



소규모 침사구를 이용한 밭의 비점오염원 저감 효과 분석

Analysis of Reduction of NPS Pollution loads using the small sediment trap at field

신민환* · 임경재* · 장정렬** · 최용훈* · 박운지* · 원철희* · 최중대*†

Shin, Min Hwan · Lim, Kyoung Jae · Jang, Jeong Ryeol Choi, Yong Hun

Park, Woon Ji · Won, Chul Hee · Choi, Joong Dae

ABSTRACT

Various Best Management Practices (BMPs) have been suggested to reduce Nonpoint source pollutant loads from agricultural fields. However, very little research regarding water quality improvement with sediment trap has been performed in Korea. Thus, effects of sediment trap were investigated in this study. Three sediment traps were installed at the edge of six plots and flow and water quality of inflow and outflow were monitored and analyzed. It was found that approximately 64.1 % of flow reduction was observed. In addition, pollutant concentration of outflow was reduced by 39.0 % for BOD₅. For SS, COD_{Mn}, DOC, T-N, T-P, approximately 62.1 %, 43.4 %, 43.5 %, 40.0 %, and 41.2 % reduction were observed, respectively. Over 80 % and 90 % of pollutant loads were reduced from sediment trap #2 and #3 because of less outflow from plots covered with rice straw/straw mat. In case of intensive rainfall events occurred from July 26~29, 2011, over 60 % of pollutant and 88.9 % of sediment reduction were observed from sediment trap #3. As shown in this study, small sediment traps could play important roles in reducing pollutant loads from agricultural fields. If proper management practices, such as rice straw/straw mat, are used to protect surface from rainfall impacts and rill formation, much pollutant reduction could be expected.

Keywords: NPS; Runoff; Sediment trap; Soil erosion; Surface cover material

1. 서 론

강우시 발생하는 비점오염물질은 다양한 오염물질을 포함하고 있으며, 이로 인한 오염물질은 하수처리장에서 배출되는 오염물질보다 매우 높은 것으로 나타난다 (Sartor and Buchberger, 1997). 특히 논이나 밭 등의 농경지에서 발생하는 오염물질은 비료와 퇴비 등의 사용량이 많으며, 하천의 탁수오염을 발생시키는 토양유실과 함께 배출되기 때문에 비점오염부하가 상대적으로 높게 평가되고 있다. 또한 밭의 경우 경사가 심하고, 작물을 재배하지 않는 기간에는 나시상태로 방치되어 있어, 강우시 다량의 토사와 함께 유기물질 등의 비점오염물질이 유출되기 쉽다. 우리나라 농경지 (논과 밭) 면적을 살펴보면 국토의 약 18 %를 차지하고 있으며, 밭이 차지하는 면적은 757,502 ha로 약 42 %

를 차지하고 있다 (Statics Korea, 2011). 이 중 전 국토의 약 7.6 %를 차지하고 있는 밭은 장마철이나 집중호우에 의해 하천의 탁수문제를 유발할 뿐만 아니라, 수생태계에도 악영향을 미치기 때문에 밭에서 발생하는 비점오염원을 저감시켜야 한다 (Gentry et al., 2000). 이러한 비점오염원을 줄이기 위한 방법으로는 식생대와 등고선 경작, 식생밭두렁, 멀칭, 녹비작물, 계단식 논, 식생사면 조성, 다년생 작물재배, 피복 및 경운방법 등의 최적관리방법이 있다 (Masse et al., 1996; Garcia-Orenes et al., 2009; Jin et al., 2008; Jordan et al., 2010; Shin et al., 2011a). 여러 최적관리방법을 다시 구조물을 설치하는 구조적인 방법과 구조물의 설치가 없는 비구조적인 방법으로 구분할 수 있다. 비구조적 방법으로는 경지의 보전경운방법과 잔유물 (residue) 관리, 가축분뇨 유기비료의 적정량 사용, 주거지역의 배수로 등 청소, 친환경농법과 자연환경 보전에 관한 교육 등이 있다 (Lafond et al., 2011). 구조적인 방법으로는 인공습지나 침전지, 침사지, 침사구, 수변구역이나 완충지대의 조성, 밭경지 정리를 통한 계단식 경지의 확보, 유사방지용 사방댐 (check dam)의 건설 등이 있다. 특히, 고령지 경사농경지와 같이 경사가 급한 밭 농사지역에서는 침사지와 배수로를 설치하여 밭에서 발생하는 유사와 영양염류

* 강원대학교 농업생명과학대학 지역건설공학과

** 한국농어촌공사 농어촌연구원

† Corresponding author Tel.: +82-33-250-6464

Fax: +82-33-251-1518

E-mail: jdchoi@kangwon.ac.kr

2012년 1월 30일 투고

2012년 2월 20일 심사완료

2012년 2월 21일 게재확정

의 오염물질을 제어할 수 있다. 밭에서 배출되는 부유성 비점오염물질은 작은 웅덩이와 같이 유출수가 고일 수 있는 지역에서 침전 및 제거되어 수질개선에 기여할 수 있다. 또한 유출수의 양이 적을 경우 유출수를 저류하여 상당한 양의 비점오염물질을 제거할 수 있다 (Thaxton et al., 2004; Adams et al., 2008). 그러나 우리나라에서는 아직까지 침사구에 대한 연구나 평가가 이루어지고 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 밭에서 발생하는 비점오염물질의 유출을 저감하기 위한 여러 방법 중 침사구를 적용하여 비점오염물질 유출 저감효과를 평가하고자 하였다. 이를 위해 시험포 하단부에 소규모 침사구를 설치하였으며, 유출수와 유출수의 수질농도 그리고 유사량을 측정된 뒤, 유입수와 비교하여 침사구의 저감 효과를 분석하였다.

