배추와 무밭에서 발생하는 비점오염원 저감을 위한 피복재와 토양개량제 적용

Application of Surface Cover Materials and Soil Amendments for Reduction of Non-Point Source Pollution from Upland Fields

신민환* · 장정렬** · 신현준*** · 금동혁* · 최용훈* · 원철희* · 임경재* · 최중대*†

Shin, Min Hwan · Jang, Jeong Ryeol · Shin, Hyun Jun · Kum, Dong Hyuk ·

Choi, Yong Hun · Won, Chul Hee · Lim, Kyoung Jae · Choi, Joong Dae

ABSTRACT

The objective of the study was to investigate the effect of rice straw mat, rice straw mat with PAM (Polyacrylamide) and gypsum addition on surface runoff and sediment discharge in field. Six experimental plots of 5×22 m in size and 3 % in slope prepared on gravelly sandy loam soil were treated with control, rice straw mat cover with gypsum and rice straw mat cover with gypsum and PAM. Radish in Spring and Chinese cabbage in autumn growing seasons were cultivated. Non point source (NPS) pollution discharge was monitored and compared among the treatments. Rainfall of the 10 monitored events ranged from 17.0 mm to 93.5 mm. Runoff coefficient of the events was 0.005~0.239 in control plot, 0~0.176 in rice straw plot with gypsum and 0~0.046 in rice straw mat plot with gypsum and PAM. When compared to the control plot, the runoff amount was reduced by 10.4~100 % (Ave. 60.8) in rice straw plot with gypsum and 80.7~100 % (Ave. 96.7 %) in rice straw mat plot with gypsum and PAM. The reduction of NPS pollution load was 54.6 % for BOD₅, 71.5 % for SS, 41.6 % for TN and 61.4 % for T-P in rice straw with gypsum plot and 91.9 % for BOD₅, 92.0 % for SS, 88.0 % for TN and 88.5 % for T-P in rice straw mat with gypsum and PAM plot. This research revealed that rice straw mat cover with soil amendments on the soil surface could not only increase the crop yield but also reduce the NPS pollution loads substantially.

Keywords: Gypsum; NPS; PAM; Pollution load; Runoff

1. 서 론

환경부의 비점오염원관리 업무편람에서 비점오염은 농작물에 흡수되지 않고 농경지에 남아있는 비료와 농약, 초지에 방목된 가축의 배설물, 가축사육농가에서 배출되는 미처리 축산폐수, 빗물에 섞인 대기오염물질, 도로 노면의 퇴적물, 합류식 하수관거에서 강우시 설계량을 초과하여 하천으로 흘러드는 오수/하수와 빗물의 혼합수 등으로 구분하고 있다 (Ministry of Environment, 2006). 이러한 비점오염원 중 농경지에서 발생하는 토양유실은 심한 흙탕물 (탁수) 문제를 일으켜 수질환경의 악화뿐만 아니라

하천의 이수 및 홍수관리에 심각한 영향을 준다. 특히 유사는 하천에서 퇴적과 운반을 반복하며 서서히 하류로 이동하여 하천의 통수량을 줄이고, 하상의 지반고를 높여 홍수시 제방의 범람이나 붕괴를 초래할 수 있다. 또한 수중의 부유물질은 햇빛의 투과를 차단하고 광합성 작용을 방해하여 수중식물의 성장을 저해할 뿐만 아니라 저서동식물의 서식지와 물고기의 산란장을 파괴하기 때문에 수중생태계에 치명적인 영향을 미친다 (Ko et al., 2006). 이러한 농경지에서 발생하는 비점오염원을 저감하기 위한 방법으로는 중간지 관리방법인 초생대, 초생수로, 우회수로, 실트펜스 (silt fence), 승수로, 용배수로 및 농경지 사면정비 등 구조적인 방법과 (Kim et al., 2012; Lee et al., 2011) 산림복원이나 무경운, 다년생 작물 (인삼, 도라지 등) 재배, 지표피복 등 비구조적인 방법이 있다. Shin et al. (2012)은 비구조적인 최적관리방법 중 발생원 관리를 할 수 있는 벧짚과 벧짚거적을 이용하여 70.9 ~ 95.1 %의 유출량을 저감할 수 있다고 하였으며, 오염부하 저감효과도 매우 높다고 하였다. 또한 Ghawi and Battikhi (1986)의 연구에서는 밭에서 벧짚을 이용할 경우 침투량을 증가시킬 수

