



실트펜스와 식생발두령 적용을 통한 밭 비점오염 저감효과 분석을 위한 포장실험 연구

A Plot Scale Experiment to Analysis the NPS Reduction by Silt Fence and Vegetated Ridge for Non-Irrigated Cropland

김성재* · 박태양* · 김성민* · 장정렬** · 김상민***,†

Kim, Sung Jae · Park, Tae Yang · Kim, Sung Min · Jang, Jeong Ryeol · Kim, Sang Min

ABSTRACT

The objective of this study was to test the pollutant reduction effect by the silt fence and vegetated ridge through field monitoring. The experiment plots were established with two replication and three treatments. Each plot was designed with 5 m width, 22 m length, and 3 % slope. Flumes with the floating type stage gages were installed at the outlet of each plot to monitor the runoff. For a rainfall monitoring, tipping bucket rain gage was installed within the experiment site. Cultivated crops were spring daikon and autumn chinese cabbage. Analysis of variance (ANOVA) indicated that the water quality concentration from three experiment plots were not significantly different in 5 % of significant level. The monitoring results showed that the average pollution loads reduced by silt fence compared to control were SS 75.33 %, TN 40.87 %, TP 56.58 %, BOD 52.12 %, COD 36.07 %, TOC 34.99 %; by vegetated ridge compared to control were SS 65.27 %, TN 81.80 %, TP 54.26 %, BOD 67.09 %, COD 46.55 %, TOC 43.30 %. Analysis of Spearman's rank correlation coefficient showed that BOD-SS and SS-Turbidity were highly related at the silt fence and vegetated ridge plots. In all plots, SS-Turbidity and TP-TN relations were relatively high. The monitoring results showed that the silt fence and vegetated ridge were effect method to reduce the pollutant loads from the field runoff. Long-term monitoring is required to obtain more quantitative reduction effect for diverse crops and to increase the reliability of results.

Keywords: Silt fence; vegetated ridge; NPS reduction; non-irrigated cropland

1. 서 론

농경지 등에서 주로 발생하는 비점오염물질의 유출은 주로 강우와 작물재배형태, 토양특성에 따라 유출형태가 변동하고, 비료와 농약의 적용시기에 따라 오염부하 유출특성이 변화하므로 오염물질 정량화 및 대책 제시가 어려운 실정이다 (Kim et al., 2008). 특히, 강우시 발생하는 토양유실과 오·탁수는 하천 생태계와 상수원 수질관리에 가장 큰 영향을 미치는 영향인자로 관리의 필요성이 증대되고 있다. 환경부 발표 자료에 따르면 국내의 하천 및 호소에 유입되는 오염물질 중 약 30 % 이상이

농업활동 등에 의한 비점오염원이 원인이지만 기존의 수질관리 대책은 대부분 하수처리장 건설 등의 점오염원 처리에 치중되어 있다. 비점오염의 경우 다양한 배출특성을 가지고 있으며 효과적인 관리를 위해서는 오염부하량의 정량화와 이동경로의 파악이 필수적이다 (Choi and Shin, 1997).

국내 비점오염 저감을 위한 연구 중 Won et al. (2011)은 평지밭과 고령지 농업지역의 강우시 비점오염물질의 유출특성을 조사·분석하여 유출이 발생할 때의 강우량을 고려한 BOD의 원단위를 산정하여 기존 공식대비 33 % 감소효과가 있음을 밝힌 바 있고, Shin et al. (2010)은 인공강우 실험을 통해 밭에서의 영양물질의 배출특성을 모의한 바 있다. Lee et al. (2009)은 다양한 토지이용 중에서 초지로부터 유출되는 오염물질을 정량화하기 위하여 강우시 인공초지에서 발생하는 비점오염물질의 유출 및 강우특성 비교 및 상호 상관성을 분석한 바 있고, Kim et al. (2008)은 비점오염 부하 저감을 위한 수변완충지대의 최적 폭의 길이 산정을 위한 연구를 수행한 바 있다. Cho and Lee (2008)는 제주지역에서의 농경지와 목장에서 배

* 경상대학교 대학원 농공학과
 ** 한국농어촌공사 농어촌연구원
 *** 경상대학교 지역환경기반공학과(농업생명과학연구원) 부교수
 † Corresponding author Tel.: +82-55-772-1931
 Fax: +82-55-772-1939
 E-mail: smkim@gnu.ac.kr

2012년 2월 23일 투고
 2012년 5월 2일 심사완료
 2012년 5월 9일 게재확정

출되는 비점오염물질의 유출특성에 대한 연구를 진행한 바 있고, Joo et al. (2007)은 낙동강 수계 고랭지 밭의 비점오염 물질 유출 특성 조사 및 단위 유출량을 산정한 바 있다. Kim et al. (2001)은 관개기 동안 하천수를 이용하여 관개를 하는 두 개의 광역논을 대상으로 오염물질의 농도 변화 특성을 검토한 바 있다.

국외의 경우 미국에서는 1987년에 개정된 연방수질오염관리법 (청정수법: Clean Water Act)에 근거를 두고 강우유출을 규제하고 있는데 특히 점오염원 규제만으로는 수질개선에 한계가 있어 비점오염원인 도시지역, 건설지역, 공업지역의 강우유출수를 국가오염배출량저감제도 (National Pollutant Discharge Elimination System, NPDES)에 따라 허가를 받도록 규정하고 있으며 (SNU R&DB Foundation, 2008), 영국의 웨일즈 지방의 경우 76% 이상이 농업지역 이므로 모든 농업행위는 의도하지 않지만 수생태계에 영향을 준다고 보고 농업부에서 발생하는 비점오염원을 저감하기 위해 기술적인 방법과 이러한 기술들을 농업현장에 적용할 수 있도록 장려하는 수단 등을 이용하여 개별 농가에서 실행할 수 있는 가장 적절한 방법을 선택하여 적용하도록 하고 있다 (Environment Agency, 2007).

