



경사지 밭에서 발생하는 토양유실 저감을 위한 피복재 적용

Surface Cover Application for Reduction of Runoff and Sediment Discharge from Sloping Fields

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

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

Shin, Jae Young · Lim, Kyoung Jae · Choi, Joong Dae

ABSTRACT

To measure effects of surface cover on runoff and sediment discharge reduction using rainfall simulator, four(5 m×30 m scale) plot experiments were conducted in this study. Surface covers made with straw mat, Polyacrylamide (PAM), chaff, and sawdust were simulated 4 times under 31.1~44.4 mm/hr rainfall intensities. Compared with results from control plot, the time of runoff generation is delayed and outflow volume decreased with surface cover. Effects on runoff reduction of straw mat, PAM, sawdust and chaff ranged 4.7~81.5 % and runoff rate reduced by 6.5~76.1 % respectively, when compared with those from control plot. The percentage of decrease in sediment discharge were 99.7~99.8 % from straw mat+sawdust+PAM plots, 85.9~95.6 % from straw mat+PAM plots, and 98.5~99.4 % from straw mat+chaff+PAM plots. The runoff, sediment discharge, and SS concentration reduction efficiencies of the cover materials were outstanding when compared to control plot. It was analyzed that reduction of runoff and sediment discharge were mainly contributed by decrease in rainfall energy impact and flow velocity and increase of infiltration due to the surface cover materials. The results could be used as a base for the development of best management practices (BMPs) to reduce runoff, sediment discharge from sloping field.

Keywords: BMPs; Rainfall simulator; Runoff; Sediment discharge; Surface cover

1. 서 론

2002년도에 발생한 태풍 ‘루사’와 2006년도 태풍 ‘에위니아’는 한강상류유역의 임하호와 소양호에 심각한 탁수문제를 야기시켰다. 탁수는 하천의 생태계를 악화시키고, 수자원의 이용성을 감소시킨다. 이처럼 집중호우나 장마기간에 발생하는 비점오염원은 다양한 발생원으로 인한 처리의 어려움 때문에 수계에서의 상대적인 비중이 점차 커져가고 있다 (Ministry of Environment, 2008). 특히 비점오염원 중 농촌지역의 논이나 밭에서 발생하는 비점오염원은 농경지의 유기질 및 화학 비료의 사용이 많기 때문에 오염물질이 하천으로 유입될 경우 수계에 악영향을 미치게 된다. 밭의 경우 논에 비해 경사가 급하고, 강우가 발생하였을 때 유출량이 많아 토양유실 뿐만 아니라 비점오염부하가 매우 높게 발생한다. 밭의 오염물질은 직접유출이나 토사에 흡착되어

있다가 강우시 토사의 유실로 하천 및 지하수로 유입된다 (Choi et al., 1998). 특히 경사지 밭에서 강우에 의한 토양유실은 작물의 생산성은 물론 수계에도 영향을 주기 때문에 적절한 관리가 필요하다. 토양유실에 직접적인 영향을 미치는 요인으로는 토성, 경사도, 강우량, 강우강도, 식생피복 등이 있으며, 크게 인위적 조절이 불가능한 자연현상 (강우량, 강우강도, 강우지속시간, 토양특성)과 인위적 조절이 가능한 지표피복, 경운방법, 경사도 등으로 구분할 수 있다. 선행연구에서는 토양유실저감을 위해 인위적 조절이 가능한 완충 식생대, 등고선 경작, 식생 배수로 등의 경작방법과, 작물 잔류물에 의한 피복, 멀칭, 녹비재배, 계단식 논, 식생사면 조성, 다년생 작물재배 등의 재배 방법 등을 이용하였다 (Seo et al., 2005; Shin et al., 2009; Jordan et al., 2010; Seeger, 2007).

강우로부터 토양의 침식 저항성은 토양이 지니고 있는 내수성 입단 (Water-Stable Aggregates)의 안정성에 의존한다. 토양 내 입단형성은 토양의 통기성, 배수성, 침식성과 관련이 있으며 보수력과 배수에 아주 큰 영향을 미치게 되며 토양 유실에도 큰 영향을 미친다고 하였다 (Jung et al., 2005). Zhang et al. (1998)은 토양유실을 막기 위해 토양 입자간의 물리적, 화학적인 결합을 강화시키는 방법으로 Ca이온을 다량 함유하고 있는 인산석고를

* 강원대학교 농업생명과학대학 지역건설공학과

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

Fax: +82-33-244-6702

E-mail: jdchoi@kangwon.ac.kr

2011년 9월 19일 투고

2011년 11월 9일 심사완료

2011년 11월 9일 게재확정

와 음이온 PAM (polyacrylamide)을 혼합하여 사용하였다. Kwon et al. (2005)은 30 % 경사도의 고랭지 농경지를 대상으로 PAM을 처리하여 유출량과 유사량에 있어서 각각 최대 95 %와 97 %까지 감소시켰다. 또한 Yoon et al., (2003)은 경사도 13 %의 경작지에서 등고선 재배와 비닐피복, 자갈더미 설치 등과 더불어 PAM처리를 통해 67 %까지 토양유실을 저감시켰으며, Shin et al. (2011)은 강우타격에 의한 흩 입자의 이탈을 방지를 목적으로 벧짚거적을 이용하여 33~75 %의 유출량 저감효과 뿐만 아니라 생산량 증대까지 가져오는 것으로 나타났다. 이처럼 토양유실 저감을 위한 많은 노력을 하고 있으며, 더욱 효과적인 토양유실량 저감을 위해 토양 입자간의 결합적인 방법과 지표피복재의 토양입자 이탈을 막는 방법을 혼용하여 분석한 연구가 실내인공강우 실험단계에 있다 (Won et al., 2011).

