Journal of Korean Society on Water Quality, Vol. 27, No. 6, pp.848-854 (2011)

토양유실 저감을 위한 지표피복재 적용

원철희 · 신민환[*] · 최용훈[*] · 신재영[*] · 박운지[*] · 최중대[*,†]

BK 21 친환경건설전문가양성사업단
[*]강원대학교 농업생명과학대학 지역건설공학과

Applications of Surface Cover Materials for Reduction of Soil Erosion

Chul-hee Won · Min-hwan Shin[*] · Yong-hun Choi[*] · Jae-young Shin[*] · Woon-ji Park[*] · Joong-dae Choi[*,†]

BK 21 Enviro-NICE
[*]*Division of Agricultural Engineering, Kangwon National University*
(Received 29 August 2011, Revised 17 October 2011, Accepted 21 October 2011)

Abstract

The objective of this research was to experimentally test the effect of rice straw mats on the reduction of runoff, sediment and discharge under a laboratory scale with different rainfall intensity and slopes. We used the small runoff plots of 1 m × 1 m × 0.65 m (L×W×H) in size were filled with loamy sand. Experimental treatments were bare (control), rice straw mats + PAM(SP), rice straw mats + PAM + sawdust(SPS) and rice straw mats + PAM + rice husks(SPR); slope of 10% or 20%; and rainfall intensity of 30 or 60 mm/hr. Runoff volume and coefficient from covered plots were significantly lower than those from control plots. Under the 30 mm/hr and 10% simulations, average runoff coefficient of covered plots decreased more than 92%. Under 60 mm/hr and 20% simulations, the ratios were between 39.8~58.1%. Under the condition of 30 mm/hr rainfall and 10% slope, sediment discharge from covered plots was practically zero. And at 20% plots, sediment reduction ratio was more than 95%. Under the condition of 60 mm/hr rainfall, sediment reduction ratio of 10 and 20% plots ranged between 86.3~95.3% and between 79.8~86.5%, respectively. The differences in initial runoff time, runoff and sediment discharge among different cover materials were not significant. Rainfall intensity showed higher impact on initial runoff time, runoff, and sediment discharge than slope. It was also shown that even if runoff reduction by surface cover were low, sediment discharge reduction could be very significant and contribute to improve the water quality of streams in sloping agricultural regions. It was concluded that the use of straw mat and PAM on sloping agricultural fields could reduce soil erosion and muddy runoff significantly and help improve the water quality and aquatic ecosystem in receiving waters.

keywords : Rainfall simulation, Rice straw mats cover, Runoff, Sediment

1. 서 론

탁수는 집중 호우시 산지개간, 하천공사, 고랭지 경작지 등에서 주로 발생하며, 수도권 일대의 용수공급을 위한 상수원인 소양강댐 상류와 임하댐, 그리고 도암댐 등에 심각한 문제를 안겨주고 있다(환경부, 2007). 이들 지역의 공통적 특성은 밭의 표면이 피복(mulching)되어 있지 않은 나지 상태라는 점이다. 지표가 피복되어 있지 않을 경우 강우시 뿐만 아니라 해빙기에도 탁수가 발생하는데, 대표적 고랭지 농업지역인 대관령 지역이 이에 해당한다. 선행 연구에 의하면 탁수는 농경지의 토양유실로부터 유발되며, 토양유실은 강수량, 강우지속시간, 강우강도, 토양의 특성, 재배작물, 경운방법, 지표피복, 유출량, 유속 그리고 경사도 등에 영향을 받는다고 보고되고 있다(최중대, 1997; Choi et al., 2000; Sharpley and Halvorson, 1994). 특히 토양유실은 식생 피복율이 낮은 농경지에서 크게 발생되며(Garcia-Orenes et al., 2009), 건조하고 집중호우가 발생하는 지중해 지역에서도 토양유실은 중요한 문제로 인식되고 있다(Lal, 1999).

외국에서는 완충식생대, 등고선 경작, 식생배수로 설치, 작물잔류물에 의한 피복, 멀칭, 녹비작물 재배, 계단식 논, 식생사면 조성, 다년생 작물 재배 등을 이용하여 토양유실을 저감하고 있으며, 피복 및 경운방법에 따른 많은 연구도 진행되고 있다(Garcia-Orenes et al., 2009; Jin et al., 2008; Jordan et al., 2010; Martinez et al., 2006; Seeger, 2007).

이들 저감 방법 중 지표 피복 방법은 우리나라와 같은 집약농업에 쉽게 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 특히 논농사가 주를 이루고 있는 현실을 감안할 때, 벼 수확 후 남는 볏짚은 저렴한 가격과 재료 확보의 용이성 때문에 지표피복재로의 사용이 가능할 것으로 판단되며, 실제로 볏짚 거적을 이용하여 토양 유실과 표면 유출량을 저감하는 방안이 시도되고 있다(신민환 등, 2009). 또한 수용액 상의 PAM (Polyacrylamide)을 사용할 경우 유출수와 토양유실을 저감할 수 있다(최봉수 등, 2009; 최용범 등, 2010). 이 두

† To whom correspondence should be addressed.
jdchoi@kangwon.ac.kr

방안은 개별적으로도 뛰어난 효과가 있으나 볏짚거적과 PAM을 조합할 경우 그 효과는 더욱 증가할 것으로 판단된다. 또한 지표의 피복율이 증가할 경우 강우유출수와 토양유실량은 감소할 것으로 예상된다.

