

실내실험을 통한 밭의 벚짚거적과 토양개량제 적용효과 모의

Simulation of application effect of Rice Straw Mats and Soil Amendments using small scale plots

신민환*, 원철희**, 박운지***, 이수인****, 최종대*****
Min Hwan Shin, Chul Hee Won, Woon Ji Park
Su In Lee, Joong Dae Choi

요 지

본 연구는 밭에서 발생하는 비점오염물질을 저감하기 위하여 기존의 벚짚거적을 이용한 저감방법에 PAM과 Gypsum을 처리하였을 때, 표면유출량과 기저유출량, 유사량 그리고 탁도 등에 미치는 영향을 모의하고자 하였다. 연구 방법은 인공강우 시험기와 토양상자를 이용한 실내실험을 통하여 지표피복제의 종류와 강우강도 그리고 경사도에 따른 직접유출량과 유사량을 측정하고 비교하였다. 경사도 (10 %, 20 %)와 강우강도 (30 mm/hr) 그리고 지표피복제의 종류에 따라 실험처리를 하였으며, 지표피복제는 벚짚(Rice straw mat)+PAM (Polyacrylamide)+Gypsum, 벚짚+PAM+톱밥 (Sawdust)+Gypsum, 벚짚+PAM+왕겨 (Chaff)+Gypsum으로 구분하여 제작하였다. 실험 결과 벚짚을 이용한 다양한 피복소재를 이용해 지표를 피복할 경우, 대조구(나지)에 대비 유출수량, 토양유실 그리고 탁도 저감에 큰 효과가 있는 것으로 나타났다. 지표를 피복한 처리구의 평균 표면 유출수량은 대조구와 비교할 때 72~85.6 %가 저감되었다. 그러나 동일조건인 Gypsum을 첨가하지 않은 연구와 비교 시 Gypsum의 혼용으로 인한 효과는 크지 않은 것으로 나타났다. 세분화된 강우강도와 경사도 조건에 따른 실험이 필요하지만 본 연구의 결과에 기초할 때, 지표의 피복과 토양개량제를 첨가하는 방법은 강우 시 발생하는 표면유출수와 유사 그리고 탁수를 저감시킬 수 있는 최적영농관리방법 (Best management practice)의 하나로 판단된다.

핵심용어 : Gypsum, PAM, 벚짚, 비점오염물질, 탁수

1. 서론

탁수는 농경지의 토양유실로부터 유발되며, 토양유실은 강수량, 강우지속시간, 강우강도, 토양의 특성, 재배작물, 경운방법, 지표피복, 유출량, 유속 그리고 경사도 등에 영향을 받는다. 특히 토양유실은 식생 피복율이 낮은 농경지에서 크게 발생하며, 집중호우가 발생하는 지역에서 중요한 문제로 인식되고 있다. 따라서 탁수를 저감하기 위해서는 무엇보다도 발생지에서의 토양유실을 억제시킬 필요가 있다. 국내의 경우 아직까지 많은 연구가 수행되고 있지 않지만 PAM(Polyacrylamide)을 이용하여 토양유실을 저감하고 있다(최종대 등, 2000). PAM은 양이온성과 중성 그리고 음이온성으로 존재하며, 음이온성 PAM이 토양 표면의 Seal 형성을 차단하고 토양유실을 방지하는데 효과적이다(Flanagan et al., 1997). 그러나 과다 사용 시 표토 전체가 굳어지는 경화 현상이 나타날 수가 있기 때문에 지속적인 사용을 권장할 수는 없다. 또한 PAM

* 정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 대학원생 · E-mail : uv2000wind@nate.com
** 정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 박사후과정 · E-mail : mildbeau@nate.com
*** 정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 박사후과정 · E-mail : woonji98@nate.com
**** 정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 대학원생 · E-mail : tncls0915@hanmail.net
***** 정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 교수 · E-mail : jdchoi@kangwon.ac.kr