본 연구는 실내인공강우 실험단계에 있는 피복재와 잔류물(residue) 그리고 PAM을 이용한 밭의 비점오염 저감방법을 실제 영농에 적용함으로써 유출량 및 토양유실량 저감 효과를 평가하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 시험포 조성

비점오염 저감효과를 분석하기 위하여 강원도 춘천시 신북읍 천전리에 위치한 강원대학교 농장에 동일한 면적의 경사지 밭 4개를 조성하였다. 시험포는 폭 5 m와 길이 30 m로 면적은 약

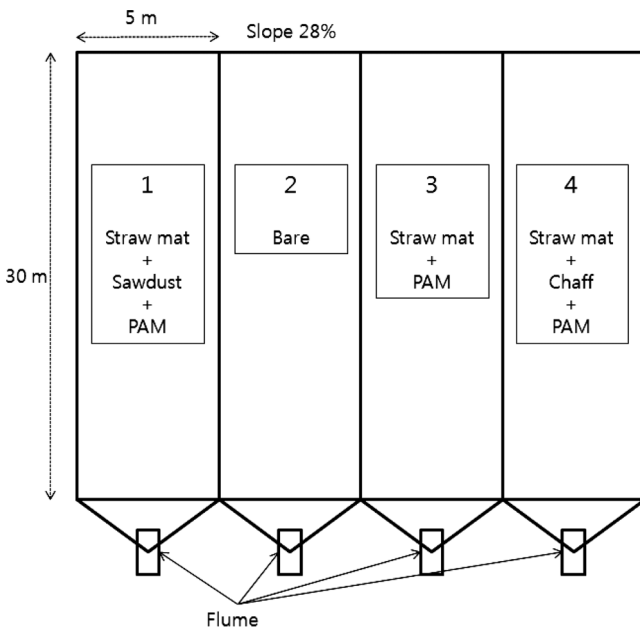


Fig. 1 Sketch of the field plot

150 m² (총 600 m²)이며 약 28 %의 경사도로 조성되었다 (Fig. 1). 시험포 면적을 제외한 주변에서 발생하는 외부 유출수의 유입을 차단하기 위하여 아연철관을 이용하여 면적을 구분하였으며, 시험포에서 발생하는 유출수는 유량 및 수질농도 측정을 위하여 시험포 하단부에 V자형 간막이를 설치하여 Flume을 통해 유출되도록 하였다. 실험에 사용된 토양은 양질사토로 강원도 고랭지 지역에서 작물재배를 위해 사용되는 밭과 유사한 것으로 나타났다 (Shin et al., 2010). 시험포에는 대조구와 시험처리구별 저감효과를 분석하기 위하여 별도의 작물을 재배하지 않고 나지상태에서 실험을 하였으며, 작물에 의한 식물의 수분이나 영양물질 등의 섭취는 고려되지 않았다. 또한 피복재를 적용하기 전에 실제영농의 토양상태와 동일한 토성을 모의하기 위해 시험포의 흙을 트랙터를 이용하여 밭갈이를 실시하였다.

2. 실험준비

시험포의 면적이 약 600 m²로 실험을 위해 시험포에 동일한 강우를 분사하기 위해서는 일반적으로 사용되는 펌프는 사용이 어렵다. 따라서 물을 시험포로 공급하는 펌프는 자동차 엔진을 이용하여 제작한 Rainbow 장치를 이용하였으며, Rainbow 장치는 약 30~75 mm/hr의 강우강도까지 모의할 수 있다. Rainbow 장치는 시험포 둘레에 설치된 알루미늄 관으로 물을 압송하여 대형 스프링클러를 통해 분사된다. 또한 1시간 동안 계획된 강우강도를 충분히 구현할 수 있는 물을 저장하기 위해 대용량의 수조 3개 (37 m³, 10 m³, 11 m³)를 준비하였다. 그 외에 시험포에 살포되는 인공강우량을 측정하기 위해 간이 강우량계 (3.3 cm×6.5 cm)를 준비하였으며, 유량측정용 양동이 (15 L)와 비커 (1~2 L) 그리고 초시계 등을 준비하였다.

3. 피복재

Won et al. (2011)이 실내인공강우기와 피복재를 이용하여 밭에서 발생하는 오염원을 저감시키기 위해 사용한 피복재를 실제 영농에 적용하고자 하였다. 실험에 사용된 벧짚은 벧 수확이 진행되고 남은 잔류물로서 도로 현장이나 택지 조성시 발생하는 토사유출을 방지하기 위한 목적으로 판매되는 벧짚거적 제품 (약 1 m×60 m)을 시험포의 길이에 맞게 재단하여 피복하였으며, 왕겨와 톱밥 그리고 PAM은 밀가루와 전분이 주성분인 친환경 폴을 이용하여 부착하였다. PAM의 경우 분자량이 1,000 이상인 수용성 고분자물질로써 흡착관능기를 가지는 고분자응집제이며 이를 통해 토양 입자간의 결합력을 증가시켜 유출을 억제하기 때문에 일부 선진국을 중심으로 토양유실방지 연구를 위한 목적으로 사용되고 있다 (Entry et al., 2002; Theng et al., 1982).

본 연구에서 각 시험포에 사용된 PAM의 양은 10 kg/ha이고, 톱밥 및 왕겨의 양은 각 2,000 kg/ha 및 1,500 kg/ha이다. 준비된 피복재를 4개의 시험포에 적용하여, 각각의 피복재에 따른 오염원 저감효과를 분석하였다. 시험포별 사용된 피복재는 Fig. 1과 같이 1번 시험포에는 벚짚과 톱밥 그리고 PAM을 적용하였으며, 2번 시험포는 대조구를 위해 피복재를 적용하지 않았다. 또한 3번 시험포는 벚짚과 PAM 그리고 4번 시험포는 벚짚과 왕겨 그리고 PAM을 적용하였다.

