



지표피복재 적용을 통한 비점오염원 저감효과 분석

Analysis of the Reduction Effect on NPS Pollution Loads by Surface Cover Application

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

Shin, Min Hwan · Won, Chul Hee · Park, Woon Ji · Choi, Young Hun

Jang, Jeong Ryeol · Lim, Kyoung Jae · Choi, Joong Dae

ABSTRACT

Effect of rice straw mat and wood shaves on the reduction of runoff and nonpoint source (NPS) pollution loads from field plots were experimentally studied. Three runoff plots of 5×22 m in size and 3 % in slope were prepared on a loamy sand field. Each plot was equipped with a flume to measure runoff and collect water samples. Experimental treatments of surface cover were bare, wood shaves (1,000 kg/ha) and rice straw mat cover (3,000 kg/ha). Under radish was cultivation. During the growing season of the radish, three rainfall-runoff events were monitored. Effect of wood shaves and straw mat cover on runoff reduction was 4~30 % and 33~75 % respectively compared to control. The effect on NPS pollution reduction was 36.8 and 64.3 % in BOD, 41.1 and 80.8 % in SS, 34.0 and 56.1 % in TP and 28.0 and 56.6 % in TN respectively. It was analyzed that the reduction of runoff and NPS pollution were mainly contributed by the decrease of rainfall energy impact and flow velocity and the increase of infiltration due to the surface cover materials. Rice straw mat showed very stable soil cover while large portion of wood shaves were lost during heavy storm events. It was concluded that straw mat was an efficient cover material to reduce NPS pollution from upland fields.

Keywords: NPS pollution, radish, Surface cover, straw mat cover, wood shaves cover

1. 서 론

비점오염물질은 생활하수와 산업폐수, 축산폐수 그리고 환경 기초시설 방류수 등으로 발생원이 명확하고 수집하여 처리 및 관리가 용이한 오염물질이다. 그러나 비점오염물질은 배출위치가 명확하지 않으며, 도로와 대지 그리고 임야 등에서 강우시 일시적으로 대량 배출되기 때문에 처리가 쉽지 않다. 또한 비점오염물질은 우리나라 전체 수질의 40 % 이상을 차지하는 것으로 산정되었으며, Ministry of Environment (2006)에 의하면 2015년에는 전체 수질오염의 65~70 %로 증가할 것이라고 하였다. 이러한 비점오염물질의 증가를 막기 위해 환경부에서는 소양호와 임하호 등의 비점오염원 발생이 많은 유역을 비점오염원 특별 관리지역으로 지정하고 관리대책을 수립하여 비점오

염원 부하의 저감을 위한 전방위적인 노력을 하고 있다 (Ministry of Environment, 2008). 또한 토지계의 지목별로 장기적인 모니터링을 통해 비점오염부하의 정량화를 위한 노력을 하고 있으며 (Shin et al., 2007), 환경부에서도 비점오염부하를 정량적으로 산정하여 오염총량제에 사용될 수 있도록 노력을 하고 있다 (Shin, 2007).

특히 농업유역에서 강우시에 발생하는 비점오염물질은 하천의 수생태계에 큰 영향을 미치는 영향인자로 관리가 필요하다. 전국토의 25 %를 차지하는 면적에서 발생하는 농업비점오염원은 강우와 작물재배형태, 토양특성에 따라 유출형태가 변동하고, 비료와 농약의 적용시기에 따라 오염부하 유출특성이 변화하므로 오염물질 정량화가 어려운 실정이다 (Kim et al., 2008). 이를 정량화하기 위해 밭에서 발생하는 비점오염물질에 대하여 장기모니터링을 통한 정량화 연구가 진행되고 있으며 (Choi et al., 2009), 인공강우 시험기를 이용하여 벗겨피복 유무에 따른 유출량과 토양유실량의 기초실험도 이루어지고 있다 (Shin et al., 2009). 그러나 이러한 방법은 비점오염원에 대한 정량화 및 비점오염원 저감을 위한 기초조사에 불과하며, 실내 실험을 통한 연구결과는 실제 영농이나 공사현장 등의 발생원에 적용할 경우 차이가 발생할 수 있다. 또한 이러한 결과는 단지 비점오염원의

* 강원대학교 농업생명과학대학 지역건설공학과

** 한국농어촌공사 농어촌연구원

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

Fax: +82-33-244-6702

E-mail: jdchoi@kangwon.ac.kr

2011년 4월 20일 투고

2011년 6월 15일 심사완료

2011년 6월 27일 게재확정

발생량을 수치로 나타낼 뿐, 밭에서 발생하는 비점오염원을 저감시키기 위한 구체적인 방법은 제시하기 어렵다. 밭의 비점오염원 저감방법은 강우유출수의 관리와 매우 밀접하게 연결되어 있기 때문에 강우유출수의 수량과 유속을 감소시키고 소류력과 운반력을 줄이는 방법으로 비점오염원을 저감시켜야 한다. Shin et al. (2009)에 의하면 지표를 피복할 경우 빗물의 토양 침투량이 증가하고 유출량의 유속이 감소하여 유사량과 유출량의 저감효과가 있다고 하였다. 이처럼 비점오염원 저감을 위한 방법은 지표피복, 초생대와 수변구역의 조성, 초생수로, 그리고 경운 방법 등이 있다 (NRCS, 2001) 여러 저감 방법 중 우리나라 지형과 영농조건에 맞고 적용이 가능한 방법을 적용하여 밭에서 발생하는 비점오염원을 줄일 수 있어야 한다.