II. 연구방법

1. 침사구 조성 및 강우특성

밭에서 발생하는 비점오염원 저감효과를 분석하기 위해 6개 (각 110 m²)의 무밭 (이하 시험포)을 조성하여 무 재배기간 (2011년 4월부터 7월) 동안 시험포에서 발생하는 강우유출수를 1.125 m³ (1.5 m × 1.5 m × 0.5 m) 크기의 침사구로 유입되도록 하였다. 시험포에는 실제 영농방법과 동일하게 무를 재배하였으며, 밭의 지표에는 피복재를 적용하였기 때문에 각 시험포에서 발생하는

유출수의 양이 상이하였다. Fig. 1과 같이 동일하게 적용된 각 시험포 2개 (관행, 벧짚, 벧짚거적)에서 발생하는 유출수가 1개의 침사구로 유입되도록 총 3개 (#1, #2, #3)의 침사구를 설치하였다. 시험포 하단부에는 시험포에서 발생하는 오염물질의 양을 측정하기 위해 Flume과 수위계 그리고 수질자동시료채취기를 설치하여 유량과 수질농도를 측정하였다. 또한 시험포에서 발생한 유출수는 토양침투나 외부로의 유출을 차단하고, 모든 유출수가 침사구로 유입되게 하기 위해 비닐배수로를 설치하였다. 침사구로 유입된 유출수는 토양으로 침투 및 저류 또는 증발되도록 하였고, 침투능을 증가시키기 위해 침투짚단 3개를 각각 설치하였다. 침투짚단은 일반 벧짚을 이용하여 직경 약 25 cm, 길이 20 cm로 만들었으며, 침사구 표면에서 약 15 cm 깊이로 매설하였다. 강우에 의한 유출수의 양이 침사구의 용량보다 클 경우 침사구 유출부를 통해 유출되도록 하였다. 이때 시험포와 동일하게 유출부에 Flume과 수위계 그리고 수질시료채취를 위한 샘플러 (카속턴 휠)를 설치하여 유량과 수질농도를 측정하였다. 강우시 시험포에서 발생하여 침사구로 유입되는 유입수와 침사구에서 유출되는 유출수의 경로는 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서와 같이 시험포와 침사구 사이에 시험포에서 유입수 측정에 고려되지 않은 외부유입수 면적 (비닐배수로와 시험포 하단부의 둑)이 포함되어 있어 침사구의 유출량 저감효과를 산정할 때에는 강우량과 외부 유입수 면적을 고려한 유입량을 차감하여 산정하였다.

비점오염물질은 건기시 다양한 형태의 오염원으로 존재하고 있다가 강우에 의해 유출이 발생할 경우 강우유출수와 함께 하천

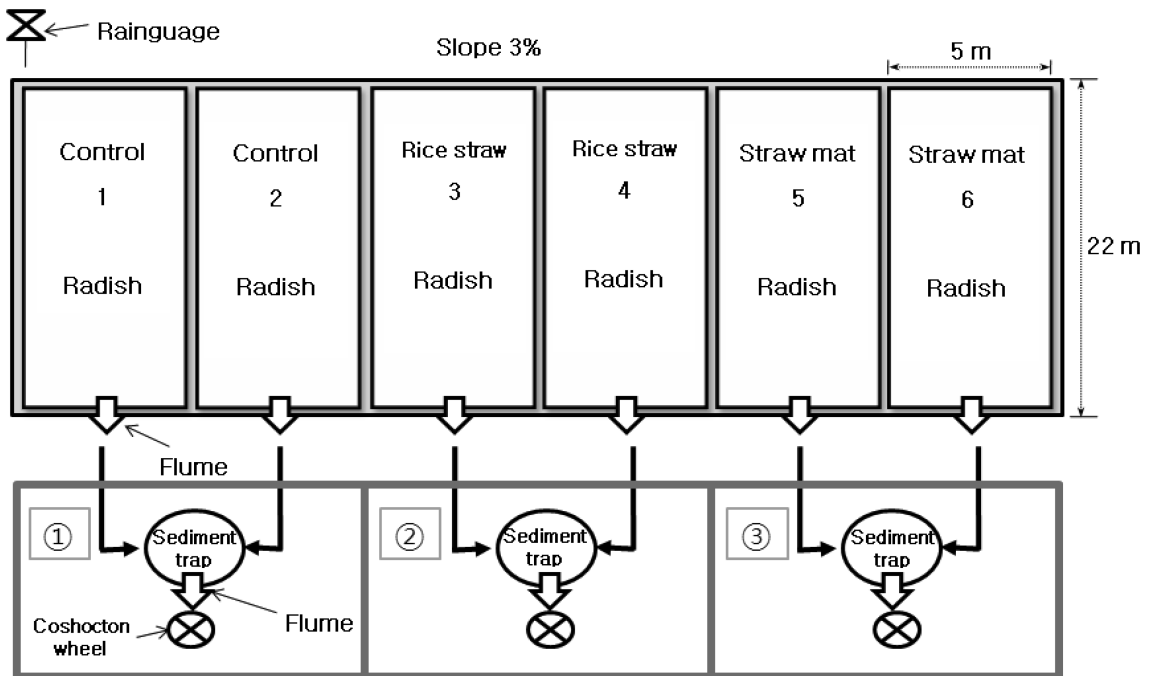


Fig. 1 Sketch of the runoff plot and monitoring equipment



Fig. 2 Route of inlet and outlet discharge at sediment trap

으로 유입되어 수질 및 수생태계에 악영향을 끼친다. 이때 발생하는 오염물질은 강우에 의한 영향이 가장 크기 때문에 연구지역의 강우 특성 분석하는 것은 비점오염물질 저감대책을 위한 가장 우선적으로 선행되어야 한다. 따라서 본 연구가 수행된 춘천지역의 기상청 자료를 이용하여 30년 평균 연 강수량을 분석하였다.