과 Gypsum을 혼용할 경우 토양의 침식 저감 효과를 증대시킬 수 있다고 하였다(Jian et al., 2003). 원철휘 등(2011)은 유출량 저감효과를 평가하기 위하여 벚짚, PAM, 톱밥 그리고 왕겨를 이용하였다. 그러나 아직까지 지표피복재와 Gypsum을 혼용하여 실험한 연구사례가 없기 때문에 본 연구에서는 기존의 벚짚거적에 토양개량재인 PAM과 Gypsum, 그리고 지표피복 보조재인 왕겨와 톱밥을 혼용하여 다양한 지표피복재를 이용하였으며, 인공강우 실험 시 지표피복재가 표면유출량과 기저유출량, 유사량 그리고 탁도에 미치는 영향을 나지 상태인 대조구 (Control)와 비교하였다.

2. 연구방법

2.1 실험장치 및 재료

지표피복재의 종류와 강우강도 그리고 경사도에 따른 직접유출량과 유사량을 측정하고 비교하기 위하여 그림 1과 같이 인공강우 시험기(Norton Ladder-type Rainfall Simulator)와 토양상자를 이용하였다. 토양상자는 강우유출 모의 시 빗물로 인한 부식을 방지하기 위하여 아연도금을 하였으며, 1 m × 1 m × 0.65 m (L×W×H) 크기로 총 8개를 제작하여 이용하였다. 토양표면의 경사는 경사판을 제작하여 그 위에 토양상자를 올려놓아 경사를 주었다. 토양상자마다 50 cm 깊이의 흙 채움을 하였다. 하단부 40 cm의 흙은 10 cm 마다 다짐을 하면서 채웠고 흙 채움이 끝난 후에는 표면에 부직포를 덮고 충분한 양의 물을 공급하여 자연적인 물다짐을 하였다. 물다짐 후 2 주의 배수기간을 두었으며, 추후 10 cm는 다짐 없이 채웠다.

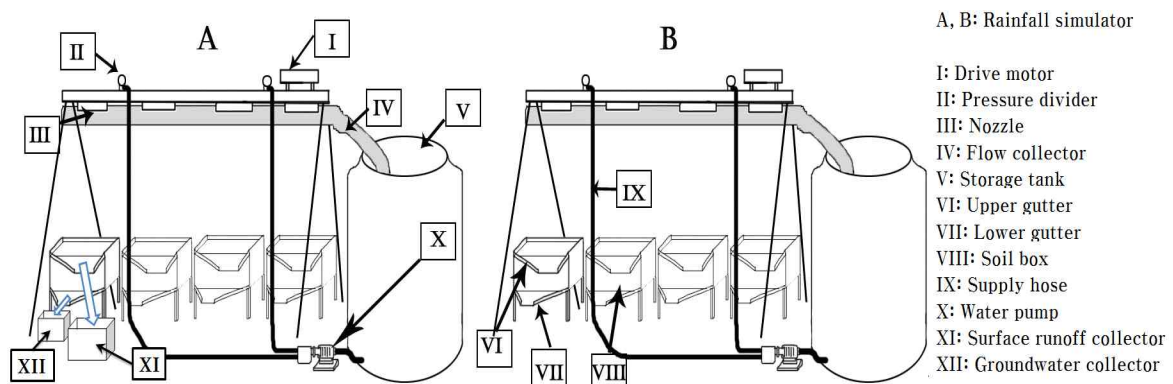


그림 1. 인공강우 시험기와 토양상자

2.2 실험처리

인공강우 실험은 경사도 (10%와 20%)와 강우강도 (30 mm/hr) 그리고 지표피복재의 종류에 따라 실험처리를 하여 수행하였으며, 지표피복재는 시판용 벚짚거적을 이용하여 SPG(Rice straw mat+PAM+Gypsum), SSPG(Rice straw mat+Sawdust+PAM+Gypsum), SCPG(Rice straw mat+Chaff+PAM+Gypsum)으로 구분하여 제작하였다(표 1). 피복재는 벚짚거적을 가로 1 m와 세로 1 m로 재단한 후, 왕겨와 톱밥 그리고 PAM을 밀가루와 전분이 주성분인 친환경 풀을 사용하여 부착하였다. Gypsum 수용액 상태로 살포하는 것이 원칙이나 본 연구에서는 실험처리의 효율성을 위하여 powder 형태로 토양표면에 직접 뿌렸다. PAM은 10 kg/ha로 1 m × 1 m의 토양 상자에는 1 g을 사용하였고, Gypsum은 1 Mg/ha로서 100 g을 사용하였다. 또한 톱밥과 왕겨는 100 g을 벚짚거적에 부착하였다. 완성된 지표피복재의 총 무게는 약 400 g/m²이었다. 경사도와 강우강도는 고령지 지역의 경사 분포 중 가장 큰 비중을 보인 경사도와 극한 강우 조건으로 결정하였다.