* 강원대학교 농업생명과학대학 지역건설공학과

** 한국농어촌공사 농어촌연구원

*** 한국건설기술연구원

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

Fax: +82-33-251-1518

E-mail: jdchoi@kangwon.ac.kr

2013년 3월 19일 투고

2013년 5월 28일 심사완료

2013년 5월 30일 게재확정

있으며, 이로인해 직접유출량이 감소한다고 하였다. 이와 같이 농작물의 잔류물을 이용하여 토양의 표면을 보호하는 것은 토양의 관리를 위한 최적관리방안 중 하나라고 하였다 (Pollock and Reeder, 2010).

토양유실 저감을 위해 사용되는 Polyacrylamide (PAM)은 토양표면에 seal 형성을 차단한다 (Flanagan et al., 1997). 또한 환경적인 유해성이 작기 때문에 적절한 양을 사용할 경우 토양 유실량 저감효과가 높다 (Jian et al., 2003). Won et al. (2012)과 Shin et al. (2011)의 PAM을 이용한 연구에 따르면 표면유출량과 유사량 저감효과가 매우 높은 것으로 나타났다. 그러나 선행 연구결과는 실내인공강우기를 이용한 인위적인 영향이 고려되는 결과이며, 피복재나 PAM이 농작물에 미치는 영향을 고려하지 않았다. 따라서 본 연구에서는 Shin et al. (2012)의 벧짚거적을 적용하여 저감효과를 분석한 연구결과에 토양개량제 (PAM, Gypsum)등을 추가로 살포하여 밭에서 발생하는 비점오염원의 저감효과를 분석하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상지역

밭에서 발생하는 비점오염원 저감효과 분석을 위하여 강원도 춘천시 방동리에 시험포 밭을 조성하였다. Fig. 1의 모식도와 같이 6개의 시험포를 3 %의 경사와 가로 5 m×세로 22 m의 크기로 조성하고, 각각의 시험포 사이에는 폭 0.4 m와 높이 0.2 m로 독을 조성하여 면적을 구분하였으며, 시험포 면적 이외의 면적에서 유입되는 유입수를 차단하였다. 연구에 사용된 시험포의 토양분석을 위하여 각 시험포에서 지그재그형으로 10개 지점에서 약 1 kg씩 총 10개의 시료를 채취하여 혼합한 뒤 1개의 복합시료로 만든 시료를 채취하여, 입도분석시험 (KS F 2309)과 비중시험 (KS F 2308)을 실시한 뒤 미국농무성 (USDA)의 분리방법에 따라 토성을 분리하였다. 각 시험포에는 기온과 영농활동

시기를 고려하여 배추 (봄)와 무 (가을)를 재배하였다. 배추는 재식거리 60 cm×35 cm로 정식하였으며, 무는 재식거리 60 cm×25 cm로 파종하여 일반 영농활동과 동일하게 재배하였다.

2. 실험처리

Fig. 1과 같이 6개의 시험포 중 반복실험을 위해 2개의 시험포에는 대조구로 기존 관행방법과 동일하게 화학비료와 유기비료, 농약 등을 살포하였다. 또한 2개의 시험포에는 Shin et al. (2012)의 연구에서 분석한 벧짚거적의 효과를 증대시키기 위해 Gypsum을 벧짚거적을 피복하기 전에 토양의 표면에 살포하였다. 다른 2개의 시험포에는 벧짚거적을 피복하기 전에 Gypsum과 PAM을 살포하였다 (Fig. 2). 각 시험포에서 발생하는 유출량과 비점오염부하는 대조구에서 발생하는 유출량과 비점오염부와 비교하여 벧짚거적과 토양개량제의 피복으로 인한 비점오염원 저감효과를 분석하였다. 여기서 벧짚거적의 경우 시중에서 판매되는 제품(약 1 m×60 m)을 구매하여, 시험포의 가로 (5 m) 크기에 맞게 재단하여 사용하였다. 시험포의 크기보다 큰 밭에 적용할 경우 재단하지 않고 적용하여 작업시간을 단축시킬 수 있다. 시험포 1개에 사용된 벧짚거적의 양은 약 3,140 kg/ha (34.5 kg/110 m²)이다. 벧짚거적 이외에 추가로 살포된 Gypsum은 1 ton/ha (11 kg/110 m²)이며, PAM은 10 kg/ha (110 g/110 m²)를 살포하였다. Gypsum은 칼슘 (석회)과 유황으로 구성된 토양개량제로써 토양의 물리화학적 성질을 개선하여 작물의 수확량을 증대시키는 제품이다. PAM은 분자량이 1,000 이상인 수용성 고분자물질로써 흡착관능기를 가지는 고분자응집제이며, 토양 입자간의 결합력을 증가시켜 유출을 억제하기 때문에 Sepaskhah et al. (2006)은 경사지 유출과 침식조절을 위해 사용하였다 (Theng et al., 1982; Entry et al., 2002). 벧짚거적과 토양개량제는 봄철 배추재배와 가을철 무 재배 시 동일한 양을 피복하였다. 여기서, 토양개량제는 유기비료 살포 후 토양의 표면에 작물을 파종 또는 정식하기 전에 살포하였으며, 벧짚거적