2. 강우유출수와 부하량 산정

시험포에서 유출되어 침사구로 유입되는 유입수와 침사구에서 용량을 초과하여 유출되는 유출수에 대한 부하량을 비교하여 침사구의 비점오염 저감효과를 분석하기 위해 유량과 수질농도를 측정하였다. 유입수와 유출수의 유량은 Flume을 통해 통과하는 수량의 수위를 측정하여 Shin et al., (2011b)이 산정한 수위-유량곡선을 이용하여 유량으로 환산하였다. 수위측정은 밭의 경우 강우에 의한 유출량의 변화가 크기 때문에 Ministry of Environment (2009)에서 제시하는 강우유출수 조사방법의 측정간격보다 적은 5분 간격으로 측정하였다. 수질분석은 시험포의 경우 유출지속시간에 따라 30분~2시간 간격으로 채취하였으며, 침사구는 카속턴 휠을 통해 수집되는 유출수를 채취하였다. 채취된 수질시료는 수질오염공정시험방법에 따라 BOD₅, SS, COD_{Mn}, DOC, T-N 그리고 T-P 등을 분석하였다 (Ministry of Korea, 2001). 측정된 유출량과 수질농도를 이용하여 Event mean concentration(EMC)와 오염부하를 산정하였으며, 오염부하 산정 방법은 식 (2)와 같다 (Shin et al., 2009). 유출이 발생하지 않은 침사구는 EMC를 0으로 산정하여 저감효과를 평가하였다.

$$Q = 1.639H^{2.627} \quad (R^2 = 0.993) \quad (1)$$

여기서 Q는 유량 (m³/s)이고, H는 수위 (m)이다. R² 값이 0.993

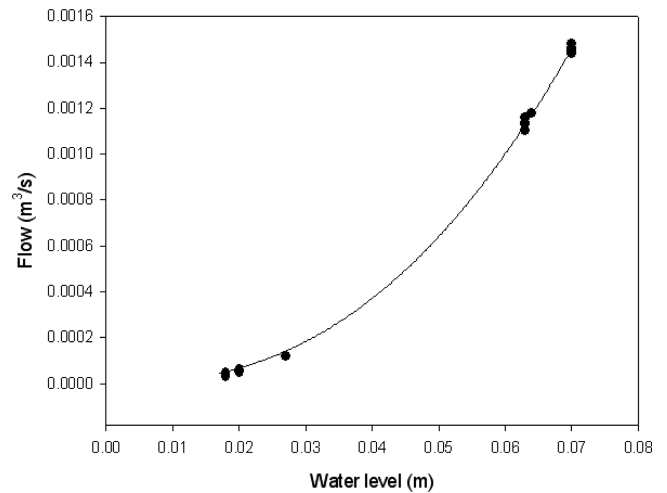


Fig. 3 Rating-curve (Shin et al., 2011b)

으로 매우 높게 나타나 수위-유량곡선 식을 이용하여 수위를 유량으로 환산하는 방법에는 큰 문제가 없는 것으로 나타났다.

$$Pollutant\ load(g/110m^2) = \sum_{i=1}^n c_i q_i t_i \quad (2)$$

여기서, c_i는 i번째의 농도이고, q_i는 구간유량, t_i는 $\frac{1}{2}(t_{i+1} - t_{i-1})$ 에 해당하는 i번째 샘플로써 표현되는 시간 구간이다.

3. 토양시료 분석 및 토양유실량 산정

연구에 사용된 시험포의 토양분석을 위하여 각 시험포에서 지그재그형으로 10개 지점에서 약 1 kg씩 총 10개의 시료를 채취하여 혼합한 뒤 1개의 복합시료로 만든 시료를 채취하였다. 또한 침사구에 퇴적되는 토양을 채취하여 입도분석시험 (KS F 2309)과 비중시험 (KS F 2308)을 실시한 뒤 미국농무성 (USDA)에 따라 시험포와 퇴적토의 토성을 분리하였다.

강우유출수는 토사와 함께 침사구에서 저류되어 증발 및 침투를 통해 저감되고, 유출량이 침사구의 용량을 초과할 경우 굽은 입자의 토양만이 가라앉고 침사구 유출부 (Flume)를 통해 유출된다. 본 연구에서는 각 시험포 (No. 1~6)에서 강우에 의해 발생한 강우유출수와 함께 유실되는 토양의 양을 측정하여 토양유실의 저감효과를 분석하고자 하였다. 토양유실량 산정방법은 시험포에서 발생한 강우유출수의 유출량과 SS 농도를 이용하여 산정한 부하량을 무게로 환산한 양과 강우유출이 끝난 뒤 침사구에 축적되는 토양의 무게와 함수비를 측정된 결과로 산정한 양을 합한 값을 시험포의 토양유실량으로 산정하였다. 이때 침사구에서 유출된 유출량과 SS 수질농도를 이용하여 산정한 양은 침사

구에서 유출된 토양유실량으로 산정하였다. 시험포의 토양유실량과 침사구의 토양유실량의 차를 이용하여 침사구의 토양유실량 저감효과를 산정하였다. 침사구에 퇴적된 토양시료는 토양의 퇴적량을 측정하기 위하여 침사구의 토양을 제거할 수 있는 수분상태가 되었을 경우 제거하였다. 이는 침사구의 표면을 막는 세립자의 부유물질을 제거하여 침투효과를 증대하기 위한 목적도 있다. 토양제거는 연구기간 동안 총 4번 (2011년 7월 6일, 7월 20일, 7월 26일, 8월 24일) 측정 하였다. 또한 시험포와 침사구에 퇴적된 토양의 입도분석을 실시하여 토양의 20 μm 이하의 입자 제거 효율을 측정하였다. 측정방법은 각 침사구의 입도 분석 결과에서 20 μm 이하의 입자가 차지하는 비율을 산정하였으며, 침사구의 20 μm 이하 입자의 저감율로 계산하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 연구구역의 강우특성