표 1. 실험처리(강우강도, 경사도, 지표피복재)

No. runoff plot	Rainfall intensity (mm/hr)	Slope (%)	Cover materials	
			Code	Treatments
I	30	10	Control	Bare
II	30	10	SPG	Rice straw mat+PAM+Gypsum
III	30	10	SSPG	Rice straw mat+sawdust+PAM+Gypsum
IV	30	10	SCPG	Rice straw mat+chaff+PAM+Gypsum
V	30	20	Control	Bare
VI	30	20	SPG	Rice straw mat+PAM+Gypsum
VII	30	20	SSPG	Rice straw mat+sawdust+PAM+Gypsum
VIII	30	20	SCPG	Rice straw mat+chaff+PAM+Gypsum

2.3 실험 및 분석방법

인공강우기를 설치한 후 강우강도와 경사도 그리고 지표피복재의 종류별 처리에 따라 실험을 수행하였다. 인공강우 실험은 30 mm/hr의 강우강도 조건에서 경사도 10% 4개와 경사도 20%의 4개, 총 8개의 유출 시험포를 대상으로 1시간 동안 지속하였으며, 같은 조건과 처리를 약 1주일 간격(2010년 7월 3일, 7월 11일, 7월 19일)으로 총 3회씩 반복하였다. 인공강우 실험 시 표면 유출량, 기저유출량, 유사량 그리고 탁도 변화를 조사하였다. 직접유출량과 기저유출량은 토양상자 상부와 하부에 거터를 설치하여 포집하고 그 양을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 초기유출시간

그림 2는 피복소재와 경사도의 실험처리에 따른 평균 초기유출시간이다. 경사도 10%와 20% 모두 대조구에서 유출이 가장 빨리 발생하였으며, 초기유출 시간은 Control > SPG > SSPG > SCPG 순으로서 왕겨를 첨가한 토양상자에서 유출이 지연되는 효과를 보였다. 경사도 10%에서 SPG, SSPG, SCPG 소재의 초기유출시간을 대조구와 비교 시 각각 81%, 193% 그리고 105%가 지연된 것으로 조사되었다. 또한 경사도 20%에서 초기유출은 경사도 10%보다 빠르게 발생하였으나, 피복소재에 따른 초기유출시간의 차이는 크지 않았다. 이와 같이 피복소재와 경사도에 따른 초기유출시간의 차이가 나타났으며, 초기유출에 따른 표면 유출량에도 큰 차이가 있는 것으로 나타났다.

