

# 무밭에서 발생하는 비점오염원 저감을 위한 볏짚거적 사용 Using of Straw mat for Reduction on NPS pollution from Radish field

신민환\*, 강종천\*\*, 박운지\*\*\*, 장정렬\*\*\*\*, 최종대\*\*\*\*\*

Min Hwan Shin, Jong Cheon Kang, Woon Ji Park

Jeong Ryeol Jang, Joong Dae Choi

## 요 지

농업비점오염원의 오염원 관리를 위해서는 오염물질의 발생과 운반에 직접적으로 영향을 미치는 농업수문학 기술에 바탕을 두고 우리나라의 집약농업의 특성을 정확히 반영할 수 있는 최적관리방법의 개발과 비점오염저감효과를 검증할 수 있는 현장실험이 수반되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 지표피복재를 이용하여 밭의 토양침투를 증가시키고 유속 및 유출량 감소를 통해 토양유실과 비점오염원을 저감하고자 하였다. 실험방법은 실제 영농과 동일하게 무를 재배한 뒤 볏짚거적을 이용하여 밭의 토양 표면을 피복하여 유량과 수질농도를 측정하였다. 연구기간 동안 총 3차례(2010년 9월 9~12일, 9월 21일, 10월 2~3일)의 강우가 발생하였고, 이때 발생한 강우량은 각 359.2 mm, 49 mm, 28.8 mm이었다. 각 시험포에서 볏짚거적으로 인해 저감된 유출량의 저감효율은 볏짚거적을 피복하지 않은 나지상태의 밭 보다 약 33~75%의 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 75%의 유출률 저감 효과가 가장 크게 나타난 강우사상은 30 mm 이하의 강우가 발생한 10월 2~3일의 강우사상에서 나타났다. 강우량과 강우강도는 28.8 mm와 1.92 mm/hr으로 나타났으며, 이때 발생한 유출량은 나지에서 0.36 m<sup>3</sup>, 볏짚거적을 피복한 시험포에서는 0.08 m<sup>3</sup>이 발생하였다. 나지상태와 볏짚거적을 피복한 시험포의 오염부하의 값을 비교한 결과 볏짚거적을 피복한 시험포에서 BOD<sub>5</sub> 항목은 64.3%, SS 80.8%, COD<sub>Mn</sub> 66.7%, DOC 80.2%, T-N 56.6% 그리고 T-P 56.1%의 오염부하 저감효과가 나타났다. 본 연구의 결과와 같이 지표를 볏짚거적으로 피복할 경우 시험포에서 유출시작 시간 지연효과와 강우에 의한 침투유출량 및 유출량 감소 효과가 나타나는 것으로 나타났으며, 연구결과는 농업 비점오염원의 최적관리를 위한 과학적 근거자료 제공 및 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 볏짚거적, 비점오염원, 유출량, 지표피복재

## 1. 서론

농업유역에서 강우시에 발생하는 비점오염물질은 하천의 수생태계에 큰 영향을 미치는 영향인자로 관리가 필요하다. 전 국토의 25%를 차지하는 농업비점오염원은 강우와 작물재배형태, 토양 특성에 따라 유출형태가 변동하고, 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 시험을 통한 토양유실량의 기초실험도 이루어지고 있다(Shin et al., 2009). 그러나 이러한 방법은 비점

\* 정회원 · 강원대학교 농생대학 지역건설공학과 대학원생 · E-mail : uv2000wind@nate.com  
\*\* 정회원 · 강원대학교 농생대학 지역건설공학과 대학원생 · E-mail : rkdwhdcjs@lycos.co.kr  
\*\*\* 정회원 · 강원대학교 농생대학 지역건설공학과 박사후과정 · E-mail : woonji98@nate.com  
\*\*\*\* 정회원 · 한국농어촌공사 농어촌연구원 책임연구원 · E-mail : wgjang@ekr.or.kr  
\*\*\*\*\* 정회원 · 강원대학교 농생대학 지역건설공학과 교수 · E-mail : jdchoi@kangwon.ac.kr