Fig. 1 Sketch of the runoff plots

Fig. 2 PAM (left) and Rice straw mat (right)

은 Shin et al. (2012)의 방법과 동일하게 무는 발아 및 성장에 장애가 없어 파종 후 벗짚거적을 피복하고, 배추는 피복재를 먼저 피복한 후에 작물을 정식하였다.

3. 측정 및 분석

각 지역마다 발생하는 강수량이 크게 다르고, 이에 따른 비점 오염물질의 발생량은 크게 달라진다. 따라서, 지역의 강우특성 분석이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 연구지역의 강수량을 분석하기 위해 춘천시의 기상청 자료를 이용하여 30년 강우분석을 실시하였으며, 최근 1년간의 강우분석을 실시하여 강수량 분포와 빈도 변화를 살펴보았다. 시험포에는 자기우량계를 설치하여 강수량 변화를 측정하였으며, 강수에 의해 시험포에서 발생하는 유출량과 유출률, 그리고 수질농도를 분석하여 오염부하를 분석하였다. 유출량 측정은 측정시간 간격이 좁을수록 유출량의 변화를 정확히 분석 할 수 있으며, 수질농도는 시간별로 많은 수의 시료를 분석할 경우 오차의 범위를 줄일 수 있다. ‘강우유출수 조사방법’에 의하면 강우유출수 조사시 유출직 후 15분~2시간 간격으로 유출량을 측정하도록 되어있다 (Ministry of Environment, 2009). 그러나 밭과 같이 투수층으로 구성되어 있는 토지는 강우강도에 의한 유출량 변화가 크다. 따라서 본 연구에서는 시험포 하단부에 flume과 부자식수위계를 설치하여 5분 단위로 수위를 측정한 뒤, Shin et al. (2012)이 이용한 수위-유량곡선을 활용하여 유량으로 환산하였다 (식 (1)). 수질농도 분석은 강우강도와 지속시간을 고려하여 30분~2시간 간격으로 채취하였으며, 수질오염공정시험방법에 따라 BOD, SS, T-N 그리고 T-P 등을 분석하였다 (Ministry of Environment, 2007). 분석된 유출량과 수질농도 값을 이용하여 유량가중평균농도 (Event mean concentration, EMC)와 오염부하 (식 (2))를 산정하였다.

Fig. 3 Rating-curve (Shin et al., 2012)

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

여기서 Q 는 유량 (m^3/s), H 는 수위 (m), R^2 (결정계수) 값이 0.993으로 매우 높아 본 수위-유량곡선 식을 이용하여 수위를 유량으로 환산하는 방법에 적합하다고 판단하였다.

$$Pollutant\ load(kg/ha) = \sum_{i=1}^n c_i q_i t_i \quad (2)$$

여기서, c_i 는 i 번째의 농도이고, q_i 는 구간유량, t_i 는 $\frac{1}{2}(t_{i+1} - t_{i-1})$ 에 해당하는 i 번째 샘플로써 표현되는 시간 구간이다.