지표피복은 강우가 발생하였을 때 강우의 타격에너지를 완화하고, 토양으로 침투되는 침투능을 유지시키며, 유출수의 유속을 감소시킴으로 인해 토양입자의 이탈을 감소시켜 토양의 유실을 방지하고, 탁수나 비점오염물질의 발생을 억제한다. Osborn (1954)에 의하면 작물 재배시 작물에 의해 토양의 지표가 피복됨으로써 작물이 강우를 차단시켜 토양 표면의 타격력을 감소시키고, 토립의 분산 및 비산을 줄여 토양유실을 억제한다고 하였으며, Ghawi et al. (1986)은 볏짚을 이용한 지표피복은 토양으로 물의 침투량을 증가시키고 표면으로 발생하는 유출량을 감소시키는 효과적인 방법이라고 제시하였다. 또한 볏짚은 경사지에서 높은 강우강도가 발생하였을 때 토양유실과 유출량 감소에 매우 효과적인 재료로 보고되고 있다 (Lal, 1976). 그러나 Shin et al. (2009)에 의하면 볏짚이 탁수발생과 토양유실을 저감할 수 있다고 하였으나, 실험실 규모의 연구결과는 실제 영농과는 차이가 있을 수 있다고 하였다.

이에 본 연구에서는 여러 비점오염원 저감 방법 중 지표피복에 의한 밭의 비점오염원 저감효과를 분석하고자 경작지 규모의 시험포를 조성하고, 강우시 유출수 및 오염물질의 농도를 측정하여 지표피복에 의한 비점오염원의 저감효과를 분석하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 시험포 조성 및 피복재 선정

밭에서 발생하는 비점오염원의 정량화와 지표피복에 의해 저감되는 비점오염원 저감효과를 분석하기 위하여 강원도 춘천시에 시험포 밭을 조성하였다. 시험포는 Fig. 1의 모식도와 같이 3개의 시험포를 줄자와 수준 측량기를 이용하여 3%의 경사와 가로 5 m×세로 22 m의 크기로 조성하였다. 시험포 사이에는 각 시험포에서 발생하는 유출수를 구분하기 위하여 폭 0.4 m

×높이 0.2 m로 받두렁을 조성하였다. 토양의 다짐과 느슨함 그리고 작물의 성장조건을 동일하게 적용하기 위하여 로타리 작업과 이랑짓기 그리고 이랑고루기 등을 실시하였고, 각 시험포에는 가을재배용 무 (대보름) 438주를 재식거리 60 cm×45 cm 간격으로 파종하였다. 또한 무 작물이 관행적으로 이루어지고 있는 작물 재배 방법과 동일한 조건으로 연구를 수행하기 위해 Table 1과 같이 시험포 별로 퇴비와 질소, 인산, 칼리 그리고 석회와 붕사 등의 비료를 살포하였다.

본 연구에서는 선행 연구결과 (Osborn(1954); Ghawi et al. (1986); Lal (1976))를 바탕으로 볏짚거적을 실제 영농 크기의 시험포에 적용하고자 하였으며, 추가적으로 대패밥의 피복재 효과를 평가하기 위해 피복재를 적용하였다. 적용된 피복재료는 Fig. 1과 같이 1번 시험포에는 대조구 실험을 위해 지표를 피복하지 않았고 (관행시험포), 2번 시험포는 인근 농민이 사용하고 남은 대패밥 약 11 kg (1,000 kg/ha)을 골고루 시험포에 살포하였으며 (Fig. 2), 3번 시험포에는 시중에서 건설현장의 경사면에서 발생하는 토사유출을 방지하기 위한 목적으로 판매되는 볏짚거적 제품 (약 1 m×60 m)을 구매하여 시험포의 가로 (5 m) 크기에 맞게 재단한 뒤 시험포에 피복하였다(Fig. 3). 지표를 피복하기 위해 사용된 볏짚거적의 총 무게는 약 33 kg이며, 이를 단위면적당으로 환산하면 3,000 kg/ha이다.

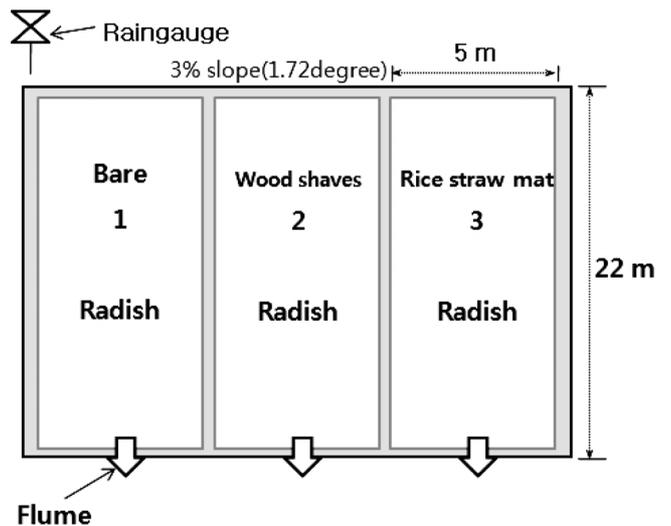


Fig. 1 Sketch of the runoff plots

Table 1 Amount of applied fertilizer for crop cultivation at the experimental site (kg/10a)

Fertilizer Crop	Compost	Nitrogen	Phosphoric acid	Potassium	Lime	Borax
Radish	3,000	9.6	12.8	12.5	100	1.5



Fig. 2 Wood shaves



Fig. 3 Rice straw mat

2. 모니터링 및 부하량 산정

각 시험포에서 발생하는 유출량을 측정하기 위하여 시험포 하단 유출부에 25 cm×30 cm (가로×세로) 크기와 약 45 °V의 H-flume을 설치하였고, 부자식 수위계 (Thalimedes)를 이용하여 H-flume을 통하여 유출되는 수량의 수위를 측정하였다. 수위는 5분 간격으로 측정을 하였으며 식 (1)과 같이 검·보정을 통하여 산정된 수위-유량 곡선식을 이용하여 유량으로 환산하였다 (Fig. 4). 또한 밭에서 발생하는 토양유실량을 측정하기 위하여 시험포 하단부에 비닐배수로와 웅덩이를 만들어 총 3번의 강우사상 동안 축적된 토사량을 측정하였다. 0.2 mm 단위로 측정이 가능한 자기우량계를 설치하여 시험포에 발생하는 강우량을 정확히 측정하고자 하였으며, 자기우량계에서 측정된 결과는 기상청에서 제공하는 강우량과 비교하여 사용하였다. 연구지점인 춘천시의 30년 강우자료를 이용하여 강우계급별 연평균 빈도와 연간 총강우량 그리고 강우사상 당 강수량을 분석하였다.

