 초종으로 조사되었다.

다년생 초종인 톨페스큐는 다른 초종에 비해 피복률은 좋으나 켄터키블루그라스와 비교해 볼 때, 분얼(가지치기) 정도가 낮아 지표면의 피복률이 켄터키블루그라스보다 저조한 것으로 나타났다. 또한 겨울철 저온현상과 여름철 하고현상에 의한 생육장애가 켄터키블루그라스보다 심하여 특별한 관리가 요구되는 단점이 있었다. 켄터키블루그라스는 종자 파종을 통한 지표피복이 용이하며 겨울철 저온에도 비교적 강하고, 월동 후 이른 봄에 자람이 왕성한 한편 병충해와 답압 스트레스에도 비교적 강하여 봄철의 집중호우시 초생대 목적에 부합하는 초종으로 판단되었다. 그러나 한지형 목초이기 때문에 여름철 고온기에 생육이 저하되는 하고현상이 나타나므로 주의가 요구되었다. 잔디는 톨페스큐와 켄터키블루그라스에 비해 상대적으로 생육속도가 완만하여 초기 피복률 확보까지는 다소 시일이 소요되나, 적정 초장 유지에 유리하였으며 저온 및 하고 현상에 강하고, 비교적 다른 초종에 비해 병충해에 강한 것으로 조사되었다. 또한 잔디는 톨페스큐, 켄터키블루그라스와 더불어 초생대 조성공간을 영농 및 휴식공간으로 활용 가능한 장점이 있었다.

초종의 종자 파종 및 이식 후 활착력과 월동성 및 피복률에 대해 조사한 결과, 초종의 활착력은 바랭이 > 피 > 잔디 > 켄터키블루그라스 > 톨페스큐 > 휴파 순으로 우수하였으며, 초종의 월동성은 일년생 초종의 경우 해당사항이 없으므로 다년생 초종만을 조사한 경우 잔디 > 켄터키블루그라스 > 톨페스큐 순으로 우수하였다. 또한 초생대의 초종별 피복률은 잔디 > 켄터키블루그라스 > 톨페스큐 > 바랭이 > 피 > 휴파 순으로 우수하였다. 초생대 피복률의 경우에는 종자의 파종량에 따라 피복률에 차이가 있으므로 초생대 조성시 적정피복률을 고려한 파종량의 결정이 필요하다.

3.2 초생대 유지관리

초생대 초종의 경우 초생대 기능을 유지하기 위해서는 적정초장 관리를 위한 정기적인 예초를 실시해 주어야 한다. 그 이유는 초장이 길어지면 지표면이 그늘로 가려지게 되어 습기가 차서 줄기부분이 약해지거나 썩고 병들게

Table 2. Growth Characteristics of the VFS Vegetations

Vegetation type	Chupa	Barnyard grass	Common crabgrass	Turf grass	Tall fescue	Kentucky bluegrass
Plant length(cm)	22	48.3	17.8	13.7	12	14
Stem diameter(mm)	3.86	11.1 × 4.08	2.9	12.8	2.01	0.99 × 1.99
Tiller number	5~9	6~9	3~10	7~10	10~20	10~20

됨으로써 초생대 여과기능이 급격히 떨어지는 경우가 발생하기 때문이다. 따라서 예초를 통한 초장을 적절한 길이로 유지해 줌으로써 초생대 내 통풍과 일조에 의한 습기나 병해 방지 및 초생대 여과기능을 유지할 수 있도록 관리가 필요하다. 현장경험상 이러한 생육환경 유지를 위해서는 초생대의 적정초장을 10~20 cm 정도로 유지하는 것이 적절하였다. Table 3은 1차년도 연구기간 동안 적정초장을 유지하기 위해 실시한 초종별 예초횟수를 나타낸다.