비점오염을 저감하기 위한 연구를 통해 비점오염물질의 유출을 저감하기 위한 방법으로 인공습지, 침투저류지, 식생여과대, 초생수로, 등고선재배, 피복작물, 우회수로 및 승수로, 식생발두렁, 실트펜스 (Silt Fence) 등이 강구 되고 있으나 국내에서는 농경지를 대상으로 한 비점오염 관리방법들에 대한 기술개발 및 체계적인 연구가 미비한 실정이며, 관리기법들의 현장적용 및 비점오염 유출 모니터링 자료도 미비하여 실제 관리기법들의 현장적용성과 효율성 검정이 제대로 이루어지지 않고 있다 (MOE, 2006; SNU R&DB Foundation, 2008).

따라서 본 연구에서는 농업현장에서의 비점오염물질 유출저감을 위한 방법 중 실트펜스 및 식생발두렁의 적용을 통해 밭

에서의 비점오염원 유출 모니터링을 수행하여, 그 자료를 토대로 국내 농촌현장에 적용 가능한 실트펜스 및 식생발두렁의 설치방법, 관리방법 및 효과분석 등의 매뉴얼을 개발하기 위한 기초실험을 실시 하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 시험포장 조성

밭에서 발생하는 비점오염원의 저감효과 평가 및 제어대책 개발을 위한 포장실험을 위해 경상남도 사천시 용현면 선진리 일대에 면적 1,650 m²의 시험포장을 조성하였다. 시험포장은 경사 3%, 5 m×22 m크기의 시험구 6개로 조성 하였으며, 실험결과의 상호 보완이 가능하도록 동일한 방식의 시험구를 2개씩 설치하였다 (Fig. 1). 1, 2번 시험구는 관행시험포로 대조구 역할을 할 수 있도록 하였고, 3, 4번 시험구는 비점오염원 저감 시설 중 실트펜스를 설치하였으며, 5, 6번 시험구에는 식생발두렁을 설치하였다. 각 시험구 사이에는 시험구 간의 유출수를 구분하고 밭 경작시 작업통로로 활용하기 위한 폭 1 m의 발두렁을 조성하였다.

대상 시험포장의 토성의 경우 Park et al. (2011)의 선행연구에서 토양분류법 (USCS)에 따른 토양특성을 분류한 결과 SC (모래 함량이 많은 점토질 사질토)로 나타난 바 있다. 각 시험포에서 비점오염 저감효과 실험을 위한 재배작물을 선정하기 위해 통계청 (KOSIS, 2008)에서 발표한 자료를 토대로 작물의 생산량과 재배시기를 고려하여 4월초에 파종이 가능한 봄무와 8월초에 파종이 가능한 가을배추를 선정하였다. 작물재배를 위한 재배관리, 작부체계, 병충해 방지 등의 농업을 위한 일반적인 영농방법은 농촌진흥청에서 제공하는 농업기술정보를 참고하여 현재 국내의 밭에서 관행적으로 시행되고 있는 방법을 적용하여 작물을 재배하였다.

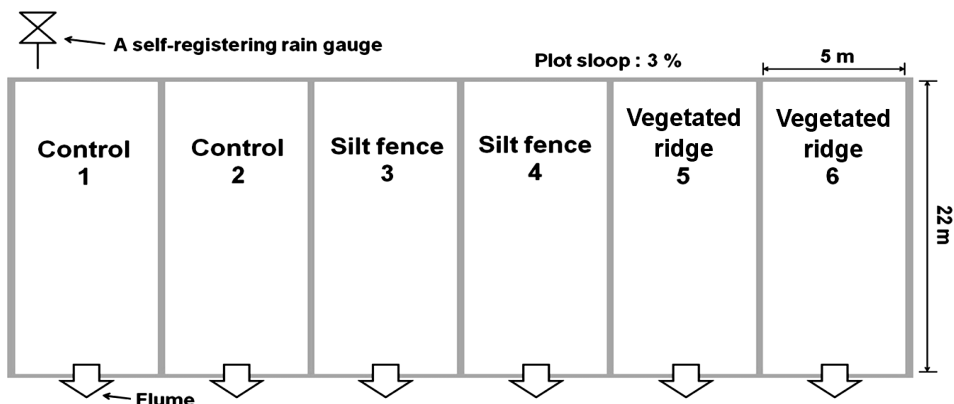


Fig. 1 Schematic view of experimental plot with three treatments and two replications

