



실경작지 밭의 비점오염물질 저감을 위한 지표피복재 적용

Application of the Surface Cover Materials for Reduction of NPS Pollution from Actual Cultivation

신민환* · 장정렬** · 정영훈* · 금동혁* · 원철희* · 이수인* · 임경재* · 최중대*†

Shin, Min Hwan · Jang, Jeong Ryeol · Jung, Young Hun · Kum, Dong Hyuk · Won, Chul Hee · Lee, Su in ·

Lim, Kyoung Jae · Choi, Joong Dae

ABSTRACT

Four actual cultivations were prepared and a variety of soybean was cultivated. A H-flume, an automatic water level gauge and an automatic water sampler were installed at the outlet of each plot equipped for the measurement of flow rate and its water quality. The amount of rainfall of the study area in 2013 was measured as 975.6 mm which was much lower than the annual average rainfall of 1,271.8 mm, resulting in less occurrences in rainfall-runoff events. Rainfall-runoff events were occurred three times during the rainfall event of 4~5 July, 23 and 24 August. The characteristics of NPS pollution discharge of the plots and the reduction effect of the selected BMPs were analyzed during these events. The reduction effect of straw mat and soil amendments (Polyacrylamide (PAM) and Gypsum) on runoff ratio ranged between 38.2 and 92.9% (average 71.6%). The NPS pollution load reduced between 27.7 and 95.1% (average 70.0%) by the application of rice straw mat and soil conditioner when compared with that of control plot. Soybean yield (2,133.3 kg/ha) of the straw mat covered plots increased by 14.3% when compared with control (1,866.7 kg/ha). The effect of straw mat on the yield was not economically viable if the material and accompanying labor costs were considered. The data collected and analyzed on different soil textures and crops in this study are expected to be a fundamental reference for the expansion of the results to the application nationwide and the development of NPS pollution management policies.

Key words: NPS pollution; Runoff; Soil amendments; Straw mat; Yield

1. 서 론

우리나라 국토면적 중 약 17.3 % (17,299.8 km²)를 차지하는 농경지에서 강우에 의해 발생하는 토양유실은 심한 흙탕물 (탁수) 문제를 일으켜 수질환경의 악화뿐만 아니라 하천의 이수 및 홍수관리에 심각한 영향을 준다. 특히 토양유실에 의해 발생하는 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 수생태계에 치명적인 영향을 미친다

(Ko et al., 2006). 이와 같이 농경지에서 발생하는 비점오염물질은 주로 강우나 용설에 의해 발생하며, 토성 및 영농활동 (시비, 경운방법, 물관리) 등에 따라 크게 변화하기 때문에 정량화가 쉽지 않다. 따라서, 농경지에서 발생하는 비점오염물질의 정량화가 이루어져야 하며, 더 나아가 비점오염물질 저감기법을 도입하여 비점오염물질의 배출량을 저감할 필요가 있다. 그러나 우리나라의 경우 외국의 조방농업과 달리 집약농업으로 영농활동이 이루어지기 때문에 외국의 비점오염물질 정량적 수치와 큰 차이가 있다. 따라서 집약농업을 하는 우리나라 실정에 맞게 최적의 비점오염물질 관리방법이 필요하다. 외국에서 밭의 비점오염물질 저감을 위한 연구는 피복재와 경운방법을 이용하여 비점오염물질 저감을 위한 연구가 수행되었다 (Noel, 2000; Pote et al., 2004; Martinez et al., 2006; Jordan, 2010). 우리나라에 적용되고 있는 비점오염물질 저감 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. 구조적인