춘천지역의 30년 평균 연 강우량은 1,298.7 mm로 우리나라 전국평균 1,307.7 mm (1981~2010년)와 비슷한 것으로 나타났으며 (Korea Meteorological Administration, 2011), Shin et al. (2011b)의 연구결과에 따르면 춘천지역의 경우 하루에 100 mm 이상의 집중호우가 연 1.5회 발생한다고 하였다. 특히 비점오염원의 배출이 상대적으로 높은 50~100 mm 사이의 일강우량은 연강우량의 23.8 %를 차지한다고 하였다. 본 연구에서 연구기간 동안 (2011년 3월~7월) 분석한 강우량은 12.8~538.2 mm (평균 83.3 mm)의 강우범위로 연구구역의 오염물질이 발생할 수 있는 강우량에 대한 대부분의 강우계급을 분석한 것으로 나타났다. 또한 본 연구에서 측정된 결과는 강우에 의해 밭에서 유출이 발생한 강우사상만을 분석한 횟수에 포함한 결과로써, 유출이 발생하지 않은 10 mm 이하의 강우량 까지 포함한다면 연구구역에 발생할 수 있는 모든 강우량에 대해 분석한 결과라고 볼 수 있다. 특히 최근 기후변화로 인해 폭우성 강우가 급증하고 있기 때문에 본 연구와 같이 밭에서 강우에 의한 비점오염물질 유출특성을 분석하기 위해서는 100 mm 이상의 강우에 의한 유출특성도 고려하여 분석할 필요가 있을 것으로 판단된다.

2. 침사구의 유입 및 유출량

침사구로 유입된 강우사상은 Table 1과 같이 관행시험포 침사구 (#1)를 기준으로 연구기간 동안 총 16회가 유입이 되었으며, 침사구로 유입된 후 침사구의 용량을 초과하여 Flume을 통해 유출이 발생한 강우사상은 총 14회였다. 유출이 발생하지 않은 2회의 강우사상에 대해서는 침사구의 저감효과가 100 % 인 것으로 간주하였다. 시험포에서 유출되어 침사구로 유입된 유입량은

0.002~79.166 m^3 (평균 5.816 m^3)으로 나타났으며, 유입량이 가장 많은 관행시험포 침사구 (#1)를 기준으로 분석한 유출량은 유출이 발생하지 않은 0부터 538.2 mm의 강우에 의해 발생한 82.1 m^3 의 범위로 나타났다. 강우량과 면적을 고려한 침사구의 유출률은 0~0.693의 범위로 나타났으며, 침사구로 유입된 외부유입수는 0.098~4.131 m^3 로 나타났다. 침사구에 의한 유출량 저감효과는 유입수가 가장 많은 관행지구시험포 침사구 (#1)가 1.4~100 % (평균 33.1 %)의 저감효과가 나타났고, 벗짚 시험포 침사구 (#2)가 15.1~100 % (평균 71.5 %), 유입수가 가장 적은 벗짚거적시험포 침사구 (#3)는 26.4~100 % (평균 91.5 %)의 저감효과가 나타났다. 3개의 침사구 저감효과를 종합해 보면 평균 64.1 %의 유출량 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 동일한 크기 3개의 침사구 유입량을 기준으로 유출량 저감율을 그래프로 나타낸 결과는 Fig. 4와 같다. 그림과 같이 #2와 #3 침사구의 경우 유입량이 적을 경우 대부분 100 %에 가까운 저감효과가 나타났으며, 유입량이 많은 #1 침사구의 경우는 뚜렷한 경향이 나타나지 않았다. 이는 강우강도와 강우량에 의한 침사구의 유입량과 침사구 토양의 함수비에 영향을 미치는 선행무강우 일수에 의한 영향으로 보여진다. 연구기간 2011년 4~7월 동안 총 1,332 mm의 강우가 발생하고, 장마철 기간이 길 경우는 #1과 같이 침사구의 저감효과가 적어질 수 있으나, 강우량이 적거나 집중호우 기간이 짧으면 #2와 #3과 같이 침사구의 저감효과가 커질 것으로 판단된다. 또한 신민환 등 (2011b)의 연구와 같이 지표피복재를 이용하여 밭에서 발생하는 비점오염원을 줄이고, 추가적으로 본 연구와 같이 침사구를 적용한다면 많은 양의 비점오염원을 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

Fig. 5의 (a)~(c)는 강우시 침사구 (#1, #2, #3)에 고인 유입수, 그리고 (d)~(f)는 강우 종료 후 24시간 동안 침투와 증발이 발생한 뒤 침사구의 수위변화를 나타낸다. 그림에서 보는바와 같이 동일한 크기의 침사구 3개에 유입된 유입량이 조금씩 차이가 난 것을 알 수 있으며, 강우종료 후 24시간이 지나면 침사구의