4. 실험방법

경사지 밭에서 발생하는 토양유실량 저감을 위한 인공강우 실험은 총 4차례 수행하였다. 1차 실험은 2009년 10월 18일 진행하였고, 1차 실험이 완료된 후 1주일 간격으로 3차례(2차 10월 24일, 3차 10월 30일, 4차 11월 6일) 실험을 진행하였다. 동일한 강수량 살포를 위해 물을 펌핑하는 Rainbow 기계에서 수압을 조절하여 실험하였고, 압력은 0.6 kgf/cm²에서 1.2 kgf/cm²로 맞추어 압력(강우량)을 증가시키면서 실험하였다. 각 실험마다 압력을 일정하게 조절된 상태에서 1시간 동안 실험을 실시하였고, 실험이 시작되면 각 시험포 별로 유출이 발생하는 초기유출시간과 유출종료시간을 측정하였다. 초기유출 측정시간은 시험포에서 발생하는 유출수가 플륨을 통해 유출 될 경우 유출이 시작된 것으로 간주하였다. 유출이 시작되면 2분 간격으로 양동기와 비커를 이용하여 유출량을 측정하였으며, 1시간 후 펌프의 운전을 정지함으로써 실외인공강우기의 작동을 중단하였다. 유출이 발생하는 동안 각 시험포 별로 6개 이상의 수질시료를 채취하여 수질오염공정시험법 (Ministry of Environment, 2001)에 따라 SS 농도를 분석한 후 산술평균 하였으며, 유출 종료후 시험포에서 발생한 유수량을 측정하기 위해 함수비를 고려하여 유출시 발생한 토사의 무게를 측정하였다. 수문분석을 위한 강우량 측정에는 각 시험포 마다 3개의 간이 우량계를 설치하여 측정된 강우량의 평균값을 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 강우량

Table 1은 4번의 실험을 통한 각 시험포에 발생한 강우량이 다. 강우량은 간이 우량계를 이용하여 1시간 동안 누적된 총량을 측정하여 3개의 평균값을 사용하였으며, 실험동안 발생한 증발량은 고려하지 않았다. 압력을 0.6~1.2 kgf/cm²로 조절하여 측정된 결과 1차 실험은 31.1 mm/hr (0.6 kgf/cm²), 2차 실험은 40.6 mm/hr (1.0 kgf/cm²), 3차 실험은 36.9 mm/hr (0.8 kgf/cm²), 그리고 4차 실험은 44.4 mm/hr (1.2 kgf/cm²)인 것으로

Table 1 Result of the rainfall simulator using by rain gauges (Unit: mm/hr)

Classification	Pressure (kgf/cm ²)	SM+ SD + PAM	Bare	SM+ PAM	SM+ CH + PAM	Average
1st	0.6	29.6	33.7	34.1	27.0	31.1
2nd	1.0	35.0	45.9	44.6	36.7	40.6
3rd	0.8	30.2	41.8	40.1	35.7	36.9
4th	1.2	43.3	45.5	46.7	42.1	44.4

- SM: Strawmat, SD: Sawdust, CH: Chaff.

나타났다. 측정결과 각 시험포에 발생한 강우량이 압력에 따라 조금씩 증가하는 것으로 나타났으나, 압력 증가에 따른 강우량의 증가가 일정하지는 않았다. 이는 실험 당일 바람에 의한 영향과 실외인공강우기의 미세한 오차로 판단되며, 강우량의 차이는 유출량 및 유수량 결과를 도출할 때 고려하였다.

2. 초기유출시간

Table 2는 각 시험포별 처리방법 (피복재료와 강우강도)의 차이에 따라 시험포에서 발생하는 초기 유출시간을 측정하였다. 1차 실험에서 초기 유출은 예상과 달리 벚짚+PAM을 피복한 시험포에서 가장 먼저 발생하였으며, 나지, 벚짚+ 톱밥+PAM, 벚짚+ 왕겨+PAM의 순이었다. 지표를 피복할 경우 유출이 발생하는 시간이 지연되어야 하나 본 연구결과와 같이 벚짚과 PAM을 이용하여 지표를 피복한 시험포에서 유출이 빠르게 발생하였다. 이는 실험 전날 발생한 자연강우 (13.5 mm) 때문에 시험포의 토양이 함유하고 있는 수분 차이와 실험 당일날 바람에 의한 영향으로 벚짚+PAM을 처리한 시험포에 나지 시험포보다 많은 양의 강우가 발생하였기 때문으로 판단된다. 그러나 초기에 발생한 유출은 빠르게 진행되었지만, 시험포에서 발생한 총 유출량과 유수량 결과는 나지상태와 비교하였을 때 현저히 감소하는 것을 알 수 있었다. 2~4차 실험에서는 1차 실험과 비교했을 때 유출 시작 시간이 전반적으로 매우 빠른 것으로 나타났다. 이는 1차 실험 때 사용된 강우와 실험전에 발생한 자연강우 (10 mm)에 기인하는 것으로 보여진다. 이처럼 유출현상은 강우량 뿐 만 아니라 선행무강우일수에 따라 토양이 함유하고 수분이 다르기 때문에 발생하는 유출량과 유수량 등의 비점오염 평가 시 강우량

Table 2 Comparison of runoff start time

Classification	Rainfall	SM+ SD + PAM	Bare	SM+ PAM	SM+ CH + PAM
1st	31.1	23 min 40 sec	17 min 20 sec	15 min 40 sec	33 min 15 sec
2nd	40.6	5 min 00 sec	2 min 20 sec	5 min 00 sec	5 min 30 sec
3rd	36.9	9 min 20 sec	3 min 10 sec	6 min 15 sec	6 min 40 sec
4th	44.4	6 min 40 sec	3 min 45 sec	8 min 00 sec	8 min 25 sec