* 강원대학교 농업생명과학대학 지역건설공학과

** 한국농어촌공사 농어촌연구원

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

Fax: +82-33-251-1518

E-mail: jdchoi@kangwon.ac.kr

2014년 3월 11일 투고

2014년 4월 29일 심사완료

2014년 5월 8일 게재확정

방법을 도입하기 위해서는 많은 비용이 소요되고, 유지관리 측면에서 비합리적이다. 또한 비구조적인 방법 중 산림복원의 경우 가장 최적의 대안일 수 있으나 비현실적이라는 문제가 있다. 국내의 연구를 살펴보면 Won et al. (2011; 2012)의 경우 실내인공강우 실험을 통해 빗झ겨적의 유출량 저감효과를 평가하였다. 또한 Shin et al. (2011; 2012a; 2012b; 2013)은 시험포 규모의 현장적용 실험을 통해 빗झ겨적의 유출량 저감효과와 작물 생육에 미치는 영향을 평가하였다. 이와같이 외국의 연구방법을 도입하기 위해서는 국내의 적용성 검토가 선행되어야 하며, 실제 작물을 재배하는 경작지에서 빗झ겨적과 같은 지표피복재를 적용하여 분석한 연구사례가 부족한 실정이다. 또한 저감기법이 다양한 작물에서 작물에 미치는 영향을 분석하고, 지표피복재의 적용효과를 검증할 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 실 경작지 규모 밭에서 지표피복재 (빗झ겨적과 토양개량제)를 적용하여 밭에서 발생하는 비점오염물질량과 비점오염물질 저감효과를 평가하고자 하였으며, 작물생육에 미치는 영향과 경제성 분석을 실시하여 적용성을 평가하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 유역특성 및 시험포 선정

본 연구는 전라북도 익산시 금마면에 위치한 실경작지 밭에서 수행되었으며, 익산시의 경우 새만금 유역의 상류에 해당한다. 따라서 익산시의 비점오염물질 저감 대책은 나아가 새만금 유역의 비점오염물질 저감 대책으로 확대하여 해석할 수 있다. 익산시의 경우 자동기상관측시스템 (Automated Weather System, AWS)을 운영하고 있으나, 기상대나 관측소가 운영되고 있지 않아 과거자료가 제공되지 않는다. 따라서 인근 기상대인 군산시 (1983~2012년)의 30년 강우자료를 분석하여 강우계급별 연평균 빈도와 연간 총강우량 그리고 강우사상 당 강수량을 분석하였다. 그리고 연구기간의 강우특성을 분석하기 위해 익산시의

AWS 자료를 이용하여 2013년 1월부터 11월까지의 일별 강수량을 분석하였다. 또한 실경작지 밭의 토양특성을 분석하기 위하여 토양의 입도분석을 실시하여 미국 농무성 삼각좌표법에 따른 토성을 분류하였다.

실경작지는 총 4개의 밭이며, 이중 2개는 관행시험포 (Control), 나머지 두 개는 지표피복재 (Rice straw mat, PAM, Gypsum)를 피복하였다. 밭의 면적은 Fig. 1과 같이 각각 750 m² (관행 시험포 1과 지표피복 1), 1,438 m² (지표피복 2), 1,144 m² (관행시험포 2)의 크기이다. 4개의 밭에는 2013년 6월 13일에 모두 콩 (메주콩)을 파종하였으며, 11월 8일에 수확을 하였다.

2. 피복재 적용

밭에서 발생하는 비점오염물질을 저감하기 위하여 밭 토양 표면에 빗झ겨적을 적용하였으며 (Fig. 2), 빗झ겨적의 비점오염물질 저감효과를 증대시키기 위해 토양개량제 (Gypsum, PAM)을 빗झ겨적을 피복하기 전에 토양의 표면에 살포하였다. 빗झ겨적은 시장에서 판매되는 제품 (약 1 m×60 m)을 구매하여 시험포 크기에 맞게 재단하여 사용하였으며, 사용된 빗झ겨적의 양은 약 3,400 kg/ha이다. 또한 토양개량제인 Gypsum은 1,000 kg/ha,

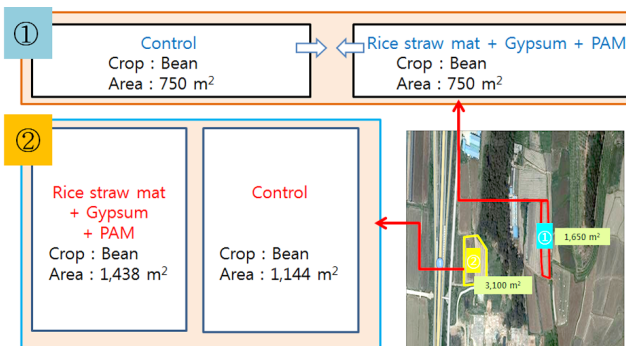


Fig. 1 Sketch of the surface cover materials



Fig. 2 Application of rice straw mat

PAM은 10 kg/ha를 살포하였다. 여기서 사용된 PAM은 분자량이 1,000 이상인 수용성 고분자물질로써 흡착관능기를 가지는 고분자응집제이며, 토양 입자간의 결합력을 증가시켜 유출을 억제하기 때문에 일부 선진국을 중심으로 토양유실방지 연구를 위한 목적으로 사용되고 있다 (Theng et al., 1982; Entry et al., 2002). 그러나 과다 사용할 경우 표토 전체가 굳어지는 경화현상이 나타날 수 있기 때문에 밭에 적용할 경우 지속적인 사용을 자제하여야 한다. 또한, Gypsum의 경우 점토의 분산 및 표면막힘 현상을 감소시키는 작용을 하며 강우유출수나 토양의 침식을 차단하는데 이용되고 있다. Gypsum의 경우 환경적인 유해성이 적기 때문에 PAM과 적절한 혼합을 하여 사용할 경우 토양유실량 저감 효과가 높다 (Jian et al., 2003).