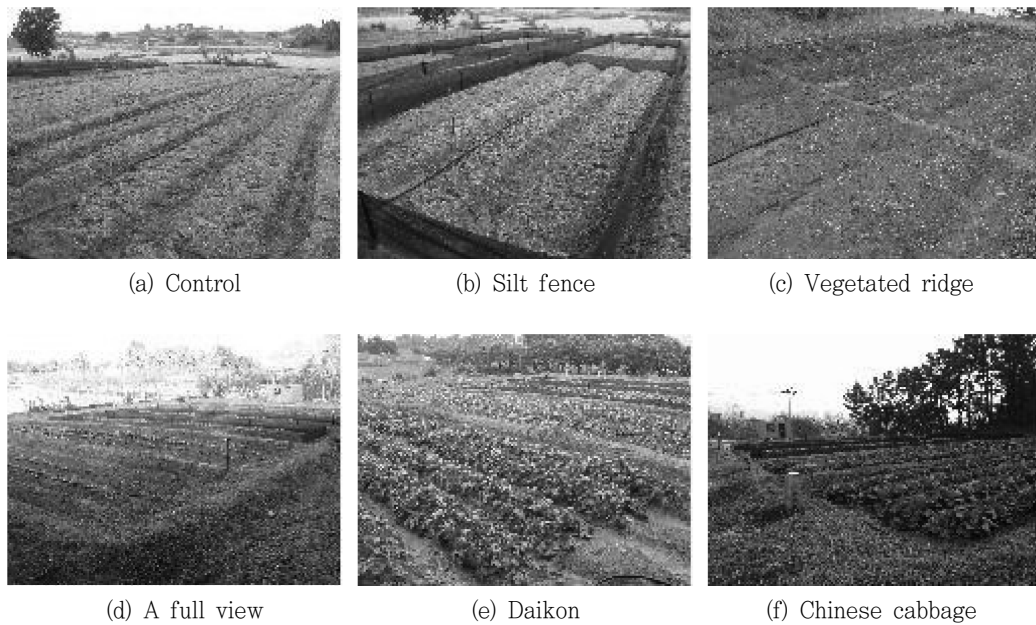


Fig. 2 View of experimental plot and crops growth

본 연구에서 비점오염 저감시설로 선정된 실트펜스의 경우 일반적으로 건설공사 현장에서 홍수유출이 발생할 때 인접한 하천, 호소 등의 수질을 보호하기 위해 임시적으로 유사를 제어하기 위한 시설로 사용되고 있으며 합성 직물 필터를 나무나 금속 막대로 연결하여 등고선 방향으로 설치한다. 실트펜스는 일반적으로 대상지역의 토양이 교란되기 전에 그 지역의 아래쪽에 설치하여 강우시에 발생하는 유출수에 포함된 유사를 저감시키기 위한 목적으로 사용되고 있다.

5, 6번 시험구에 설치한 식생발두령의 경우 일반적으로 입야와 접한 경작지나 절토 등으로 산림이 훼손된 경작지 상부에 설치하며, 산지에서 유입되는 빗물이 우회하여 배수될 수 있도록 경작지 주변으로 수로를 같이 설치한다. 강우발생시 경작지에 조성된 경작지에서는 상부의 빗물이 하부에 이르면서 증가한 유량과 빠른 유속으로 인해 토양침식을 가중시키게 되어 토양 유실량이 증가하게 되는데, 경작지 내부에 등고선 방향으로 일정한 간격의 식생발두령을 설치하게 되면 유속을 감소시키고 토양 유실량이 저감되어 상부에서 하부로 감에 따라 증가되는 토양의 침식을 방지 할 수 있다.

2. 시험포장 내 계측기기

최근 국지성 집중호우의 발생이 빈번하여 지역별 강우량의 차이가 크게 나타나 각 시·군에 위치한 기상청의 데이터를 이용하여 수문분석을 할 경우 오차발생 확률이 높아지고 있다. 따라서 정확한 물의 흐름을 분석하기 위해 시험포장내에 0.2 mm

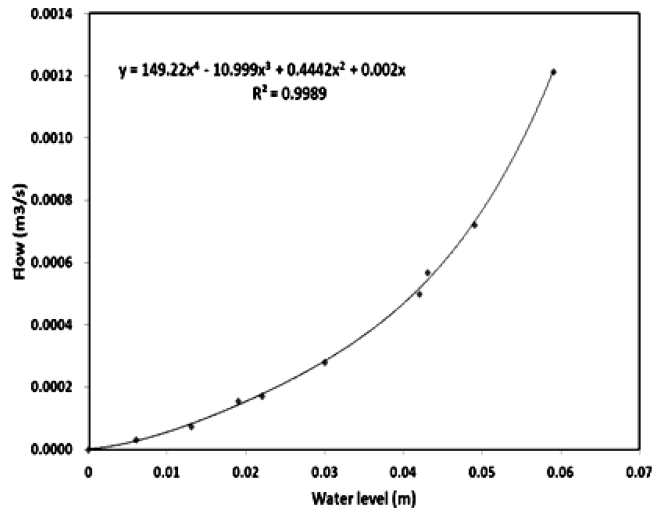


Fig. 3 Stage-discharge relationship for installed flume in experimental plot

단위로 강우량 측정이 가능한 자기우량계를 설치하여 강우량을 측정하였다.

각 시험구의 유출량을 측정하기 위해 시험구 하단에 수위에 따른 유량을 측정하기 위한 플룸과 부자식 수위계를 설치하였다. 플룸은 협착부를 가지는 수로를 하도 내에 시공하여 유체가 흐를 때 수위의 변화를 측정함으로써 유량을 계측하는 장치로 본 연구에서는 말의 크기에 따른 유출량을 고려하여 설계·제작하였다. 부자식 수위계는 수위변동에 따른 부자의 상·하 운동을 회전운동으로 변환시켜 수위를 직접 측정하여 기록하는 기기로

정확한 수위 값을 측정할 수 있고, 데이터 수집 간격의 설정이 용이한 장점이 있다. 본 연구에서는 설계·제작된 플룸에 수위계를 설치하여 시험구에서 배출되는 유출수의 수위를 5분 간격으로 측정된 뒤 Park et al. (2011)의 선행연구에서 실내실험을 통해 얻은 수위-유량 곡선식을 더 높은 수위에서도 유량 산정이 가능하도록 검·보정하여 밭에서 배출되는 유출량을 산정하였다 (Fig. 3, 식 (1)).

$$Q = 149.22h^4 - 10.999h^3 + 0.442h^2 + 0.002h \quad (1)$$

여기서, h는 수위 (m)를 나타내고, Q는 유출량 (m³/s)을 나타낸다.