지표피복과 토양개량제 피복으로 인해 작물에 미치는 영향을 분석하기 위해 시험포별 배추와 무의 수확량을 비교하였다. 수확

량 조사를 위해 배추는 주중과 구중, 구폭, 구고, 엽장, 엽폭, 길 잎수, 그리고 속잎수를 분석하여 평균수량을 산정하였으며, 무는 엽장과 엽수, 엽중, 근경, 근장 그리고 근중 등을 조사하여 평균 수량을 산정하였다. 산정결과를 이용하여 대조구 시험포를 100으로 환산하고, 벧짚거적과 토양개량제를 살포한 시험포의 수량 지수를 산정하여 생산량 변화를 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 연구지역의 강수량

연구지역인 춘천시의 과거 30년 (1982~2011년) 일 강수량 자료를 분석하였다. 또한 최근 급변하는 강수량의 변화를 살펴보기 위해 2011년의 강수량을 분석하였다 (Table 1). 춘천시의 30년 평균 연 강수량은 1,360.6 mm로 우리나라 전국평균 1,307.7 mm (1981~2010년)와 다소 차이가 있는 것으로 나타났다 (Korea Meteorological Administration, 2011). 그러나 연구지역의 강수량이 전국평균 강수량 보다 많았기 때문에, 본 연구결과를 다른 지역의 강수량이 적은 지역과 비교할 경우 밭의 유출량이나 오염부하의 저감효과가 더 커질 수 있을 것으로 보여진다. 과거 30년 일 강수량 중 100 mm 이상의 큰 비가 발생한 빈도는 연평균 1.6회로 2년에 3회 정도 발생하는 것으로 나타났다. 이는 연 평균 강수량의 약 18 %를 차지하는 것으로 나타났다. 강우계급별 연 평균 강수량은 강우계급이 커질수록 감소하는 것으로 나타났으며, 100 mm 이상의 강우계급을 제외하고 평균 강우사상 발생량도 강우계급이 커질수록 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 2011년도 일강우량을 분석한 결과 30년 (1982~2011) 평균보다 많은 2,029.3 mm의 강우량이 발생한

것으로 조사되었다. 특히, 일강수량이 50 mm가 넘는 강우가 10 번이나 발생하였고, 100 mm 이상의 강우가 평균 191.8 mm의 강수량으로 3번이나 발생한 것으로 나타났다. 즉, 연구지역의 경우 30년 평균에 비하여 2011년의 연간 발생하는 총 강수량과 강우빈도, 그리고 계급별 강우량이 모두 증가한 것으로 나타났다. 이처럼 최근 급증하는 강수량에 따라 밭에서 발생할 수 있는 비점오염물질이 증가할 것으로 예상되며, 이에 따른 비점오염원 저감 대책이 필요할 것으로 보여진다.

2. 유출량 및 유출율

연구기간 동안 총 10회의 자연강우를 모니터링 하였다. 10 mm 이하의 강우에서는 대조구 시험포에서도 유출이 발생하지 않아 모니터링 횟수에 포함하지 않았다. 10 mm 이상의 강우에 의해 대조구에서 발생하는 유출수를 기준으로 벧짚거적 + Gypsum, 벧짚거적 + Gypsum + PAM 시험포의 유출량을 산정하여 대조구 대비 유출량 저감효과를 분석하였다 (Table 2). 각 강우사상의 강우량은 17.0~93.5 mm의 범위로 발생하였으며, 강우량으로 인해 발생한 유출량은 대조구 0.009~1.447 m³, 벧짚거적 + Gypsum 시험포 0~1.063 m³, 벧짚거적 + Gypsum + PAM 시험포에서 0~0.279 m³으로 나타났다. Fig. 4는 2012년 7월 19일 하루 동안에 51 mm의 강우가 발생하였을 때 시험포에서 발생한 유출량 변화 그래프이다. 그래프와 같이 대조구 대비 벧짚거적 + Gypsum + PAM 시험포에서 유출이 거의 발생하지 않은 것으로 나타났다. 강우량과 면적을 고려하여 산정한 유출률은 Table 2와 같이 대조구 0.005~0.239, 벧짚거적 + Gypsum 시험포 0~0.176, 벧짚거적 + Gypsum + PAM 시험포 0~0.046으로 나타났다. 대조구 시험포를 기준으로 벧짚거적 + Gypsum

Table 1 Daily rainfall frequency analysis in Chuncheon city (1982~2011) (Shin et al., 2012)