이에 본 연구에서는 볏짚과 PAM, 톱밥 그리고 왕겨를 조합한 지표피복재를 이용하여 강우강도와 경사도에 따른 직접유출량, 유사량 그리고 부유물질(Suspended solids: SS) 농도를 인공강우의 조건하에서 조사하고 선행 연구와 비교·검토함으로써 지표피복재의 성능 및 적용 가능성에 대한 기초 연구를 수행하였다.

2. 연구방법

2.1. 실험장치

인공강우 실험은 미국 퍼듀 대학교의 토양유실 실험실에서 개발된 장치로서 시간당 20~100 mm의 강우를 모의할 수 있는(신민환 등, 2009) Norton Ladder-type Rainfall Simulator를 사용하였다. 유출 시험포는 1 m × 1 m × 0.65 m (L×W×H) 크기의 토양상자를 이용하였다. 토양상자는 경사판 위에 올려놓아 경사를 주었으며, bare (control), rice straw mat + PAM (SP), rice straw mat + PAM + rice husks (SPR) 그리고 rice straw mat + PAM + sawdust (SPS)의 4개로 구분하여 4개의 실험처리(강우강도 2 × 경사도 2)에 필요한 16개를 준비하였다. 토양상자는 흙 채움과 다짐을 40 cm까지 10 cm마다 실시하였으며, 이후 부직포를 덮고 물을 이용한 물다짐을 하여 16개 토양상자내의 수분함량과 공극율을 동일하게 하였다. 물다짐 후에 10 cm는 다짐 없이 채웠다. 실험에 이용된 토양은 신민환 등(2009)의 연구와 동일한 양질 사토로서 경사가 급하고 잦은 객토가 이루어지는 고랭지 밭의 특성을 대표할 수 있을 것으로 판단된다.

2.2. 실험처리

인공강우 실험은 경사도(10%, 20%)와 강우강도(30 mm/hr, 60 mm/hr) 그리고 지표피복재의 종류에 따라 실험처리를 하여 수행하였다(Table 1). 경사도는 국내 고랭지 지역의 경사를 고려하였다. 대표적 고랭지 지역인 소양강 상류(양구군 해안면과 홍천군 자운리)는 경사도 15~30%가 15.4~43.8% 범위이고 30% 이상은 3.4% 이하이며(소양강댐 토사유출저감 기획단, 2007), 도암댐 상류(대관령 면)는 경사가 0~2%인 평탄지가 5.2%, 2~7%인 매우 약한 경사지가 15.6%, 약한 경사지인 7~15%가 31.8% 그리고 경사도 15~30%인 지역이 35.8%의 분포를 보이고 있는데(주진호 등, 2004), 본 연구에서는 가장 많은 분포를 보인 15~30% 경사 범위 중 20%의 경사도와 약한 경사를 보이는 범위 중 10%의 경사도를 실험에 이용하였다. 2009년과 2010년의 강우자료에 따르면 우리나라 고랭지 지역(양구군 해안면, 평창군 대관령면)의 평균 강우강도는 1.9~2.5 mm/hr로 낮으나, 집중호우시에는 38.5 mm/hr까지 강우강도가 증가하였다. 따라서 본 연구에서는 산사태나 농경지의 침수 및 토양유실이 발생할 수 있는 극한 조건을 가정하여 30 mm/hr과 60 mm/hr로 실험처리를 하였다.

지표피복재는 시판용 볏짚거적을 이용하여 볏짚(Rice straw mat) + PAM (Polyacrylamide), 볏짚 + PAM + 톱밥(Sawdust), 볏짚 + PAM + 왕겨(Rice husks)로 구분하여 제작하였다. PAM은 양이온성과 중성 그리고 음이온성으로 존재하며, 음이온성 PAM이 표면의 Seal 형성을 차단하고 토양유실을 방지하는데 효과적인 것으로 알려져 있다(Flanagan et al., 1997; Shainberg et al., 1990). 국내 문헌상에서는 10~40 kg/ha의 범위로 사용하고 있으며(최용범 등, 2010), 인체에 거의 유해하지 않고(Barvenick, 1994), 수계로 방류되는 배출수의 수질을 BOD는 30%, TP는 47% 그리고 유사는 58%까지 저감할 수 있다(Lentz and Sojka, 1994). 그러나 PAM은 토양내에서 매년 10%씩 광분해가 되고 과다 사용시 표토 전체가 굳어지는 경화현상이 나타날 수도 있기 때문에 지속적인 사용은 권장할 수는 없다. 그러나 본 연구의 주목적은 볏짚에 왕겨 또는 톱밥을 첨가했을 때의 유출수량과 유사발생량을 모니터링 하는데 있다. 따라서 PAM은 보조적인 역할을 수행할 수 있도록 5 kg/ha (0.5 g/m^2)를 살포하였다. PAM은 특성상 점성이 강하기 때문에 교반기에서 24시간 이상 용해시킨 후(최봉수 등, 2009), 수용액 상태로 토양에 직접 살포하나, 본 연구에서는 볏짚거적에 살포하여 강우시 빗물에 자연스레 용해되도록 유도하였다. 연구에 이용된 PAM은 흰색의 파우더 형태로서 비중은 0.75이며, pH (0.5% solution)는 6~9의 범위이다. PAM을 살포하고 건조시킨 볏짚거적 중 2개는 톱밥 200 g과 왕겨 150 g을 각각 붙여 사용하였다. 톱밥과 왕겨는 물과 접촉시 볏짚거적에서 쉽게 떨어져 토양의 피복도를 증가시킬 수 있으며, 작물의 잔류물에 의한 피복효과를