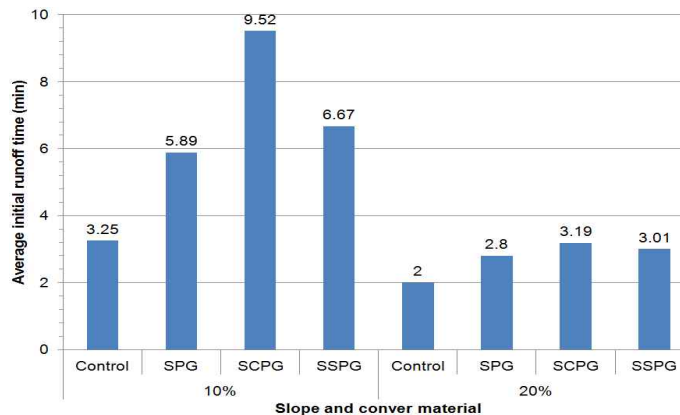


그림 2. 지표피복재에 따른 초기유출시간 비교

3.2 표면유출

피복소재와 경사도에 따른 표면 유출율의 변화는 경사도와 피복소재에 따라 차이를 보였다. 또한 총 3회의 실험에 따라 유출율도 다르게 나타났다. 모든 토양상자에서 유출율은 1회차 실험에서 가장 낮게 나타났는데, 이는 표토를 다짐 없이 10 cm를 넣었기 때문에 하부로의 침투량이 많아 유출율이 작았던 것으로 판단된다. 2차 실험에서 유출율은 증가하였으며, 3차 실험에서는 다시 감소하였다. 이는 일반적으로 PAM은 수용액 상태로 토양에 살포하여야 하나 본 연구에서는 입자 상태로 토양에 뿌렸기 때문에 용해되어 토양에 고착되는데 오랜 시간이 걸렸기 때문으로 판단된다. 따라서 1주일의 휴지기를 더 가진 3차 실험에서 유출율이 감소한 것으로 판단된다. 경사도 10%에서 피복소재에 따른 유출율은 SCPG에서 0.2~2.7%의 범위로 가장 작았으며, 대조구 대비 저감율은 그림 3과 같이 평균 98.7%로 분석되었다. 경사도 20%에서도 동일한 경향을 보였으며, SCPG 소재에서의 평균 저감율은 81.7%로서 경사도가 증가함에 따라 저감율이 다소 감소하는 경향을 보였다. 본 연구의 대조구 대비 지표층을 피복한 모든 토양상자의 평균 저감효율은 10% 경사도에서 85.6%, 20% 경사도에서 72%로서 Bjerneberg et al. (2000)이 밀짚으로 70% 피복하고 PAM을 처리한 연구와 유사한 결과인 것으로 나타났다.

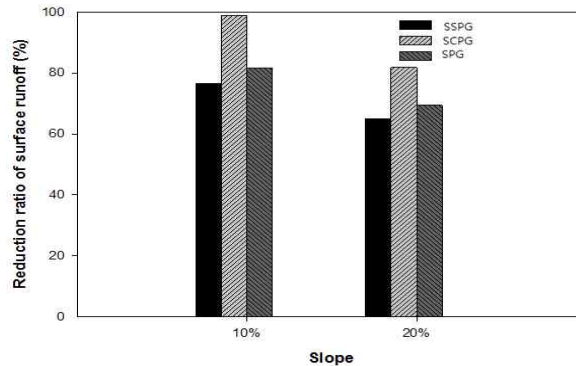


그림 2. 경사도에 따른 표면유출 저감율

3.3 유사량

경사도와 피복소재에 따른 유사발생량과 유사저감율을 조사하였다. 경사도 10%와 20%의 대조구에서 발생한 유사량은 각각 54.7 g과 128.4 g으로 분석되었다. 그러나 지표 처리구의 평균 유사량은 0.91 g (경사도 10%)과 1.52 g (경사도 20%)로서 대조구와 비교 시 1/59 및 1/84 정도로 작게 나타났다. 피복소재에 따른 유사량은 SCPG 소재에서 경사도와 상관없이 가장 적은 양이 발생하였으며, 이에 따른 대조구 대비 유사 저감율은 그림 3과 같이 99% 이상으로 나타났으며, 이는 신민환 등 (2009)이 제시한 65%보다 높았다. 이는 벧짚에 첨가한 왕겨와 톱밥이 강우시 쉽게 탈리되어 지표가 피복되지 않은 곳에 재 피복되는 효과로 인하여 강우 타격을 직접 받지 않아 유실량이 적은 것으로 보인다.