3. 유출수 수질분석 및 오염 부하량 산정

강우발생 시 각 시험포 하단에 설치한 플룸을 통해 유출되는 유출수를 2~3시간 간격으로 각 시험구별 1.5 l를 채취하여 서울대학교 농생명과학공동기기원 (National Instrumentation Center for Environmental Management, NICEM)에 SS, TN, TP, Turbidity, BOD, COD 및 TOC 7항목에 대한 수질분석을 의뢰하였다.

일정 기간 동안에 각종 오염원으로부터 배출되는 오염물질의 총량을 측정하는데 있어, 밭에서 배출되는 비점오염의 경우 배출 시기나 형태에 따라 그 양이 일정하지 않기 때문에 배출수의 오염 부하량을 산출하여야 정확한 비교가 가능하다. 오염 부하량이란 발생 오염 부하량이고도 하며, 오염물질농도와 유출량을 이용하여 산출하는 것으로 산정방법은 식 (2)와 같다.

$$\text{Pollutant mass load (kg/event)} = \int_0^t C(t) \cdot Q(t) dt \quad (2)$$

여기서, C (t)는 시간 t의 강우에서 배출된 유출수의 오염물질 농도를 나타내고, Q (t)는 시간 t의 강우에서의 유출량을 나타낸다. 본 연구에서는 1회 강우사상을 기준으로 분석된 항목들에 대한 단위 오염 부하량 산정을 위해 플룸을 통해 유출되는 유출수의 수위를 수위-유량 관계 곡선식에 적용하여 유출량을 산정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 강우 유출수 조사

시험포장내에 설치한 자기유량계를 이용하여 2011년의 강우

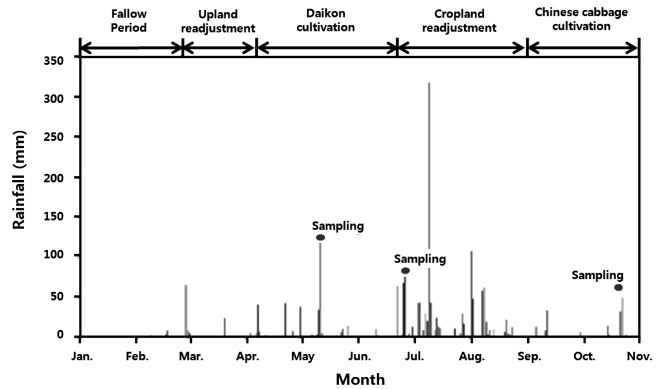


Fig. 4 Rainfall in 2011 and runoff sampling time during the growing period

량을 측정하였으며 강우기간 중 휴경기를 제외한 작물재배기간에 발생한 강우에 대해서 유출수 조사를 실시하였다 (Fig. 4). 이 중 유출량 및 유출수 수질분석을 위해 총 강우발생 기간 중 유출수의 분석 결과가 유의미 할 것이라 판단된 총 3회의 강우사상에 대해 시료를 채취하여 수질분석을 실시하였다.

Table 1에서는 3번의 조사 기간 동안의 강우량, 각 시험구에서의 유출특성 및 유출수의 수질분석 결과를 나타내고 있다. 총 3회의 강우사상 분석결과를 살펴보면 대조구에 비해 실트펜스 및 식생발두령을 설치한 처리구에서 유출률이 작았고, 식생발두령을 설치한 처리구에서의 유출률이 가장 낮게 나온 것을 확인할 수 있었는데, 이는 강우 발생시 처리구 중간부분에 설치한 식생발두령이 시험구 상단에서 발생하는 유출수의 유속을 저감시켜 약간의 저류효과를 가진 결과로 사료된다.

유출수의 평균 수질농도 결과 중 10월 21일~22일의 식생발두령을 설치한 처리구에서 대조구에 비하여 오염물질 농도가 높게 나타난 것을 확인할 수 있었는데 이는 유출수 채취과정에서 플룸을 통해 유출되는 유량이 미미하여 채취 시간이 길어지면서 주변의 토사 및 부유물질의 유입이 많아진 결과로 사료된다.

다음의 Fig. 5~7에서는 3회의 조사 기간 동안의 강우량과 대조구, 실트펜스 및 식생발두령 처리구에서의 강우 유출상황 및 유출수의 수질분석을 위해 시료를 채취한 시간 및 횟수를 나타내고 있다. 10월 21일~22일 자료 (Fig. 7)를 살펴보면 처음 강우가 시작되고 시험구에서 유출이 발생하는 시점에 실제 모든 시험구에서 유출수의 시료채취가 이루어 졌으나 1번 대조구의 수위계의 부자가 수위계가 설치된 도르레에서 이탈되어 유출량 측정이 제대로 이루어지지 않았고, 이 강우사상의 수질시료 채취과정에서도 심야에 작업이 이루어져 시야확보가 제대로 되지 않아 주변 토사 및 부유물질의 유입을 방지하지 못하여 수질분석 결과에 대한 신뢰성 역시 낮은 편이다. 향후 실험을 진행함에 있어 이러한 문제점들에 대한 대책이 필요할 것으로 사료된다.