뿐만 아니라 선행무강우일수도 고려해야 하는 것으로 판단된다. 2차 실험부터는 나지 상태의 시험포에서 가장 먼저 유출이 발생하였으며, 벚짳과 PAM, 벚짳+ 톱밥+ PAM 그리고 벚짳+ 왕겨+ PAM 순으로 초기유출 발생시간이 늦어지는 것으로 나타났다. 본 실험의 연구결과로 피복재의 종류에 따라 초기유출시간의 빠르고 느림을 정확하게 결정할 수는 없으나, 밭에서 지표를 피복할 경우 유출 발생시간을 지연 할 수 있는 것으로 판단된다. 이러한 현상은 피복재에 의해 빗물이 토양으로 침투하는 시간을 증가시킴으로서 빗물의 침투능을 증가시키고, 유출수의 유속을 감소시키며 피복재가 빗물을 흡수함으로써 유출수의 양을 감소시켰기 때문에 보여진다 (Shin et al., 2011).

3. 유출량과 유출률

Fig. 2~5는 4번의 실험동안 각각의 시험포에서 유출되는 유출수를 2분 간격으로 측정하여 유량으로 환산한 뒤 수문곡선을 나타낸 그래프이다. 1차 실험에서 Fig. 2와 같이 나지 시험포와 벚짳+ PAM을 처리한 시험포에서 유출량은 급격한 증가세를 보였고, 벚짳+ 왕겨+ PAM과 벚짳+ 톱밥+ PAM을 처리한 시험포에서는 서서히 증가세를 보이다가 강우가 종료되면 급격히 감소하는 경향을 보였다. 나지상태와 벚짳+ PAM을 피복한 시험포에서 발생한 유출량은 2.32 m³과 2.21 m³로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다 (Table 3). 나지상태의 시험포와 비교하였을 때 벚짳과 PAM만을 이용하여 지표를 피복한 경우 (4.7 % 저감)를 제외하고, 톱밥과 왕겨를 추가로 피복한 시험포에서는 유출량의 저감효과가 65.5 %와 81.5 %로 뚜렷이 나타났으며, 톱밥보다 왕겨를 살포한 시험포에서 유출량 저감 효과가 더 큰 것으로 나타났다 (Table 4). 이는 강우에 의해 벚짳에서 이탈된 왕겨들이

벚짳으로 피복되지 않은 지표를 피복함으로써 지표의 피복률을 높이고, 피복재가 강우에너지를 상쇄시켜 토양의 침투능을 높게 유지할 수 있었기 때문에 판단되어진다.

Fig. 3은 1차 실험을 수행한 후 1주일 뒤 수행한 2차 실험 결과의 수문그래프이다. 1차 실험과 다르게 1차 실험 때 사용된 강우량과 휴식기간 동안 발생한 자연강우의 영향 그리고 1차 실험에 의해 토양의 다짐현상과 sealing 현상으로 유출이 시작되는 시간이 짧은 것을 알 수 있다. 1차 실험에 비해 전체적으로 유출량과 유출률이 높아 졌으나, 나지상태의 시험포에서 발생한 유출량과 비교하였을 때 벚짳+ PAM을 처리한 시험포에서 22.7 %의 저감효과가 나타났다. 유출량은 벚짳+ 왕겨+ PAM을 처리한 시험포에서 65.7 %의 가장 큰 저감효과가 나타났으며, 벚짳+ 톱밥+ PAM을 처리한 시험포에서도 46.7 %로 높은 저감효과가 있는 것으로 나타났다 (Table 4). 또한 유출률은 벚짳+ PAM을 처리한 시험포에서 19.7 %, 벚짳+ 왕겨+ PAM을 처리한 시험포에서 56.6 %의 가장 큰 저감효과가 나타났으며, 벚짳+ 톱밥+ PAM을 처리한 시험포에서 30.3 %의 저감효과가 나타났다 (Table 4).

3차 실험에서는 2차 실험에 비해 강우량이 줄어들고, 2차 실험이 종료된 후 3차 실험을 하기 전 휴식기간 동안 자연강우가 발생하지 않았기 때문에 유출량과 유출률이 줄어든 것으로 나타났다. 유출량과 유출률은 1~2차 실험과 동일하게 나지시험포와 비교하였을 때 벚짳+ PAM을 처리한 시험포에서 3.88 m³과 0.62로 가장 크게 나타났으며, 벚짳+ 왕겨+ PAM을 처리한 시험포에서 1.31 m³과 0.24로 가장 적게 나타났다 (Table 3). 유출량과 유출률 저감률은 벚짳+ PAM을 처리한 시험포에서 25.8과 22.6 %, 벚짳+ 왕겨+ PAM을 처리한 시험포에서 66.2와 61.3 %, 벚짳+ 톱밥+ PAM을 처리한 시험포에서 62.9와 48.4 %의 저감