Year	1982~2011			2011		
Rainfall class (mm)	Average annual rainfall (mm)	Average No. of event	Average rainfall per event (mm)	Annual rainfall (mm)	Average No. of event	Average event rainfall (mm)
0-10	203.3	74.6	2.7	174.3	69.0	2.5
10-20	185.9	12.8	14.5	271.5	18.0	15.1
20-30	153.4	6.2	24.7	227.5	9.0	25.3
30-40	150.2	4.3	34.7	198	6.0	33.0
40-50	91.5	2.1	44.3	92.5	2.0	46.3
50-60	107.0	2.0	54.4	54.0	1.0	54.0
60-70	73.2	1.1	64.6	134.0	2.0	67.0
70-80	52.9	0.7	75.6	220	3.0	73.3
80-90	58.8	0.7	84.1	82.0	1.0	82.0
90-100	35.3	0.4	96.4	-	-	-
100-	249.0	1.6	152.4	575.5	3.0	191.8
Sum	1,360.6	106.5	-	2,029.3	114.0	-

Table 2 Reduction rate of runoff with respect to rice straw mat and soil amendments

Date	Rainfall (mm)	Runoff (m ³)			Reduction rate of runoff (%)	
		Control	Rice straw mat + Gypsum	Rice straw mat + Gypsum + PAM	Rice straw mat + Gypsum	Rice straw mat + Gypsum + PAM
12.06.30	93.5	0.184 0.018	0.0066 0.001	0.0066 0.001	96.4	96.4
12.07.06	57.0	0.162 0.026	0.005 0.001	0.004 0.001	96.7	97.6
12.07.11	17.0	0.009 0.005	0.000 0.000	0.000 0.000	100	100
12.07.13	55.0	1.447 0.239	1.063 0.176	0.279 0.046	26.5	80.7
12.07.13-14	28.5	0.170 0.054	0.153 0.049	0.013 0.004	10.4	92.5
12.07.15	47.5	0.203 0.039	0.060 0.012	0.000 0.000	70.3	100
12.07.19	51.0	1.049 0.187	0.807 0.144	0.000 0.000	23.1	100
12.09.17	62.8	0.527 0.076	0.408 0.059	0.002 0.000	22.5	99.7
12.10.22	34.2	0.079 0.021	0.000 0.000	0.000 0.000	100	100
12.10.27	38.4	0.224 0.053	0.085 0.020	0.001 0.000	61.9	99.6

Fig. 4 Runoff hydrographs for different experimental treatments (2012. 7. 19)

시험포와 벧짚거적 + Gypsum + PAM 시험포의 유출량 저감율은 10.4~100 % (평균 60.8 %), 80.7~100 % (평균 96.7 %)로 나타났다. 이는 벧짚거적이 강우타격력에 의해 발생하는 토립자의 이탈을 감소시키고, 고랑을 따라 발생하는 유출수의 유속을 저감시켜 토양으로 침투하는 침투량을 증가시켰기 때문으로

보여진다. Shin et al. (2012)의 연구에서는 벧짚거적 만을 이용하여 유출량 저감효과를 분석한 결과 평균 95.1 %의 유출량 저감효과가 있다고 하였다. 본 연구결과와 비교해 보면 벧짚거적에 Gypsum을 추가하였을 때 유출량 저감효과가 평균 60.8 %로 낮아지는 것으로 나타났으며, Gypsum과 PAM을 함께 살포할 경우에는 벧짚거적만 피복하였을 때보다 저감효과가 96.7 %로 다소 높아지는 것으로 나타났다. 유출량 저감효과는 강우강도와 강우지속시간, 강우량 등의 강우특성에 따라 크게 달라지기 때문에 유출량 저감효과가 다소 차이가 발생한 것으로 보여진다. 기존 연구결과와 본 연구결과에서 나타난 것처럼 벧짚거적이나 토양개량제 등을 이용하여 밭의 표면을 피복할 경우 유출량 저감효과가 크게 나타남을 알 수 있다. 따라서 밭에서 발생하는 비점오염원을 저감하기 위해서는 벧짚거적과 같은 지표피복재를 이용하여 밭의 토양 표면을 피복해야 할 것으로 보여진다.