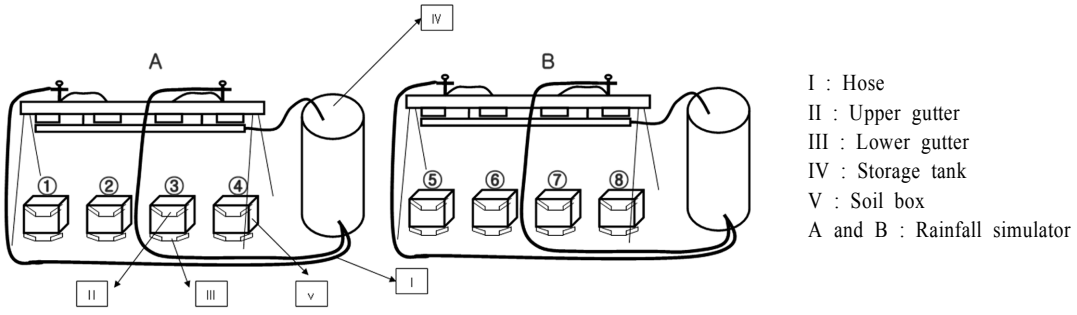


Fig. 1. Sketch of the rainfall simulator and soil-box placement (Shin et al., 2009).

유도하였다. 즉 톱밥과 왕겨는 토양에 부착되어 표면을 거칠게 만들며, 강우유출수의 유속을 감소시킴으로써 유출량과 토양유실을 저감시킬 수 있을 것으로 예상된다.

2.3. 인공강우 실험

인공강우기를 설치한 후 강우강도와 경사도 그리고 지표피복재의 종류별 실험처리에 따른 실험을 수행하였다. 최초 인공강우 실험은 30 mm/hr의 강우강도 조건에서 경사도 10% 4개와 경사도 20%의 4개, 총 8개의 유출 시험포를 대상으로 1시간 동안 지속하였으며, 초기유출시간, 직접유출수량, 유사량 그리고 유출수내의 부유물질 농도를 측정하였다. 30 mm/hr의 실험이 종료된 후 3일이 경과한 시점에서 토양상자를 모두 교체하였으며, 60 mm/hr의 강우강도의 실험을 실시하였다. 토양상자의 교체는 기중기를 이용하여 토양이 교란되지 않도록 주의하면서 수행하였다. 실험은 실험처리별로 3회씩 반복 수행하였다.

2.4. 측정 및 분석방법

직접 유출량은 토양상자 상부의 거터를 통하여 포집하고 그 양을 측정하였다. 토양상자에 채워진 토양의 물리적 특성은 입도시험(KS F 2302; KATS, 2002)과 비중시험(KS F 2308; KATS, 2006)을 이용하여 측정하였다. 직접 유출수와 함께 배출되는 유사의 양은 No. 200체(입경 0.074 mm)를 통과시킨 후, 체에 남은 무게를 측정하여 산정하였다. Suspended solids (SS)는 수질오염공정시험법(환경부, 2001) 상의 GF/C 여지를 이용한 gravimetric method로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 초기 유출 시간

지표피복 소재별 초기유출시간을 조사하였다(Fig. 2). 각 실험처리(강우강도, 경사도)에 따른 나지(대조구) 토양상자에서 유출은 1분 이내에 발생하였으나, 지표를 피복할 경우 유출시간이 지연되는 효과가 있었다. 이는 볏짚, 왕겨 그리고 톱밥이 빗방울의 타격력을 흡수하기 때문에 seal 현상이 방지되고 빗물의 토양침투능이 증대에 기인하는 것으로 판단된다. 강우강도 30 mm/hr의 경사도 10% 조건에서 피복소재에 따른 초기유출시간은 Straw mat + PAM (SP) > Straw mat + PAM + Sawdust (SPS) > Straw mat + PAM + rice husks (SPR) 순으로 조사되었으며, 경사도 20%에서도 동일하게 나타났다. 강우강도 60 mm/hr, 경사도 10%의 조건에서 피복재를 적용한 토양상자에서 유출은 SPS에서 가장 빨랐으며, 경사도 20%에서는 SPR에서 가장 먼저 유출이 시작되었다. 그러나 피복재의 종류에 따른 유출시작 시간의 유의적 차이는 없는 것으로 나타났다.

한편 강우강도 30 mm/hr 조건에서 유출은 30분대에 시작된데 반하여 60 mm/hr의 강우강도 조건에서 초기유출시간은 3~5분대로서 6~10배 정도 빨랐는데, 초기유출 시간은 경사도의 영향도 받지만, 강우강도의 조건에 더 크게 영향을 받는 것을 알 수 있다(Fig. 2).