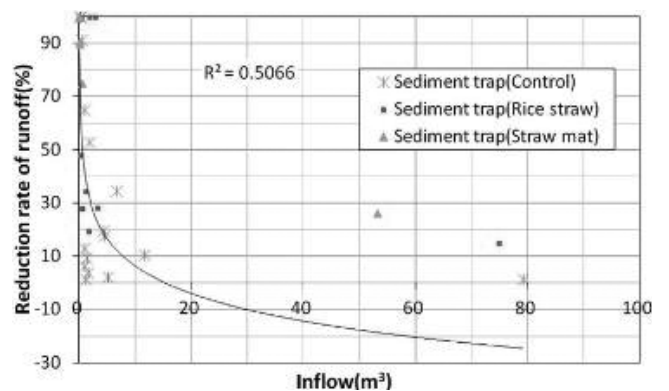


Fig. 4 Reduction rate of runoff by sediment trap

Table 1 Description of storm event each of the sediment trap

Sediment trap	#1	#2	#3	#1	#2	#3	#1	#2	#3	#1	#2	#3
Date	4.30			5.9			5.9~5.10			6.23~6.24		
Rainfall (mm)	65			35			49.4			76.8		
External inflow (m ³)	0.499			0.269			0.379			0.589		
Inflow (m ³)	0.176	0.002	0.000	0.317	0.031	0.002	4.455	2.863	0.022	1.739	0.136	0.014
Runoff (m ³)	-	-	-	0.050	-	-	3.979	-	-	1.095	-	-
Rate of runoff	-	-	-	0.007	-	-	0.366	-	-	0.065	-	-
Reduction rate of runoff (%)	100.0	100.0	100.0	91.4	100.0		17.7	100.0	100.0	53.0	100.0	100.0
Sediment trap	#1	#2	#3	#1	#2	#3	#1	#2	#3	#1	#2	#3
Date	6.25~6.26			6.27			6.29			7.3		
Rainfall (mm)	89.8			21.2			137.4			77.6		
External inflow (m ³)	0.689			0.163			1.055			0.596		
Inflow (m ³)	6.613	1.811	0.019	0.047	0.000	0.000	11.581	3.291	0.452	4.280	1.183	0.091
Runoff (m ³)	4.772	-	-	0.000	-	-	11.305	3.118	0.377	3.916	1.166	0.064
Rate of runoff	0.242	-	-	0.000	-	-	0.374	0.103	0.012	0.229	0.068	0.004
Reduction rate of runoff (%)	34.6	100.0	100.0	100.0	100.0		10.5	28.2	75.0	19.7	34.4	90.7
Sediment trap	#1	#2	#3	#1	#2	#3	#1	#2	#3	#1	#2	#3
Date	7.7			7.8			7.11			7.12		
Rainfall (mm)	29.6			44.2			27.6			26		
External inflow (m ³)	0.227			0.339			0.212			0.200		
Inflow (m ³)	0.855	0.280	0.003	1.581	0.345	0.006	0.905	0.119	0.004	0.822	0.222	0.004
Runoff (m ³)	0.377	-	-	1.846	-	-	1.047	-	-	0.889	0.220	-
Rate of runoff	0.058	-	-	0.190	-	-	0.172	-	-	0.155	0.038	-
Reduction rate of runoff (%)	65.2	100.0	100.0	3.9	100.0	100.0	6.3	100.0	100.0	12.9	47.8	100.0
Sediment trap	#1	#2	#3	#1	#2	#3	#1	#2	#3	#1	#2	#3
Date	7.14			7.15			7.16			7.26~29		
Rainfall (mm)	75			12.8			27			538.2		
External inflow (m ³)	0.576			0.098			0.207			4.131		
Inflow (m ³)	5.012	1.712	0.101	1.205	0.478	0.037	1.282	0.405	0.010	79.166	74.877	53.156
Runoff (m ³)	5.468	1.845	0.070	1.283	0.416	-	1.349	-	-	82.111	67.115	42.160
Rate of runoff	0.331	0.112	0.004	0.456	0.148	-	0.227	-	-	0.693	0.567	0.356
Reduction rate of runoff (%)	2.1	19.4	89.6	1.5	27.9	100.0	9.4	100.0	100.0	1.4	15.1	26.4

용량 1.125 m²에 저류되어 있던 유입수가 모두 침투 및 증발로 인해 저감 된 것을 알 수 있다. 이와 같이 시험포에서 발생하는 강우유출수가 침사구의 용량을 초과하지 않으면, 밭에서 발생하는 비점오염원을 저감시키는데 매우 효과적인 것을 알 수 있다. 또한 침사구에 퇴적된 세립자의 토양만큼 시험포에서 발생한 세립자의 부유물질을 하천으로 유입되지 않게 막을 수 있을 것으로 판단되며, 이로 인해 하천의 탁수문제나 수생태계에 미치는 악영향을 줄 일 수 있는 것으로 판단된다. 그러나 Fig. 5의 (d)와 같이 세립자의 부유물질이 침사구 토양의 공극을 막아 침사구의 비점오염물질 저감효과가 줄어들 수 있다. 따라서 침사구의 저감효과를 높이기 위해서는 침투짚단을 설치하거나 주기적으로 침사구 표면의 흙 제거 및 교란을 통해 토양의 공극을 확보함으

로써 침사구의 침투효율을 유지 및 관리 할 필요가 있는 것으로 보여진다.

3. 수질농도 및 부하량

Table 2는 시험포에서 발생한 침사구의 유입수와 침사구에서 발생한 유출수의 수질농도 (EMC) 및 수질농도 저감율을 나타냈다. 산정 결과 BOD₅ 39.0 %, SS 62.1 %, COD_{Mn} 43.4 %, DOC 43.5 %, T-N 40.0 %, T-P 41.2 %의 수질농도 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 그러나 저감효과 산정결과가 유출수가 발생하지 않은 강우유출수의 저감효과가 100 %로 산정된 결과가 합산된 결과로서, 시험포에서 발생한 유출수의 수질농도 보다