3. 비점오염물질 저감효과 분석

관행시험포와 벗짚겨적을 피복한 시험포에서 발생하는 비점오염물질의 정량화와 벗짚겨적의 비점오염물질 저감효과를 분석하기 위해 밭의 유출부에서 유출량과 수질농도를 측정하였다. 유출량 측정은 강우시 밭의 유출부로 발생하는 유출수의 수위를 측정하여 유량으로 환산하였다. 밭의 유출부에는 정확한 유출수의 양을 측정하기 위하여 flume을 설치하였으며, flume에는 Fig. 3와 같이 우물정과 수위계 (Thalimedes)를 설치하여 유출수의 수위를 측정하였다. Flume에서 측정된 수위의 유량환산을 위해 사용된 수위-유량 곡선식은 식 (1)과 같다.

$$Q = 0.4684H^{2.0732} \quad (R^2 = 0.9925) \quad \text{식 (1)}$$

여기서 Q는 유량 (m^3/s)이고, H는 수위 (m)이다. R^2 값이 0.9925로 매우 높게 나타나 수위-유량곡선 식을 이용하여 유량으로 환산한 결과는 정확도와 신뢰성이 높은 것으로 나타났다.

유출량 측정 외에 flume을 통해 유출되는 유출수의 수질농도를 분석하기 위해 수질시료를 채취하였으며, 야간이나 장기간 발생하는 유출수의 시료를 편리하고 안정적으로 채취하기 위해 자동수질시료채취기 (Auto sampler)를 설치하였다 (Fig. 4).

수질농도는 강우지속시간에 따라 30분~2시간 간격으로 채취하여, 수질오염공정시험방법에 따라 BOD_5 , COD_{Mn} , DOC, SS, T-N 그리고 T-P 등을 분석하였다 (Ministry of Environment, 2007). 분석된 유출량과 수질농도는 식 (2)를 사용하여 유량이 중평균농도 (Event mean concentration, EMC)를 산정하였으며, 식 (3)을 이용하여 오염부하를 산정하였다.

$$EMC \text{ (mg/L)} = \frac{\int_0^n Q(i) \times C(i) di}{\int_0^n Q(i) di} \quad \text{식 (2)}$$



Fig. 3 Water level gauge



Fig. 4 Auto sampler

여기서, $Q(i)$ 는 i 번째의 구간별 유량 (m^3)이고, $C(i)$ 는 i 번째 분석된 수질항목 농도 (mg/L), n 은 각 강우사상마다 분석된 시료의 개수이다.

$$\text{Pollutant load (kg/ha)} = \sum_{i=1}^n c_i q_i t_i \quad \text{식 (3)}$$

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.

산정된 유량과 수질농도 그리고 오염부하를 이용하여 관행시험포 대비 지표피복재의 유출률과 오염부하의 저감효과를 산정하였다. 또한 지표피복재 적용에 따른 작물생육에 미치는 영향과 경제성 분석을 위하여 4개의 시험포에서 생산된 콩의 수확량을 비교하였으며, 농수산물유통정보에서 제공되는 최근 3년간 콩 수매가를 이용하여 소요비용과 수익성을 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 연구지역 특성