3.2. 표면 유출 및 유출율

볏짚을 개량하고 PAM을 조합한 지표피복재를 사용할 경우 대조구 대비 유출수량이 저감되는 것으로 조사되었다(Fig. 3). 30 mm/hr의 강우강도와 경사도 10%의 조건에서 지표를 피복할 경우 대조구에 비해 유출수는 92.0% 이상이 저감되었다. 특히 왕겨를 첨가한 SPR 소재에서의 저감율(98.7%)이 높게 나타났다. 20%의 경사도 조건에서 지표피복재의 유출율은 약 15% 이하로 나타나 대조구 대비 80% 이상의 높은 유출 저감효과가 있었다. 또한 동일한 피복소재일 경우 경사도 20%의 유출량은 경사도 10% 대비 두 배 가량 증가한 것으로 나타났으며, 경사도(10%와 20%)를

Table 1. Experimental treatments

No. runoff plot	RI (mm/hr)*	Slope (%)	Cover materials	
			Code	Treatments
I	30	10	Control	Bare
II	30	10	SP	Rice straw mat+PAM
III	30	10	SPS	Rice straw mat+PAM+sawdust
IV	30	10	SPR	Rice straw mat+PAM+rice husks
V	30	20	Control	Bare
VI	30	20	SP	Rice straw mat+PAM
VII	30	20	SPS	Rice straw mat+PAM+sawdust
VIII	30	20	SPR	Rice straw mat+PAM+rice husks
IX	60	10	Control	Bare
X	60	10	SP	Rice straw mat+PAM
XI	60	10	SPS	Rice straw mat+PAM+sawdust
XII	60	10	SPR	Rice straw mat+PAM+rice husks
XIII	60	20	Control	Bare
XIV	60	20	SP	Rice straw mat+PAM
XV	60	20	SPS	Rice straw mat+PAM+sawdust
XVI	60	20	SPR	Rice straw mat+PAM+rice husks

*RI: Rainfall intensity.

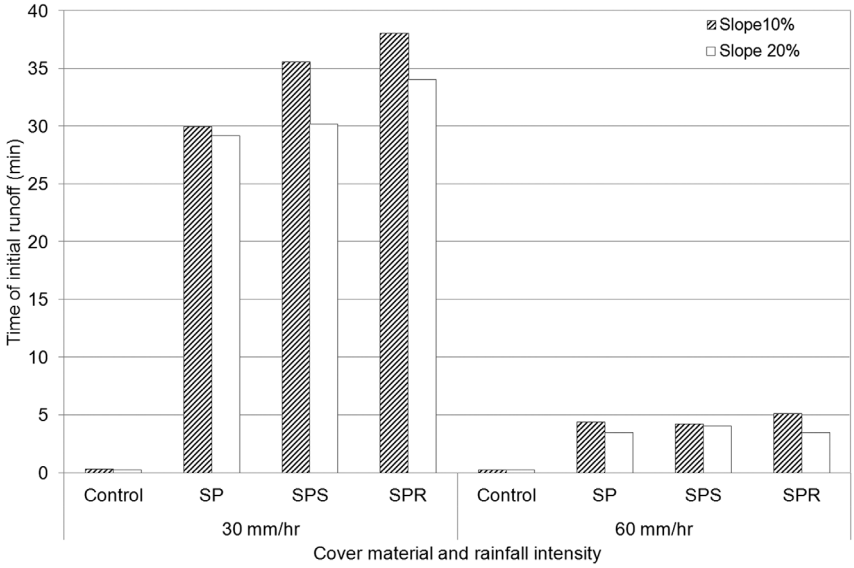
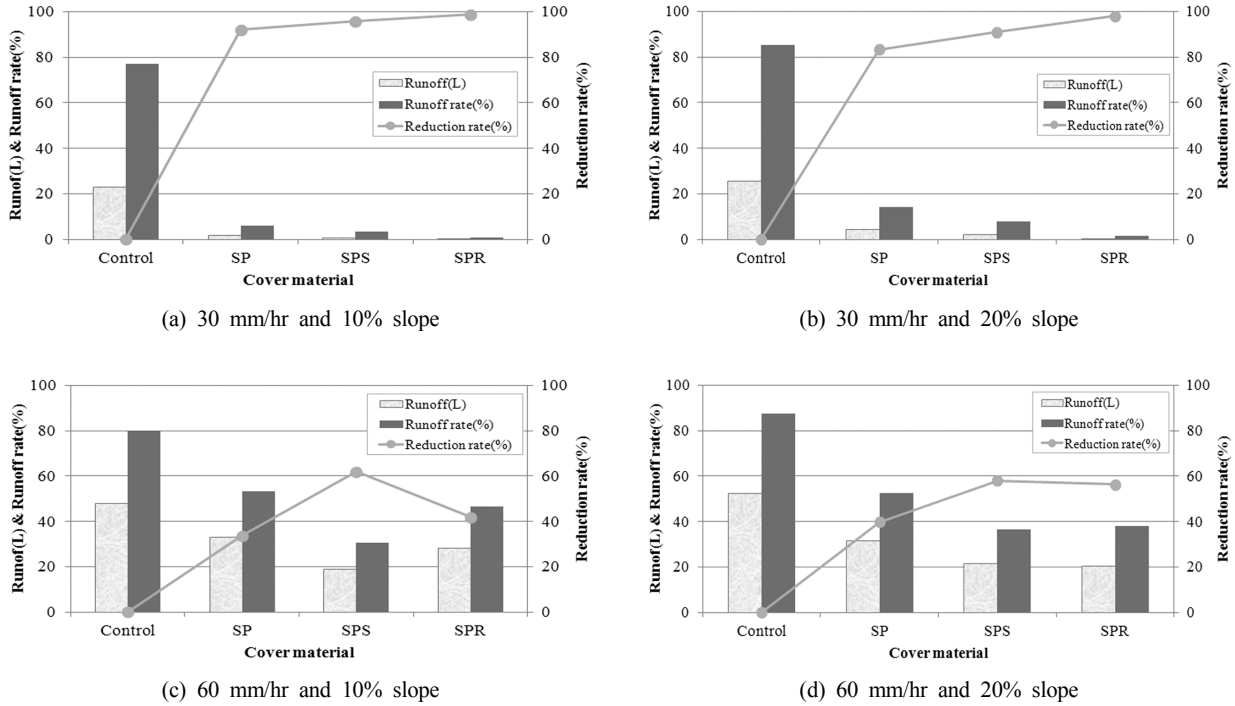