3. 수질농도 및 오염부하

관행시험포에서 발생한 오염부하를 기준으로 벧짚거적 + Gypsum 시험포와 벧짚거적 + Gypsum + PAM 시험포의 오염부하 저감효과를 산정하였다 (Table 3). 산정결과 각 수질항목의 연간 총 오염부하는 관행시험포에서 BOD₅ 1.89 kg/ha, SS 148.05 kg/ha, T-N 3.96 kg/ha, T-P 0.64 kg/ha로 나타났다. 벧짚거적 + Gypsum 시험포의 평균오염부하는 BOD₅ 0.86 kg/ha,

Table 3 Pollutant loads and reduction rate of pollutant loads each of the treatment

	Surface cover materials	BOD ₅	SS	T-N	T-P
Average of pollutant loads (kg/ha)	Control	1.89	148.05	3.96	0.64
	Rice straw mat + Gypsum	0.86	42.22	2.31	0.25
	Rice straw mat + Gypsum + PAM	0.15	11.83	0.48	0.07
Reduction rate (%)	Rice straw mat + Gypsum	54.6	71.5	41.6	61.4
	Rice straw mat + Gypsum + PAM	91.9	92.0	88.0	88.5

Table 4 Compared of cabbage yield

	weight of stock	weight of head	diameter of head	length of head	leaf length	leaf width	Outer leaf number	Inner leaf number	Yield	Yield index
Unit	(g)	(g)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(sheet)	(sheet)	(kg/10a)	
Control	2,697.5	1,779.2	21.9	30.3	33.4	22.3	18.3	59.5	9,269.6	100.0
	2,620.8	1,716.7	23.0	28.8	32.8	22.9	15.8	57.5	9,006.1	
Average	2,659.2	1,747.9	22.5	29.5	33.1	22.6	17.0	58.5	9,137.9	
Rice straw mat + Gypsum	3,000.0	2,800.0	19.4	37.5	42.2	27.0	14.0	44.5	10,309.1	106.1
	2,641.7	1,641.7	20.5	27.0	34.8	21.4	16.4	57.6	9,077.7	
Average	2,820.8	2,220.8	19.9	32.3	38.5	24.2	15.2	51.0	9,693.4	
Rice straw mat + Gypsum + PAM	2,845.8	1,862.5	20.3	26.9	32.8	22.6	12.3	57.5	9,779.3	108.4
	2,916.7	1,945.8	21.3	30.3	37.8	25.6	13.1	57.8	10,022.7	
Average	2,881.3	1,904.2	20.8	28.6	35.3	24.1	12.7	57.7	9,901.0	

SS 42.22 kg/ha, T-N 2.31 kg/ha, T-P 0.25 kg/ha로 나타났으며, 벧짚거적 + Gypsum + PAM 시험포의 평균오염부하는 BOD₅ 0.15 kg/ha, SS 11.83 kg/ha, T-N 0.48 kg/ha, T-P 0.07 kg/ha로 나타났다. 오염부하 저감효과는 관행시험포 대비 벧짚거적 + Gypsum 시험포에서 수질항목별 41.6~71.5 %의 저감효과가 있는 것으로 나타났고, 벧짚거적 + Gypsum + PAM 시험포에서는 수질항목별 88.0~92.0 %의 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 지표를 피복하는 피복률이 증가되고, 피복재로 인해 강우가 피복재에 흡수되고, 표면으로 발생하는 유출수의 유속감소를 통해 토양에 저류되는 시간이 증가함으로 인해 토양으로 침투하는 강우량이 많아졌기 때문으로 판단된다. 이로 인해 영농활동에서 지표를 피복할 경우 유출량 저감뿐만 아니라 강우시 토양의 유실방지와 탁수를 저감할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 지표피복재를 도입하기 위해서는 벧짚거적과 토양개량제로 인해 토양에 미치는 장기적인 영향과 벧짚거적 피복을 위해 필요한 인력과 비용에 대한 분석을 추가로 연구해야 할 것으로 보여진다.