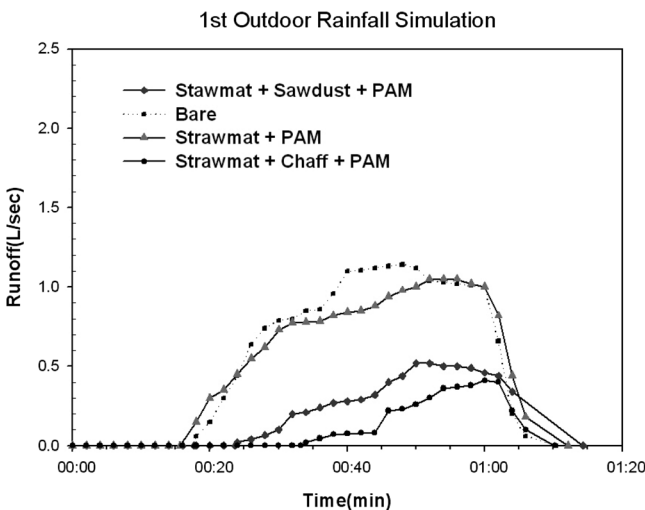


Fig. 2 Variation graph of runoff at the 1st experiment

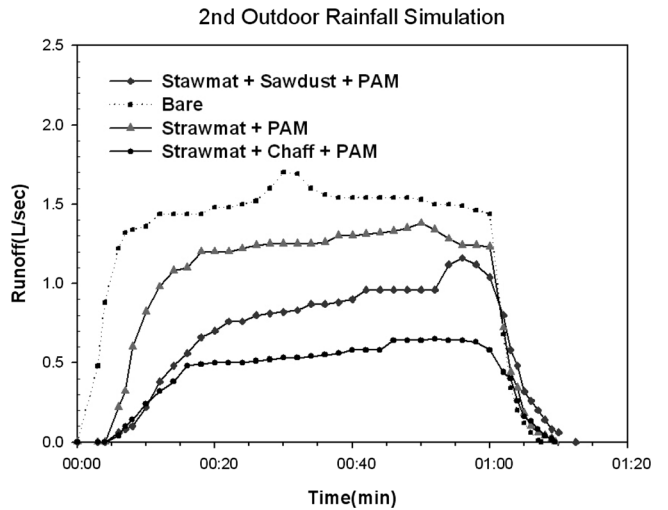


Fig. 3 Variation graph of runoff at the 2nd experiment

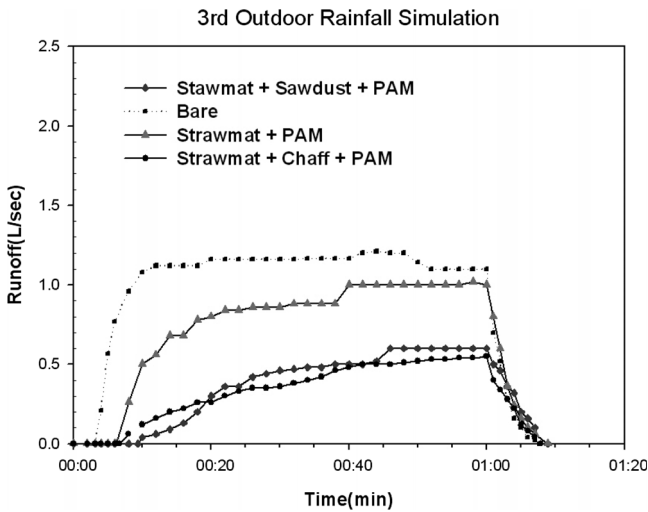


Fig. 4 Variation graph of runoff at the 3rd experiment

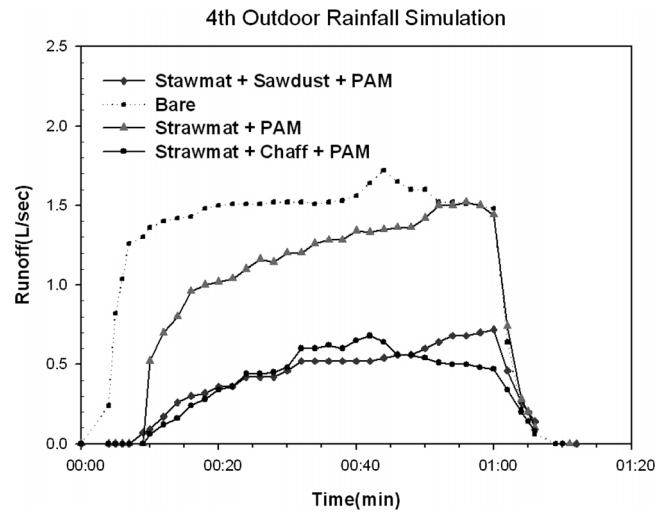


Fig. 5 Variation graph of runoff at the 4th experiment

Table 3 Runoff and runoff rate according to surface cover

Different in number	Rainfall	SM+SD+PAM	Bare	SM+PAM	SM+CH+PAM
		Runoff (m ³)			
Runoff rate					
1st	31.1	0.80	2.32	2.21	0.43
		0.18	0.46	0.43	0.11
2nd	40.6	2.80	5.25	4.06	1.80
		0.53	0.76	0.61	0.33
3rd	36.9	1.44	3.88	2.88	1.31
		0.32	0.62	0.48	0.24
4th	44.4	1.59	5.17	3.87	1.50
		0.24	0.76	0.55	0.24

- Runoff rate: Runoff (m³ / Area (m²) / Rainfall (mm) *1000

효과가 나타났다 (Table 4).

4차 실험은 2차 실험에 비해 강우량이 3.8 mm 증가하였음에도 불구하고 유출량이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 강우량과 유출량 측정 시 발생한 인위적인 오차와 실험동안 발생한 바람의 영향으로 일정한 강우가 시험포에 분포되지 못했기 때문으로 판단된다. 차후 동일한 시험을 수행할 경우 강우량 측정을 좀 더 정밀하게 측정하기 위해 간이우량계 설치를 추가하고, 바람에 의한 영향을 고려하기 위하여 바람이 불지 않는 날을 선택하거나 풍속을 측정하여 고려해야 할 것으로 판단된다. 유출량과 유출률은 1~3차 실험과 동일하게 나지시험포와 비교하였을 때 볏짚 + PAM을 처리한 시험포에서 5.17 m³과 0.76으로 가장 크게 나타났으며, 볏짚 + 왕겨 + PAM을 처리한 시험포에서 1.50 m³과 0.24로 가장 적게 나타났다 (Table 3). 또한 유출량과 유출률 저감률은 볏짚 + PAM을 처리한 시험포에서 25.1과 27.0 %, 볏짚 + 왕겨 + PAM을 처리한 시험포에서 71.1와 68.8 %, 볏짚 + 톱