초종의 생육이 왕성하여 적정초장 유지를 위한 예초횟수가 증가하면 그 만큼 유지관리에 많은 시간을 할애해야 하는 부담감 때문에 편리성을 중시하는 농민에게는 초생대 적용을 꺼리게 되는 주요요인이 될 수 있다. 따라서 예초횟수가 높으면 초생대의 현장적용성은 낮아질 것으로 판단된다. 따라서 Table 3에서 나타낸바와 같이 예초횟수가 많은 피, 바랭이의 경우에는 다른 초종에 비해 적정초장 유지를 위한 매우 빈번한 예초를 필요로 하기 때문에 유지관리측면에서 매우 불리한 초종으로 판단되었다. 또한 기름골과 피는 일정 생육이상이 되어 예초를 실시하게 되면 초종의 지속적인 생장에 어려움을 나타내어 제한된 생장시기에만 예초실시가 가능한 것으로 조사되었다. 잔디, 톨페스큐, 켄터키블루그라스의 경우에는 생육시기에 관계없이 예초가 가능하며, 예초에 의한 생육에 지장이 없어 초생대 적정초장 유지가 가능하였다. 한편 초생대 밀도를 너무 조밀하게 조성할 경우 초생대 사이로 광침투가 잘 이루어지지 않아 병해가 잘 발생할 수 있는 습윤 환경이 조성될 수 있으므로 적정밀도 유지에도 주의가 요구되었다.

초생대의 생육특성 및 유지관리측면에서 가장 유리한 초종은 잔디로 조사되었다. 잔디는 다른 초종에 비해 생육속도가 완만하여 적정초장을 유지하기 위한 예초횟수가 비교적 적어 유지관리 측면에서 매우 유리하였으며, 병충해에 강하고 답압 스트레스에도 비교적 강하여 초생대 조성구역을 영농 및 휴식공간으로 활용 가능한 점이 있어 초생대 적용시 가장 유리한 초종으로 조사되었다. 잔디 다음으로 유지관리와 피복률 면에서 유리한 초종은 켄터키블루그라스로서 톨페스큐보다 저온에 대한

적응력이 양호하고 병해에 비교적 강하여 잔디의 대안으로 사용가능할 것으로 판단된다.

3.3 초생대 강우-유출관계 분석

발경지 비점오염저감을 위해서는 강우시 유출량을 저감하는 것이 관건이다. 따라서 초생대의 유출저감효과를 파악하기 위해 시험구별로 강우-유출관계를 분석해 보았다. 실험기간동안 여름철 강우기에 무성한 콩 캐노피 효과로 토사유출이 거의 발생하지 않아 본 실험에서는 대부분의 경우 인공강우 실험을 수행하였다. 강우량은 자연강우의 경우 강우량계 자료를 이용하였고, 인공강우의 경우에는 분수호스 유입량을 계산하여 인공강우량을 추정하였다. 유출량은 플륨에 설치된 수위계 측정값을 수위-유량 관계식을 이용하여 유량으로 환산하여 도출하였다.

Table 4는 2011년도에 6개 초종을 적용한 초생대 실험에서 얻어진 강우-유출관계 분석결과를 나타내며, Table 5는 2012년도에 실시한 잔디와 켄터키블루그라스 초생대의 효과 검증에 위한 실험에서 얻은 강우-유출관계 분석결과를 나타낸다. 시험포에 내린 강우량은 38.1~184.8 mm이며, 유출량은 대조구와 초생대 처리구 모두 포함하여 0.002~7.096 m³로 산정되었다. 시험구의 유출률은 대조구의 경우 15.8~68.6%, 초생대 처리구는 6.5~45.3%로 나타났으며, 전체적으로 대조구 대비 초생대 처리구의 유출저감효과가 6.13~77.84%로 나타났다.

초생대 시험포의 강우-유출패턴을 조사한 결과, 동일 강우에 대해 각 시험구별 유출량과 유출시기가 각각 다르게 나타났는데, 이는 시험구별 지면조건과 초생대 초종 특성 및 피복률의 차이에 의한 결과로 판단되었다. 실험 방법에 따라 시험구별 유출률의 차이가 크게 나타났으며, 인공강우에 비해 자연강우 실험에서 유출률이 비교적 차이가 적게 나타났다.