4. 생산량

벧짚거적과 토양개량제를 피복하였을 때 작물에 미치는 영향을 분석하기 위하여 무와 배추의 생산량을 분석하였다. Table 4와 같이 배추의 대조구 시험포 평균수량은 9,137.9 kg/10a인 것으로 나타났으며, 벧짚거적 + Gypsum 시험포 9,693.4 kg/10a,

벧짚거적 + Gypsum + PAM 시험포 9,901.0 kg/10a로 나타났다. 이를 바탕으로 수량지수를 산정한 결과 관행시험포의 수량지수를 100으로 했을 때 벧짚거적 + Gypsum과 벧짚거적 + Gypsum + PAM의 시험포는 106.1과 108.4로 증가한 것으로 나타났다. 무는 Table 5와 같이 엽장과 엽수, 엽중, 근경, 근장, 근중 등을 측정하여 상품수량을 비교한 결과 대조구 시험포는 4,330 kg/10a인 것으로 나타났으며, 벧짚거적 + Gypsum 시험포 4,636 kg/10a, 벧짚거적 + Gypsum + PAM 시험포 5,355 kg/10a인 것으로 나타났다. 이를 바탕으로 수량지수를 산정한 결과 관행시험포의 수량지수를 100으로 했을 때 벧짚과 벧짚거적의 시험포는 107과 124로 증가한 것으로 나타났다. 이는 Shin et al. (2012)의 연구결과와 같이 피복재로 인해 지표를 피복하는 피복률이 증가하고, 두둑을 보호하여 토양의 유실량을 저감시키면서 작물이 필요로 하는 영양분이 유실되지 않아 작물이 섭취할 수 있는 양이 많아졌기 때문으로 보여진다. 또한 토양에 살포한 Gypsum의 영향으로 작물의 수확량이 증수된 것으로 판단된다. 그리고 PAM을 함께 살포한 시험포에서 Gypsum 만을 살포한 시험포 보다 유출량이 적고, 비점오염물질 배출량이 적어 토양에 잔류하여 작물이 섭취할 수 있는 영양물질이 많았기 때문에 작물의 증수효과가 큰 것으로 보인다. 본 연구의 결과와 같이 벧짚거적과 토양개량제로 인해 무와 배추밭에서 유출량과 오염부하를 저감할 수 있으며, 작물의 생산량이 증가하는 것으로 나타나 지표피복재가 발의 비점오염물질 저감에 매우 효과적인 것으로 나타났다. 따라

Table 5 Compared of radish yield

	Leaf length	Leaf number	Leaf weight	Root diameter	Root length	Root weight	Yield	Yield index
Unit	(cm)	(sheet)	(g/plant)	(cm)	(cm)	(g/plant)	(kg/10a)	
Control	42.6	16.7	290.0	30.5	18.6	998.3	4,330	100
	42.8	15.4	296.7	30.1	18.6	988.3		
Average	42.7	16.0	293.3	30.3	18.6	993.3		
Rice straw mat + Gypsum	43.8	15.1	316.7	30.7	20.5	1,053.3	4,636	107
	43.3	15.3	310.0	33.7	20.7	1,051.7		
Average	43.6	15.2	313.3	32.2	20.6	1,052.5		
Rice straw mat + Gypsum + PAM	47.2	16.0	410.0	33.6	21.3	1,273.3	5,355	124
	46.6	15.5	346.7	41.9	21.3	1,168.3		
Average	46.9	15.7	378.3	37.8	21.3	1,220.8		

서, 밭에서 발생하는 비점오염물질 저감을 위해 지표피복재 도입을 위한 정부와 농민의 자발적인 노력이 필요할 것으로 보여진다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 토양 표면에 벧짚거적과 토양개량제를 피복하여 밭에서 발생하는 비점오염물질 저감효과를 분석하고자 하였다.

1. 벧짚거적과 토양개량제를 피복한 결과 대조구 시험포 대비 벧짚거적 + Gypsum 시험포의 유출량 저감율은 10.4~100 % (평균 60.8 %), 벧짚거적 + Gypsum + PAM 시험포는 80.7~100 % (평균 96.7 %)로 나타났다.

2. 오염부하 저감효과는 관행시험포 대비 벧짚거적 + Gypsum 시험포에서 수질항목별 41.6~71.5 %의 저감효과가 있는 것으로 나타났고, 벧짚거적 + Gypsum + PAM 시험포에서는 수질항목별 88.0~92.0 %의 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

3. 지표피복재로 인해 작물에 미치는 영향을 분석하기 위하여 생산량을 분석한 결과 배추의 경우 대조구 시험포를 100으로 했을 때 벧짚거적 + Gypsum과 벧짚거적 + Gypsum + PAM의 시험포에서 106.1과 108.4로 증가한 것으로 나타났다. 또한 무의 경우 벧짚거적 + Gypsum과 벧짚거적 + Gypsum + PAM의 시험포에서 107과 124로 증가한 것으로 나타났다.