Table 4 Reduction rate of Runoff and runoff rate according to surface cover

Different in number	Rainfall	SM+SD+PAM	SM+PAM	SM+CH+PAM
		Reduction rate of runoff (%)		
Reduction rate of Runoff rate (%)				
1st	31.1	65.5	4.7	81.5
		60.9	6.5	76.1
2nd	40.6	46.7	22.7	65.7
		30.3	19.7	56.6
3rd	36.9	62.9	25.8	66.2
		48.4	22.6	61.3
4th	44.4	69.3	25.1	71.1
		67.7	27.0	68.8
-	Max.	69.3	25.8	81.5
-	Min.	46.7	4.7	65.7
-	Ave.	61.1	19.6	71.1
		51.8	19.0	65.7

- Reduction rate: [(Bare-Surface cover) / bare]*100

밥 + PAM을 처리한 시험포에서 69.3와 67.7 %의 저감효과가 나타났다 (Table 4).

본 연구결과는 Won et al. (2011)이 볏짚과 톱밥, 왕겨 그리고 PAM을 이용하여 실험한 결과에서 볏짚과 PAM에 왕겨를 처리하였을 때 보다 톱밥을 처리하여 실험한 결과가 유출량에 더 큰 효과가 있다고 한 결과와 상이하다. 선행연구는 실내인공강우 실험 조건에서 이루어진 결과로서 경사도와 경사장 그리고 강우량과 강우타격력 등의 차이가 있기 때문에 상이한 결과가 나타난 것으로 판단된다. 또한 선행연구에서 왕겨가 톱밥에 비해 입자가 가볍기 때문에 큰 강우에 의해 볏짚에서 쉽게 이탈되어 피

복되지 않은 곳에 묻히는 결과가 나타난다고 하였는데 이 결과가 본 연구에서는 시험포의 경사장이 크기 때문에 강우에 의해 이탈된 왕겨가 유출수의 유출을 차단하고 유속을 감소시킴으로써 침투시간을 증가시켰기 때문인 것으로 판단된다. Shin et al. (2011)은 3 % 경사도를 이루고 있는 무밭에서 벧짚겨적을 이용하여 유출량 저감효과를 평가한 결과 33~75 %의 저감효과가 있다고 하였다. 또한 McElhiney and Osterli (1996)은 PAM을 이용하여 빗물의 토양 침투량을 최대 40 %까지 증가시킨다고 하였다. 이는 본 연구에서 벧짚겨적+PAM을 이용하여 저감효과를 평가한 결과와 큰 차이를 보이는데 이는 본 연구의 경우 급경한 경사도와 시간당 30 mm 이상의 강우강도로 선행연구와의 저감률 효과가 차이가 난 것으로 보여진다.

4. 유사량과 SS 농도

Table 5는 유출 종료 후 각 시험포에서 측정된 유사량과 나지상태와 비교하였을 피복재를 처리하였을 때 저장된 유사량 저감효율이다. 1차 실험결과 나지 시험포에서는 237.1 kg의 토사가 발생하였으나, 벧짚+PAM을 처리한 시험포에서 나지상태와 유사한 유출량이 발생했음에도 불구하고 굵은입자(입경 0.074 mm 이상)의 토사가 발생하지 않았다. 또한 톱밥과 왕겨를 처리한 시험포에서도 토사가 발생하지 않아 나지상태와 비교하였을 때 유사 저감율은 100 %인 것으로 나타났다. Table 6의 SS 농도 분석결과도 지표를 피복한 시험포에서 111~209 mg/L로 나지상태에 비해 매우 낮을 것을 알 수 있다. 실험결과를 Lentz and Bjorneberg (2003)이 멀집멀칭과 PAM을 이용할 경우 유사를 100 % 저감할 수 있다고 한 결과와 유사한 결과를 나타냈다. 이러한 결과는 피복재가 토양표면의 Seal 형성을 차단하기 때문에 유사량을 저감시키고 (Flanagan et al., 1997), 벧짚에 첨가된 수용성의 고분자물질인 PAM이 토양 입자간의 결합력을 증가시켜 유출이 억제된 것으로 판단된다 (Entry, et al., 2002). 2~4차 실험에서 나지시험포와 비교했을 때 벧짚+PAM을 피복한 시험포에서 유사량은 85 % 이상의 저감효과가 나타났고, SS 농도는 69 % 이상의 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 추가로 톱밥과 왕겨를 추가한 실험포에서는 98% 이상의 유사량 저감효과가 나타났고, SS 농도는 80 % 이상의 높은 저감효과가 나타났다. 이는 지표를 피복한 피복재가 강우의 타격에너지에 의한 토립자의 이탈 (detachment)을 감소시키고 (Boix-Fayos et al., 1998), 토양으로 침투능을 증가시켰으며, 결과적으로 직접유출량에 포함되어 유실되는 유사량을 감소시킨 것에 기인하는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 Tiscareno-Lopez et al. (2004)이 무경운 경작지에서 옥수수를 이용하여 지표를 0~100 % 비율로 피복하

Table 5 Sediment and reduction of sediment rate according to surface cover

Different in number	Rainfall	SM+SD+PAM	Bare	SM+PAM	SM+CH+PAM
		Sediment(kg)			
Reduction rate of sediment					
1st	31.1	-	237.1	-	-
		100	-	100.0	100.0
2nd	40.6	0.7	400.5	36.4	2.5
		99.8	-	90.9	99.4
3rd	36.9	0.6	317.2	14.0	2.2
		99.8	-	95.6	99.3
4th	44.4	0.8	249.2	35.2	3.8
		99.7	-	85.9	98.5