오염부하량 산정을 위해 flume을 통하여 유출되는 유출수를 채취하여 수질시료를 분석하였다. 분석항목은 BOD₅, SS, COD_{Mn}, DOC, T-N 그리고 T-P 등을 수질공정시험법(Ministry of Environment, 2001)에 따라 분석하였다. 측정된 유출량과 수질농도를 이용하여 오염부하를 산정하였으며, 오염부하 산정 방법은 식 (2)와 같이 같다(Shin et al., 2009).

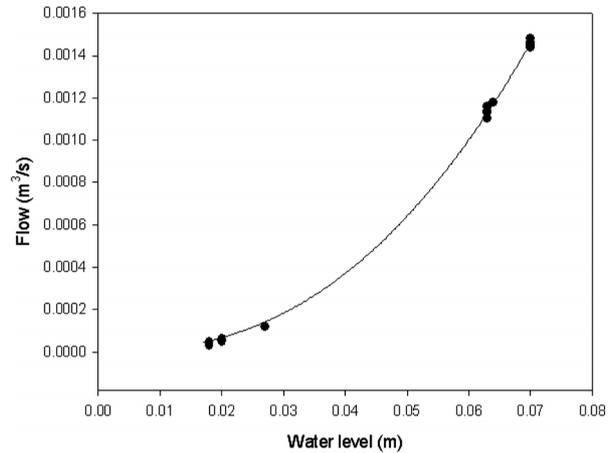


Fig. 4 Rating-curve

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

여기서 Q는 유량 (m³/s)이고, H는 수위 (m)이다. R² 값이 0.993으로 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. 생산성 및 효율성 분석

무밭에 대패밥과 벧짚거적을 피복하였을 때 피복재로 인하여 토양의 수분변화와 온도변화 그리고 영양물질 함유량 등에 악 영향을 준다면 피복재를 사용할 수 없기 때문에 피복재의 적용성을 평가하기 위하여 무의 생산성 및 효율성을 분석하였다. 생산성 분석은 3개의 시험포에서 무를 재배한 뒤 관행시험포와 대패밥 그리고 벧짚거적을 피복한 시험포에서 수확되는 무의 수확량을 조사하여 평가하였다. 무의 생육상태를 고려하지 않고 일정한 간격으로 무를 채취한 뒤, 무의 엽장과 엽수, 엽중, 근경, 근장 그리고 근중 등을 조사하였다. 수량지수는 근중의 무게를 측정하여 환산하였고, 관행시험포에서 조사된 수확량을 100으로 보고 환산하였다. 또한 대패밥과 벧짚거적을 이용하여 피복하였을 경우 각 시험포에서 발생한 잡초를 제거하기 위해 소요되는 김매기 시간을 동일한 조건 (작업인원, 면적, 사용도구)에서 비교하여 피복재의 효율성을 평가하였다.

4. 토양시료채취 및 분석

시험포에서 사용된 토양의 특성을 분석하기 위하여 토양시료를 채취하여 분석하였다. 토양시료를 각 시험포에서 지그 재그형으로 10개 지점에서 약 1 kg씩 총 10개의 시료를 채취하여 혼합한 뒤 1개의 복합시료로 만들었으며, 각 시료에 대해 pH, 수분함량 등의 이화학적 분석을 토양오염공정시험방법에 의거하여 실시하였다 (Ministry of Environment, 2009). 그리고 발 시험포의 토성을 알아보기 위해 입도시험 (KS F 2309)과 비중 시험 (KS F 2308)을 수행하였으며, 입도분석을 통해 점토, 실트 및 모래의 함량으로 미국 농무성의 삼각좌표분류법을 이용하여 토성을 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 강우특성 분석

비점오염물질은 비강우시 식물이나 토양 등에 다양한 형태로 존재하고 있다가 강우가 발생하였을 때 토양으로 침투되지 못하면 강우유출수와 함께 하천으로 유입되며, 수질 및 수생태계에 다양한 환경수리화학적 영향을 끼친다. 즉 강우가 비점오염원에 가장 큰 영향을 미치기 때문에 비점오염원에 대한 연구는 조사 대상지역의 강우특성 연구가 선행되어야 한다. 이러한 연구는 향후 비점오염원 저감시설 설계 및 초기강우 기준 도출시 요구되는 적정 처리용량 산정에 매우 중요하게 활용된다. 또한 지표 피복재의 적용 가능성과 효율평가를 위한 중요한 자료가 된다. 따라서 본 연구에서는 시험포가 위치한 춘천시의 30년 (1976~2007년) 강우자료를 분석하여 강우계급별 연평균 빈도와 연