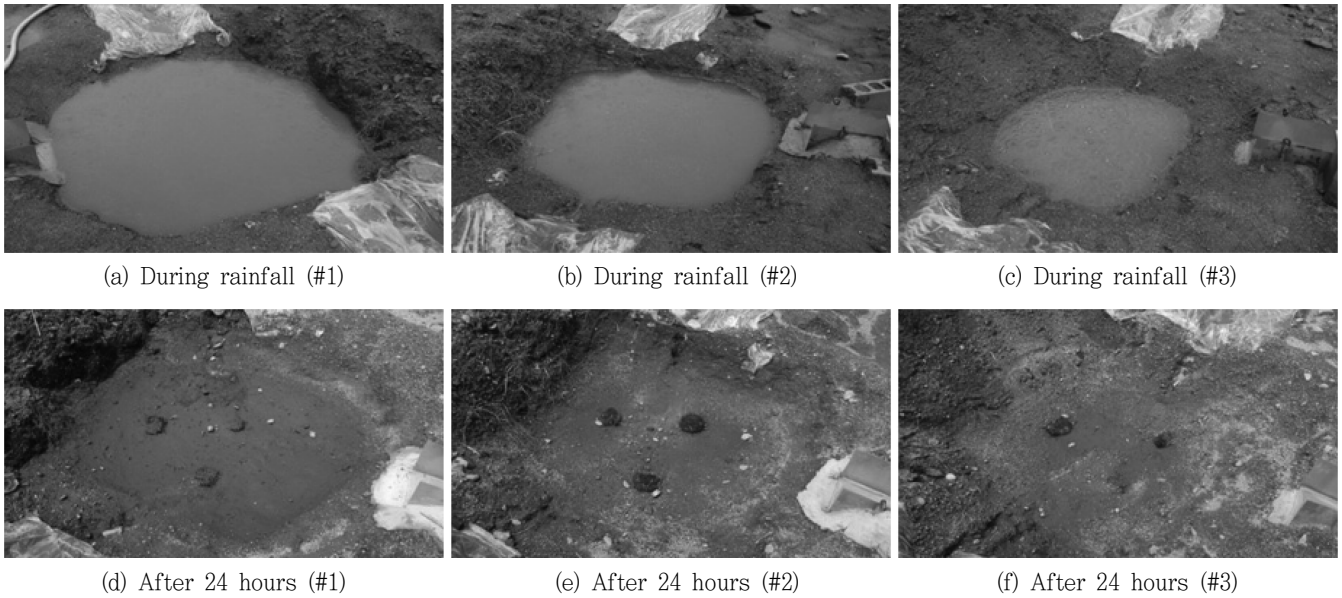


Fig. 5 Changes of the water level in sediment trap

Table 2 Inflow and Outflow Concentration and Reduction rate of water quality by sediment traps (Unit: %)

Item	Sediment trap	BOD ₅	SS	COD _{Mn}	DOC	T-N	T-P
Ave. of Inflow Con. (mg/L)	#1	11.2	490.7	22.0	2.383	16.215	1.444
	#2	12.9	289.9	21.4	2.605	14.618	1.155
	#3	7.2	140.0	16.1	1.842	12.050	0.826
	Ave.	10.4	306.9	19.9	2.277	14.294	1.142
Ave. of Outflow Con. (mg/L)	#1	9.1	226.2	20.0	1.979	14.672	1.378
	#2	9.7	201.9	17.6	3.118	16.175	1.278
	#3	7.2	213.9	14.5	1.908	12.371	1.284
	Ave.	8.7	214.0	17.4	2.335	14.406	1.313
Ave. of Reduction rate (%)	#1	-7.9	39.4	-5.9	14.9	-6.4	-7.1
	#2	53.0	70.2	63.2	44.8	56.6	59.5
	#3	76.5	78.9	77.1	74.7	74.3	75.5
	Ave.	39.0	62.1	43.4	43.5	40.0	41.2

Table 3 Reduction rate of pollutant loads by sediment traps (Unit: %)

Reduction rate	BOD	SS	COD _{Mn}	DOC	T-N	T-P
#1	16.9	47.4	7.4	26.2	4.8	1.9
#2	83.8	87.7	85.4	81.1	84.4	83.9
#3	95.5	96.1	94.3	95.7	94.4	94.1
Ave.	65.4	77.1	62.4	67.6	61.2	60.0

침사구에서 발생한 유출수의 수질농도가 항상 낮게 나타나진 않았다. 이는 침사구에서 발생하는 유출수는 강우강도와 강우량이 매우 높을 경우에만 침사구의 용량을 초과하여 유출이 발생하기 때문에 카속틴 휠로 유입되는 유출수의 농도에 큰 오염물질이 포함되었기 때문으로 판단되며, 이에 반해 시험포에서 발생한 유출수는 강우강도가 높지 않아도 유출이 발생하며 일정한 간격으로 수질시료를 채취하였기 때문에 시험포의 EMC 농도가 낮은 경우가 발생한 것으로 판단된다. 따라서 침사구의 저감효과를 높이기 위해서는 침사구의 크기를 크게하여 침사구에 저류되는 시간을 증가시키거나, 침투량을 높일 수 있는 방안을 검토해야 할

것으로 판단된다.

본 연구에서 3개의 침사구에 의해 저감된 오염부하량은 Table 3에서 보는바와 같이 3개의 침사구 중 유입량이 많고, 수질농도의 저감효과가 적었던 #1 침사구의 경우 SS를 제외한 다른 수질항목의 부하량은 저감효과가 적은 것으로 나타났다. 이는 장마철 발생한 강우로 인해 유출량 저감효과와 수질농도 저감효과가 줄어들었기 때문으로 판단되며, SS 항목은 시험포에서 발생한 굵은 입자들이 침사구에 가라앉으면서 다른 수질항목들에 비해 높은 저감효과가 나타난 것으로 판단된다. 그러나 유출량이 적었던 #2와 #3의 침사구에서는 모든 수질항목에서 각각 80%와 90% 이상의 저감효과가 나타났다. 이는 침사구의 용량을 초과하지 않는 범위에서의 강우유출수가 발생한 경우 강우유출수가 침사구에 의해 모두 제거되었기 때문이다. 특히 7월 26~29일에 발생한 538.2 mm의 집중호우에도 #3 침사구에서 평균 60% 이상의 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 이처럼 밭에서 발생하는 비점오염원을 줄이기 위해서는 침사구와 Shin et al. (2011b)이 적용한 피복재 등의 최적관리기법을 혼용하여 적용할 경우 탁월한 저감

효과를 나타낼 수 있을 것으로 판단된다.

Table 4~5는 SAS 9.2 통계프로그램을 이용하여 각 인자들에 대한 상관관계를 분석한 결과이다. Table 4는 침사구에서 발생하는 강우유출수의 강우량과 유출물 그리고 수질농도의 상관관계를 나타냈으며, Table 5는 침사구에서 발생하는 강우유출수의 강우량과 유출물 그리고 오염부하의 상관관계를 나타냈다. 분석결과 강우량은 유출물과 상관관계수가 0.6798으로 가장 높은 상관관계를 나타냈으며, TP를 제외한 모든 수질 항목에서의 상관관계는 낮은 것으로 나타났다. 이를 바탕으로 침사구에서 유출되는 수질농도는 강우량의 영향이 크지 않은 것으로 판단된다. 그