Table 6 SS con. and reduction of SS con. rate according to surface cover

Different in number	Rainfall	SM+SD+PAM	Bare	SM+PAM	SM+CH+PAM
		SS(mg/L)			
Reduction rate of SS					
1st	31.1	209	36,027	111	125
		99.4	-	99.7	99.7
2nd	40.6	2,004	37,143	8,186	3,220
		94.6	-	78.0	91.3
3rd	36.9	788	32,000	6,027	2,147
		97.5	-	81.2	93.3
4th	44.4	2,421	24,317	7,540	4,079
		90.0	-	69.0	83.2

였을 때, 지표의 피복율이 증가할수록 토양 유실량이 감소한다는 결과와 유사한 결과이다.

Fig. 6은 강우 종료 후 유출수를 포집한 flume에 쌓인 토사의 모습을 피복재의 종류별로 나타낸 것이다. 벧짚+PAM+톱밥, 벧짚+톱밥, 벧짚+PAM+왕겨 시험포의 flume은 나지 시험포의 flume보다 퇴적된 토사량이 적었으며, 비교적 미세한 입자만이 유출된 것으로 조사되었다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 밭에서 발생하는 비점오염원 저감효과를 평가하기 위하여 피복재와 잔류물그리고 PAM을 경사지 밭에 적용하였다.

연구결과 밭에서 지표를 피복할 경우 빗물의 침투능을 증가시키고, 유출수의 유속을 감소시키며 피복재가 빗물을 흡수함으로써 유출수의 양을 감소시켜 유출 발생시간을 지연 할 수 있는 것으로 판단된다. 지표를 피복할 경우 벧짚과 PAM만을 이용하여 지표를 피복한 경우 (4.7 % 저감)를 제외하고, 톱밥과 왕겨를 추

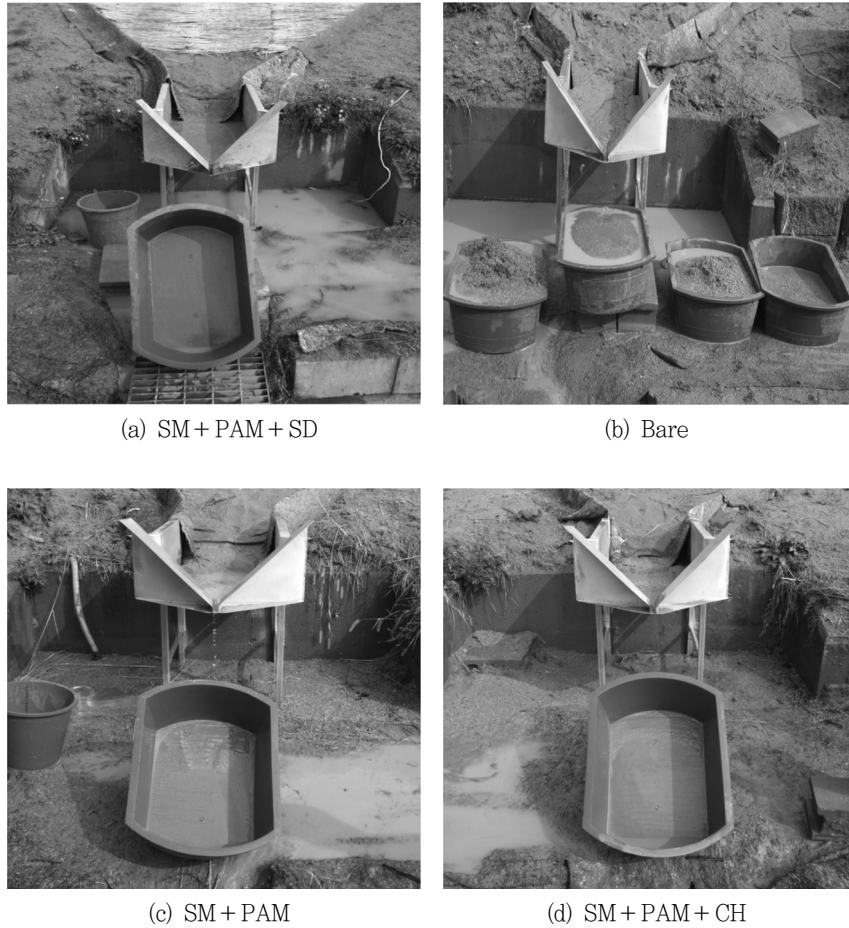


Fig. 6 Figure of sediment according to surface cover

가로 피복한 시험포에서는 유출량의 저감효과가 65.5 %와 81.5 %로 뚜렷이 나타났으며, 톱밥보다 왕겨를 살포한 시험포에서 유출량 저감 효과가 더 큰 것으로 나타났다. 이는 강우에 의해 벧짚에서 이탈된 왕겨들이 벧짚으로 피복되지 않은 지표를 피복함으로써 지표의 피복률을 높이고, 피복재가 강우에너지를 상쇄시켜 토양의 침투능을 높게 유지할 수 있었기 때문으로 판단되어진다. 또한 피복재가 토양표면의 Seal 형성을 차단하고 벧짚에 첨가된 수용성의 고분자물질인 PAM이 토양 입자간의 결합력을 증가시켜 유사량 및 SS 농도 저감효과도 나타났다. 나지시험포와 비교했을 때 벧짚과 PAM, 톱밥 그리고 왕겨를 이용하여 지표를 피복한 시험포에서 유사량은 85.9~99.8 %의 저감효과가 나타났고, SS 농도는 69.0~99.7%의 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 지표를 피복한 피복재가 강우의 타격에너지에 의한 토립자의 이탈(detachment)을 감소시키고, 토양으로 침투능을 증가시켰으며, 결과적으로 직접유출량에 포함되어 유실되는 유사량을 감소시킨 것에 기인하는 것으로 판단된다. 본 연구결과는 작물에 의한 영향과 작물에 미치는 영향을 고려하지 않았