실경작지의 인근지역인 군산시 (1983~2012년) 기상청의 30년

강우자료를 분석하여 강우계급별 연평균 빈도와 연간 총강수량 그리고 강우사상 당 강수량을 분석하였다 (Table 1). 또한 연구지역인 익산시의 AWS 자료를 이용하여 2013년도의 강우사상 당 강수량을 분석하였다 (Table 2). 분석결과 군산 지역의 30년 평균 연강수량은 1,271.8 mm 였으며, 일평균 강수량이 100 mm 이상 발생한 횟수는 연 평균 1.1회 인 것으로 나타났다. 또한 40 mm 이하의 강수량이 발생하는 빈도는 100회가 넘는 것으로 나타났으며, 연 강수량의 50%를 넘게 차지하는 것으로 나타났다. 당해연도 익산시의 경우 2013년 11월까지 975.6 mm 이하의 강우가 발생한 것으로 나타나 군산시의 30년 평균 총강수량 보다 적었으며, 일 최대 강수량도 78.4 mm로 많은 양의 강수가 발생하지 않은 것으로 나타났다. 또한 20 mm 이하의 강수가 발생한 빈도는 75회로 낮으며, 이때 강우사상당 평균 강수량이 4.1 mm 인 것으로 나타났다. 이는 2013년 11월까지 발생한 총 강수량의 30% 이상을 차지하는 강우계급으로 발생빈도가 매우 높으나, 강우로 인한 밭의 유출이 발생하지 않

았기 때문에 밭의 비점오염물질이 배출되지 않는 것으로 나타났다으며, 비점오염물질 배출특성을 분석할 수 없었다.

2. 유출특성 분석

빗짚거적을 피복하지 않은 밭과 피복한 밭의 토양을 채취하여 입도분석을 실시한 결과이며, 미국 농무성 삼각좌표법에 따른 분류에서 양토인 것으로 나타났다. 양토의 특성을 가진 실경작지에서 영농활동기간동안 강우에 의해 발생하는 유출량을 분석하였다. 영농활동기간동안 총 57회의 크고 작은 강우가 발생하였으며, 20 mm 이상 강우가 발생한 횟수는 18회였다. 이중 관행시험포와 빗짚거적에서 모두 유출수가 발생하여 모니터링이 가능하고 유출량 저감효과를 분석할 수 있는 횟수는 총 3회였다. Fig. 5의 (a)와 같이 7월 4~5일에 분석한 강우사상은 104 mm의 강우가 발생하였으며, 관행시험포 1 (750 m²)에서 발생한 강우유출수는 3.257 m³, 빗짚거적시험포 1 (750 m²)에서는 0.231 m³ 유출이 발생하였다. 또한 관행시험포 2 (1,144 m²)에서의 강우 유출수는 56.376 m³이며, 빗짚거적시험포 2 (1,438 m²)의 강우 유출수는 21.815 m³ 이었다. 관행시험포 1의 유출률은 0.042, 유출고는 4.343 mm로 나타났으며, 빗짚거적시험포 1에서는 유출률 0.003, 유출고 0.307으로 나타났다. 관행시험포 1과 2 대비 빗짚거적시험포 1과 2의 유출량 저감율은 92.9 %와 61.3%로 나타났다. Fig. 5의 (b)와 같이 8월 23일에 분석한 강우사상은 77.8 mm의 강우가 발생하였으며, 관행시험포 1에서 발생한 강우유출수는 2.469 m³, 빗짚거적시험포1에서는 0.465 m³ 유출이 발생하였다. 또한 관행시험포 2에서의 강우 유출수는 23.623 m³이며, 빗짚거적시험포 2 (1,438 m²)의 강우 유출수는 6.680 m³ 이었다. 관행시험포 1의 유출률은 0.042, 유출고는 3.291 mm로 나타났으며, 빗짚거적시험포 1에서는 유출률 0.008, 유출고 0.620 mm로 나타났다. 관행시험포 1과 2 대비 빗짚거적시험포 1과 2의 유출량 저감율은 81.2 %와 71.7 %로 나타났다. 그리고 Fig. 5의 (c)와 같이 8월 24일에 분석한 강우사상은 45.8 mm의 강우가 발생하였으며, 관행시험포 1에서 발생한 강우유출수는 6.019 m³, 빗짚거적시험포 1에서는 1.753 m³ 유출이 발생하였다. 또한 관행시험포 2에서의 강우 유출수는 25.049 m³이며, 빗짚거적시험포 2 (1,438 m²)의 강우 유출수는 19.479 m³ 이었다. 관행시험포 1의 유출률은 0.175, 유출고는 8.026 mm로 나타났으며, 빗짚거적시험포 1에서는 유출률 0.051, 유출고 2.338로 나타났다. 관행시험포 1과 2 대비 빗짚거적시험포 1과 2의 유출량 저감율은 70.9 %와 22.2 %로 나타났다. 관행시험포 2와 빗짚거적시험포 2의 면적이 상이하기 때문에 유출량 저감효과 이외에 면적을 고려한 유출률을 산정하여 저감효과를 산정하였으며, 총 3회의 강우사상에서 분석한 관행시