유출결과들을 통해 초생대 조성이 유출률 저감에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 조사되었으며, 이중 잔디 초생대에 의한 유출저감효과가 가장 높게 나타났다. 바랭이 시험구의 경우에는 대조구보다 오히려 높은 유출률을 나타내었는데, 이는 바랭이가 육안으로는 무성하게 보였으

Table 3. Mowing Frequency of VFS Vegetations

Experiment period	June 2011 ~ Oct. 2011					
Vegetation type	Chupa	Barnyard grass	Common crabgrass	Turf grass	Tall fescue	Kentucky bluegrass
Mowing frequency	3	4	5	3	3	3

Table 4. Rainfall-runoff Relationship (2011)

Date	Type	Rainfall (mm)	Plot no.	Runoff (m ³)	Depth (mm)	Runoff ratio	Reduction rate (%)
Sept. 8	Artificial	184.8	1	-	-	-	-
			2	7.096	147.8	0.800	-
			3	8.500	177.1	0.958	-
			4	6.341	132.1	0.715	-
Oct. 3	Artificial	76.8	1	0.581	12.11	0.158	-
			2	0.781	16.27	0.212	-34.2
			3	0.543	11.32	0.147	7.0
			4	0.002	11.16	0.145	8.2
Oct. 22	Natural	97.4	1	1.877	39.10	0.401	-
			2	2.117	44.10	0.453	-13.2
			3	1.666	34.71	0.356	11.2
			4	1.312	27.32	0.281	29.9

Table 5. Rainfall-runoff Relationship (2012)

Date	Type	Rainfall (mm)	Plot no.	Runoff (m ³)	Depth (mm)	Runoff ratio	Reduction rate (%)
May 12	Artificial	122.3	1	0.955	19.886	0.163	-
			3	0.901	18.77	0.153	6.1
			5	0.378	7.89	0.065	60.1
			6	0.875	18.222	0.149	8.6
May 26	Artificial	70.7	1	1.096	22.840	0.323	-
			3	0.909	18.931	0.268	17.0
			5	0.556	11.584	0.164	49.2
			6	0.799	16.644	0.234	27.2
June 2	Artificial	38.1	1	1.255	26.145	0.686	-
			3	0.504	10.511	0.276	59.8
			5	0.279	5.804	0.152	77.8
			6	0.295	6.139	0.161	76.5

나 지표면과 줄기부분사이에는 공간이 비교적 많은 상태였기 때문인 것으로 판단되었다.

3.4 초생대 비점오염저감효과 분석

Table 6은 2011년도에 수행된 초생대의 비점오염저감효과 분석 결과를 나타낸다. 기존 밭농사 방식을 그대로 채택한 대조구에 비해 초생대 처리구에서 TS는 15.6~90.3%, T-P는 49.9~87.8%, T-N은 6.7~91.1%의 저감률을 각각 나타내었다. 전반적으로 가장 비점오염저감 효과가 좋은 초종은 잔디였으며, 그 다음으로 켄터키블루그라스 그리고 톨페스큐와 바랭이, 피, 추파 순으로 저감효과를 나타내었다. 잔디의 비점오염 저감률은 TS는 83.2~

90.3%, T-P는 75.7~87.8%, T-N은 71.4~91.1%로 전체 초종 중 가장 높게 나타났으며, 켄터키블루그라스는 TS는 62.0~89.0%, T-P는 79.1~84.5%, T-N은 61.9~87.9%의 저감률을 각각 나타내었다. 그 다음으로 톨페스큐의 저감률이 높았으나, T-N의 경우에는 바랭이가 톨페스큐보다 더 높은 저감률을 보였다. 전체 오염인자 중에 초생대로 인한 전반적으로 높은 비점오염 저감률을 나타낸 것은 TS, T-P, T-N, SS 인자였으나, BOD, TOC, NO₃⁻ 인자는 낮은 저감률을 보였다. Table 7은 2012년도에 잔디와 켄터키블루그라스를 대상으로 수행한 비점오염저감효과를 분석한 결과이다. 초생대 시험구에서 TS는 21.5~89.7%, T-P는 28.4~96.6%, T-N은 11.8~90.8%의 저감

Table 6. Pollutant Loads and Reduction Ratio (2011)