이처럼 벧짚거적과 토양개량제로 인해 무와 배추밭에서 유출량과 오염부하를 저감할 수 있으며, 작물의 생산량이 증가하는 것으로 나타나 지표피복재가 밭의 비점오염물질 저감에 매우 효과적인 것으로 나타났다. 따라서, 밭에서 발생하는 비점오염물질 저감을 위해 지표피복재 도입을 위한 정부와 영농인의 노력이 필요할 것으로 보여진다.

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

REFERENCES

- Entry, J. A., R. E. Sojka, M. Watwood, and C. Ross, 2002. Polyacrylamide preparations for protection of water quality threatened by agricultural runoff contaminants. *Journal of Environment and Pollution* 120(2): 191-200.
- Flanagan, D. C., L. D. Norton, and I. Shainberg, 1997. Effect of water chemistry and soil amendments on a silt loam soil-Part I. Infiltration and Runoff. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers* 40(6): 1549-1554.
- Ghawi, I. and A. Battikhi, 1986. Water melon production under mulch and trickle irrigation in the Jordan valley. *Journal of Agronomy and Crop Science* 156(4): 225-236.
- Jian Y., T. Lei, I. Shainberg, A. I. Mamedov, and G. J. Levy, 2003. Infiltration and erosion in soils treated with dry PAM and Gypsum. *Soil Science of America Journal* 67(2): 630-636.
- Kim, S. J., T. Y. Park, S. M. Kim, J. R. Jang, and S. M. Kim, 2012. A Plot Scale Experiment to Analysis the NPS Reduction by Silt Fence and Vegetated Ridge for Non-Irrigated Cropland. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(4): 19-27 (in Korean).
- Ko, J. Y., J. S. Lee, K. Y. Jung, E. S. Yun, Y. D. Choi, C. S. Kim, S. T. Park, and B. J. Kim, 2006. Soil Erosion Risk Assessment of Arable Land in Seonakdong River Watershed using GIS, RS, and USLE, Korean J., *Soil Sco, Fert.* 39(3): 173-183 (in Korean).
- Korea Meteorological Administration (KMA), 2011.

- <http://www.kma.go.kr/> (in Korean).
8. Lee, J. W., J. S. Eom, B. C. Kim, W. S. Jang, J. C. Ryu, H. W. Kang, K. S. Kim, and K. J. Lim, 2011. Water Quality Prediction at Mandae Watershed using SWAT and Water Quality Improvement with Vegetated Filter Strip. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 53(1): 37-45 (in Korean).
 9. Ministry of Environment, 2006. *Nonpoint Source Management Services Manual* (in Korean).
 10. Ministry of Environment, 2009. *Method of Runoff Investigation* (in Korean).
 11. Ministry of Environment, 2007. *Official test methods for water pollution* (in Korean).
 12. Pollock, C. and R. Reeder, 2010. No-till (plenty of positives). *American society of agricultural and biological engineers, Resource*: 3-7.
 13. Sepaskhah, A. R. and A. R. Bazrafshan-Jahromi, 2006. Controlling Runoff and Erosion in Sloping land with Polyacrylamide under a Rainfall simulator. *Biosystems Engineering* 93(4): 469-474
 14. Shin, M. H., C. H. Won, W. J. Park, Y. H. Choi, J. Y. Shin, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2011. Surface Cover Application for Reduction of Runoff and Sediment Discharge from Sloping Fields. *Journal of Korean Society of Agricultural Engineers* 53(6): 129-136 (in Korean).
 15. Shin, M. H., J. R. Jang, C. H. Won, Y. H. Choi, J. Y. Shin, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2012. Effect of Surface Cover on the Reduction of NPS Pollution at a Vegetable Field. *Journal of Korean Society on Water Environment* 28(3): 436-443 (in Korean).
 16. Theng, B. K. G (1982). Clay-polymer interactions: Summary and perspectives, *Clays Clay Miner* 30(1): 1-10.
 17. Won, C. H., M. H. Shin, Y. H. Choi, J. Y. Shin, W. J. Park, and J. D. Choi, 2012. Simulations of Runoff using Rice Straw Mats and Soil Amendments, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(2): 95-102 (in Korean).