Table 1 Daily rainfall frequency analysis in Gunsan city

Rainfall class (mm)	Annual average frequency	Total class rainfall (mm)	Rainfall per event (mm)
0-20	97.90	401.7	4.1
20-40	10.17	288.5	28.4
40-60	4.47	219.3	49.1
60-80	1.90	131.6	69.2
80-100	0.77	67.2	87.6
100-120	0.63	70.2	110.9
120-140	0.17	21.4	128.3
140-160	0.07	9.7	145.8
160-180	0.03	5.4	160.6
180-200	0.07	12.5	188.1
200-220	-	-	-
220-240	0.07	15.3	229.5
240-260	0.03	8.4	251.8
300-320	0.07	20.6	309.3
Sum	116.3	1,271.8	-

Table 2 Daily rainfall frequency analysis in Iksan city (2013 year-until Nov.)

Rainfall	Annual average frequency	Total class rainfall (mm)	Rainfall per event (mm)
0-20 mm	75	324.7	4.1
20-40 mm	13	335.6	28.4
40-60 mm	2	97.2	49.1
60-80 mm	3	218.1	69.2
Sum	93	975.6	-

험포 대비 빗짚거적 시험포의 유출물 평균 저감효과는 71.6% 인 것으로 나타났다.

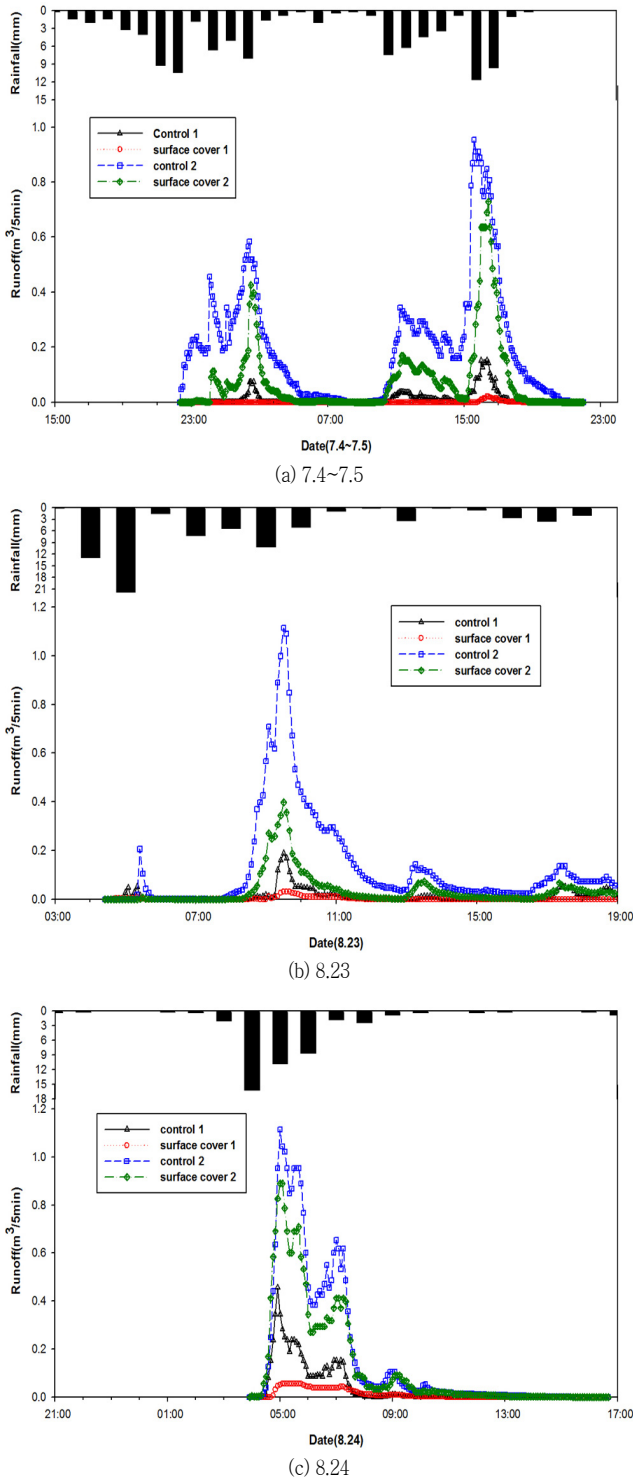


Fig. 5 Variation graph of runoff (control and surface cover materials)