Table 1 Results of runoff characteristics and water quality measurements in each experimental plot (2011)

Date	2011/5/11			2011/7/9 ~ 7/10			2011/10/21 ~ 10/22		
Area (m ²)	110 (22 m×5 m)								
Rainfall (mm)	110			345			101		
Plots	Control	Silt fence	Vegetated ridge	Control	Silt fence	Vegetated ridge	Control	Silt fence	Vegetated ridge
Runoff (m ³)	3.49	1.83	1.48	26.94	20.07	18.03	2.48	2.23	2.06
Runoff depth (mm)	31.72	16.62	13.43	244.93	182.50	163.88	22.52	20.29	18.70
Runoff ratio	0.20	0.11	0.09	0.71	0.53	0.48	0.24	0.21	0.20
Item	*EMC (SS, TN, TP, BOD, COD, TOD : mg/L, Turbidity : NTU)								
SS	7.63	0.50	4.38	122.29	75.33	82.56	255.80	141.60	514.40
TN	8.03	3.69	2.52	0.38	0.47	0.13	6.48	2.14	1.34
TP	0.61	0.29	0.64	0.07	0.06	0.05	0.25	0.16	0.65
Turbidity	1.39	1.24	3.45	12.59	10.65	15.39	37.49	53.27	232.79
BOD	0.38	0.27	0.15	1.10	0.88	0.81	1.07	0.81	1.54
COD	1.11	1.42	1.19	1.77	1.44	1.63	1.57	1.12	2.97
TOC	0.81	0.74	0.77	0.86	0.95	0.94	1.66	1.70	3.11

*EMC : Event Mean Concentration

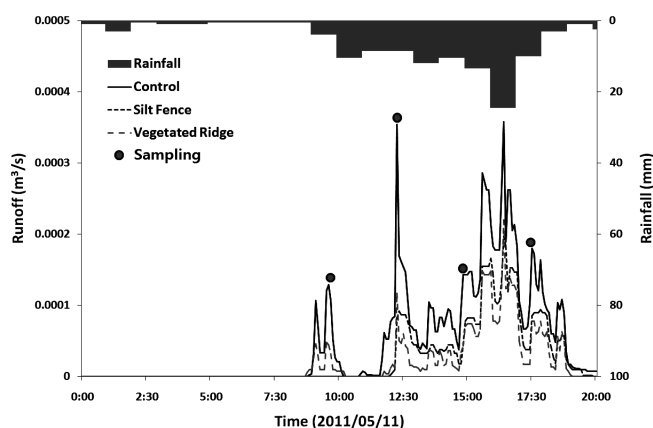


Fig. 5 Sampling time with hyetograph and hydrograph for storm event of 2011/05/11

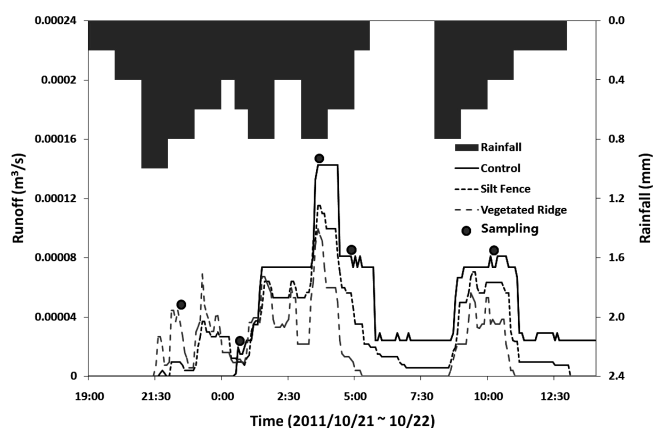


Fig. 7 Sampling time with hyetograph and hydrograph for storm event of 2011/10/21 ~ 10/22

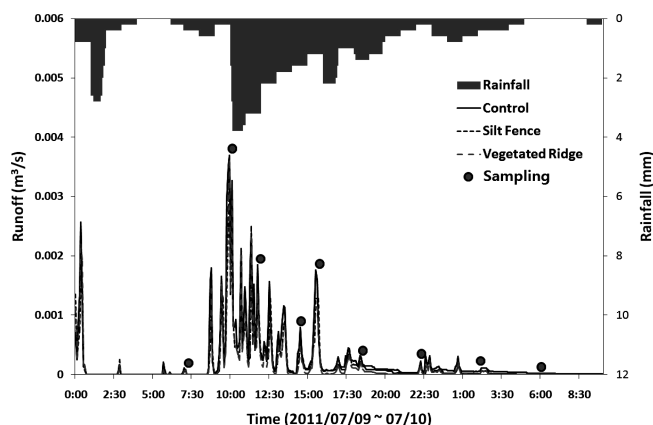


Fig. 6 Sampling time with hyetograph and hydrograph for storm event of 2011/07/09 ~ 07/10

2. 시험구별 오염물질 농도에 따른 동일성 검정

각 시험구별로 산출된 유출수의 수질항목별 오염물질 농도에 대해 분산분석 (Analysis of Variance, ANOVA)을 실시하여 오염물질에 따른 시험구 간의 유의성을 확인하고자 하였다.

분산분석을 실시하기 전 각 데이터들의 정규성 검정과 등분산 검정을 실시하여 데이터들이 정규분포와 똑같은 분산을 갖는지에 대한 검정을 실시하여야 하는데, 본 연구에서 정규성 및 등분산 검정을 실시한 결과 정규성 및 등분산성을 가지지 않는 것으로 나타났다. 따라서 각 처리에서 데이터들이 정규성과 등분산을 만족하지 않을 경우 사용하는 비모수적 검정 중 3집단 이상에 대한 분포의 동일성 검정 시 사용하는 크루스칼-왈리스 검정 (Kruskal-Wallis test)을 적용하였다 (Kim, 2010).