간 총강우량 그리고 강우사상 당 강수량을 나타내었다 (Table 2). 춘천시의 30년 평균 총 강우량은 1,298.7 mm로 나타났으며, 100 mm 이상의 많은 비가 발생한 빈도는 1.5회/연으로 나타났다. 이는 2년에 약 3회 정도 발생할 수 있는 강우량을 의미한다. 사질토와 사질양토 발 지역에서 비점오염의 배출이 상대적으로 작다고 생각되는 일강우량 50 mm 이하는 연 강우량의 59.6 %로 나타났다. 비점오염원의 배출이 상대적으로 높을 수 있는 일강우량 50~100 mm 사이는 연강우량의 23.8%로 나타났다. 그리고 비점오염원 배출이 매우 높을 수 있는 일강우량 100 mm 이상강우는 연강우량의 16.6 %로 나타났다. 본 연구에서 조사된 2010년 9월 9~12일 사이의 66시간 동안 연속적으로 발생한 강우량은 359.2 mm이고, 일 최대 강우량은 214.4 mm로 조사되었다. 연속적으로 300 mm 이상의 강우가 발생하는 빈도 뿐 아니라, 일 강우량이 200 mm 이상의 강우가 발생하는 것은 Table 2에 보는바와 같이 빈도수가 높지 않음을 알 수 있다. 강우계급의 발생빈도는 0~10 mm와 10~20 mm의 계급빈도가 가장 많은 것으로 나타났으며, 대부분의 강우계급별 연간 총 강우량은 강우계급이 커질수록 발생하는 횟수가 적기 때문에 감소하는 것으로 나타났다.

2. 토양특성

통일분류법에서는 균등계수가 4 또는 6보다 크고 곡률계수가 1~3의 범위에 있을 때 입도분포가 양호하다고 분류한다 (Jang, 2010). 본 연구에서 사용된 토양을 채취하여 분석한 결과 입도 실험 자료로 작성한 입경가적곡선의 균등계수 (Cu)는 32.1, 곡률계수 (Cg)는 1.8인 것으로 나타나 본 연구에 사용된 토양의

Table 2 Frequency of daily rainfall at Chuncheon city

Rainfall class (mm)	Annual average frequency	Total class rainfall (mm)	Rainfall per event (mm)	Rainfall class (mm)	Annual average frequency	Total class rainfall (mm)	Rainfall per event (mm)
0-10	72.42	198.9	2.7	120-130	0.03	4.0	123.1
10-20	12.81	184.9	14.5	130-140	0.23	30.6	136.3
20-30	5.97	146.7	24.7	140-150	0.29	41.8	144.0
30-40	4.03	139.9	34.7	150-160	0.06	10.1	156.0
40-50	2.35	103.3	43.7	160-170	0.03	5.2	160.5
50-60	1.94	105.9	54.9	170-180	0.06	11.3	175.7
60-70	0.84	53.9	60.9	180-190	0.00	0.0	0.0
70-80	0.73	55.1	75.7	190-200	0.03	6.4	197.6
80-90	0.71	57.1	82.4	210-220	0.06	13.8	214.0
90-100	0.39	37.7	95.8	230-240	0.03	7.7	237.2
100-110	0.45	47.6	105.6	260-270	0.03	8.4	260.0
110-120	0.16	18.5	115.5	300-310	0.03	9.9	308.5
Sum					103.7	1,298.7	-

Table 3 Physical and chemical properties of the soil

Soil texture	pH	EC (dS/m)	TN (mg/kg)	TP (mg/kg)	Exchangeable Cation (cmol/kg)			Heavy metal (mg/kg)								
					Ca	Mg	K	Al	Cr	Cu	Cd	Zn	Ni	Pb	As	Hg
Loamy sand	6.3	0.054	3,307	3,042	2.45	0.34	0.21	668	0.9	4.1	0.2	69	24	8	0.03	0.2

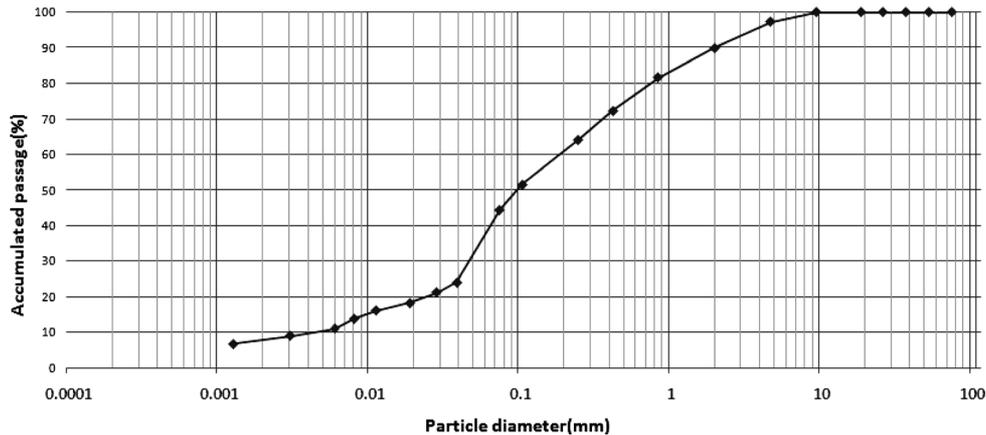


Fig. 5 Accumulated grain size distribution curve of the soil

입도분포가 양호한 것을 알 수 있었다. 그리고 입도실험결과 시험토양은 모래 (Sand) 68.0 %, 실트 (Silt) 21.5 %, 점토 (Clay) 10.5 %로 산정되었으며, 삼각분류법에 의한 밭의 토성은 양질사토 (Loamy Sand)로 나타났다 (Fig. 5). 이는 Choi et al. (1999) 이 강원도 지역에서 작물재배에 사용되는 밭이 화강암풍화토 계열로 대부분 사질 및 양질사토라고 보고한 연구내용과 유사한 결과이며, Sohn et al. (2010)이 새만금 간척지에서 밭작물 재배시험을 위해 사용한 토양의 특성과 유사한 것으로 나타났다. 토양의 pH는 6.3, EC 0.054 dS/m로서, 밭 토양의 화학성분 최적범위 (pH 6.0~6.5, EC < 2.0 dS/m)내에 있는 것으로 나타났다 (Hong et al., 2010). 이외의 교환성 양이온 및 중금속 측정 결과는 Table 3과 같다.