Item		TS*				T-P**				T-N***				SS****			
Trial no		1	2	3	Mean	1	2	3	Mean	1	2	3	Mean	1	2	3	Mean
Plot																	
Pollutant loads (mg/L)	Control	3,140	4,458	6,884		5.873	11.04	9.594		2.958	1.001	0.933		2,890	5,750	4,842	
	Chupa	2,650	3,754	4,991		2.942	4.361	3.377		0.541	0.934	0.623		1,764	4,020	2,665	
	Barnyard millet	1,243	2,407	2,258		2.056	3.456	3.070		0.355	0.476	0.340		1,014	2,748	1,399	
	Common crabgrass	1,647	1,788	1,983		1.991	2.848	2.792		0.385	0.375	0.245		1,045	1,193	1,272	
	Turf grass	377	749	668		0.717	1.512	2.331		0.263	0.273	0.267		677	444	740	
	Tall fescue	688	1,030	1,163		1.116	2.904	2.629		0.417	0.525	0.340		407	1451	778	
	Kenturky bluegrass	345	1,694	1,377		0.910	2.307	1.650		0.358	0.381	0.273		268	1277	812	
Reduction rate (%)	Chupa	15.6	15.8	27.5	19.6	49.9	60.5	64.8	58.4	81.7	6.7	33.3	40.6	39.0	30.1	45.0	38.0
	Barnyard millet	60.4	46.0	67.2	57.9	65.0	68.7	68.0	67.2	88.0	52.4	63.6	68.0	64.9	52.2	71.1	62.7
	Common crabgrass	79.4	59.9	71.2	70.2	66.1	74.2	70.9	70.4	87.0	62.5	73.7	74.4	63.8	79.3	73.7	72.3
	Turf grass	88.0	83.2	90.3	87.2	87.8	86.3	75.7	83.4	91.1	72.7	71.4	78.4	76.6	92.3	84.7	84.5
	Tall fescue	78.1	76.9	83.1	79.4	81.0	73.7	72.6	75.8	85.9	47.6	63.6	65.7	85.9	74.8	83.9	81.5
	Kenturky bluegrass	89.0	62.0	80.0	77.0	84.5	79.1	82.8	82.1	87.9	61.9	70.8	73.5	90.7	77.8	83.2	83.9
Item		BOD [†]				COD ^{**}				NO ₃ ⁻				TOC ^{***}			
Trial no		1	2	3	Mean	1	2	3	Mean	1	2	3	Mean	1	2	3	Mean
Plot																	
Pollutant loads (mg/L)	Control	3.30	2.01	2.09		16.42	18.18	19.58		1.75	2.00	1.52		4.33	5.80	0.50	
	Chupa	3.30	1.46	1.44		14.73	17.52	13.76		1.35	1.70	1.45		4.02	5.32	0.44	
	Barnyard millet	1.89	1.29	1.97		8.05	11.61	10.44		1.43	1.29	1.14		4.24	4.76	0.01	
	Common crabgrass	3.29	1.95	1.99		4.78	9.74	11.16		1.74	1.67	1.15		4.13	4.82	0.23	
	Turf grass	3.13	1.88	1.94		6.23	5.79	6.51		1.16	1.18	1.15		2.68	3.48	0.01	
	Tall fescue	3.20	1.76	1.44		5.49	7.91	7.03		1.72	1.88	1.33		3.90	4.21	0.01	
	Kenturky bluegrass	2.48	1.59	1.59		3.72	8.67	6.47		1.42	1.63	1.21		3.10	4.51	0.24	
Reduction rate (%)	Chupa	0.0	27.6	31.0	19.5	10.3	3.6	29.7	14.5	23.1	15.1	4.7	14.3	7.2	8.3	12.9	9.5
	Barnyard millet	42.7	36.0	5.5	28.1	50.9	36.1	46.7	44.6	18.5	35.5	24.8	26.3	2.1	18.0	97.6	39.2
	Common crabgrass	0.3	2.9	4.7	2.6	70.9	46.4	43.0	53.4	0.6	16.6	24.3	13.8	4.7	17.0	54.0	25.2
	Turf grass	5.2	6.5	7.3	6.3	62.0	68.1	66.7	65.6	33.5	40.9	24.2	32.9	38.1	40.0	97.2	58.4
	Tall fescue	3.1	12.5	31.0	15.5	66.6	56.5	64.1	62.4	1.4	6.0	12.7	6.7	10.0	27.4	97.6	45.0
	Kenturky bluegrass	25.0	21.0	24.1	23.4	77.3	52.3	67.0	65.5	18.6	18.5	20.2	19.1	28.3	22.2	52.5	34.3

*TS: Total solids, **T-P: Total phosphorus, ***T-N: Total nitrogen, ****SS: Suspended solids.