러나 유출물과 수질 농도는 BOD₅ 항목을 제외한 모든 항목과 보통의 상관관계가 있는 것으로 나타났으며, TP와의 상관관계수가 0.6157로 가장 높은 것으로 나타났다. 수질항목들 사이에는 높은 상관관계가 나타났으며, 특히 COD_{Mn} 항목과 BOD₅ 항목의 상관관계수가 0.9334로 가장 높게 나타났고, SS 항목과 BOD₅ 항목의 상관관계수는 0.5916로 가장 낮은 상관관계를 보였다. 강우량과 오염부하는 모든 수질 항목에서 상관관계수 0.8 이상으로 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 또한 유출물과 오염부하의 상관관계도 0.7 이상의 높은 상관관계수를 보였으며, 수질항목 별 오염부하의 상관관계도 상관관계수가 0.9 이상으로 높은 상관관계가 있었다. 따라서 침사구에서 발생하는 오염부하는 강우량과 유출물에 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

Table 4 Correlation of water quality

N= 47	Rainfall	Runoff rate	SS	COD _{Mn}	BOD ₅	TN	TP	DOC
Rainfall	1	0.6798 <.0001	0.1234 0.4085	0.1842 0.2153	0.1364 0.3606	0.1470 0.3242	0.4764 0.0007	0.2870 0.0505
Runoff rate		1	0.4190 0.0034	0.4211 0.0032	0.3398 0.0194	0.4516 0.0014	0.6157 <.0001	0.5308 0.0001
SS			1	0.6172 <.0001	0.5916 <.0001	0.6893 <.0001	0.8493 <.0001	0.7617 <.0001
COD				1	0.9334 <.0001	0.9194 <.0001	0.7403 <.0001	0.8021 <.0001
BOD					1	0.8173 <.0001	0.6287 <.0001	0.8134 <.0001
TN						1	0.7731 <.0001	0.8759 <.0001
TP							1	0.7836 <.0001
DOC								1

4. 토양유실량

입자크기의 분포는 흙의 풍화의 정도, 광물질의 종류 또는 지질적인 운반과정 등에 의해 현저히 다르다. 입도분석을 통한 결과는 시험포의 토양 중 입경이 20 μm 이하의 세립자를 얼마나 포함하고 있는지를 확인 할 수 있다. 시험포의 토양시료를 채취하여 체분석을 통한 입도분석을 실시 한 결과 6개의 시험포 모두 흙의 삼각좌표에 의한 분류 방법에 의해 사질흙 (sandy loam)으로 나타났으며, 시험포 1과 2의 20 μm 이하 가적통과율은 14.8 %, 3과 4는 12.5 %, 그리고 5와 6은 14.9 %인 것으로 나타났다. 강우에 의해 시험포에서 발생한 토양유실량을 산정한 결과는 Table 5와 같다. Table 5와 같이 시험포 1과 2에서 발생한 유실량은 203.3 kg으로 산정되었다. 이 중 침사구 #1에 퇴적된 양은 171.2 kg, 시험포에서 발생한 유실량은 32.2 kg이다. 이때 침사구 #1에서 배출된 유실량은 26.3 kg으로 침사구에 의한 토양유실량 저감율은 87.1 %, 20 μm 이하 입자의 저감율은 57.0 %인 것으로 나타났다. 또한 3과 4 시험포에서 발생한 유실량은 95.6 kg으로 산정되었다. 이 중 침사구 #2에 퇴적된 양은 80.1 kg, 시험포에서 발생한 유실량은 15.5 kg이다. 이때 침사구 #2에서 배출된 유실량은 12.4 kg으로 침사구에 의한 토양유실량 저감율은 87.1 %, 20 μm 이하 입자의 저감율은 53.6 %인 것으로 나타났다. 그리고 벧짚거적으로 인해 유실량이 가장 적었던 5와 6 시험포에서 발생한 유실량은 62.4 kg으로 산정되었다. 이 중 침사구 #3에 퇴적된 양은 55.9 kg, 시험포에서 발생한 유실량은 6.5 kg이다. 이때 침사구 #3에서 배출된 유실량은 4.6 kg으로 침사구에 의한 토양유실량 저감율은 92.7 %, 20 μm 이하 입자의 저감율은 70.4 %인 것으로 나타났다. 이처럼 시험포에서 발생한 유사량은 지표의 피복 여부에 따라 발생량이 상이한 것으로 나타났으며, 발생량이 적을 경우 침사구에 의해 유사량의 저감효과도 매우 클 것으로 판단된다. 이처럼 밭에서 발생하는 토

Table 5 Correlation of pollutant loads

N= 47	Rainfall	Runoff rate	SS	COD _{Mn}	BOD ₅	TN	TP	DOC
Rainfall	1	0.6798 <.0001	0.9138 <.0001	0.9145 <.0001	0.8433 <.0001	0.9597 <.0001	0.9167 <.0001	0.9066 <.0001
Runoff rate		1	0.7668 <.0001	0.7527 <.0001	0.7279 <.0001	0.7566 <.0001	0.7288 <.0001	0.7322 <.0001
SS			1	0.9872 <.0001	0.9456 <.0001	0.9740 <.0001	0.9851 <.0001	0.9550 <.0001
COD				1	0.9767 <.0001	0.9828 <.0001	0.9967 <.0001	0.9840 <.0001
BOD					1	0.9329 <.0001	0.9696 <.0001	0.9805 <.0001
TN						1	0.9833 <.0001	0.9735 <.0001
TP							1	0.9860 <.0001
DOC								1

Table 6 Reduction rate of soil loss by sediment trap

Sediment trap	Plot 1 and 2	Plot 3 and 4	Plot 5 and 6
Sediment deposition (kg)	171.2	80.1	55.9
Suspend Solid of Plot (kg)	32.2	15.5	6.5
Sum (kg)	203.3	95.6	62.4
Suspend Solid of Sediment trap (kg)	26.3	12.4	4.6
Reduction rate of soil loss (%)	87.1	87.1	92.7
Reduction rate below 20 um (diameter) of soil loss (%)	57.0	53.6	70.4

양유실량을 저감시키기 위해서는 본 연구와 같이 밭의 지표층을 벗겨내거나 다른 피복재 등으로 피복하여 오염부하량을 저감하고, 토양의 이동을 최소한으로 줄여야 할 것으로 판단되며, 유출이 발생할 경우 밭의 유출부에 작은 웅덩이와 같은 침사구를 설치하여 하천으로 유입되는 오염물질을 저감해야 할 것으로 판단된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 밭에서 발생하는 비점오염물질의 유출을 저감하기 위해서 밭의 유출부에 작은 웅덩이(침사구)를 적용하여 비점오염물질 유출 저감효과를 평가하고자 하였다.