Table 2 Kruskal-Wallis test of water quality parameters from plots

Kruskal-Wallis test	BOD	SS	Turbidity	TOC	TP	TN	COD
Chi-square	2.162	1.992	1.641	0.185	0.066	3.231	1.089
Degree of freedom	2	2	2	2	2	2	2
Asymptotic significance	0.339	0.369	0.440	0.912	0.967	0.199	0.580

크루스칼-왈리스 검정을 실시한 결과 대조구 및 각 처리구의 오염물질 농도별 유의확률값이 모두 0.05를 초과하여 오염물질 농도별 대조구 및 각 처리구 간의 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다 (Table 2). 이는 샘플자료의 수는 적은 반면, 강우량의 변동에 따른 각 수질항목의 분산이 매우 크기 때문인 것으로 추정된다.

3. 오염 부하량 산정

강우 유출수의 수질항목별 평균 EMC의 조사 결과 대조구에 비해 실트펜스와 식생발두렁에서의 저감효과가 있는 항목과 없는 항목이 불규칙 적으로 나타나는 것을 확인 할 수 있었다 (Table 3).

3회의 강우사상 중 10월 21일~22일의 결과의 경우 앞서 설명한 강우 유출수 조사과정에서 문제가 있었던 것으로 나타나 이상값으로 결정 하였고, 마지막 평균 산출에서 제외하였다.

각 시험구에 따라 오염물질 농도에 대한 차이가 있어 일정 기

간에 각종 오염원으로부터 배출되는 유출수의 수질분석 항목들의 농도를 단순 비교한 결과 실트펜스 및 식생발두렁의 비점오염물질 저감효과가 항목별로 큰 차이를 보여 정확한 저감효과를 판단하는데 문제가 있는 것으로 나타났다. 따라서 각 강우사상별 유출량을 고려한 상대적인 비교를 통해 실트펜스 및 식생발두렁의 저감효과를 분석하기 위하여 오염 부하량을 산정하였다 (Table 4).

강우 유출수에서 분석된 유출량과 수질농도 값을 이용하여 오염 부하량을 산정한 결과, 5월 11일의 오염 부하량과 7월 9일~10일의 오염 부하량의 경우 대조구에 비해 실트펜스 및 식생발두렁을 설치한 처리구에서 오염 부하량이 저감하는 것을 확인 할 수 있었다.

하지만 10월 21일~22일의 오염 부하량의 경우 실트펜스를 설치한 처리구에서는 일부 수질항목에서 오염 부하량이 저감되는 효과가 나타났으나 식생발두렁을 설치한 처리구에서는 저감 효과가 거의 나타나지 않고 오히려 오염 부하량이 증가한 항목이 대부분인 것으로 나타났는데, 이는 앞서 설명한 바와 같이 강우 유출수 조사과정에서 문제가 있었기 때문으로 사료된다.

Turbidity의 경우 유출량과 측정 단위가 달라 오염 부하량 산정에서 제외하였다.

Table 5에서는 실트펜스 및 식생발두렁 설치 시 어느 정도의 오염 부하량 저감효과가 있는지를 대조구와의 비교를 통해 백분

Table 3 Water quality parameters reduction in silt fence and vegetated ridge for storm events (2011) (Unit : %)

Date	Experimental plot	SS	TN	TP	Turbidity	BOD	COD	TOC
2011/5/11	Silt fence	93.44	54.12	51.54	10.55	30.39	- 28.15	7.61
	Vegetated ridge	42.62	68.60	- 5.70	- 148.51	60.78	- 6.98	4.66
2011/7/9~7/10	Silt fence	38.40	- 26.45	17.51	15.44	20.41	18.51	- 9.55
	Vegetated ridge	32.49	65.46	30.15	- 22.26	26.42	7.91	- 9.16
2011/10/21~10/22	Silt fence	44.64	66.99	36.89	- 42.08	24.11	28.32	- 2.29
	Vegetated ridge	- 101.09	79.36	- 157.84	- 520.91	- 44.11	- 89.29	- 86.77
Mean	Silt fence	65.92	13.84	34.53	13.00	25.40	- 4.82	- 0.97
	Vegetated ridge	37.56	67.03	12.22	- 85.39	43.60	0.47	- 2.25

Table 4 Pollutant load in each experimental plot for storm events (2011) (Unit : kg/event)

Date	Experimental plot	SS	TN	TP	BOD	COD	TOC
2011/5/11	Control	0.0266	0.0280	0.0021	0.0013	0.0039	0.0028
	Silt fence	0.0009	0.0067	0.0005	0.0005	0.0026	0.0014
	Vegetated ridge	0.0065	0.0037	0.0009	0.0002	0.0018	0.0011
2011/7/9~7/10	Control	3.2949	0.0101	0.0018	0.0296	0.0478	0.0233
	Silt fence	1.5123	0.0095	0.0011	0.0176	0.0290	0.0190
	Vegetated ridge	1.4882	0.0023	0.0009	0.0146	0.0294	0.0170
2011/10/21~10/22	Control	0.6337	0.0161	0.0006	0.0027	0.0039	0.0041
	Silt fence	0.3161	0.0048	0.0004	0.0018	0.0025	0.0038
	Vegetated ridge	1.0582	0.0028	0.0013	0.0032	0.0061	0.0064

Table 5 Pollutant load reduction in silt fence and vegetated ridge plot for storm events (2011) (Unit : %)

Date	Experimental plot	SS	TN	TP	BOD	COD	TOC
2011/5/11	Silt fence	96.56	75.97	74.62	63.54	32.87	51.60
	Vegetated ridge	75.72	86.71	55.26	83.40	54.72	59.65
2011/7/9 ~ 7/10	Silt fence	54.10	5.78	38.54	40.70	39.28	18.37
	Vegetated ridge	54.83	76.89	53.27	50.77	38.39	26.96
2011/10/21 ~ 10/22	Silt fence	50.13	70.26	43.14	31.63	35.42	7.84
	Vegetated ridge	- 66.97	82.87	- 114.09	- 19.66	- 57.16	- 55.08
Mean	Silt fence	75.33	40.87	56.58	52.12	36.07	34.99
	Vegetated ridge	65.27	81.80	54.26	67.09	46.55	43.30