†BOD: Biochemical oxygen demand, **COD: Chemical oxygen demand, ***TOC: Total organic carbon.

Table 7. Pollutant Loads and Reduction Ratio (2012)

Item		TS*				T-P**				T-N***				SS****			
Plot	Date	5.12	5.26	6.2	Mean	5.12	5.26	6.2	Mean	5.12	5.26	6.2	Mean	5.12	5.26	6.2	Mean
	Pollutant loads (mg/L)	Control	446	1,783	1,185		3.160	2.323	3.002		12.01	4.16	9.546		97	1,353	610
Turf grass 1		257	291	257		2.265	1.540	0.421		5.65	3.67	4.873		8	72	10	
Turf grass 2		350	306	241		3.260	0.614	0.655		13.56	3.40	7.496		17	51	19	
Turf grass 3		184	184	214		1.075	1.356	0.101		1.96	2.94	2.500		2	4	5	
Kenturky bluegrass 1		185	187	217		0.512	0.698	0.104		1.11	2.27	2.688		0.1	0.1	10	
Kenturky bluegrass 2		197	200	220		0.786	0.424	0.117		1.92	2.08	2.688		3	21	5	
Reduction rate (%)	Turf grass 1	42.4	83.7	78.3	68.1	28.4	33.7	86.0	49.4	53.0	11.8	49.0	37.9	91.8	94.7	98.4	95.0
	Turf grass 2	21.5	82.8	79.7	61.3	0.0	73.6	78.2	50.6	0.0	18.3	21.5	13.3	82.5	96.2	96.9	91.9
	Turf grass 3	58.7	89.7	81.9	76.8	66.0	41.6	96.6	68.1	83.7	29.3	73.8	62.3	97.9	99.7	99.2	98.9
	Kenturky bluegrass 1	58.5	89.5	81.7	76.6	83.8	70.0	96.5	83.4	90.8	45.4	71.8	69.3	99.9	100.0	98.4	99.4
	Kenturky bluegrass 2	55.8	88.8	81.4	75.3	84.6	81.7	96.1	87.5	84.0	50.0	71.8	68.6	96.9	98.4	99.2	98.2
Item		BOD [†]				COD ^{**}				NO ₃ ⁻				TOC ^{***}			
Plot	Date	5.12	5.26	6.2	Mean	5.12	5.26	6.2	Mean	5.12	5.26	6.2	Mean	5.12	5.26	6.2	Mean
	Pollutant loads (mg/L)	Control	1.49	1.85	4.89		12.8	27.24	18.24		42.32	16.52	22.00		17.2	13.4	19.3
Turf grass 1		0.13	0.00	2.26		9.48	8.14	3.72		25.03	14.75	8.52		16.8	18.0	11.3	
Turf grass 2		0.31	1.79	4.03		12.38	4.62	5.62		51.32	10.88	12.65		16.2	10.4	11.8	
Turf grass 3		2.47	3.64	2.38		5.02	6.54	3.04		6.46	11.58	7.14		22.4	14.9	14.6	
Kenturky bluegrass 1		1.30	1.93	3.66		3.62	3.94	4.76		4.93	9.12	6.53		13.5	11.0	14.6	
Kenturky bluegrass 2		2.16	2.48	2.12		5.78	3.20	3.50		5.18	8.83	6.59		24.5	9.54	10.2	
Reduction rate (%)	Turf grass 1	91.3	100.0	53.8	81.7	25.9	70.1	79.6	58.5	40.9	10.7	61.3	37.6	2.3	-34.3	41.5	3.2
	Turf grass 2	79.2	3.2	17.6	33.3	3.3	83.0	79.6	55.3	-21.3	34.1	42.5	18.4	5.8	22.4	38.9	22.4
	Turf grass 3	-65.8	-96.8	51.3	-37.1	60.8	76.0	79.6	72.1	84.7	29.9	67.5	60.7	-30.2	-11.2	24.4	-5.7
	Kenturky bluegrass 1	12.8	-4.3	25.2	11.2	71.7	85.5	79.6	78.9	88.4	44.8	70.3	67.8	21.5	17.9	24.4	21.3
	Kenturky bluegrass 2	-45.0	-34.1	56.6	-7.5	54.8	88.3	79.6	74.2	87.8	46.5	70.0	68.1	-42.4	28.8	47.2	11.2

*TS: Total solids, **T-P: Total phosphorus, ***T-N: Total nitrogen, ****SS: Suspended solids.