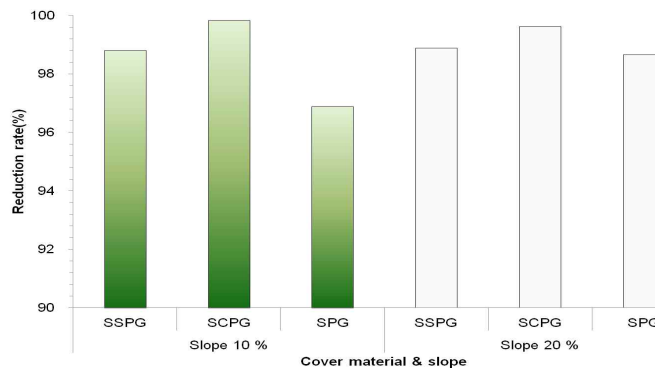


그림 3. 경사도에 따른 유사량 저감율

3.4 탁도

표면유출수내의 탁도는 10%경사도일 때 보다 20% 경사도일 때 높게 나타났다. 피복소재에 따라서는 경사도에 관계없이 경사도 10% 84 NTU와 경사도 20% 251 NTU로 SCPG 소재에서 가장 낮은 값을 보였으며, 경사도 10%와 20% 각각 대조구와 비교 시 1/51 및 1/21 정도로 낮게 조사되었다. 이는 유사발생량의 차이에 기인하는 것으로 SCPG 소재의 유사발생량이 대조구에 비해 현저히 적었기 때문으로 사료되며, 경사진 농경지에서 지표피복재를 이용할 경우 탁도의 저감과 이로 인해 유발될 수 있는 수계로 유입되는 오염물질의 예방도 가능할 것으로 보여진다.

4 요약 및 결론

본 연구에서는 볏짚과 토양개량제(PAM, Gypsum) 그리고 첨가물(왕겨, 톱밥)의 종류에 따른 유출량과 토양유실량 및 탁도 등을 실내인공강우 조건에서 비교하였다. 토양상자의 경사도는 10%와 20%로 조절하였으며, 강우강도는 30 mm/hr 조건에서 수행하였다. 실험 결과 볏짚을 이용한 다양한 피복소재 (SPG, SCPG, SSPG)를 이용해 지표를 피복할 경우, 대조구 대비 유출량, 토양유실 그리고 탁도 저감에 큰 효과가 있는 것으로 나타났다. 지표를 피복한 처리구의 평균 표면 유출량은 대조구와 비교할 때 72~85.6%가 저감되었다. 피복소재에 따라서도 저감효과의 차이가 났는데, SCPG 소재에서 상대적으로 높은 저감효율을 보였다. 그러나 동일조건의 Gypsum을 첨가 유.무에 따른 결과 비교 시 Gypsum의 혼용으로 인한 효과는 크지 않은 것으로 나타났다. 본 연구의 결과에 기초할 때, 지표의 피복과 토양개량제를 첨가하는 방법은 강우 시 발생하는 표면유출수와 유사 그리고 탁도를 저감시킬 수 있는 최적영농관리방법 (Best management practice)의 하나로 판단된다. 그러나 세분화된 강우강도와 경사도 조건에 따른 실험을 위한 추가 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

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

참고 문헌

1. 신민환, 원철희, 최용훈, 서지연, 이재운, 임경재, 최중대(2009). 인공강우기에 의한 시험포장 토양유실량 모의 - 강우강도, 지표면 및 경사조건 변화 -. 수질보전 한국물환경학회. 25(5), pp. 785-791.
2. 원철희, 신민환, 최용훈, 신재영, 박운지, 최중대(2011). 토양유실 저감을 위한 지표피복재 적용. 수질보전 한국물환경학회. 27(6), pp. 848-854.
3. 최중대, 권기수, 이기중, 구분준(2000). PAM을 이용한 고랭지 경사 농경지의 토양 유실방지 효과. 강원대학교 농업과학연구소 논문집. 11: 91-99.
4. Bjorneberg, D. L., Aase, J. K. and Westermann, D. T. (2000). Controlling sprinkler irrigation runoff, erosion, and phosphorus loss with straw and polyacrylamide. *Transactions of the ASAE* 43(6), pp. 1545-1551.
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. *Transactions of the ASABE* 40, pp. 1549-1554.
6. Jian Y., Lei, T., Shainberg, I., Mamedov, A. I. and Levy, G. J. (2003). Infiltration and Erosion in Soils Treated with Dry PAM and Gypsum. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67: 630-636.