Table 6 Spearman's rank correlation coefficient of water quality parameters from plots

		BOD	SS	Turbidity	TOC	TP	TN	COD
BOD	I	1	0.497	0.498	- 0.331	- 0.501	- 0.450	0.431
	II		0.685**	0.493	0.036	- 0.511	- 0.537	- 0.041
	III		0.857**	0.601*	0.033	- 0.501	- 0.839**	0.333
SS	I	1	0.927**	- 0.537	- 0.229	- 0.497	0.455	
	II		0.848**	- 0.052	- 0.382	- 0.667*	0.344	
	III		0.797**	- 0.231	- 0.270	- 0.742**	0.511	
Turbidity	I	1	- 0.534	- 0.204	- 0.484	0.627*		
	II		- 0.159	- 0.006	- 0.500	0.462		
	III		- 0.553*	- 0.354	- 0.524	0.176		
TOC	I	1	0.003	- 0.091	0.070			
	II		- 0.211	- 0.451	0.423			
	III		0.088	- 0.098	0.297			
TP	I	1	0.568*	- 0.148				
	II		0.576*	0.191				
	III		0.642*	0.485				
TN	I	1	- 0.534					
	II		- 0.269					
	III		- 0.206					
COD	I	1						
	II							
	III							

I : control, II : silt fence, III : vegetated ridge

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

위 단위로 나타내었다.

오염 부하량의 평균 저감효과를 나타내기 위한 전체 강우사상에 대한 평균을 산출함에 있어서 Table 2에서 수질항목별 평균 EMC의 전체 평균을 산정할 때와 같이 10월 21일~22일의 결과는 강우 유출수 조사과정에서 문제가 있었던 것으로 판단하고 평균 산출에서 제외하였다.

강우사상의 각 수질 항목별 평균 오염 부하량 저감효과를 살펴보면 실트펜스를 설치한 처리구의 경우 SS 75.33 %, TN 40.87 %, TP 56.58 %, BOD 52.12 %, COD 36.07 %, TOC 34.99

%의 저감효과가 있었고, 식생발두령을 설치한 처리구에서는 SS 65.27 %, TN 81.80 %, TP 54.26 %, BOD 67.09 %, COD 46.55 %, TOC 43.30 %의 저감효과가 나타났다. 이는 시험구에 설치한 실트펜스로 인해 강우 발생시 유출수에 포함되어 있는 오염물질이 일정부분 차단되고, 식생발두령을 설치한 시험구 내에서 유출수의 유속감소로 인하여 유사가 퇴적되어 시험구 밖으로 유출되는 유사량이 대조구에 비해 줄어들어 실트펜스 및 식생발두령 처리구에서 오염 부하량 저감효과가 나타난 것으로 판단된다.

4. 수질분석 항목간의 상관분석

각 강우사상에서 발생한 유출수의 수질분석 결과를 토대로 오염물질간의 상관관계를 구하기 위하여 먼저 데이터들의 정규성 검정을 실시하였으나 정규분포를 따르지 않는 것으로 나타나 비모수적 상관관계 검정방법 중 스피어만 상관계수 (Spearman's rank correlation coefficient)를 구하여 대조구, 실트펜스 및 식생발두령을 설치한 처리구별로 상관분석을 실시하고 상관계수를 나타내었다 (Table 6). 상관분석 과정에서도 마지막 강우사상인 10월 21~22일의 결과값은 제외하였다.

대조구의 경우 Turbidity-COD와 TP-TN의 상관계수가 각각 0.627과 0.568로 유의수준 0.05에서 유의함을 나타내었고, SS-Turbidity의 관계에서 상관계수가 0.927로 유의수준 0.01에서 유의함을 나타내었다.

실트펜스를 설치한 처리구에서는 SS-TN의 상관계수가 -0.667로 음의 상관관계를 가지며 TP-TN의 관계에서 상관계수가 0.576로 유의수준 0.05에서 유의한 것으로 나타났고, BOD-SS와 SS-Turbidity의 상관계수가 각각 0.685와 0.848로 유의수준 0.01에서 유의한 것으로 나타났다.

마지막으로 식생발두령을 설치한 처리구에서는 Turbidity-TOC의 상관계수가 -0.553으로 음의 상관관계를 가지며 BOD-Turbidity와 TP-TN의 상관계수가 각각 0.601과 0.642로 유의수준 0.05에서 유의성이 있는 것으로 나타났고, BOD-TN과 SS-TN의 상관계수가 각각 -0.839와 -0.742로 강한 음의 상관관계를 가지며 BOD-SS와 SS-Turbidity의 상관계수가 각각 0.857과 0.797로 유의수준 0.01에서 유의한 것으로 나타났다.

III. 요약 및 결론

본 연구에서는 밭에서 발생하는 비점오염 저감을 위해 실트펜스 및 식생발두령을 적용하여 유출수의 오염 부하량 저감효과를 평가하고자 하였다. 비점오염 저감효과를 평가하기 위해 총 6개의 시험구에 대조구, 실트펜스 및 식생발두령을 각각 2개소씩 설치하였고, 작물의 재배량, 재배면적 등을 고려하여 봄무 및 가을 배추를 재배작물로 선정하여 실험을 실시하였다.