오염원에 대한 정량화 및 비점오염원 저감을 위한 기초조사에 불과하며, 실내 실험을 통한 연구결과는 실제 영농이나 공사현장 등의 발생원에 적용할 경우 차이가 발생할 수 있다. 비점오염원 저감을 위한 방법은 지표피복, 초생대와 수변구역의 조성, 초생수로, 그리고 경운방법 등이 있다 (NRCS, 2011). 여러 저감 방법 중 우리나라 지형에 맞고 적용이 가능한 방법을 적용하여 밭에서 발생하는 비점오염원을 줄여야 한다. 지표를 피복하는 방법은 강우가 발생하였을 때 강우의 타격 에너지를 완화하고, 토양으로 침투되는 침투능을 유지시키며, 유출수의 유속을 감소시킴으로 인해 토양입자의 이탈을 감소시켜 토양의 유실을 방지하고, 탁수나 비점오염물질의 발생을 억제한다. 따라서 본 연구에서는 지표를 피복하여 강우시 밭에서 발생하는 비점오염원의 저감효과를 분석하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 시험포 조성

3개의 시험포를 줄자와 측량기를 이용하여 3%의 경사와 가로 5 m × 세로 22 m의 크기로 조성하였으며, 시험포 사이에는 각 시험포에서 발생하는 유출수를 구분하기 위하여 폭 0.4 m × 높이 0.2 m로 뚝을 조성하여 면적을 구분하였다. 토양의 다짐과 느슨함 그리고 작물의 성장조건을 동일하게 적용하기 위하여 로타리 작업과 이랑짓기 그리고 이랑고루기 등을 실시하였다. 시험포에는 작형별로 가을재배용으로 구분되는 무(대보름) 438주를 각 시험포에 재식거리 60 cm × 45 cm 간격으로 파종하여 작물에 의한 영향을 고려하고자 하였다. 또한 무 작물이 관행적으로 이루어지고 있는 작물 재배 방법과 동일한 조건으로 연구를 수행하기 위해 표 1과 같이 시험포 별로 퇴비와 질소, 인산, 칼리 그리고 석회와 붕사 등의 비료를 살포하였다.