3. 유출량 및 토사량

밭에서 발생하는 토양유실 및 비점오염물질을 저감하기 위해 지표피복에 의한 유출량 저감효과를 분석하였다. Table 4에는 연구기간 동안 발생한 강우유출수의 조사결과를 요약하였다. 연구기간 동안 총 3차례 (2010년 9월 9~12일, 9월 21일, 10월 2~3일)의 강우사상을 관측하였다. 각 강우사상별 강우량은 각 359.2 mm, 49.0 mm, 28.8 mm이었다. 그리고 강우사상별 강우지속시간은 66 hr, 16 hr, 15 hr이었으며, 평균 강우강도는 5.44 mm/hr, 3.06 mm/hr, 1.92 mm/hr이었다. 각 시험포에서 강우에 의해 발생한 유출량과 유출률의 크기는 관행 > 대패밥 > 벚짚피복 순으로 지표를 피복하였을 때 유출량과 유출률이 감소

하는 것으로 나타났다. Fig. 6의 (a)~(b)와 같이 9월 9~12일 사이 66시간 동안 총 359.2 mm의 강우가 발생한 강우사상에서의 유출률은 0.48~0.72로 나타났다. 관행시험포를 기준으로 대패밥과 벚짚거적 시험포의 유출저감률은 16.5 %와 33.8 %로 나타났다. Fig. 6의 (c)와 같이 3.06 mm/hr의 강우강도로 49 mm의 강우가 발생한 9월 21일의 유출률은 0.37~0.57로 나타났다. 대패밥과 벚짚거적 시험포의 유출저감률은 4.3 %와 34.8 %이었다. 28.8 mm의 강우가 발생한 10월 2~3일의 강우사상에서는 3번의 강우사상 중 가장 큰 유출률 저감효과가 나타났다. 1.92 mm/hr의 강우강도로 28.8 mm의 강우가 발생하였고, 유출률은 0.03~0.10으로 나타났다. 대패밥과 벚짚거적 시험포의 유출저감률은 30.3 %와 75.8 %로 나타났다 (Fig. 6 (d)).

시험포의 면적과 경사 그리고 강우량 등의 조건이 동일한 상태에서 지표피복만을 다르게 처리하여 지표피복의 효과를 조사한 결과 대패밥과 벚짚거적으로 인해 발생한 유출량이 현저히 감소하는 것을 알 수 있었다. 총 세번의 강우사상에서 대패밥과 벚짚으로 저감된 유출량 저감효과는 대패밥을 피복한 시험포에서 약 4~30 %, 벚짚거적을 처리한 시험포에서 33~75 %의 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 강우량이 적을수록 대패밥과 벚짚거적의 효과가 큰 것으로 나타났으며, 이는 대패밥과 벚짚거적으로 인해 강우가 피복재에 흡수되고, 표면으로 발생하는 유출수의 유속감소를 통해 토양에 저류되는 시간이 증가함으로 인해 토양으로 침투하는 강우량이 많아졌기 때문으로 판단된다 (Ian et al., 1995). 본 연구결과와 같이 300 mm 이상의 매우 높은 강우사상에서도 유출량과 유출률이 현저하게 감소하는 것

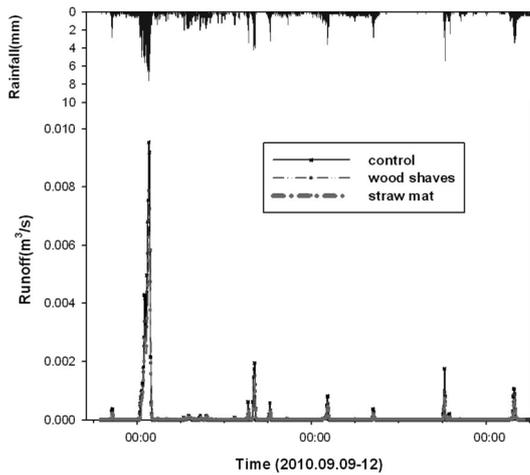
으로 나타났다. 유출량과 유출계수의 감소율은 강우량과 강우 강도가 적을수록 크게 나타나 지표피복의 효과가 높게 측정되었다.

Table 4 Results of measured runoff and runoff coefficient

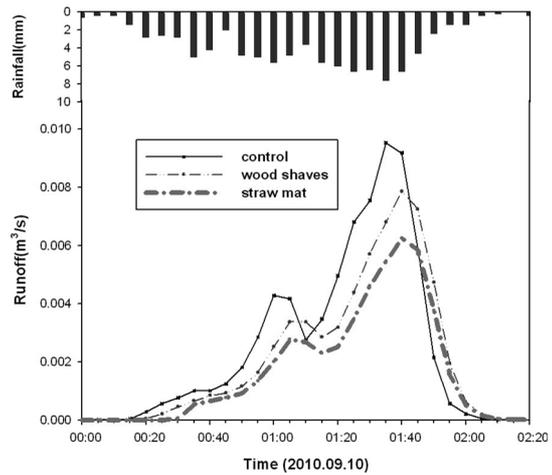
Date	2010. 9. 9~12			2010. 9. 21			2010. 10. 2~3		
Area (m ²)	110 (22 m×5 m) m ²								
Rainfall (mm)	359.2			49			28.8		
Rainfall duration (hr)	66			16			15		
Rainfall intensity (mm/hr)	5.44			3.06			1.92		
Plot Number	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Runoff (m ³)	28.5	23.8	18.9	3.02	2.89	1.97	0.33	0.23	0.08
Runoff coefficient	0.72	0.60	0.48	0.56	0.54	0.37	0.10	0.07	0.03