Fig. 2. Comparison of runoff start time with respect to different surface cover.



(a) 30 mm/hr and 10% slope

(b) 30 mm/hr and 20% slope

(c) 60 mm/hr and 10% slope

(d) 60 mm/hr and 20% slope

Fig. 3. Experimental treatments of rainfall simulations and runoff, runoff coefficient and reduction rate under rainfall simulation test.

모두 고려할 때 SPR 피복소재의 유출수 저감효과가 가장 좋았다. 그러나 피복소재에 따른 유의성은 크지 않은 것으로 판단된다.

강우강도 60 mm/hr 실험에서 대조구의 유출율 변화는 크지 않았으나, 피복소재에 따라서는 큰 차이를 보였다(Fig. 3). 또한 동일한 경사도의 30 mm/hr의 강우조건과 비교시 강우강도에 비례하여 유출율이 증가한 것으로 나타났다 (Smith et al., 2007). 그러나 경사도를 20%로 증가시켜도 유출율이 크게 증가되지 않은 것으로 판단할 때, 폭우수준의 60 mm/hr의 강우강도 조건에서 유출율은 경사도보다는 강우강도에 더 크게 의존함을 알 수 있었다. 그러나 잡초와 밀짚을 멀칭하고 55 mm/hr의 강우강도로 실험한 Garcia-Orenes 등(2009)의 연구에서는 유출수가 발생하지 않았는데, 이는 경사가 5%로 낮았기 때문으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 수행하지 않았지만, 10% 이하의 경사와 15%의 경사도에 대한 보다 세분화된 연구가 필요하다고 판단된다.

한편 본 연구에서는 토양개량제로서 PAM을 이용하였는데, PAM을 사용하지 않은 신민환 등(2009)의 동일조건(경사도와 강우강도)의 연구결과와 비교 시 PAM을 첨가한

SP 토양상자에서 유출수의 저감율은 30% 이상 증대되었으며(30 mm/hr), 60 mm/hr의 강우강도 조건에서도 경사도에 따라 약 10~20%의 증대 효과가 있었다. 이는 PAM이 토양입자간의 결합력을 증가시키고(Entry et al., 2002), 빗물의 토양 침투량을 최대 40%까지 증가시킬 수 있다는(McElhiney and Osterli, 1996) 선행 연구에 기초할 때, 본 연구에서도 동일한 효과가 발생하여 유출수의 저감량이 증가된 것으로 판단된다.

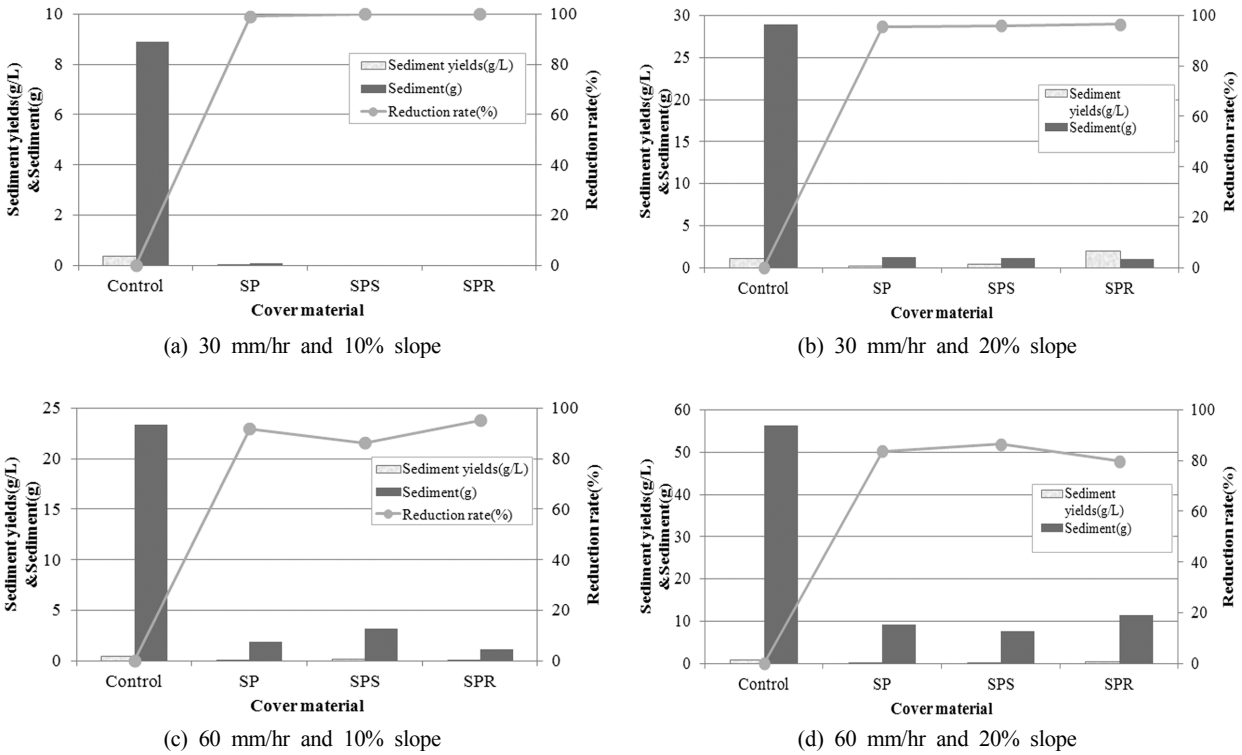
본 연구에서 지표를 피복한 토양상자의 대조구 대비 유출수의 저감효과는 SP 토양상자에서 가장 낮았는데, 이는 SPS와 SPR에 첨가된 톱밥과 왕겨의 영향으로 판단된다. 즉 토양표면의 피복율을 증가시켜 빗물의 유속을 감소시키고 토양하부로의 침투량을 증가시킨 것에 기인하는 것으로 판단된다.