3. 비점오염물질 저감효과

관행시험포와 빗짚거적 시험포에서 발생하는 강우유출수의 시료를 채취하여 수질농도를 분석한 뒤 EMC를 산정하였다 (Table 3). EMC 산정결과 관행시험포의 BOD₅는 1.2~2.1 mg/L, SS 48.8~170.7 mg/L, COD_{Mn} 3.438~10.491 mg/L, DOC 3.862~9.088 mg/L, T-N 1.231~42.041 mg/L, 그리고 T-P 0.118~4.720 mg/L의 범위로 나타났다. 또한 빗짚거적과 토양개량제를 살포한 시험포에서는 BOD₅ 1.1~2.3 mg/L, SS 20.0~83.9 mg/L, COD_{Mn} 5.860~14.332 mg/L, DOC 4.396~14.323 mg/L, T-N 1.500~48.611 mg/L, 그리고 T-P 0.146~3.990 mg/L의 범위로 나타났다. 산정결과와 같이 빗짚거적과 PAM을 살포한 시험포에서 SS 항목의 경우 EMC가 뚜렷하게 감소되는 것으로 나타났으나, 다른 수질항목은 증가하는 경향도 있는 것으로 나타났다. 이는 비료와 거름살포 등과 같은 영농활동에 의해 차이가 발생한 것으로 판단되며, 특히 파종을 하고 첫 번째 발생한 강우유출수 (7월 4~5일)에서 토양과 식물의 영양분으로 사용되지 않은 비료와 거름이 유출되어 T-N과 T-P 항목이 크게 증가한 것으로 보여진다.

강우유출수에서 분석된 유출량과 수질농도를 이용하여 오염부하를 산정하였다. 또한 관행시험포에서 발생한 오염부하를 기준

Table 3 EMC each of the treatment

(Unit: mg/L)					
Date	Item	Control 1	Rice straw mat + Gypsum + PAM 1	Control 2	Rice straw mat + Gypsum + PAM 2
7.4~5	BOD ₅	1.8	2.3	2.1	2.3
	SS	141.6	83.9	170.7	20.0
	COD _{Mn}	6.829	5.860	3.438	9.971
	DOC	3.862	4.396	5.942	14.323
	T-N	42.041	16.998	36.774	48.611
	T-P	0.531	0.548	4.720	3.042
8.23	BOD ₅	1.9	1.3	1.7	1.7
	SS	123.1	21.8	49.1	42.0
	COD _{Mn}	8.730	10.100	10.491	14.332
	DOC	6.969	7.592	9.088	11.857
	T-N	1.676	1.622	2.862	3.323
	T-P	0.173	0.181	0.149	2.855
8.24	BOD ₅	1.5	1.2	1.2	1.1
	SS	48.8	30.6	74.3	29.6
	COD _{Mn}	8.297	7.048	7.834	12.422
	DOC	8.509	7.751	6.405	13.054
	T-N	1.488	1.500	1.231	3.450
	T-P	0.169	0.146	0.118	3.990

Table 4 Sum of the pollutant loads each of the treatment
(Unit: kg/ha)

Item	Control 1	Rice straw mat+ Gypsum+ PAM 1	Control 2	Rice straw mat+ Gypsum+ PAM 2
BOD ₅	0.26	0.04	1.65	0.57
SS	14.12	1.11	110.44	8.97
COD _{Mn}	1.25	0.25	5.57	3.86
DOC	1.08	0.24	6.20	4.49
T-N	2.00	0.10	18.97	7.98
T-P	0.04	0.01	2.38	1.13

Table 5 Reduction rate of the pollutant loads each of the treatment
(Unit: %)

Item	Rice straw mat+ Gypsum+ PAM 1	Rice straw mat+ Gypsum+ PAM 2	Average of Rice straw mat+ Gypsum+ PAM
BOD ₅	83.5	65.5	74.5
SS	92.2	91.9	92.0
COD _{Mn}	80.4	30.8	55.6
DOC	77.6	27.7	52.6
T-N	95.1	57.9	76.5
T-P	85.3	52.4	68.9