※ Plot number 1: Bare, 2: Wood shaves, 3: Straw mat

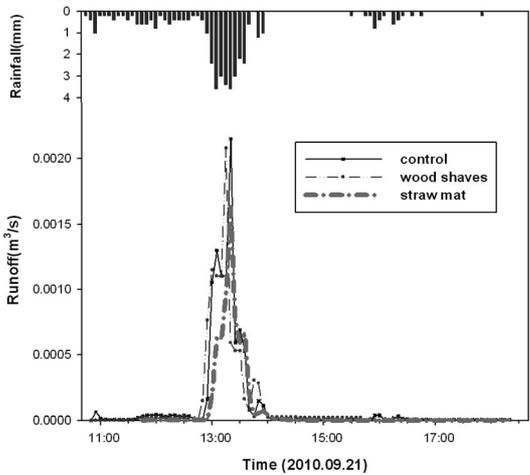
총 437 mm의 강우에 의해 발생한 토사량을 측정하여 비교하였다. 각 강우에 의해 발생된 토사량을 비교하지 않고, 영농기간 동안 총 발생한 양을 비교하였다. 여기에는 부유물질로 포함되어 유출된 유사량이 배제되었으며, 함수비를 고려하여 퇴적된 양을 비교하였다. 측정결과 관행시험포에 퇴적된 양은 164 kg, 대패밥을 처리한 시험포에서는 106 kg 그리고 벚짚거적을 피복한 시험포에서는 34 kg 인 것으로 조사됐다. 저감효과를 보면 대패밥 시험에서 35 %, 벚짚거적 시험포에서 79 %인 것으로 나타났다. 대패밥 시험포의 경우 대패밥이 강우유출수와 함께 유출된 후 웅덩이에 퇴적되었기 때문에 저감효과가 줄어든 것으로 판단된다. 본 연구의 결과와 같이 밭을 벚짚거적으로 피복 할 경우 유출량 뿐만 아니라 토양유실량을 줄일 수 있기 때문에 밭에서 발생하는 비점오염원 저감을 위한 효과적인 방법으로 판단된다.



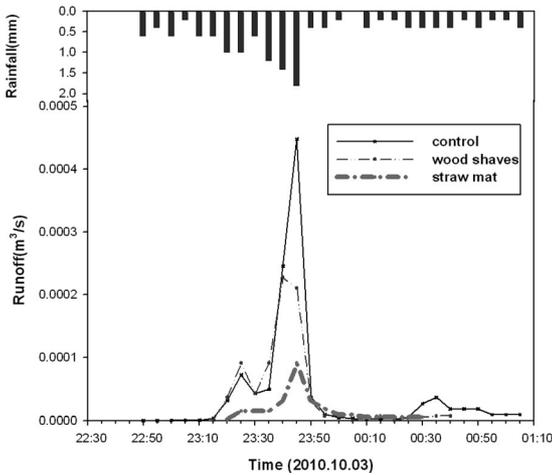
(a) 2010. 9. 9~2010. 9. 12



(b) 2010. 9. 10 (expansion (a))



(c) 2010. 9. 21



(d) 2010. 10. 3

Fig. 6 Variation graph of runoff by rainfall

4. 수질농도 및 부하량

각 시험포에서 발생하는 강우유출수를 채취하여 수질농도를 분석한 결과 BOD₅는 4.9~30.1 mg/L, SS 235.0~990.0 mg/L, COD_{Mn} 5.831~44.035 mg/L, DOC 0.832~12.335 mg/L, T-N 5.345~17.177 mg/L 그리고 T-P 2.611~20.383 mg/L의 범위로 나타났다. T-N을 제외한 대부분의 수질항목들이 강우량이 클수록 농도가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 영농활동으로 인해 토양에 시비된 비료성분들이 유출수와 함께 유출되었기 때문인 것으로 판단되며 (Joo et al., 2007), T-N 항목은 Shin et al. (2010) 연구결과와 동일하게 질소가 물에 용해되어 침투수와 함께 기저유출로 발생되었기 때문에 판단된다. 각 시험포에서 발생한 수질농도의 범위는 Choi et al. (2009) 이 배추밭에서 발생하는 강우유출수의 수질농도를 분석한 결과와 큰 차이를 보이지 않았으나, 항목별 최대값과 최소값이 상이한 것으로 나타났다. 이는 밭에서 작물을 재배할 때 필요한 비료종류와 시비량의 차이로 판단된다. 따라서 정확한 농도의 비교를 위해서는 동일한 작물과 비료량 등으로 처리하여 비교하여야 농도 발생량의 정량화가 가능 할 것으로 판단된다.