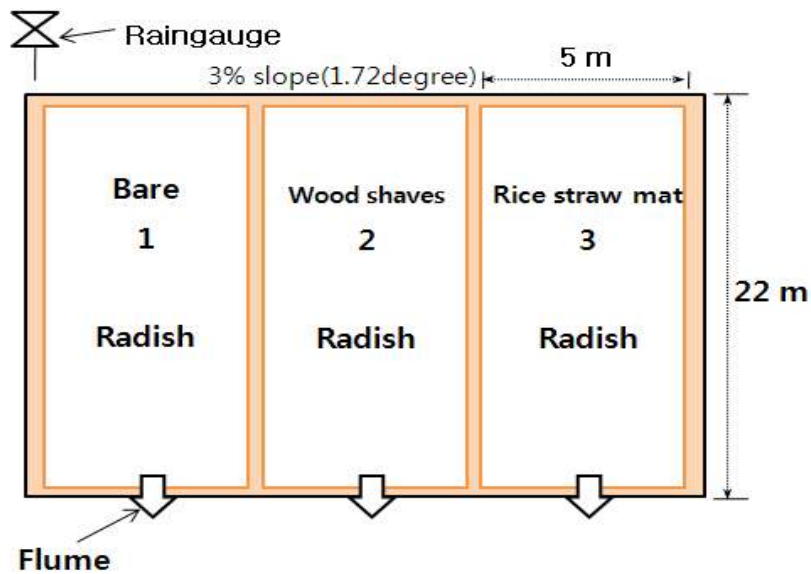


그림 1. 시험포 모식도

표 1. 시험포의 작물생산을 위한 비료사용량

		Unit: <kg/10a>					
작물	비종	퇴비	질소	인산	가리	석회	붕사
	무		3,000	9.6	12.8	12.5	100

## 2.2 모니터링 및 부하량 산정

각 시험포에서 발생하는 유출량을 측정하기 위하여 시험포 하단 유출부에 H-flume을 설치하였으며, 부자식 수위계(Thalimedes)를 설치하여 H-flume을 통하여 유출되는 수량의 수위를 측정하였다. 수위는 5분 간격으로 측정을 하였으며, calibration을 통하여 산정된 수위-유량 곡선식을 이용하여 유량으로 환산하였다. 자기우량계를 설치하여 시험포에 발생하는 강우량을 정확히 측정하고자 하였으며, 자기우량계에서 측정된 결과는 기상청에서 제공하는 강우량과 비교하여 사용하였다. 오염부하량 산정을 위해 flume을 통하여 유출되는 유출수를 채취하여 수질시료를 분석하였다. 분석항목은 BOD<sub>5</sub>, SS, COD<sub>Mn</sub>, DOC, T-N 그리고 T-P 등을 수질공정시험법(Ministry of Environment, 2001)에 따라 분석하였다.

## 2.3 토양시료 채취

시험포에서 사용된 토양의 특성을 분석하기 위하여 토양시료를 채취하여 분석하였다. 토양시료를 각 시험포에서 지그재그형으로 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 밭 시험포의 토성을 알아보기 위해 입도시험(KS F 2309)과 비중시험(KS F 2308)을 수행하였으며, 입도분석을 통해 점토, 실트 및 모래의 함량으로 미국 농무성의 삼각좌표분류법을 이용하여 토성을 분석하였다.

## 3. 결과

### 3.1 토양특성

본 연구에서 사용된 토양을 채취하여 분석한 결과 입도시험 자료로 작성한 입경가적곡선의 균등계수(Cu)는 32.1, 곡률계수(Cg)는 1.8인 것으로 나타나 본 연구에 사용된 토양의 입도분포가 양호한 것을 알 수 있었다. 그리고 입도시험결과 시험토양은 모래(Sand) 68.0%, 실트(Silt) 21.5%, 점토(Clay) 10.5%로 산정되었으며, 삼각분류법에 의한 밭의 토성은 양질사토(Loamy Sand)로 나타났다(그림 2). 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).

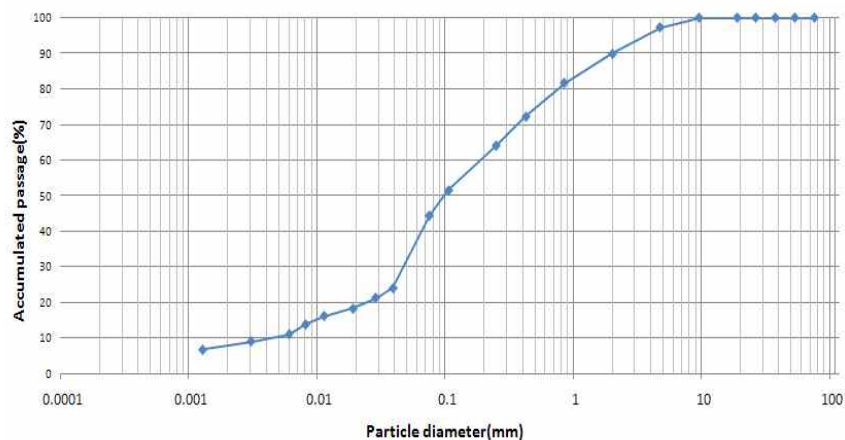
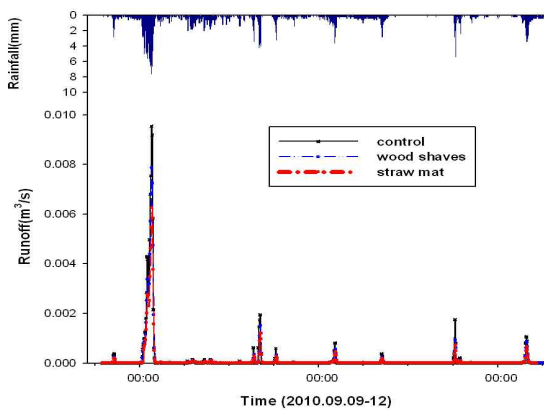