으로 벧짚거적시험포의 부하량 저감효과를 산정하였다 (Table 4~5). 산정결과 3회의 강우사상에 의해 발생한 총 오염부하는 관행시험포 1에서 BOD₅ 0.26 kg/ha, SS 14.12 kg/ha, COD_{Mn} 1.25 kg/ha, DOC 1.08 kg/ha, T-N 2.0 kg/ha, 그리고 T-P 0.04 kg/ha로 나타났으며, 벧짚거적시험포 1에서 BOD₅ 0.04 kg/ha, SS 1.11 kg/ha, COD_{Mn} 0.25 kg/ha, DOC 0.24 kg/ha, T-N 0.10 kg/ha, 그리고 T-P 0.01 kg/ha로 나타났다. 관행시험포 2에서의 총 오염부하는 BOD₅ 1.7 kg/ha, SS 110.4 kg/ha, COD_{Mn} 5.6 kg/ha, DOC 6.2 kg/ha, T-N 19.0 kg/ha, 그리고 T-P 2.4 kg/ha로 나타났으며, 벧짚거적시험포 2에서 BOD₅ 0.6 kg/ha, SS 9.0 kg/ha, COD_{Mn} 3.9 kg/ha, DOC 4.5 kg/ha, T-N 8.0 kg/ha, 그리고 T-P 1.1 kg/ha로 나타났다. 산정결과를 이용하여 관행시험포 대비 벧짚거적시험포의 오염부하 저감효과를 분석한 결과 수질항목별 27.7~95.1% (평균 70.0%)의 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 벧짚거적을 피복함으로써 토양의 표면을 피복하는 피복률이 증가되고, 강우가 피복재에 흡수될 뿐만아니라, 표면으로 발생하는 유출수의 유속감소를 통해 토양에 저류되는 시간이 증가함으로써 토양으로 침투하는 강우량이 많아졌기 때문으로 판단된다. 또한 SS 항목의 오염부하 저감효과가 평균 92.0%로 매우 큰 것으로 나타났는데, 이는 벧짚거적으로 인한 유출량 저감과 토양개량제로 인한 토양의 응집력을 증가시켜 토양의 유실을 막았기 때문으로 판

단된다. 따라서 본 연구결과와 같이 영농활동에서 벧짚거적과 같은 지표피복재를 이용하여 토양의 지표를 피복할 경우 강우시 유출량 저감뿐만 아니라 토양유실량을 줄여 밭에서 발생하는 비점오염물질을 크게 저감할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 지표피복재의 적용에 따른 경제성 분석

밭에 지표피복재를 적용하였을 경우 작물에 미치는 영향을 분석하기 위하여 4개의 시험포에서 생산된 콩의 수확량을 측정하여 비교하였다 (Table 6). 벧짚거적과 토양개량제를 살포한 벧짚거적시험포 1에서는 관행시험포 1 (1,866.7 kg/ha (140 kg/750 m²)) 대비 2,133.3 kg/ha (160 kg/750 m²)으로 약 14.3%가 증수한 것으로 나타났으며, 벧짚거적시험포 2에서는 관행시험포 2 (1,765.7 kg/ha (202 kg/1,144 m²)) 대비 1,821.9 kg/ha (262 kg/1,438 m²)으로 약 3.2%가 증수된 것으로 나타났다. 콩의 수익성 분석을 위해 농산물유통정보에서 제공하는 최근 3년간 콩 수매가를 참고하여 콩 수확량에 대한 수익을 분석한 결과 콩 1 kg당 평균 수매가가 10,778 원이고, 이를 단위면적당으로 환산한 결과 밭 1 m²당 평균수익이 1,810 원로 산정되었다. 작물 증수에 의한 수익증가는 약 287 만원/ha와 60 만원/ha로 나타났으며, 벧짚거적과 토양개량제 (PAM과 Gypsum)를 적용하는데 필요한 재료비와 인건비를 분석한 결과 재료비는 약 9백만원,

Table 6 Cost-effectiveness analysis (Effect of increasing production and labor costs)

Classification				
Treatments	Control	Surface cover materials	Control	Surface cover materials
Area (m ²)	750	750	1,144	1,438
Production of bean (kg/ha)	1,866	2,133	1,765	1,821
Bean cost (won/kg)	10,778			
Effect of increasing production (%)	14.3		3.2	
Benefit of beans (won)(A)	2,877,700		603,600	
Labor cost(won/ha)(B)	910,000			
Cost of straw mat and amendment (won/ha)(C)	9,068,000			
The total additional cost (won)(B+ C)(D)	9,978,000			
Benefit or Loss (won)(A-D)	-7,100,300		-9,374,400	