†BOD: Biochemical oxygen demand, **COD: Chemical oxygen demand, ***TOC: Total organic carbon.

를 나타내었다. 2011년도와 거의 동일하게 전체 오염인자 중에 초생대로 인해 전반적으로 높은 비점오염 저감률을 나타낸 것은 TS, T-P, T-N, SS 인자였으며, 낮은 저감률은 BOD, TOC 인자였다. 같은 강우조건하에서도 시험구별로 비점오염부하의 차이가 컸으며, 모니터링 시기별로도 오염인자별 차이를 나타내었다. 이는 강우-유출특성에 지대한 영향을 받는 비점오염특성상 전 절에 나타낸 분석결과와 동일하게 작물생육상태, 초생대 초종별 특성, 지면의 피복상태 등의 차이에서 기인한 결과로 판단된다. 초생대 조성시기별 비점오염저감효과는 2011년도의 잔디와 켄터키블루그라스 초생대 시험구와 2012년도에 새롭게 조성한 이들 초생대 시험구와의 결과비교에서 초생대 조성 초기보다 지표면 피복률이 증가한 시기에 더 나은 저감효과를 나타내어 피복률의 차이에 의한 비점오염저감효과 차이를 본 연구결과를 통해 확인할 수 있었다. 강우량에 따라라도 초생대의 비점오염 저감효과의 차이를 나타내었으며, 강우량이 많을수록 저감효과가 떨어지는 것으로 나타났다. 한편 본 연구의 결과는 주로 인공강우에 의해 수행된 실험결과이므로 실제 자연강우의 조건에서 수행된 것과는 차이가 있을 수 있기 때문에 향후 다양한 자연강우의 특성을 반영한 초생대 효과에 대해 추가적인 연구수행이 필요할 것으로 사료된다.

4. 결 론

발경지 비점오염 저감을 위한 초생대 기법을 개발하고자 현장실험을 통해 다양한 초생대 초종을 적용하여 발경지 비점오염 저감효과 분석 및 초생대 적용 가능한 적합한 초종을 선정하고자 하였다. 이를 위해 경사 5%의 토양특성이 양질사토인 발경지에 6개의 초종으로 구성된 초생대 처리구와 대조구를 포함한 총 7개의 시험구로 구성된 시험포를 조성하여 콩을 발작물로 하여 실험을 수행하였다. 초생대 현장 적용성을 파악하기 위해 초종을 대상으로 생육 및 유지관리측면, 비점오염저감 능력 등을 조사한 결과 잔디, 켄터키블루그라스가 가장 적절한 초생대 초종으로 조사되었다.

현장조사에서 초생대의 밀도와 피복률이 발의 유출 특성 및 비점오염저감 효과에 영향을 미치는 중요한 인자로 조사되었으며, 정기적인 예초 등의 초생대 관리가 중요한 것으로 파악되었다. 본 연구를 통해 얻어진 초생대의 유출저감효과는 대조구 대비 6.1~77.8%였으며, 비점오염저감효과는 TS의 경우 15.6~90.3%, T-P의 경우 49.9~96.6%, T-N의 경우 6.7~91.1%를 나타내어 초생대의 우수한 비

점오염 저감기능을 확인할 수 있었다. 전체 오염인자 중에 초생대로 인해 전반적으로 높은 비점오염저감효과를 나타낸 것은 TS, T-P, T-N, SS 인자였으며, BOD, TOC와 NO_3^- 인자는 비교적 낮은 저감효과를 나타내었다. 본 연구결과를 통해 우리나라 농촌지역 발경지 비점오염저감을 위한 관리기법으로 초생대가 효과적으로 활용가능하리라 사료되며, 향후 초생대 기법을 농촌현장에 적용하기 위한 최적관리기법 설계지침서 개발을 위해 보다 장기적이고 다각적인 초생대 현장실험 연구가 요구된다.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품부와 한국농어촌공사 농어촌연구원에서 지원한 “새만금유역 농업비점오염저감기법 개발 연구”와 2012학년도 경북대학교 학술연구비 지원으로 수행되었음.