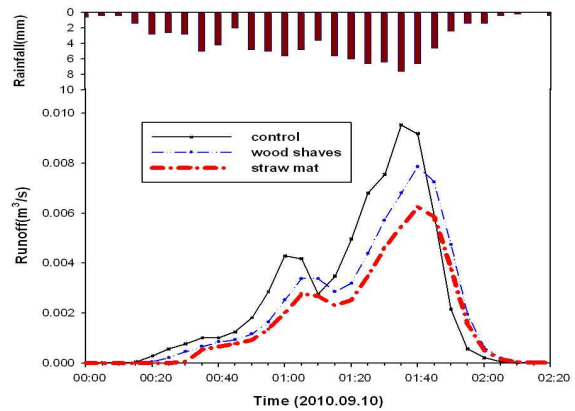
그림 2. 입경가적곡선

### 3.2 유출량

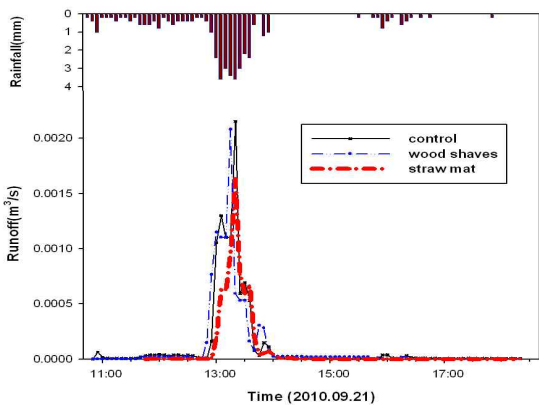
연구기간 동안 총 3회에 걸쳐 발생하였고, 이때 발생한 강우량은 각 359.2 mm, 49.0 mm, 28.8 mm이었다. 이때 강우지속시간은 66 hr, 16 hr, 15 hr 동안 발생하여 5.44 mm/hr, 3.06 mm/hr, 1.92 mm/hr의 강우강도로 나타났다. 그림 3의 (a)~(b)와 같이 9월 9~12일사이 66시간 동안 총 359.2 mm의 강우가 발생한 강우사상에는 각 시험포에서 18.9~29.3 m<sup>3</sup>의 유출량이 발생하였으며, 이때 유출률은 0.48~0.72로 나타났다. 관행시험포를 기준으로 대패밥과 볏짚거적 시험포에서 저감된 유출률은 16.5%와 33.8%의 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 그림 3의 (c)와 같이 3.06 mm/hr의 강우강도로 49 mm의 강우가 발생한 9월 21일의 강우사상에는 총 1.97~3.02 m<sup>3</sup>의 유출이 발생하였으며, 이때 유출률은 0.37~0.57로 나타났다. 대패밥과 볏짚거적으로 인해 저감된 유출률은 4.3%와 34.8%의 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 시험포의 면적과 경사 그리고 강우량 등의 조건이 동일한 상태에서 지표피복만을 다르게 처리하여 지표피복의 효과를 조사한 결과 대패밥과 볏짚거적으로 인해 발생한 유출량이 현저히 감소하는 것을 알 수 있었다. 총 세번의 강우사상에서 대패밥과 볏짚으로 저감된 유출량 저감효과는 대패밥을 피복한 시험포에서 약 4~30%, 볏짚거적을 처리한 시험포에서 33~75%의 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 강우량이 적을수록 대패밥과 볏짚거적의 효과가 큰 것으로 나타났으며, 이는 대패밥과 볏짚거적으로 인해 강우가 피복재에 흡수되고, 표면으로 발생하는 유출수의 유속감소를 통해 토양에 저류되는 시간이 증가함으로 인해 토양으로 침투하는 강우량이 많아졌기 때문으로 판단된다.