3.3. 유사량

강우시 토양유실은 지표 피복의 유·무나 경운방법에 따라 정도의 차이가 크다(Basic et al., 2001; Benik et al., 2003; Faucette et al., 2004; Locke et al., 2008; Pote et al., 2004; Tiscareno-Lopez et al., 2004). 본 연구에서 지표를 피복할 경우 유사생성율과 총 유사량은 대조구에 비해 크게 감소되는 것으로 나타났다(Fig. 4). 특히 강우강도 30 mm/hr, 경사도 10% 조건의 SP 토양상자에서는 대조구 대비 99.1%의 유사가 저감되었으며, SPR과 SPS에서는 놀랍게도 유사가 발생하지 않았다. 그러나 경사도를 20%로 증가시킬 경우 유사가 발생하였으며, 유사량의 나지대비 저감율은 95.6~96.5% 범위로서 피복소재에 따른 유의적 차이는 없는 것으로 판단된다. 한편 신민환 등(2009)의 동일조건과 연구결과와 비교 시 유사 저감율은 65% 내외로서 강우강도와 경사도에 따라 유의성 있는 차이를 보이지는 않았다. 그러나 본 연구에서 유사 저감율은 79.8~100%의 범위로서 경사도와 강우강도가 증가함에 따라 유사저감율도 감소하는 뚜렷한 경향을 보였다. 이는 볏짚에 첨가된 톱밥과 왕겨가 분리되어 피복율을 증가시켜 토양의 유출을 억제한 것으로 판단된다. 또한 볏짚거적에 처리한 PAM의 효과로 판단된다. Flanagan 등(1997)에 의하면 PAM은 토양표면의 Seal 형성을 차단하기 때문에 토양유실을 방지할 수 있으며, 권기수 등(2000)과 윤재홍 등(2003)은 PAM을 처리할 경우 경사도와 토양내 수분함량에 따라 차이는 있으나 토양유실을 67%까지 저감이 가능하다고 하였다. 또한 Lentz and Bjorneberg (2003)는 경사도가 1.5%인 밭고랑에 밀짚멀칭을 하였을 경우 유사 저감율은 대조구 대비 64%라고 하였으며, PAM을 추가(밀집멀칭+PAM) 할 경우 유사를 100%까지 저감할 수 있다고 보고하였는데, 볏짚거적에 PAM을 추가한 본 연구에서도 유사한 결과를 얻었다. 즉 PAM 사용 시 토양입자간의 결합이 강화된 aggregate를 형성함으로써(Seybold, 1994), 개별 토양입자의 유실이 감소하여 신민환 등(2009)의 연구보다 높은 유사 저감율을 보인 것으로 판단된다. 강우강도 60 mm/hr에서도 유사한 경향을 보였으며, 피복소재에 따른 저감율의 유의적 차이는 없었다. 즉 피복소재 모두 유사 저감에 효과적인 것으로 나타났다.

3.4. SS

농경지의 강우 유출수는 유기물(BOD, COD)뿐만 아니라



(a) 30 mm/hr and 10% slope

(b) 30 mm/hr and 20% slope

(c) 60 mm/hr and 10% slope

(d) 60 mm/hr and 20% slope

Fig. 4. Experimental treatments of rainfall simulations and sediment yields, sediment, reduction rate under rainfall simulation test.