유량 및 수질농도의 측정값을 이용하여 산정한 오염부하의 값을 비교한 결과는 Table 5와 같이 큰 편차를 보였다. 이는 강우량에 의한 유출량 그리고 수질농도의 차이 때문인 것으로 판단된다. 지표피복으로 인한 오염부하의 저감효과를 분석한 결과, 관행시험포를 기준으로 대패밥과 벧짚거적을 피복한 시험포에서 각각 BOD₅ 항목은 36.8 %와 64.3 %, SS 41.1 %와 80.8 %, COD_{Mn} 42.7 %와 66.7 %, DOC 71.0 %와 80.2 %, T-N 28 %와 56.6 % 그리고 T-P 34 %와 56.1 %의 오염부하 저감효과가 나타났다. 오염부하는 유출량과 동일하게 강우가 적게 발생하였을 때 저감효과가 큰 것으로 나타났으며, 강우량이 증가할수록 저감효과가 점차 감소하는 경향을 보였다. 또한 대패밥을

이용하여 지표를 피복하였을 때 보다 벧짚거적을 이용하여 지표를 피복할 경우 오염부하량의 저감효과가 큰 것으로 나타났다. 이는 대패밥은 강우시 강우유출수와 함께 유실되어 지표의 피복율이 낮아져 강우에너지로부터 토양을 보호하는 기능이 작아지는 반면에 벧짚거적은 지속적으로 지표를 피복하며 강우에너지를 상쇄시키며 토양유실을 방지하고 토양의 침투능을 높게 유지할 수 있었기 때문에 판단된다. 따라서 지표를 피복하여 오염부하를 저감하기 위해서는 강우시 피복재의 유실이나 이동이 없는 벧짚거적을 이용하여 지표를 피복하는 것이 더 효과적일 것으로 판단된다. 이는 Shin et al. (2009)의 연구결과와 유사한 결과로써 영농활동에서 지표를 피복할 경우 유출량 저감뿐만 아니라 강우시 토양의 유실방지와 탁수를 저감시킬 수 있을 것으로 판단된다.

5. 생산성 및 효율성

대패밥과 벧짚거적을 이용하여 지표를 피복할 경우에 작물에 미치는 영향을 고려하기 위하여 지표를 피복하지 않은 시험포와 대패밥과 벧짚거적을 피복한 시험포의 수확량을 조사하였다. Table 6에서 나타난 결과와 같이 관행시험포의 수량지수를 100으로 보고 대패밥과 벧짚거적을 피복한 시험포의 수량지수를 분석한 결과 147과 153으로 나타났다. 이는 대패밥과 벧짚거적을 피복할 경우 수량이 47 %와 53 % 증가한 것이다. 이처럼 지표를 피복할 경우 생산량이 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 Fig. 7~8과 같이 지표피복으로 인해 토양의 보온효과와 토양에 필요한 영양물질들의 유실을 방지하기 때문으로 판단된다. 이러한 결과는 Faucette et al., (2004)가 토양을 피복한 뒤 인공강우 실험을 하여 유출량과 영양분의 유실량 저감효과를 비교한 결과와 유사한 것으로 나타났다.

Table 7에는 대패밥과 벧짚거적을 이용하여 지표를 피복하

Table 5 Result of pollutant loads <Unit: g/110 m²>

Surface cover \ Item	BOD ₅	SS	COD _{Mn}	DOC	T-N	T-P
Bare	6.0~33.7	186.2~867.9	6.274~39.623	2.168~16.680	5.711~14.368	2.142~21.085
Wood shaves	1.1~23.9	66.4~554.4	1.364~24.921	0.195~5.263	2.507~11.957	0.857~14.477
Straw mat	0.9~13.3	10.1~192.0	1.002~14.263	0.309~3.416	0.869~7.841	0.552~9.635

Table 6 Comparison of radish's amount of harvesting

Surface cover	Leaf lengths (cm)	Leaf number (sheet)	Leaf weight (g/plant)	Root stock (cm)	Root length (cm)	Root weight (g/plant)	Product quantity (kg/10a)	Yield index
Bare	32.6	15.5	163.8	28.6	16.3	793.3	3,158.9	100.0
Wood shaves	35.7	18.2	208.8	32.0	20.1	1,166.0	4,643.0	147.0
Straw mat	36.5	18.6	210.1	32.2	21.1	1,217.1	4,846.2	153.4



Fig. 7 Levee losses by rainfall impact



Fig. 8 Levee protection by the straw mat

Table 7 Measurement of a weeding time of the plots

Surface cover condition	Required time for removing weed (minute)s
Bare	41
Wood shaves	46
Straw mat	20

였을 때 김매기를 위한 작업 소요시간을 나타내었다. 측정은 동일한 작업인원수 3명이 동일한 면적을 김매기 하는데 소요되는 시간을 측정하였으며, 소요시간은 관행지역과 대패밥 그리고 벧짚겨적이 각각 41분과 46분 그리고 20분이 소요되었다. 대패밥을 피복한 시험포에서 가장 많은 시간이 걸리는 것으로 나타났는데 이는 대패밥으로 인해 작업이 수월하지 않았고, 김매기를 위해 사용되는 호미의 사용이 어려웠기 때문으로 판단된다. 그러나 벧짚겨적을 피복한 시험포에서는 관행지역보다 김매기를 하는데 소요되는 시간이 반으로 줄어든 것으로 나타났다. 이는 벧짚겨적으로 인해 토양이 피복되면서 잡초의 발생량이 적었고, 잡초의 발생량이 줄어들면서 잡초가 빼앗는 햇빛과 양분, 수분 그리고 공간 등의 문제가 줄어들어 시험포의 생산량에도 영향을 미친 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 무밭에서 발생하는 비점오염원을 저감하기 위하여 경작지 규모의 시험포를 조성하고, 지표를 대패밥과 벧짚겨적으로 피복하여 강우유출수를 측정하여 비교하였다. 연구결과 대패밥과 벧짚겨적으로 저감된 유출량 저감효과는 대패밥을 피복한 시험포에서 약 4~30%, 벧짚겨적을 처리한 시험포에서 33~75%의 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 오염부하의 저감효과는 관행시험포를 기준으로 대패밥과 벧짚겨적을 피복한 시험포에서 각각 BOD₅ 항목은 36.8%와 64.3%, SS 41.1%와 80.8%, COD_{Mn} 42.7%와 66.7%, DOC 71.0%와 80.2%, T-N 28%와 56.6% 그리고 T-P 34%와 56.1%로 나타났다. 오염부하는 유출량과 동일하게 강우가 적게 발생하였을 때 저감효과가 큰 것으로 나타났으며, 강우량이 증가할수록 저감효과가 점차 감소하는 경향을 보였다. 또한 대패밥을 이용하여 지표를 피복하였을 때 보다 벧짚겨적을 이용하여 지표를 피복할 경우 오염부하량의 저감효과가 큰 것으로 나타났다. 이는 대패밥과 벧짚겨적으로 인해 강우가 피복재에 흡수되고, 표면으로 발생하는 유출수의 유속감소를 통해 토양에 저류되는 시간이 증가함으로 인해 토양으로 침투하는 강우량이 많아졌기 때문으로 판단된다. 또한 벧짚겨적의 경우 강우시 피복재의 유실이나 이동이 없기 때문에 지속적으로 지표를 피복하여 강우에너지 상쇄시켜 토양유실을 방지하고, 토양의 침투능을 높게 유지하여 밭에서 발생하는 비점오염원을 저감시키는 것으로 나타났다. 지표를 대패밥과 벧짚겨적으로 피복할 경우 생산성과 효율성 측면에서 고려할 때 생산성에서는 두 피복재 모두 증가하는 것으로 나타났으나, 효율성에서는 벧짚겨적을 이용하여 지표를 피복하였을 경우에만 증가하는 것으로 나타났다. 즉 지표를 벧짚겨적으로 피복할 경우 생산성뿐만 아니라 효율성에서도 긍정적인 결과가 나타날 것으로 판단된다. 따라서 본 연구의 결과와 같이 밭의 지표면에 벧짚겨적을 피복하는 방법은 밭에서 발생하는 비점오염원을 저감하기 위한 효과적인 방법으로 판단된다.