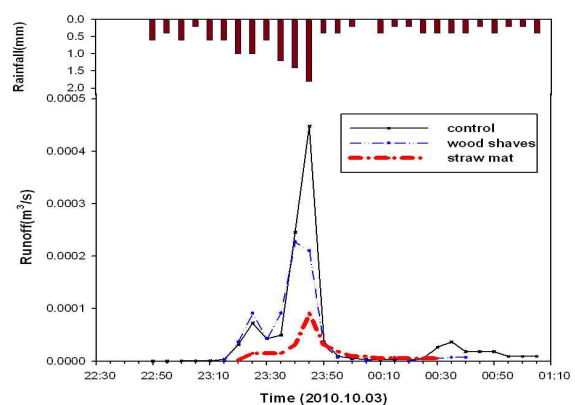
(a) 2010. 9. 9 ~ 2010. 9. 12



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



(c) 2010. 9. 21



(d) 2010. 10. 3

그림 3. 강우에 의한 유출량 수문 그래프

### 3.3 수질농도 및 오염부하량

각 시험포에서 발생하는 강우유출수의 유출수를 채취하여 수질농도를 분석한 결과 BOD<sub>5</sub>는 4.9~30.1 mg/L, SS 235.0~990.0 mg/L, COD<sub>Mn</sub> 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 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.

## 4. 결론

본 연구에서는 무밭에서 발생하는 비점오염원을 저감하기 위하여 경작지 규모의 시험포를 조성하고, 지표를 대패밥과 벧짚거적으로 피복하여 강우유출수를 측정하여 비교하였다. 연구결과 대패밥과 벧짚거적으로 저감된 유출량 저감효과는 대패밥을 피복한 시험포에서 약 4~30%, 벧짚거적을 처리한 시험포에서 33~75%의 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 대패밥과 벧짚거적으로 인해 강우가 피복재에 흡수되고, 표면으로 발생하는 유출수의 유속감소를 통해 토양에 저류되는 시간이 증가함으로 인해 토양으로 침투하는 강우량이 많아졌기 때문으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 농어촌공사 농어촌연구원 새만금 사업단을 통하여 지원된 새만금유역 농업비점오염 저감기법 개발 사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 최용훈, 원철희, 서지연, 신민환, 양희정, 임경재, 최중대(2009). 평지밭과 고랭지밭의 비점오염에 대한 분석과 비교, 한국물환경학회, 25(5), pp. 682-688
2. 최중대, 이찬만, 최예환(1999). 토지이용이 농업소유역의 수질에 미치는 영향, 32(4), pp. 501-510.
3. 김진호, 한국현, 이종식(2008). 농촌유역의 강우사상별 농업 비점원오염물질 유출특성, 한국물환경학회, 24(1), pp. 69-77
4. 신민환, 원철희, 최용훈, 서지연, 이재운, 임경재, 최중대(2009). 인공강우기에 의한 시험포장 토양유실량 모의 -강우강도, 지표면 및 경사조건 변화-, 한국물환경학회, 25(5). 785-791.
5. National Resources Conservation Service (NRCS), <http://www.nrcs.usda.gov/>, Accessed 2011.
6. 환경부(2001). 수질오염공정시험방법
7. 홍기찬, 최봉수, 주진호, 정영상, 양재의, 옥용식(2010). 강원도 고랭지 밭토양의 유기물 함량 및 입단안정성, 강원대학교 농업생명과학대학연구원 논문집 22, pp. 19-24
8. 환경부(2009). 토양오염공정시험방법
9. 손용만, 송재도, 전건영, 김두환, 박무언(2010). 새만금간척지에서 토양염농도 및 재배조건이 이랑의 유지와 밭작물의 생육에 미치는 영향. 한국토양비료학회, 43(5), pp. 526-539 .