1. 강우량과 면적을 고려한 침사구의 유출률은 0~0.693의 범위로 나타났으며, 평균 64.1 %의 유출량 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

2. 수질농도의 경우 BOD₅ 39.0 %, SS 62.1 %, COD_{Mn} 43.4 %, DOC 43.5 %, T-N 40.0 %, T-P 41.2 %의 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

3. 유출량과 수질농도를 고려한 오염부하 저감효과는 유출량이 적었던 #2와 #3의 침사구에서 모든 수질항목에서 각각 80 %와 90 % 이상의 저감효과가 나타났다. 특히 7월 26~29일에 발생한 538.2 mm의 집중호우에도 #3 침사구에서 평균 60 % 이상의 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

4. 침사구에 의한 유사량 저감은 평균 88.9 %의 저감효과가 있는 것으로 나타났으며, 20 μm 이하의 입자도 60.3 %의 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

본 연구의 결과를 바탕으로 밭에서 발생하는 비점오염물질 저감을 위해 밭의 유출부에 작은 웅덩이와 같은 침사구를 설치할 경우 비점오염을 저감하는데 매우 효과적인 것으로 판단된다. 또한 강우유출수가 적을 경우 침사구에 의한 유사량의 저감효과도 매우 클 것으로 판단된다. 따라서 밭에서 발생하는 비점오염원을 줄이기 위해서는 본 연구와 같이 밭의 지표층을 벗겨내거나 다른 피복재 등으로 피복하여 토양의 이동을 최소한으로 줄여 오염부하

량을 저감하여야 할 것으로 판단되며, 유출이 발생할 경우 밭의 유출부에 작은 웅덩이와 같은 침사구를 설치하여 하천으로 유입되는 오염물질을 저감해야 할 것으로 판단된다. 그러나 아직까지 침사구를 설치함에 따라 발생할 수 있는 문제점 등을 분석하지 않아, 추가적인 연구를 통해 침사구의 적정 규모나 유지관리 방법을 조사해야 할 것으로 판단된다.

본 연구는 농림수산식품부와 한국농어촌공사 농어촌연구원 에서 지원되는 “새만금유역 농업비점오염 저감기법 개발 연구”의 일환으로 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Adamas, S., R. Leonard, and D. Salzmann, 2008. Erosion and Sediment control manual. city of Portland, Oregon.
2. Garcia-Orenes, F., A. Cerda, J. Mataix-Solera, C. Guerrero and M. B. Bodi, 2009. Effects of agricultural management on surface soil properties and soil-water losses in eastern Spain. *Soil & Tillage Research*, 106: 117-123.
3. Gentry, L. E., M. B. David, K. M. Smith-Starks, and D. A. Kovacic, 2000. Nitrogen fertilizer and herbicide transport from tile demand fields. *Journal of Environmental Quality*, 29(1).
4. Jin, K., Cornelis, W. M., Gabriels, D., Schiettecatte, W., Neve, S. D., Lu, J., Buysse, T., Wu, J., Cai, D. Jin. J. and R. Harmann, 2008. Soil management effects on runoff and soil loss from field rainfall simulation. *CATENA*, 75: 191-199.
5. Jordan, A., Zavala, L. M. and J. Gil, 2010. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *CATENA*, 81: 77-85.
6. Korea Meteorological Administration, 2011. <http://www.kma.go.kr/> (in Korean).
7. Lafond, G. P., F. Walley, W. E. May, and C. B. Holzapfel, 2011. Long term impact of no-till on soil properties and crop productivity on the Canadian prairies. *Soil & Tillage Research*. 117: 110-123.
8. Masse, L., N. K. Patni, P. Y. Jui, and B. S. Clegg, 1996. Tile effluent quality and chemical losses under conventional and no tillage: II. Atrazine and metolachlor. *Trans. ASAE* 39: 1673-1679.

9. Ministry of Environment, 2001. *Official test methods for water pollution* (in Korean).
10. Ministry of Environment, 2009. *Method of Runoff Investigation*. (in Korean).
11. Sartor, J. D., and S. G. Buchberger, 1997. Partitioning and first flush of metals in urban roadway storm water, *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, 123(2): 134-143.
12. Shin, M. H., C. H. Won, W. J. Park, Y. H. Choi, J. Y. Shin, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2011a. Surface Cover Application for Reduction of Runoff and Sediment Discharge from Sloping Fields. *Journal of korean Society of Agricultural Engineers*. 53(6): 129-136. (in Korean).
13. Shin, M. H., C. H. Won, W. J. Park, Y. H. Choi, J. Y. Jang, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2011b. Analysis of the Reduction Effect on NPS Pollution Loads by Surface Cover Application. *Journal of korean Society of Agricultural Engineers*. 53(4): 29-37. (in Korean).
14. Shin, M. H., J. Y. Seo, Y. H. Choi, J. G. Kim, D. S. Shin, Y. J. Lee, M. S. Jung, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2009. Evaluation of LOADEST Model Applicability for NPS Pollutant loads Estimation from Agricultural Watershed. *Journal of korean Society on Water Quality*. 25(2): 212-220. (in Korean).
15. Statics Korea, 2011. <http://kostat.go.kr/> (in Korean).
16. Thaxton, C. S., J. Calantoni, and R. A. McLaughlin, 2004. Hydrodynamic assessment of various types of baffles in a sediment detention pond. *Transactions of the ASAE*. 47(3): 741-749.