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

REFERENCES

1. Choi, J. D., C. M. Lee, and Y. H. Choi, 1999. Effect of Land Use on the Water Quality of Small Agricultural Watersheds in Kangwon-do. *KWRA* 32(4): 501-510(in

- Korean).
2. Choi, Y. H, C. H. Won, J. Y. Seo, M. H. Shin, H. J. Yang, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2009. Analysis and Comparison about NPS of Plane Field and Alpine Field. *KSWQ* 25(5): 682-688 (in Korean).
 3. Faucette, L. B., L. M. Risse, M. A. Nearing, J. W. Gaskin, and L. T. West, 2004. Runoff, erosion, and nutrient losses from compost and mulch blankets under simulated rainfall, *Journal of Soil & Water Conservation* 59(4): 154-160.
 4. Ghawi, I. and A. Battikhi, 1986. Water melon production under mulch and trickle irrigation in the Jordan valley. *Journal of Agronomy and Crop Science* 157: 145-155.
 5. Hong, K. C., B. S. Bong, J. H. Joo, Y. S. Jung, J. E. Yang, and Y. S. Ok, 2010. Soli Organic Matter and Aggregate Stability of Sloping Uplands in Gangwon Province, Korea. *Journal of Agriculture and Life Sciences* 22: 19-24 (in Korean).
 6. Ian, P. P., E. D. William, and S. Janelle, 1995. Flow resistance and sediment transport by concentrated overland flow in a grassland valley. *Geomorphology* 13: 71-86.
 7. Joo, J. H., Y. S. Jung, J. E. Yang, Y. S. Ok, S. G. Oh, K. Y. Yoo, and S. C. Yang, 2007. Assessment of Pollutant Loads from Alpine Agricultural Practices in Nakdong River Basin, *Korea Journal of Environmental Agriculture* 26(3): 233-238 (in Korean).
 8. 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).
 9. Lal, R., 1976. Soil erosion on Alfisols in Western Nigeria II effect of mulch rates, *Geoderma* 16(5): 377-387.
 10. Ministry of Environment, 2001. Official test methods for water pollution (in Korean).
 11. Ministry of Environment Republic of Korea, 2006. Basic Plan of Water Environment Management (in Korean).
 12. Ministry of Environment Republic of Korea, 2008. Installation and Management-Operation Manual of the Non point pollution control facilities (in Korean).
 13. Ministry of Environment Republic of Korea, 2009. Official test methods for Soil pollution (in Korean).
 14. National Institute of Crop Science (NICS), <http://www.nics.go.kr>. Accessed 2011.
 15. National Resources Conservation Service (NRCS), <http://www.nrcs.usda.gov/>, Accessed 2011.
 16. Osborn, B. 1954. Effectiveness of cover on reducing soil splash by raindrop impact. *Journal of Soil and Water Conservation* 9: 70-76.
 17. Shin, D. S., 2007. Basic Monitoring Concept for Revised Unit-Load on NPS, *Journal of Korean Society on Water Quality* 23(4): 429-433 (in Korean).
 18. 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).
 19. Shin, M. H., Y. C. Shin, S. G. Heo, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2007. Analysis of Flow-Weighted Mean Concentration (FWMC) Characteristics from Rural Watersheds. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 49(6): 3-9 (in Korean).
 20. Shin, M. H., C. H. won, Y. H. Choi, J. Y. Seo, J. W. Lee and J. D. Choi, 2009. Simulation of Field Soil Loss by Artificial Rainfall Simulator -By Varing Rainfall Intensity, Surface Condition and Slope-, *Journal of the Korean Society of Water Quality* 25(5): 785-791 (in Korean).
 21. Sohn, Y. M., J. D. Song, G. Y. Jeon, D. H. Kim, and M. E. Park, 2010. Effect of Soil Salinity and Culturing Condition on the Maintenance of Ridge and the Growth of Upland Crops in the Saemangeum Recalimed Tidal Land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(5): 526-539 (in Korean).
 22. Jang, B. W. 2010. Soil Mechanics (in Korean).