기 때문에 추가적인 연구를 통해 작물의 영향을 고려해야 할 것으로 판단된다. 또한 벧짚이나 기타 피복 재료를 적용하기 위한 경제적인 효과 분석이 이루어지지 않았기 때문에, 실제 영농에 적용하고 장려하기 위해서는 작물의 생육현황과 피복재를 적용하기 위해 소요되는 비용과 인력 등을 고려한 분석이 이루어져야 될 것으로 보여진다.

본 연구는 Eco-star (과제번호 II-7-6) 과제의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Kwon, K. S., K. J. Lee, B. J. Koo, and J. D. Choi, 2000, Effect of PAM on Soil Erosion from Alpine Agricultural Fields, *Inst. of Agr. Sci. Kangwon Nat. Univ.*, 11: 91-98. (in Korean).

2. Boix-Fayos, C., Calvo-Cases, A., Imeson, A. G., Soriano-Soto, M. D., and Tiemessen, I. R. (1998). Spatial and short-term temporal variations in runoff, soil aggregation and other soil properties along a Mediterranean climatological gradient. *Catena*, 33: 123-138.
3. Choi J. D., C. M. Lee, D. H. Kim, 1998. Groundwater and Small Stream Water Quality Changes of Rural Watersheds in Kangwon-do, *The KSAE 1998 Annual Conference*, pp. 558-564. (in Korean).
4. Entry, J. A., Sojka, R. E., Watwood, M., Ross, C., 2002, Polyacrylamide preparations for protection of water quality threatened by agricultural runoff contaminants, *Environ. Poll.* 120: 191-200.
5. Flanagan, D. C., Norton, L. D. and shainberg, I. (1997). Effect of water chemistry and soil amendments on a silt loam soil-Part I. Infiltration and Runoff. *Trans. ASABE*, 40: 1549-1554.
6. Jordan, A., Zavala, L. M. and Gil, J. 2010. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *CATENA*, 81: 77-85.
7. Jung, Y. S. (2005). *Fundamental and application of Soil Science for Agriculture and Environment*. (in Korean).
8. Lentz, R. D. and Bjorneberg, D. L. 2003, Polyacrylamide and Straw Residue Effects on Irrigation Furrow Erosion and Infiltration, *Journal of Soil and Water Conservation*, 58(5): 312-319.
9. McElhiney, M. and Osterli, P. (1996). An integrated approach for water quality: The PAM connection-West Stanislaus HUA, CA. p. 27-30. In R. E. Sojka and R. D. Lentz (ed.) Proc.: Managing irrigation induced erosion and infiltration with polyacrylamide. College of Southern Idaho, Twin Falls, ID. 6-8 May 1996. University of Idaho Misc. Publ. No 101-96. University of Idaho, Twin Falls, ID.
10. Ministry of Environment Republic of Korea, 2001. Official test methods for water pollution (in Korean).
11. Ministry of Environment Republic of Korea, 2008. Installation and Management·Operation Manual of the Non Point pollution control facilities (in Korean).
12. Seeger, M. 2007. Uncertainty of factors determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations. *CATENA*, 71: 56-67.
13. Seo, J. H., J. Y. Park, and D. Y. Song, 2005. Effect of Cover Crop Hairy Vetch on Prevention of Soil Erosion and Reduction of Nitrogen Fertilization in Sloped Upland. *Journal of Korean Society of Soil and Fertilizer* 38(3): 134-141 (in Korean).
14. Shin, M. H., C. H. Won, Y. H. Choi, J. Y. Seo, J. W. Lee, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2009. Simulaion of field soil loss by artificial rainfall simulator-by varing rainfall intensity, surface condition and slope. *Journal of Korean Society on Water Quality* 25(5): 785-791 (in Korean).
15. 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 Varing Amount of Fertilization and Slope-. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 52(3): 31-38. (in Korean).
16. Shin, M. H., C. H. Won, W. J. Park, Y. H. Choi, J. R. Jang, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2011. Analysis of the Reduction Effect on NPS Pollution Loads by Surface Cover Application. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 53(4): 29-37 (in Korean).
17. Theng. B. K. G. (1982). Clay-polymer interactions: Summart and perspectives, *Clays Clay Miner.* 30: 1-10.
18. Tiscareno-Lopez, M., Velasquez-valle, M., Salinas-Garcia, J., and Baez-gonzalez, A. D. (2004). Nitrogen and Organic Matter Losses in NO-Till corn Cropping Systems, *Journal of American Water Resources Association*, 40(2): 401-408.
19. Won, C. H., M. H. Shin, Y. H. Choi, J. Y. Shin, W. J. Park, and J. D. Choi, 2011. Applications of Surface Cover Materials for Reduction of Soil Erosion. *Journal of Korean Society on Water Quality*, 27(6): 848-854 (in Korean).
20. Yoon, J. H., D. K. Kang, S. S. Cho, and H. S. Kim, 2003. Soil Erosion of Tillage and the Plan for Reducing of Turbid-water occurrence. *Korean Society on Water Quality* E-15, E 55-58. (in Korean).
21. Zhang, X. C., Miller, W. P., Nearing, M. A., Norton, L. D., 1998, effects of surface treatment on surface sealing, runoff, and interrill erosion, *American Society of Agricultural Engineers*, 41(4): 989-994.