Table 2. Experimental treatments of rainfall simulations and SS concentration under rainfall simulation test

No. runoff plot	RI (mm/hr)	Slope (%)	Cover materials code	SS (mg/L)	Reduction rate (%)*
I	30	10	Control	1,015	-
II	30	10	SP	180	82.3
III	30	10	SPS	110	89.2
IV	30	10	SPR	150	85.2
V	30	20	Control	1,840	-
VI	30	20	SP	240	87.0
VII	30	20	SPS	160	91.3
VIII	30	20	SPR	170	90.8
IX	60	10	Control	2,540	-
X	60	10	SP	420	83.5
XI	60	10	SPS	390	84.6
XII	60	10	SPR	570	77.6
XIII	60	20	Control	2,670	-
XIV	60	20	SP	610	77.2
XV	60	20	SPS	555	79.2
XVI	60	20	SPR	680	74.5

*SS reduction rate

질소와 인도 다량 포함하고 있다. 특히 작물의 성장에 필요한 비료(질소질 또는 인산질)와 퇴비를 많이 시비하기 때문에 유기물보다 질소와 인은 하천과 호수의 생태계에 있어서 중요한 비점오염물질로 인식되고 있다. 이 중 인은 토양유실과 밀접한 관계가 있으며(김현수 등, 2004), 토양유실은 강우 유출수내의 SS의 농도를 증가시킬 수 있다. 특히 SS 성분 중 콜로이드성 물질은 침강이 되지 않기 때문에 수중에 부유하면서 탁도를 유발하게 된다. 따라서 탁수를 저감하려면 발생원 자체에서 토양유실을 저감함으로써 SS 농도를 저감하는 것이 가장 좋은 방법이라 할 수 있다.

본 연구에서 지표를 피복할 경우 유출되는 SS 농도는 대조구에 비하여 크게 감소하는 것으로 조사되었다(Table 2). 모든 실험처리를 고려할 때, 지표피복 시 SS 농도는 대조구 대비 74.5~91.3%가 저감되었는데, 이는 PAM 분자가 토양입자의 응집력을 증대시켜(Orts et al., 1999) SS를 유발할 수 있는 미세입자의 유출을 방지한 것으로 판단된다. 또한 미세입자가 볏짚으로부터 분리된 톱밥에 부착되어 SS의 농도를 저감시킨 것으로 사료된다. 그러나 강우강도와 경사도에 따른 실험처리별로 유의적 차이는 없었다.

4. 결 론

본 연구는 실내인공강우 시험으로 경사도와 강우강도 그리고 지표피복재의 변화에 따른 토양유실 및 유출수량을 비교·평가하기 위하여 수행하였다. 실험에 이용된 피복재는 볏짚과 PAM, 톱밥 그리고 왕겨를 이용하여 제작하였다. 경사도는 10%와 20%, 강우강도는 30 mm/hr와 60 mm/hr로 실험처리를 하였다. 실험 결과 볏짚을 이용한 다양한 피복소재(볏짚 + PAM, 볏짚 + 왕겨 + PAM, 볏짚 + 톱밥 + PAM)를 이용해 지표를 피복할 경우, 볏짚으로만 피복하는 경우에 비해 유출수량, 토양유실 그리고 SS 농도 저감에 큰 효과가 있는 것으로 나타났다. 30 mm/hr의 강우강도 조건에서 지표를 피복한 시험포의 직접 유출수량은 대조구(나지) 대비 83.3~98.7%가 저감된 것으로 조사되었으며, 유사량은 95.6~100%가 저감되었다. 특히 왕겨 또는 톱밥을 첨가한 피복소재에서 높은 저감율을 얻을 수 있었으며, 60 mm/hr의 강우강도 조건에서도 지표피복재는 직접 유출수와 유사량 그리고 SS 농도 저감에 뛰어난 효과를 보였다. 또한 피복소재에 따라서도 저감효과의 차이가 났는데, 강우강도 30 mm/hr 인공강우 실험에서는 볏짚과 PAM 그리고 왕겨를 첨가한 피복소재의 성능이 상대적으로 우수하였다. 그러나 강우강도 60 mm/hr의 실험에서는 피복소재에 따른 유출수 및 유사량 저감효과의 차이가 크지 않았다. 보다 세분화된 강우강도 조건에 따른 추가적인 실험이 요구되지만 본 연구의 결과에 기초할 때, 지표의 피복과 PAM의 사용은 강우시 발생하는 유사 및 탁수를 저감시킬 수 있는 좋은 방법으로 판단된다.

사 사

본 연구의 일부는 Eco-star (과제번호 II-7-6)와 강원대학교 농업생명과학연구원의 지원을 받아 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

권기수, 이기중, 구본준, 최중대(2000). PAM을 이용한 고랭지 경사 농경지의 토양 유실방지 효과. *강원대학교 농업과학연구소 논문집*, **11**, pp. 91-98.

김현수, 김진수, 김영일, 정병호(2004). 논의 영양물질 배출부하 특성과 수질정화 기능분석. *한국관개배수학회지*, **11**(1), pp. 36-44.

소양강댐 토사유출저감 기획단(2007). *소양강댐 유역 고랭*

지 경작지관리방안.

신민환, 원철희, 최용훈, 서지연, 이재운, 임경재, 최중대 (2009). 인공강우기에 의한 시험포장 토양유실량 모의-강우강도, 지표면 및 경사조건 변화-. *수질보전 한국물환경학회지*, **25**(5), pp. 785-791.

윤재흥, 강동균, 조성신, 김한섭(2003). 경작지 토양유실 특성 및 탁수저감 방안, 공동 추계학술발표회논문집, *대한상하수도학회·한국물환경학회*, pp. E 55-E 58.

주진호, 양재의, 정영상(2004). 유역관리와 도암댐의 수질 - 농경지 침식을 중심으로-. *2004 춘천물포럼 논문집*, pp. 353-390.