References

- Dillaha, T.A., Sherrard, J.H., Lee, D., Mostaghimi, S., and Shanholtz, V.O. (2010). “Evaluation of vegetative filter strips as a best management practice for feed lots.” *Journal of Water Pollution Control Federation*, Vol. 60, No. 7, pp. 1231-1238.
- Hwang, S.W. (2005). *Reduction of soil loss by rod culture of rye and corn on radish in Daegwallyeong highland*. International Symposium & Conference of the Plant Resources Society of Korea, pp. 125 (in Korean).
- Jae, H.A., Yun, S.L., Kim, S.K., Park, Y.S., and Lim, K.J. (2012). “Analysis of suspended solids reduction by vegetative filter strip for cultivated area using Web GIS-based VFSSMOD.” *Journal of Korean Society of Environment Engineering*, Vol. 34, No. 12, pp. 792-800 (in Korean).
- Jung, C.G., Ahn, S.R., Kim, S.J., Yang, H.J., Lee, H.J., and Park, G.A. (2013). “HSPF and SWAT modelling for identifying runoff reduction effect of nonpoint source pollution by rice straw mulching on upland crops.” *Journal of Korean Society of Agricultural Engineering*, Vol. 55, No. 2, pp. 47-57 (in Korean).
- Kim, J.H., Han, K.H., and Lee, J.S. (2008). “Characteristics of agricultural non-point source pollutants by rainfall

- events in rural watersheds.” *Journal of Korean Society on Water Quality*, Vol. 24, No. 1, pp. 69-77 (in Korean).
- Lee, G.J., Park, C.S., Lee, J.T., Zhang, Y.S., Jin, Y.I., and Hwang, S.W. (2005). *Reduction of soil loss by rod culture of rye and corn on radish in Daegwallyeong highland*. International symposium & conference of the Plant Resources Society of Korea, pp. 125 (in Korean).
- Marc, D., and Richard, H. (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*, Vol. 131, pp. 85-97.
- Mersie, W., Seybold, C.A., McNamee, C., and Lawson, M.A. (2003). “Abating endosulfan from runoff using vegetative filter strips: the importance of plant species and flow rate.” *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 97, pp. 215-223.
- MOE. (2006). *Nonpoint source pollution control manual*. Ministry of Environment (in Korean).
- Park, Y.S., and Hyun, G.W. (2014). “Optimization of vegetative filter strip using VFSSMOD-W model and Genetic-Algorithm.” *Journal of Korean Society on Water Environment*, Vol. 30, No. 2, pp. 159-165 (in Korean).
- Park, Y.S., Kim, J.G., Kim, N.W., Park, J.H., Jang, W.S., Choi, J.D., and Lim, K.J. (2008). “Improvement of sediment trapping efficiency module in SWAT using VFSSMOD-W Model.” *Journal of Korean Society on Water Quality*, Vol. 24, No. 4, pp. 473-479(in Korean).
- Patzold, S., Klein, C., and Brumer, G.W. (2007). “Run-off transport of herbicides during natural and simulated rainfall and its reduction by vegetated filter strips.” *Soil Use and Management*, Vol. 23, pp. 294-305.
- Robinson, C.A., Ghaffarzadeh, M., and Cruse, R.M. (1996). “Vegetative filter strip effects on sediment concentration in cropland runoff.” *Soil and Water Conservation*, Vol. 51, No. 4, pp. 227-230.
- Seo, J.H., and Choi, K.S. (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).
- Shin, E.S., Choi, J.Y., and Lee, D.H. (2001). “Characteristics of non-point source pollutants in surface runoff from rural area.” *Journal of Korean Society on Water Quality*, Vol. 17, No. 3, pp. 299-311 (in Korean).
- SNU R&DB Foundation. (2008). *A study on the developing management guidelines for construction sites need to report the NPS reduction plan*. Ministry of Environment (in Korean).
- Tahiro S. (2007). “Reddish sediment control by grass strip and buckwheat cultivation.” *Journal of Japanese Agriculture and Rural Engineering*, Vol. 75, pp. 156-167.
- Yu, Y.S., Park J.Y., Kim, H.J., Kim, S.B., and Kim, S.J. (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*, Vol. 54, No. 1, pp. 55-62 (in Korean).

논문번호: 14-098	접수: 2014.09.30
수정일자: 2014.10.09	심사완료: 2014.10.09