시험구별 오염물질 농도에 따른 분산분석을 실시한 결과 각 시험구에 따라 오염물질 농도에 대한 차이는 없는 것으로 나타났으며 오염물질 농도의 크기는 강우량과 강우강도, 유출량의 변화에 따라 큰 편차를 나타내었다. 이는 샘플자료의 수는 적은 반면, 강우량의 변동에 따른 각 수질항목의 분산이 매우 크기 때문인 것으로 추정되며, 향후 추가적인 모니터링 및 데이터 수집을 통해 그 차이를 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 비점오염물질 저감시설을 설치한 시험포에서의 오염물질

저감효과를 오염 부하량 산정을 통해 나타내었다. 2011년 조사 기간 동안의 평균 오염 부하량 저감효과를 살펴보면 실트펜스를 설치한 처리구의 경우 SS 75.33 %, TN 40.87 %, TP 56.58 %, BOD 52.12 %, COD 36.07 %, TOC 34.99 %의 저감효과가 있었고, 식생발두령을 설치한 처리구에서는 SS 65.27 %, TN 81.80 %, TP 54.26 %, BOD 67.09 %, COD 46.55 %, TOC 43.30 % 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

총 3회의 강우사상 중 10월 21일~22일의 식생발두령을 설치한 처리구의 경우 각 수질항목들의 농도가 다른 강우사상에 비해 지나치게 크게 나타났는데, 이는 유출수 채취과정에서 주변의 토사 및 부유물질이 유입되었기 때문인 것으로 사료되며, 이러한 경우 정확한 오염 부하량 측정이 어려우며, 채취시간이 길어질수록 주변 오염물질이 유입될 가능성이 높아지기 때문에 향후 정확한 실험을 위해서는 유출수 채취시 수질에 영향을 미칠 수 있는 주변 요소들의 차이가 필요할 것이다.

오염물질들 간의 상관분석을 실시한 결과 실트펜스 및 식생발두령을 설치한 처리구에서 BOD와 SS, SS와 Turbidity 항목이 서로 상관성을 가지는 것으로 나타났고, 모든 시험구에서 SS와 Turbidity 항목이 높은 상관성을 가지며, TP와 TN 항목이 서로 상관성을 가지는 것으로 나타났다.

본 연구의 결과와 같이 실트펜스와 식생발두령을 설치하였을 경우 밭에서 발생하는 비점오염물질을 저감 시키는데 매우 효과적인 것으로 나타났으며, 향후 지속적인 모니터링과 자료 축적을 통해 오염저감시설 설치를 통해 유출수를 통한 비점오염물질의 배출을 최소화시켜 수질 개선에 기여할 뿐만 아니라 향후 우리나라 농업에 적합한 최적영농관리기술 개발에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구는 농림수산식품부와 한국농어촌공사 농어촌연구원 에서 지원하는 “새만금유역 농업비점오염저감기법개발 공동 연구 - 제 3과제 밭 비점오염 저감 및 최적관리기법 개발”과 제의 일환으로 수행 되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Cho, E. I., and Y. D. Lee. 2008. Runoff Characteristics of Non-point Pollutants at Ongpo and Chunmi Stream Watershed in Jeju Area. *Journal of Korean Society of Water Science and Technology* 16(2): 39-48 (in Korean).
2. Choi, J. Y., and E. S. Shin. 1997. The Study on Urban Non-Point Pollution Management. Korea Environment Institute.

3. Environment Agency. 2007. The unseen threat to water quality. Diffuse water pollution in England and Wales report.
4. Joo, J. H., Y. S. Jung, J. E. Yang, Y. S. Ok, S. E. Oh, K. Y. Yoo, and S. C. Yang. 2007. Assessment of Pollutant Loads from Alpine Agricultural Practices in Nakdong River Basin. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 26(3): 233-238 (in Korean).
5. Kim, C. R. 2010. PASW Data Analysis. Gyeonggi: 21st century company.
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. Kim, J. S., S. Y. Oh, K. S. Kim, and S. K. Kwun. 2001. Characteristics of Pollutants Concentrations at Paddy Field Areas during Irrigation Periods. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 43(6): 163-173 (in Korean).
8. Kim, S. W., I. S. Choi, and J. M. Oh. 2008. Best Buffer Width of Riparian Buffer Zone using a Pilot with Different Plant Species for Reduction of Non-point Pollutant Loading. *Journal of Environmental Impact Assessment* 17(1): 1-9 (in Korean).
9. KOSIS. 2008. Agricultural Area Census. Korean Statistical Information Service. http://kosis.kr/common/meta_oned_epth.jsp?vwcd=MT_ZTITLE&listid=F1G.
10. Lee, J. Y., C. M. Marla, J. Y. Choi, J. U. Lee, and L. H. Kim. 2009. Washoff Characteristics of NPS Pollutants from Artificial Grassland. *Journal of Korean Wetlands Society* 11(3): 145-151 (in Korean).
11. MOE. 2006. Nonpoint source pollution control manual. Ministry of Environment (in Korean).
12. Park, T. Y., S. J. Kim, J. R. Jang, K. W. Choi, and S. M. Kim. 2011. A Plot Scale Experiment to Assess the NPS Reduction of Sediment Trap for Non-irrigated Cropland. *Journal of Agriculture & Life Science* 45(5): 97-103 (in Korean).
13. Shin, M. H., C. H. Won, Y. H. Choi, J. Y. Seo, and J. D. Choi. 2010. Simulation of Generable Nutritive Salts by Artificial Rainfall Simulator in field -By Varying Amount of Fertilization and Slope-. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 52(3): 31-38 (in Korean).
14. 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).
15. Won, C. H., Y. H. Choi, M. H. Shin, D. S. Shin, D. G. Kang, and J. D. Choi. 2011. Runoff Characteristics of NPS Pollution of Field in Rainy Season. *Journal of Korean Society on Water Quality* 27(5): 572-579 (in Korean).