최봉수, 임정은, 최용범, 임경재, 최중대, 주진호, 양재의, 옥용식(2009). 경사지 토양유실 방지를 위한 PAM (Polyacrylamide) 시제품의 효율성 비교평가: 실내 인공강우실험. *한국환경농학회지*, **28**(3), pp. 249-257.

최용범, 최봉수, 김세원, 이상수, 옥용식(2010). 고랭지 밭 토양유실 방지를 위한 폴리머 소재(폴리아크릴아마이드 및 바이오폴리머)의 현장적용성 평가: 작물재배실험. *대한환경공학회지*, **32**(1), pp. 1024-1029.

최중대(1997). 농촌유역의 관리가 비점원 오염물질의 하천 유입에 미치는 영향. *농촌개발연구*, **1**(1), pp. 91-107.

환경부(2001). *수질오염공정시험법*.

환경부(2007). *소양강댐 유역 고랭지 경작지 관리방안*.

Barvenik, F. W. (1994). Polyacrylamide characteristics related to soil applications. *Soil. Sci.*, **158**, pp. 235-243.

Basic, F., Kisic, I., Butorac, A., Nestroy, O., and Mesic, M. (2001). Runoff and Soil Loss under different Tillage Methods on Stagnic Luvisols in Central Croatia. *Soil & Tillage Research*, **62**, pp. 145-151.

Benik, S. R., Wilson, B. N., Biesboer, D. D., Hansen, B., and Stenlund, D. (2003). Evaluation of erosion control products using natural rainfall events. *Journal of Soil and Water Conservation*, **58**(2), pp. 98-105.

Choi, J. D., Jang, S. O., Choi, B. Y., and Lyou, S. H. (2000). Monitoring Study on Groundwater Quality of an Alluvial Plane in the North Han River Basin. *Journal of the KSWQ*, **16**(3), pp. 283-294.

Entry, J. A., Sojka, R. E., Watwood, M., and Ross, C. (2002). Poluacrylamide preparations for protection of water quality threatened by agricultural runoff contaminants. *Enviro. Poll.*, **120**, pp. 191-200.

Faucette, L. B., Risse, L. M., Nearing, M. A., Gaskin, J. W., and West, L. T. (2004). Runoff, erosion, and nutrient losses from compost and mulch blankets under simulated rainfall. *Journal of Soil & Water Conservation*, **59**(4), pp. 154-160.

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**, pp. 1549-1554.

Garcia-Orenes, F., Cerda, A., Mataix-Solera, J., Guerrero, C., and Bodi, M. B. (2009). Effects of agricultural management on surface soil properties and soil-water losses in eastern Spain. *Soil & Tillage Research*, **106**, pp. 117-123.

Jin, K., Cornelis, W. M., Gabriels, D., Schiettecatte, W., Neve, S. D., Lu, J., Buysse, T., Wu, J., Cai, D., Jin. J., and Harmann, R. (2008). Soil management effects on runoff and soil loss from field rainfall simulation. *CATENA*, **75**, pp. 191-199.

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**, pp. 77-85.

KATS (2002). *Test method for particle size distribution of soils*.

KATS (2006). *Test method for density of soil particles*.

Lal, R. (1999). Soil quality and soil erosion. Water conservation Society, Boca Raton, Florida, USA, pp. 329.

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), pp. 312-319.

Lentz, R. D. and Sojka, R. E. (1994). Field results using polyacrylamide to manage furrow erosion and infiltration. *Soil Sci.*, **158**, pp. 274-282.

Locke, M. A., Zablotowicz, R. M., Reddy, K. N., and Steinriede, R. W. (2008). Tillage Management to Mitigate Herbicide Loss in Runoff under Simulated Rainfall Conditions. *Chemosphere*, **70**, pp. 1422-1428.

Martinez, J. R. F., Zuazo, V. H. D., and Raya, A. M. (2006). Environmental impact from mountainous olive orchards under different soil-management systems (SE Spain). *Science of the Total Environment*, **358**, pp. 46-60.

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 (eds.) 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.

Orts, W. J., Sojka, R. E., Glenn, G. M., and Gross, R. A. (1999). Preventing soil erosion with polymer additivies, December, *Polymer News*, **24**, pp. 406-413.

Pote, D. H., Grigg, B. C., Blanche, C. A., and Daniel, T. C. (2004). Effects of pine straw harvesting on quantity and quality of surface runoff. *Journal of Soil and Water Conservation*, **59**(5), pp. 197-203.

Seeger, M. (2007). Uncertainty of factors determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations. *CATENA*, **71**, pp. 56-67.

Seybold, C. A. (1994). Polyacrylamide review: Soil conditioning and environmental fate. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **25**(11-12), pp. 2171-2185.

Shainberg, I., Warrington, D. N., and Rengasamy, P. (1990). Water quality and PAM interactions in reducting surface sealing. *Soil Sci.*, **149**, pp. 301-307.

Sharpley, A. N. and Halvorson, A. D. (1994). The Management of Soil Phosphorous Availability and its Impact on Surface Water Quality In R. Lal and B. A. Steward (eds.), Soil Processes and *Water Quality (part of the series, Advance in Soil Science)*. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.

Smith, D. R., Warnemuende, E. A., Huang, C., and Heathman, G. C. (2007). How does The First Year tilling a Long-Term No-Tillage Field Impact Soluble Nutrient Losses in Runoff. *Soil & Tillage Research*, **95**, pp. 11-18.

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), pp. 401-408.