인건비는 약 90만원이 소요되는 것으로 나타났다. 연구결과와 같이 기상에 의한 영향으로 작물에 미치는 악영향이 없어 피복재와 토양개량제 등의 소요비용 및 인건비 등을 고려할 경우 작물의 증수효과 대비 지표피복으로 인한 경제적 이익이 없는 것으로 나타났다. 그러나 작물의 수확량뿐 만 아니라 밭에서 발생하는 오염물질을 처리하는 비용을 고려할 경우 긍정적인 효과가 있을 것으로 판단된다. 또한 Shin et al. (2013)의 연구결과와 같이 작물의 생육에 악영향을 주는 집중호우나 가뭄 등이 발생할 경우 지표피복재에 의한 작물에 미치는 영향은 더욱 긍정적일 것으로 판단된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 실 경작지 밭에서 발생하는 비점오염물질의 배출량과 지표피복재에 의한 비점오염물질의 저감효과를 분석하고자 하였다. 연구결과 양토의 토성을 가진 실경작지 밭에서 지표피복재를 적용할 경우 22.2~92.9 % (평균 66.7 %)의 유출량 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 이를 유출률로 환산할 경우 38.2~92.9 % (평균 71.6 %)의 저감효과가 나타났으며, 유출량과 수질농도를 이용한 오염부하 저감효과는 관행시험포 대비 수질향목별 27.7~95.1 % (평균 70.0 %)의 저감효과가 나타났다. 또한 지표피복재에 의한 작물에 미치는 영향을 분석하기 위해 콩의 수확량을 분석한 결과 지표피복재를 적용할 경우 평균 8.7 %의 증수효과가 있는 것으로 나타났지만 피복재와 토양개량제 소요비용 및 인건비 등을 고려할 경우 작물의 증수효과 대비 지표피복으로 인한 경제적 이익은 없는 것으로 나타났다. 그러나 하천의 수질개선을 위한 노력과 하수처리장의 오염부하 저감 처리 비용 등을 고려할 경우 지표피복재의 적용은 매우 긍정적일 것으로 판단된다. 또한 강수량 증가나 기후변화에 따라 발생할 수 있는 기상의 조건이 작물의 생육에 악영향을 미칠 경우 지표피복재의 적용 효율은 증가할 것으로 보여진다. 그러나 아직까지 많은 횟수의 모니터링이 수행되지 못했기 때문에 추가적인 연구를 통해 보다 정량적이고 정확한 분석을 위한 연구가 필요할 것으로 보여진다.

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

REFERENCES

1. 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.
2. 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.
3. Jordan, A., L. M. Zavala, and J. Gil, 2010. Effects of Mulching on Soil Physical Properties and Runoff under Semi-arid Conditions in Southern Spain. *CATENA*. 81(1): 77-85.
4. 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)
5. 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 Journal of Soil Sci., Fert.* 39(3): 173-183. (in Korean)
6. 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)
7. Martinez, J. R. F., V. H. D. Zuazo, and A. M. Raya, 2006. Environmental impact from mountainous olive orchards under different soil-management systems. *Science of the Total Environment*. 358: 46-60
8. Ministry of Environment, 2007. *Official test methods for water pollution*.
9. Noel, D. U., 2000. Perceptions on the use of no-till farming in production agriculture in the United States: and analysis of survey results. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 77(3): 263-266.
10. Pote, D. H., B. C. Grigg, C. A. Blanche, and T. C. Daniel, 2004. Effects of pine straw harvesting on quantity and quality of surface runoff. *Journal of Soil and Water Conservation*. 59(5): 197-203.
11. 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 Korean Society of Agricultural Engineers*. 53(4): 29-37. (in Korean)
12. Shin, M. H., J. R. Jang, C. H. Won, Y. H. Choi, J. Y. Shin, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2012a, 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)
13. Shin, M. H., J. R. Jang, H. J. Shin, D. H. Kum, Y. H. Choi, C. H. Won, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2013. Application of surface cover materials and soil amendments for reduction of non-point source pollution from upland fields. *Journal of Korean Society of Agricultural Engineers*. 55(4): 21-28. (in Korean)
14. Shin, M. H., K. J. Lim, J. R. Jang, Y. H. Choi, W. J. Park, C. H. Won, and J. D. Choi, 2012b. Analysis of Reduction of NPS Pollution loads using the small sediment trap at field. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 54(2): 27-35. (in Korean)
15. Theng, B. K. G., 1982. Clay-polymer interactions: Summary and perspectives. *Clays Clay Miner*. 30(1): 1-10.
16. 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)
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 Korean Society of Agricultural Engineers*. 54(2): 95-102. (in Korean)